

2002 추계학술발표회 논문집

한국원자력학회

KAERI 안전조치체제 구축방안 분석

Analysis on Establishment Methods of KAERI Safeguards System

이성호, 이병두, 김현조, 박호준, 소동섭

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

KAERI는 국제협약 및 원자력법에 따른 안전조치 의무사항을 이행하기 위하여 핵물질 및 핵물질 취급시설에 대하여 10개 MBAs(Material Balance Areas)로 구성된 안전조치체제를 유지하여 왔다. 그러나, 2002년 말 완공 예정인 핵연료기술개발연구동으로 하나로핵연료제조시설 및 연구개발시설을 이전하고, 또한 기존 CFFP(CANDU Fuel Fabrication Plant)의 양산장비를 포함한 건물을 KNFC로 이전할 계획으로 따라 기존의 안전조치체제에 대한 재검토 필요성이 요구되어왔다. 본 논문에서는 새로운 안전조치체제를 구축하기 위하여 HFFL(HANARO Fuel Fabrication Laboratory), CFFP 및 R&D 시설에 대한 현황, 연구개발계획 등을 조사, 검토하였으며, 이를 토대로 새로운 안전조치체제안을 분석하여 최적의 안전조치체제를 도출하였다.

Abstract

For the nuclear material and the nuclear facilities in KAERI, KAERI has maintained the KAERI Safeguards System consisting of 10 MBAs(Material Balance Areas) and implemented the safeguards obligations under international safeguards agreement and Atomic Energy Law. However, according to the plan to move the Nuclear Fuel R&D and Fabrication Facilities to the new Research Facility for Nuclear Fuel Technology Development, and to transfer the main equipment and building of CFFP to KNFC at the end of 2002, it is necessary to review the existing safeguards system. In this paper, the present safeguards status and R&D plan of HFFL, CFFP and R&D Facility are investigated and reviewed to optimize safeguards system in KAERI. Based on the minimum inspection and frequency, new safeguards system is proposed.

1. 서론

KAERI는 국내 원자력 분야의 대표적인 연구개발기관으로서 다양한 종류 및 형태의 핵물질을 사용하고 있을 뿐만 아니라 여러가지 형태의 핵물질 취급시설을 운영하고 있다. 핵물질의 사용과 핵물질 취급시설의 운영은 한-IAEA 안전조치협정, 양국간 원자력 협력협정 및 원자력법에 따라 안전조치 의무사항을 이행하여야 하며, 효율적으로 국내외 안전조치 의무사항을 이행할 수 있도록 그림 1.과 같이 연구소내 핵물질 취급시설들을 10개 MBA로 구분하여 안전조치체제를 운영하여왔다

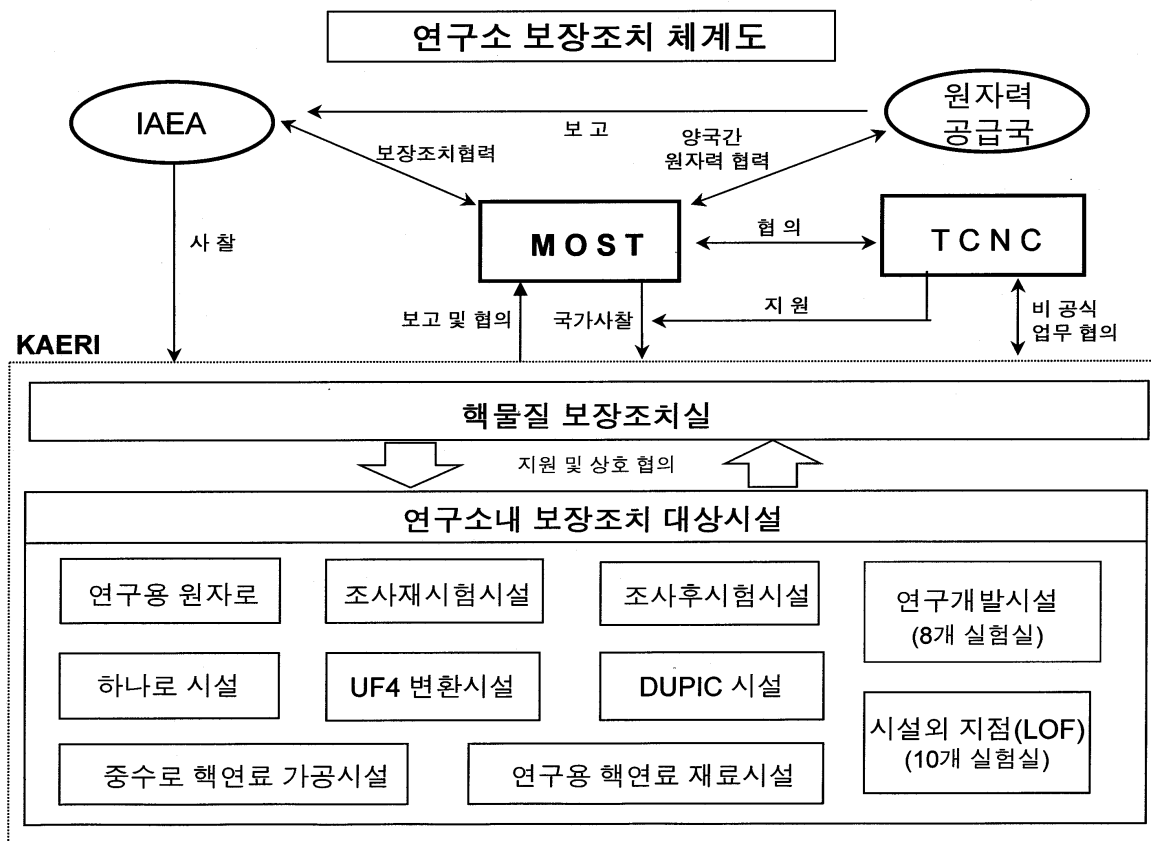


그림 1. KAERI 안전조치체계도

그러나, 2002년 말로 예정된 신축 핵연료기술개발연구동으로 연구소내 기존 핵물질 취급시설들의 이전 이외에 CFFP 건물 및 CANDU 핵연료의 주요 제조장비를 KNFC로 이전할 계획이다. 이에 따라 KAERI는 신규 핵물질 취급시설의 건설로 인한 안전조치 의무사항을 이행하여야 하며 CFFP 건물 및 장비의 이전에 따른 의무사항도 이행하여야 한다. 신축 핵연료기술개발연구동으로 이전되는 주요 대상시설은 HFFL, CFFP 및 연구개발시설이며 이들 시설들은 연구소내 선행 핵연료주기시설들이다. 이들 시설들은 신축

핵연료연구개발동으로 입주를 앞두고 있어 중장기적인 시설운영 및 연구계획을 수립하고 있으며, 이를 바탕으로 선행 핵연료주기 연구개발에 대한 KAERI 안전조치체제도 변화하는 상황에 맞추어 새로이 구축할 필요성이 대두되어왔다. 이는 대내외적으로 안전조치의무사항이행에 만전을 기함과 동시에 연구소 내부적으로는 효율적인 핵물질계량관리를 이행하는 것이다.

이를 위하여, 본 논문에서는 HFFL, CFFP 및 연구개발시설에 대하여 시설현황을 분석하고 신축 핵연료기술개발연구동에 입주 후 시설운영계획을 검토하여 신규 안전조치체제 구축방법들을 제시하였다.

2. HFFL, CFFP 및 R&D 시설현황 분석

연구소내 선행 핵연료주기시설은 HFFL, CFFP, 연구개발시설 및 UF4 변환시설이 있으며 신축 핵연료기술개발연구동 입주와 직접적으로 관련 있는 시설은 HFFL, CFFP 및 연구개발시설이며 부분적으로 UF4 변환시설도 관련 될 수 있다.

이에 따라 각 시설별 안전조치현황을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, HFFL은 표 1.과 같으며 RI 차폐용기 제작용으로 DU 금속 약 13.3톤을 소유하고 있으나 IAEA측의 요청에 의해 CFFP에 임시로 저장하고 있으며, 또한 향후 신축 핵연료연구개발동으로 이전 후 하나로핵연료제조공정을 확장할 예정이다.

표 1. HFFL 현황

항 목	현 체제	향후 계획	비 고
시설 기능	하나로핵연료제조 핵연료분말제조 RI 차폐용기제조	좌동	핵물질 수출확대 가능성 있음
취급 핵물질 (DIQ 기준)	LEU(<19.7%): 100kg NU : 20 kg DU : 18 ton	LEU(<19.7%): 200kg NU : 20 kg DU : 18 ton	하나로핵연료제조공정 확장 - 하나로핵연료 전량공급 - 핵연료물질 수출양 포함 DU 금속 13.3톤 저장
공정 및 장비	일괄공정 유지	좌동	일부장비 교체

둘째, CFFP 현황은 표 2.와 같으며 1999년 CFFP를 CANFLEX 연구개발실험을 위한 연구개발시설로 전환을 추진한 적이 있으나, 가동 중지상태일지라도 양산장비를 계속보유하고 있어 독립된 시설형태를 계속 유지해야한다는 IAEA측의 주장을 받아들여 현재에 이르고 있다. 향후 신축 핵연료기술개발연구동으로 이전 후에는 기존 CFFP의 주요 양산장비가 KNFC로 이전되고 CANFLEX 연구개발실험 기능만 유지될 예정이므로 CFFP는 R&D 시설의 하나의 지점으로 변경할 예정이다.

그러나, 이 경우 CFFP의 잔류 핵물질 및 Yellowcake 변환시설에 대한 새로운 안전조치방안이 고려되어야 한다.

표 2. CFFP 현황

항 목	현 체제	향후 계획	비 고
시설 기능	양산기능(가동중지) CANFLEX 연구개발 Yellow cake 변환시설 (가동중지)	CANFLEX 연구개발	주요장비 및 건물이전으로 연구개발시설의 지점으로 전환
취급 핵물질 (DIQ 기준)	LEU(<5%) : 1 ton NU : 9 ton DU : 26 ton	LEU(<19.7%): 300kg NU : 300kg	-
공정 및 장비	양산장비: 100톤규모	KNFC로 이전	-

셋째, 연구개발시설 현황은 표 3.과 같으며 기존 8개 실험실에서 CANFLEX 연구개발 실험실이 추가되어 9개 실험실로 구성할 예정이며 또한, 향후 HFFL이 신축 핵연료기술 개발연구동으로 이전하면 HFFL 기존 부지를 SMART 핵연료연구개발실험실에서 활용할 계획으로 있다.

표 3. R&D 시설 현황

항 목	현 체제	향후 계획	비 고
시설 기능	핵연료 연구 - 8개 실험실로 구성	핵연료 연구 - 9개 실험실로 구성	CANFLEX 연구개발 추가
취급 핵물질 (DIQ 기준)	LEU(<19.7%) : 5kg LEU(<5%) : 60kg DU : 500kg NU : 500kg Th : 100kg	LEU(<19.7%) : 5kg LEU(<5%) : 360kg DU : 500kg NU : 800kg Th : 100kg	CANFLEX Inventory - LEU(<19.7%) : 300kg - NU : 300kg
공정 및 장비	소량 핵물질 취급장비	SMART 과제에서 HFFL 부지 활용계획	Full Process 구성

넷째, UF4 변환시설은 현재 가동중지 상태로써 보유중인 핵물질은 UF4 및 UF6가 있다.

표 4. UF4 변환시설 현황

항 목	현 체제	향후 계획	비 고
시설 기능	UF4 변환시설(가동중지)	-	-
취급 핵물질 (DIQ 기준)	DU : 140 ton	-	-
공정 및 장비	변환장비(가동중지)	-	-

3. 신규 안전조치체제 수립시 고려사항

신축 핵연료기술개발연구동으로 입주 후 효율인 안전조치체제를 구축하기 위해서는 다음과 같이 시설현황 분석에서 파악된 몇가지 중요한 요소는 표 5와 같으며 각 요소별 세부사항은 다음과 같다.

표 5. 안전조치체제 구축시 고려사항

고려사항 시설명	핵 물 질	공정 및 장비
HFFL	Inventory 확대 - LEU : 100 kg ⇒ 200 kg DU 급속(0.7 kgeff, 0.7 SQ) - 약 13 ton	
CFFP	잔류 핵물질(1.3 kgeff, 1.2 SQ) - LEU(<5%) : 90 kg - NU : 5 ton - DU : 12 ton Yellow cake 변환시설 처리방안	
R&D 시설		SMART 실험실 확대 실험실(KMP)간 구분

첫째, 연구로용핵연료제조시설의 경우 LEU Inventory 및 Annual Throughput이 기존의 100 kg-U에서 200 kg-U로 확대가 예상되며, 중수로용핵연료가공시설에 임시 보관중인 HFFL 소유 DU 급속 약 13 톤의 저장 방안을 마련하여야 한다.

둘째, 중수로용핵연료가공시설의 경우 잔류 핵물질 및 Yellow Cake 변환시설에 대한 처리 방안을 마련하여야 한다.

셋째, 연구개발시설의 경우 HFFL이 신축 핵연료기술개발연구동으로 이전 후 부지를 SMART 연구개발실험실에서 활용할 계획이며 이 경우 SMART 핵연료제조실험실은 비

록 소규모이지만 모든 공정을 갖추게 되고 장비도 늘어날 것으로 판단된다. 또한 기존의 연구개발실험실들은 건물내에서 실험실별로 경계가 확실하여 실험실별로 핵물질 및 장비를 별도 관리하여왔으나 신축 핵연료기술개발연구동의 실험실 구조는 기능별로 배치되어 있어 4개의 연구개발실험실(미래형핵연료기술개발실험실, 소결체재료신기술개발실험실, DUPIC Simulation 실험실 및 조사용캡슐개발실험실)이 분말 취급실, 펠렛 제조실, 실험장비실 및 기타 공간을 공동으로 활용하도록 구성되어 있어 KMP(Key Measurement Point) 구성에 어려움이 예상된다.

이상과 같은 안전조치체제 구축시 심각하게 고려해야 할 사항들을 요약하면 표 5.와 같다.

4. 최적의 안전조치체제 구축방안 분석

시설별 주요 기능, 핵물질량, 공정 및 장비, 향후 연구활동계획 등을 반영하여 세 가지 안전조치체제안(1안, 2안 및 3안)을 제시하였다.

1안은 그림 2.와 같이 기존 안전조치체제에 CFFP에 임시저장되어 있는 DU 금속 약

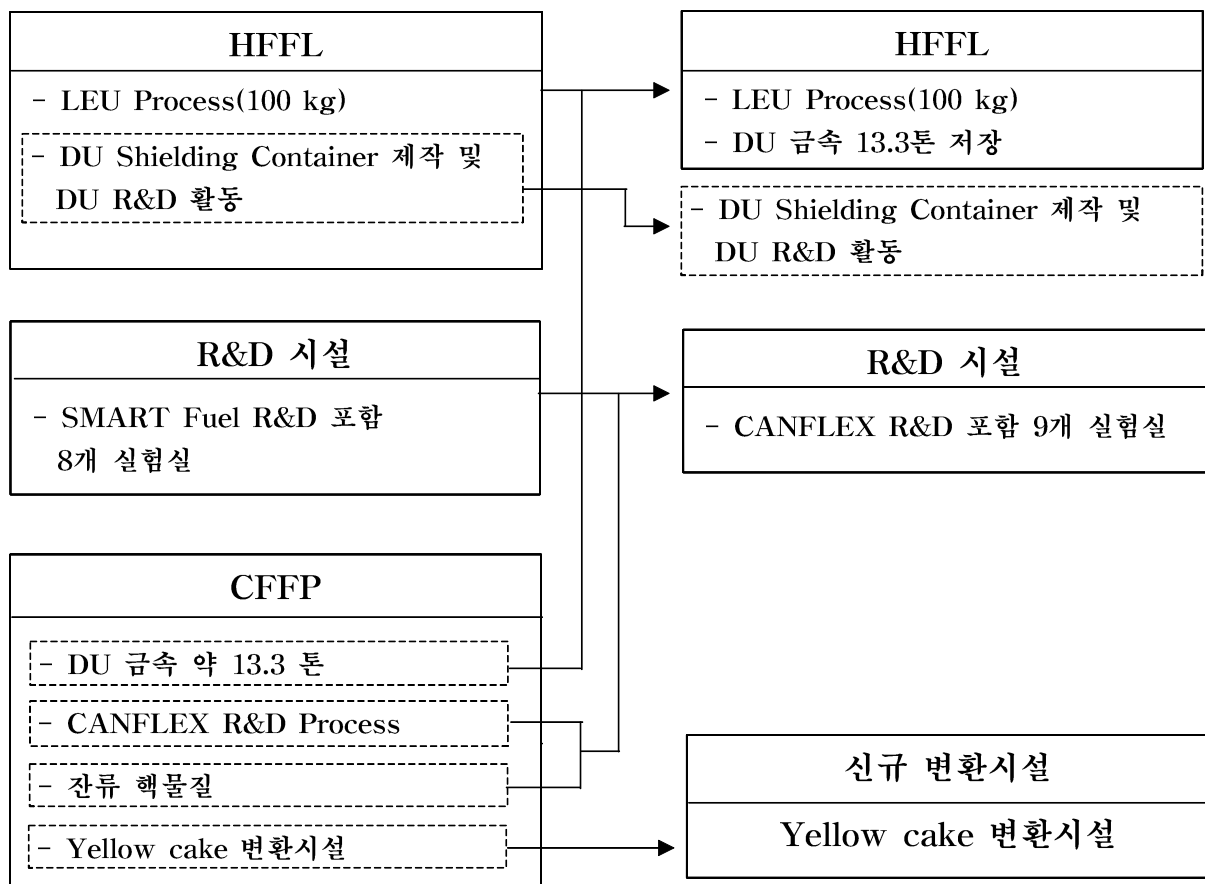


그림 2. 안전조치체제 1안

13.3톤을 원 소유시설인 HFFL에 저장하고, CFFP 잔류 핵물질을 CANFLEX 연구개발 기능과 함께 연구개발시설로 이전하는 방안이다. 또한 기존 CFFP의 재고지점으로 존재 하였던 Yellow cake 변환시설은 독립적인 MBA로 존재할 것이다.

그러나, 1안대로 시행할 경우 각 시설의 핵물질량이 1 SQ를 초과하므로 HFFL 및 연구개발시설 양측 모두 IAEA 사찰량의 확대가 예상되었다. 현재 두 시설은 각각 연 1회 IAEA 사찰을 수검하고 있으나 1 SQ를 초과하게 되면 HFFL은 연 4 - 6회 IAEA 사찰량이 예상되며, 연구개발시설은 연 4회 IAEA 사찰량이 예상된다. 이러한 결과는 연구개발시설의 지점으로 소속되어 있는 소량 핵물질취급 실험실에 필요이상의 IAEA 사찰을 수검하는 결과로 나타나고 있다.

이러한 점들을 해결하기 위하여 제시할 수 있는 방안이 핵물질 저장고를 신규 저장시설로 설정하여 HFFL의 DU 금속 및 CFFP의 잔류 핵물질을 저장하는 2안 및 3안이다.

2안은 그림 3.과 같이 CFFP의 기존 핵물질 창고를 보수하여 이를 핵물질 저장고로 신규 설정하여 CFFP 잔류 핵물질을 저장하는 방안이다. 그러나 이안의 경우 핵물질 저장고에 대한 보수비용, 주변환경, 사용 편의성, 관리주체 선정 및 안전성 관련 인허가 등 여러 가지 새로운 문제점이 생겨나며 특히, HFFL의 DU 금속 약 13.3톤에 대한 해결방

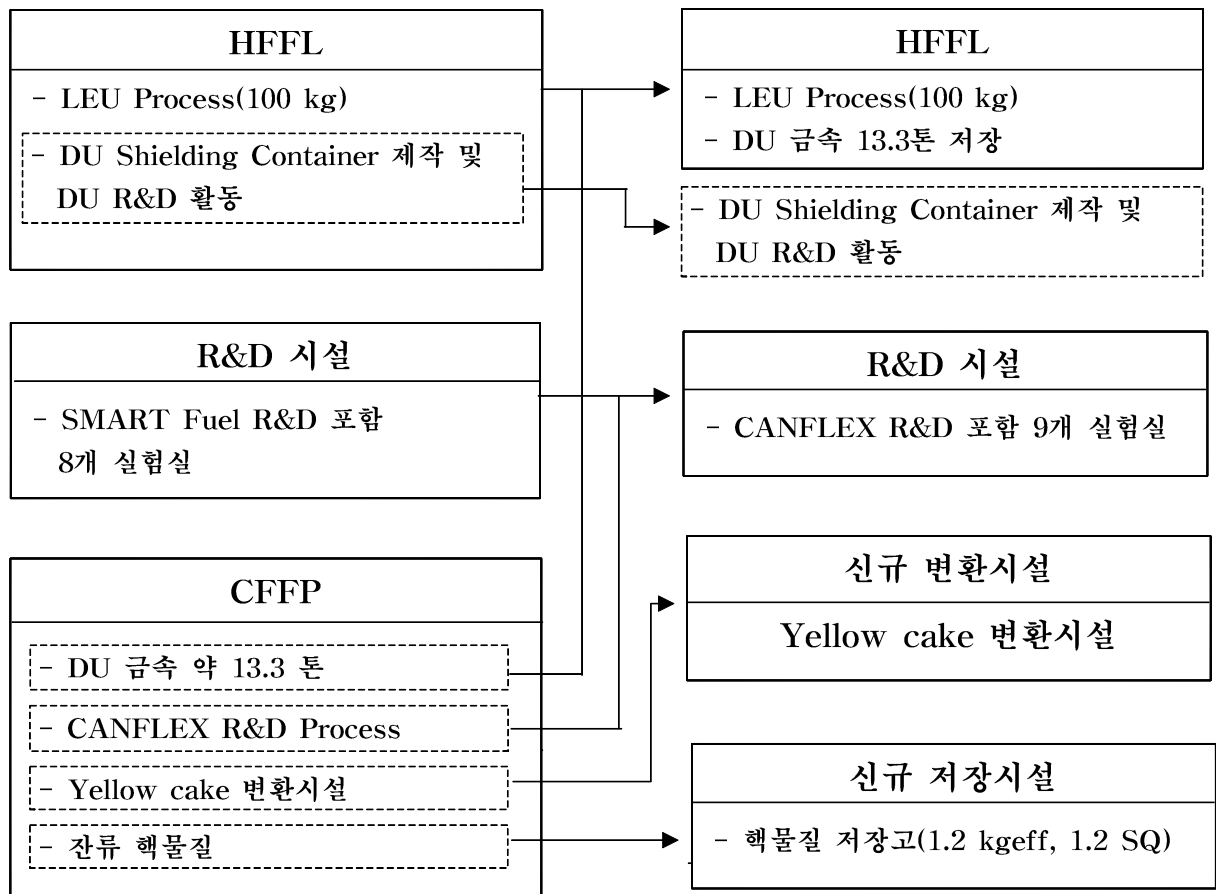


그림 3. 안전조치체제 2안

안은 제시하지 못하고 있다. 또한 기존 3개 MBA가 Yellow cake 변환시설에 대한 신규 MBA가 추가되어 4개의 MBA 체제로 구성되었다.

3안은 그림 4와 같이 신축 핵연료기술개발연구동내 HFFL 영역의 DU 저장고 및 CFFP 영역의 핵물질 저장고를 묶어 2개 지점으로 구성된 신규 저장시설을 설정하는 방안이다. 이 경우 HFFL의 DU저장고에는 DU 금속을 저장하고 CFFP의 핵물질 저장고에는 CFFP의 잔류 핵물질을 저장할 수 있으므로 최적의 방안이라고 판단된다.

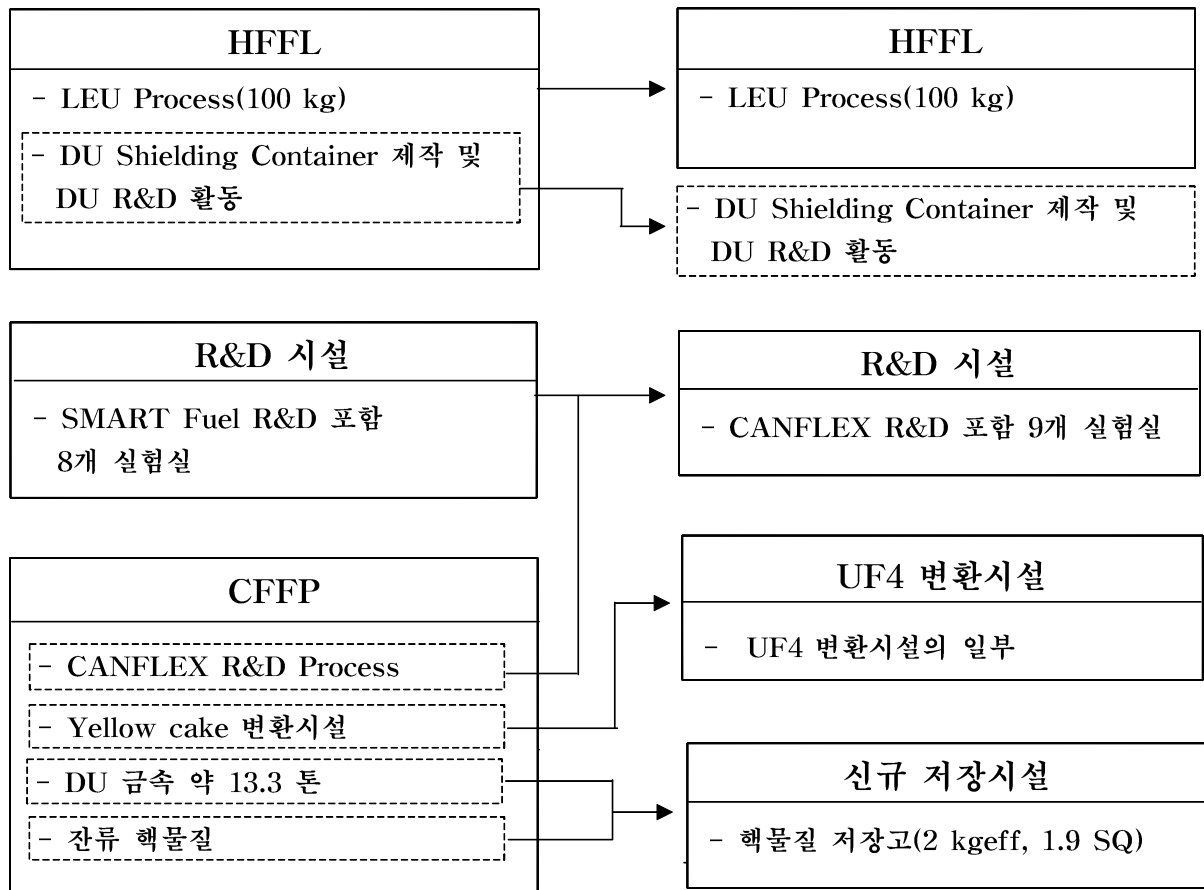


그림 4. 신규 안전조치체제 3안

그외의 사안들에 대한 안전조치체제는 2안 및 3안 모두 대동소이하며 검토 결과는 다음과 같다.

첫째, HFFL의 경우 취급 핵물질량이 기존 LEU 100 kg에서 200 kg로 확대하는 경우 시설전체의 핵물질량이 8.1 kgeff, 0.54 SQ에 해당하는 양이며 이로 인한 HFFL에 대한 IAEA 사찰강도를 증가시킬 가능성이 있음을 고려하여 시설측으로부터 당분간 기존의 핵물질 취급량을 유지하고 추후 핵물질 취급량의 확대가 불가피한 경우 Inventory를 증설하기로 합의하였다. 또한 DU Shielding Container 제조는 신축 핵연료연구개발동에서는 공간이 부족하여 기존의 실험실 혹은 제3의 장소에서 수행될 예정이나 안전조치체

제상에서는 큰 변화가 없을 것으로 판단된다.

둘째, CFFP의 경우 잔류 핵물질의 처리방안은 핵물질 저장고를 설치 운영기로 함에 따라 Yellow cake 변환시설의 처리문제가 남게되는데, 독립된 MBA체제를 유지하는 방안과 UF4 변환시설에 포함시키는 방안 중에서 현재 제염후 건물만 재 사용계획임을 고려해 보면 UF4 변환시설의 일부로 포함시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

셋째, 연구개발시설의 경우 향후 HFFL 부지를 활용할 SMART 핵연료연구실험실이 Full Process를 갖출 가능성이 큼에 따라 독립된 MBA로 변경하는 것이 타당하나 시설 측의 연구개발실험실로 계속 존재하기를 바라고 향후 수년간 취급 핵물질량이 소량임을 감안하여 기존의 연구개발시설의 실험실로 존속시키는 방안으로 추진할 예정이다. 그러나, IAEA측에서 별도 MBA로 설정해 줄 것을 요청할 경우 연구개발시설로 계속 존재하기 힘들 것으로 판단된다. 또한, UO₂ 분말을 사용하여 핵연료연구를 수행하는 4개 실험실(미래형핵연료가공기술, 소결체재료신기술개발, DUPIC Simulation, 조사용캡슐개발)의 경우 공동의 실험실에 4개 실험실이 별도로 존재하면서 각각의 장비 및 핵물질을 관리하는 방안으로 추진할 예정이다.

이상과 같이 제시된 안전조치체제에 대한 분석 결과, 1안은 시설에 대한 IAEA 사찰강화 가능성에서 미흡하며, 2안은 핵물질 창고의 보수비용, 관리주체 선정 및 Safety 관련 인허가 문제와 HFFL에 대한 사찰강화 가능성에서 약간 미흡하며, 3안이 시설운영 효율성 측면이나 시설에 대한 필요 이상의 IAEA 사찰강화를 예방하는 효율적인 안전조치체제임을 알 수 있으며 향후 제시된 3안을 바탕으로 IAEA와 안전조치 운영방안에 대한 협의를 할 예정이다.

5. 결론

KAERI는 2002년 말로 예정된 신축 핵연료기술개발연구동으로 핵물질 취급시설들의 이전 및 CFFP 건물 및 CANDU 핵연료용 주요제조장비의 KNFC로 이전 계획에 따라 HFFL, CFFP 및 R&D 시설에 대한 시설 현황 및 연구개발계획을 고려한 결과 시설별 주요 기능, 핵물질량, 공정 및 장비, 향후 연구활동계획 등을 반영하는 여러 가지 안전조치체제를 분석하였다.

분석 결과, 기존 안전조치체제를 유지하는 경우 HFFL 및 연구개발시설 양측 모두 IAEA 사찰량의 확대가 예상되었고, CFFP의 핵물질 저장고를 신규 MBA로 설정는 방안은 핵물질 저장고에 대한 보수비용, 관리주체 선정 및 안전성 관련 인허가 등의 문제점과 HFFL에 대한 IAEA 사찰량 확대에 대한 해결방안이 되지 못하며, 신규 핵연료기술개발연구동내 2개 지점을 핵물질 저장고로 신규 MBA를 설치하는 방안이 시설에 대한 사찰 빈도 감소, 핵물질 창고 보수 불필요, 이용 편의성 등의 측면에서 최적의 안전조치체제안으로 판단된다.

참고문헌

1. INFCIRC/540, "Model protocol additional to the agreement between state and the International Atomic Energy Agency for the application of Safeguards" 1998
2. IAEA "Safeguards Glossary" 2001
3. IAEA "Safeguards Criteria" 1998
4. IAEA Subsidiary Agreement to the Agreement between the Government of the Republic of Korea and International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards in connection with the Treaty of the Non-Proliferation of Nuclear Weapons" 1995
5. INFCIRC/236, "Agreement between the Government of the Republic of Korea and International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards in connection with the Treaty of the Non-Proliferation of Nuclear Weapons" 1975