

월성 CANDU 사용후핵연료의 효과적인 이송을 위한 접근 방안

Approach for Effective transfer of CANDU Spent Fuel at Wolsong Reactor

김중수, 신장수, 민경식, 박일진, 최영명

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

월성 원전 1호기의 사용후핵연료는 IAEA 사찰관과 국가 검사관이 동시에 입회 하에 매년 대략 2 개월에 걸쳐 건식저장조로 이송되고 있다. 최근 3기의 호기가 추 가 상업 운전으로 인하여 이를 안전조치하기 위한 사찰소요량이 급격히 증가됨에 따라, 이를 효과적으로 사찰하기 위해 IAEA는 회원국과 공동으로 적절한 방법을 모색하고 있다. 따라서 사용후핵연료 이송에 대한 사찰소요량을 획기적으로 감소시 켤 수 있는 방안으로서 mail-box system에 의한 현장 검증 방안과 이송의 전 과정 에 대한 인지의 연속성 유지 방안을 통합안전조치 하의 미 통보 사찰의 관점에서 제안하였다.

Abstract

The spent fuels at Wolsong Unit 1 are moved to the dry storage canisters for about two months every year under whole presence of IAEA and national inspector. According to commercial operation of three new reactors additionally, it is expected drastically increasing in view of person day inspection for the safeguarding of the spent fuel transfer. IAEA seeks an effective way with member states by support program. Two concepts as an approach to be utilized at Unannounced Inspection under Integrated Safeguards are proposed, which are mail-box system for in-site verification and maintenance of continuity of knowledge for detection of spent fuel movement.

1. 서 론

월성 CANDU(Canadian Deuterium Uranium Reactor)형 원전은 운전 중 핵연료 를 교체하는 방식을 채택하고 있으며, 매일 16에서 24 다발의 신연료가 장전됨과 동시에 사용후핵연료가 저장수조로 배출되고 있다. 천연 이산화우라늄(UO₂)을 연료

로 사용하는 CANDU 핵연료는 연소도를 7,500 MWD/t(Mega Watt Day/ton)로 가정하였을 때, 플루토늄(Plutonium, Pu) 함량이 0.4~0.5% 정도이며, 사용후핵연료 배출량이 대략 80 MTU/y (Metric Ton Uranium/year)이므로 연간 Pu의 생산량은 320~400 kg 정도가 된다. 이 양은 같은 용량의 가압경수로(Pressurized Heavy Water Reactor, PWR)에 비하여 3배이며 또한 고 순도를 함유하고 있다.

국제원자력기구(International Atomic Energy Research Institute, IAEA)는 Pu를 생성할 수 있는 최적의 조건에서 연소된 120 다발의 CANDU 사용후핵연료는 핵폭발 장치로 전용 가능한 Pu의 최소량인 1 SQ(Significant Quantity) 즉, 8 kg이 포함되어 있다고 평가하고 있다[1]. 또한 IAEA 기준에 따르면 직접 조사된 핵물질(Irradiated Direct-Use Material)로 분류하고 있는 CANDU 사용후핵연료는 핵물질 전용이 PWR에 비하여 쉽고 미 신고 핵연료 탐지가 어렵다는 특성으로 인하여 IAEA의 철저한 안전조치 감시 대상으로 취급하고 있다.

월성 원전은 사용후핵연료 저장수조의 저장 능력 한계로 인하여 대략 7년 정도 냉각된 사용후핵연료를 중간저장조인 건식저장조로 이송한다. 이 이송은 1호기의 경우 1992년부터 현재까지 매년 2~3 개월에 걸쳐 수행되어 왔으며, 3기의 호기가 각각 1997년, 1998년 그리고 1999년에 추가로 상업 운전에 돌입함에 따라 2004년부터 매년 증가하여 2006년에는 이 이송이 최소 8 개월에서 최대 12 개월로 늘어나 이를 안전조치하기 위한 경제적 비용 및 사찰관의 노고가 배가되고 있는 현실이다. 실질적으로 기존 1호기에서의 사찰소요량 100 PDIs(Person Day Inspections)가 이 시점이 되면 400 PDIs로 증폭된다. 이러한 상황은 캐나다에서도 대두되어 2002년의 대략 300 PDIs가 2003년에는 700 PDIs 대폭 증가하고 있다[2]. 이에 따라 회원국의 기금으로 운영하고 있는 IAEA는 이를 안전조치하기 위한 경제적 문제에 직면하게 되었고, 해결 방안으로 기존의 전 과정 입회하고 있는 기존의 사찰을 random 입회의 미 통보 사찰(Unannounced Safeguards)을 통하여 획기적으로 PDI를 줄이고자 회원국의 적극 협조를 요청하여 한국, 미국 그리고 캐나다는 이를 수락하였고 IAEA 회원국지원프로그램 형식으로 효율화 방안을 강구하고 있다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 효율화 방안으로서 mail-box system에 의한 현장검증 방안과 이송의 전 과정에 대한 인지의 연속성 방안(Continuity of Knowledge, COK)을 미 통보 사찰의 관점에서 기술하였다.

2. 기존 안전조치

1983년 상업 운전을 시작한 월성 원전 1호기는 1992년부터 매년 사용후핵연료 이송을 수행하고 있다. 월성 원전은 45,600 다발의 사용후핵연료를 저장수조에 저장

하며 저장 능력의 한계로 대략 7년 정도 냉각시킨 후 이송한다. 이송 과정을 나타낸 그림 1에서 보는 바와 같이 개개의 사용후핵연료 다발은 바스켓으로 옮겨지며 60개 다발을 채운 바스켓은 뚜껑 덮기 전, 번들의 수량 및 일련번호 확인 그리고 방사선 측정을 통한 검증을 사찰관 입회 하에 수행한다. 확인 및 검증이 끝난 바스켓만 뚜껑을 덮을 수 있으며, 사용후핵연료 이송 용기인 flask에 넣기 전에 바스켓을 건조 및 용접을 거쳐 건식저장조로 트럭에 의하여 이송된다. 이때 사찰관은 차량에 동승한다. 건식저장조는 이송 기간 중에 임시 봉인이 설치하며 바스켓을 장전하기 전과 후에 바스켓들의 건전성을 확인한다. 사찰 활동을 건식저장조 지역에서 수행하고 있을 경우 사용후핵연료 저장수조 지역에서의 시설작업자에 의한 작업 즉, 사용후핵연료의 바스켓 적재 및 건식/용접 구역으로 이송 등은 할 수 없기 때문에 이로 인한 시설 운영자 측면에서의 이송에 대한 작업 지연이 발생되어 왔다.

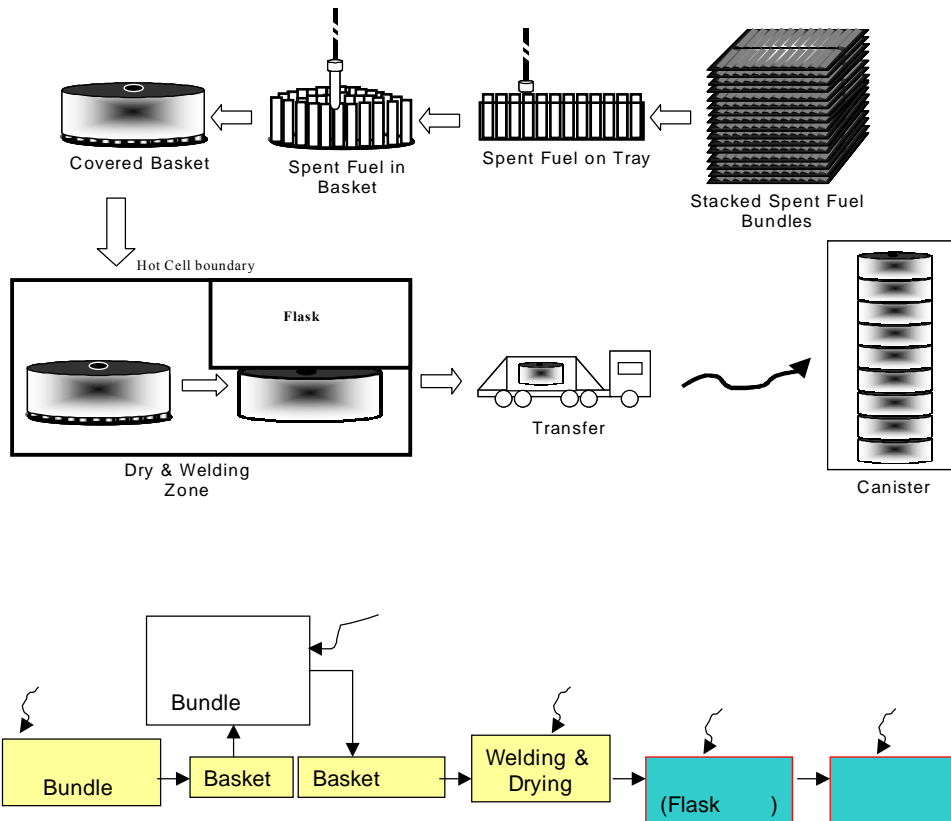


그림 1. 기존의 안전조치에 대한 사찰 활동

3. 미 통보 사찰에 대한 안전조치

이와 같이 기존의 안전조치는 이송의 전 과정 및 전 기간 동안 IAEA 사찰관이 관여하기 때문에 IAEA 뿐만이 아니라 시설 운영자 측면에서도 많은 인력 소모 및

경제적 손실을 초래하고 있으며 동시에 사찰 활동으로 인한 노고를 수반하고 있다. 따라서 사찰관에 의한 검증을 감시 장비로 대처하고 사찰 활동 시에 요구되는 장부 기록 사항을 mail-box system를 사용하는 효과적 방안을 제안하고자 한다.

가. 인지의 연속성 유지 방안

CANDU 사용후핵연료에 대한 이송 과정을 안전조치 관점에서 세분화하면, 수중의 사용후핵연료 다발의 바스켓으로의 적재, 바스켓의 건조 및 용접, 트럭 이송 그리고 건식저장조에의 장전으로 구분할 수 있다. 이에 대한 COK 유지 방안을 그 나타낸 그림 2에서 보는 바와 같이 사용후핵연료 다발의 바스켓으로 옮기는 과정의 검증은 방사선 측정(bundle monitor)과 감시 카메라(DMOS)로 개개의 다발을 검증함으로써 IAEA criteria, H method와 I method를 만족시키며, 건조 및 용접 구역에서의 검증 및 flask 이동 상황 검증은 고정 감시카메라와 지속적으로 방사선 측정(flask monitor)을 통한 flask 내의 사용후핵연료를 감시하는 것이다. 트럭으로 이송된 바스켓은 건식저장조 내에 장전되어 수 십년 동안 저장된다. 1개의 건식저장조는 9개의 바스켓을 담을 수 있게 설계되어 있으며 바스켓이 건식저장조 안으로 유입 및 유출될 때에 대한 안전조치는 영구 봉인이 설치될 때까지 유지되어야 한다. 건식저장조는 2개의 pipe가 설계되어 있어서 이 pipe 내에 방사선 검출기(canister loading monitor)를 삽입하고 측정함으로써 유입과정을 검증할 수 있을 것으로 판단된다.

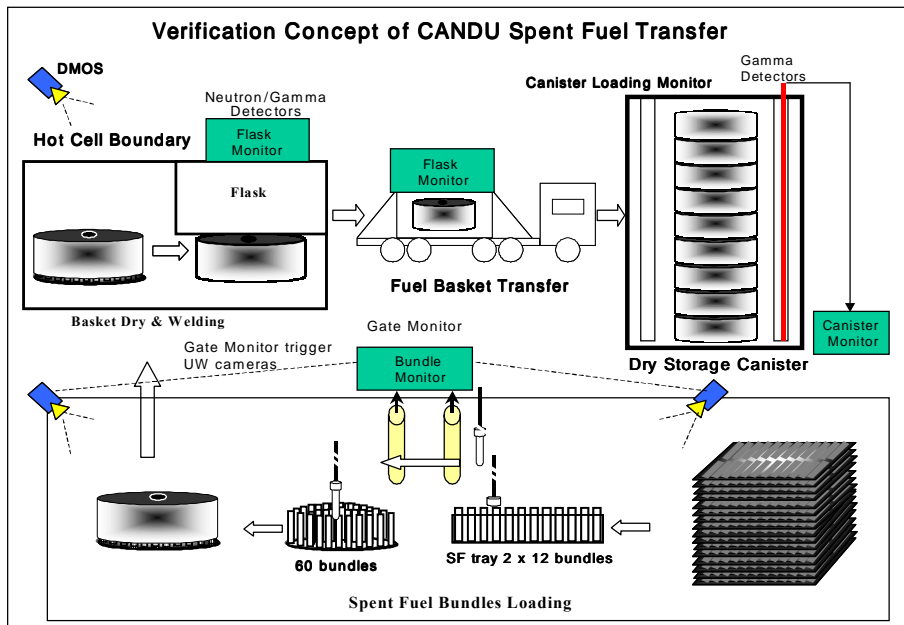


그림 2. 미 통보 사찰에 대한 인지의 연속성 유지 개념

나. Mail-box System에 의한 검증

Mail-box System은 그림 3에서 보는 바와 같이 기존 사찰의 장부기록에 의한 검증 자료를 mail box system을 이용하여 review station(IAEA 본부, 국가관리소)으로 전송한다. 이것은 전송자료에 대한 암호기술과 데이터 베이스 및 time stamp가 필요하며, 입력자료 요건으로는 건식저장조에 저장될 사용후핵연료의 정보, 공정별 사용후핵연료의 이송 시간 그리고 하루의 주기로 당일의 사용후핵연료 이동 현황과 내일의 계획을 암호화 문서로 전송한다. Review station으로 이미 전송된 자료의 수정 및 접근은 불가능해야 한다. 반면에 데이터 베이스 내의 자료 수정 및 up-date는 가능해야 한다.

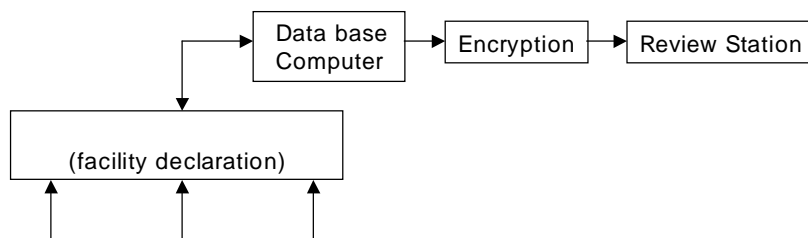


그림 3. Mail Box System에 의한 현장 검증

표 1에는 안전조치 관점에서 기존과 미 통보에 대한 차이가 분석되어 있다. 미 통보 사찰에서는 많은 사찰활동이 기존 것과 비교하여 생략되기 때문에 열악한 환경조건에서 업무를 수행해야하는 사찰관의 노고를 완화시킬 수 있으며 전 이송 과정 및 전 기간 동안에 입회하지 않아도 되기 때문에 경제적 부담 또한 크게 줄일 수 있을 것이다.

4. 결 론

COK 유지를 위한 검증 장비들은 기존의 사찰관 입회 하의 안전조치 대신에 방사선 측정과 감시카메라로 대체하여 검증하는 방안으로 검증장비는 자료의 장기간 저장 능력, 열악한 환경에의 장기간 적응 능력 그리고 검증 장비의 복수 설치 및 기술적 완전성 등의 관점을 고려해서 설계가 이루어져야 한다.

기존 안전조치는 모든 과정에 IAEA 사찰관이 입회해야 하기 때문에 사찰관의 부채시 이송 공정마다 지연을 초래하지만 COK 유지하의 안전조치는 검증장치가 사찰관 역할을 하기 때문에 시설 운영자 입장에서 작업의 지연 요소가 발생되지 않는다. 또한 열악한 환경조건에서 업무를 수행해야하는 사찰관의 노고가 해소되며 random 사찰 수행으로 전 이송 과정 및 기간을 입회하지 않아도 되기 때문에 경제적 부담 또한 크게 줄일 수 있을 것이다.

표 5. 기존과 미 통보 안전조치의 차이

	기존 안전조치	미통보 안전조치
COK 유지	• 전 과정에 사찰관 입회	• 방사선 측정 및 감시 카메라
Mail Box	• 사찰관 기록	• Operator Declaration - Computer data base - 자료 암호
Bundle의 바스켓 적재	• 사찰관 입회하의 수동검증 • 사찰관 부재시 사용후 핵연료 봉인설치 - 작업 지연 - 바스켓 뚜껑 덮을 수 없음	• 카메라 및 방사선 측정에 의한 자동 검증 • 사찰관 부재시 작업지연 불필요 - 바스켓 뚜껑 덮음 - 취급 장비 봉인 설치 불필요
건조 및 용접	• 사찰관 부재시 - 용접 불가 - Flask 봉인 설치	• 사찰관 부재시 - 용접 가능 - Flask 봉인 불필요 • 감시카메라 설치
트럭 이송	• 사찰관 입회하의 이송 • 사찰관 부재시 이송 불가	• 검증장비가 사찰관 역할 • 사찰관 부재시 이송 가능
건식저장조	• 사찰관 입회하의 장전 • 건식저장조 오름 • 사찰관 부재시 - 봉인 설치	• 장전과정 방사선 측정 검증 • 오름 필요 없음 • 사찰관 부재시 - 봉인설치 불필요

참고문헌

[1] IAEA, "Safeguards Criteria" 1998.
 [2] R. Benjamin, Q. S. Truong and R. Keeffe, "Designing a Safeguards Approach for the Transfer and Storage of Used Fuel" IAEA-SM-367/8/07, 2001.