

## CANDU 사용후핵연료 검증용 수중카메라 보조장치 설계

나 원우, 이 영길

한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

### 요 약

본 논문은 CANDU형 원자력 발전소의 수조 속에 저장된 사용후핵연료 다발에 대한 IAEA 보장조치(Safeguards) 방법(Method K)을 종합적으로 분석하여 국가사찰을 보다 효율적으로 준비하고자 한다. 현재 IAEA는 수중카메라(Underwater TV Camera)를 수조 속에 넣고 카메라 모니터에 나타난 사용후핵연료 끝단의 영상을 직접 확인하면서 Tray Stack에 담겨 있는 수직축(Z-축) 방향 사용후핵연료 다발 수량을 확인하고 있다. 그러나 한정된 사찰기간 내에 보장조치 목적(Safeguards Goal)을 달성하기 위해 IAEA가 적용하고 있는 수중카메라 보조장치(Guiding Tool)는 몇 가지 문제점을 갖고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하면서 보다 효율적으로 사찰활동을 지원할 수 있는 보조장치를 개발하는 것이 IAEA와 국가사찰을 위해 필요하다. 이를 위해 한정된 사찰기간 내에 최소의 인력으로 효과적인 사찰활동을 지원할 수 있는 보조장치를 새로이 설계하였다. 그리고 새로이 설계된 수중카메라 보조장치를 IAEA 및 국가사찰에 적용했을 경우 얻을 수 있는 기대 효과 등을 논의하였다.

### 1. 서 론

우리 나라는 한-IAEA 보장조치 협정에 따라 국내 모든 원자력 활동에 이용되고 있는 핵물질, 장치 및 시설 등이 핵무기나 핵폭발 장치로 전용되지 않고 평화적 목적으로 이용되고 있음을 대외적으로 증명하기 위하여 IAEA 보장조치를 받고 있다. 또한, 핵주권을 확립하기 위하여 국내 보장조치 대상시설에 대해 1996년 10월부터 국가사찰을 수행할 예정이다. 국가사찰 이행시 이와 같은 보장조치 목적을 달성하기 위해서는 각 시설별로 IAEA가 적용하고 있는 사찰기술과 사찰장비 등을 분석하여 보다 효율적으로 국가사찰을 수행할 수 있도록 이를 개선해야 한다. 현재, OLRs(On-Load Reactor)인 CANDU 원자로에서 타고 나온 사용후핵연료는 건식 저장고로 이송되기 전에 충분한 냉각을 위해 수조 속에 저장되어 수년간 관리되고 있다. IAEA는 수조 속에 저장되어 있는 수많은 사용후핵연료에 대한 대량결손(Gross Defect)을 탐지하기 위해 다음과 같은 방법으로 검증활동을 수행하고 있다<sup>[1]</sup>. 첫째, 사찰관은 사용후핵연료를 담고 있는 Tray Stack 사이에 수중카메라(Underwater TV

Camera)를 삽입하여 Z-축 방향 사용후핵연료 다발 수량을 확인하는 Item Counting(Method K) 법을 이용해 수량을 파악한다<sup>[1,2]</sup>. 둘째, 감마선 분광분석 장비인 PMCC (Portable MCA + CdTe)의 작은 CdTe 검출기를 Tray Stack 사이에 삽입하여 Gross Gamma Scanning을 수행함으로써 Z-축 방향 사용후핵연료 다발 수량을 확인하는 Item Counting(Method H)을 한다<sup>[1,3]</sup>. 셋째, 손상된 사용후핵연료 다발 검증시 사찰관은 육안에 의한 Item Counting과 병행하여 측정대상 사용후핵연료 다발을 다른 사용후핵연료 다발들과 이격시킨후, HSGM (High Sensitivity Gamma Monitor)을 이용해 사용후핵연료 진위여부를 검증한다<sup>[1]</sup>.

## 2. 본 론

월성 원자력 발전소 수조 속에 저장되어 있는 사용후핵연료에 대한 IAEA 사찰시, IAEA 사찰관이 적용하고 있는 수증카메라를 이용한 검증활동(Method K<sup>[2]</sup>)을 분석한 결과 몇 가지 문제점을 발견할 수 있었다. 그러므로 한정된 사찰기간 내에 IAEA 및 국가사찰을 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 하기 위해서는 IAEA 수증카메라 보조장치를 종합적으로 분석하여 문제점을 보완할 수 있도록 수증카메라 보조장치를 새로이 설계해야 한다. 이를 위해 다음과 같이 Method K에 필요한 설계 특성들을 분석하여, 보장조치 목적을 효율적으로 달성할 수 있도록 지원할 수 있는 보조장치를 새로이 설계하였다.

### 2-1. IAEA 수증카메라 보조장치 분석

IAEA는 CANDU형 원자력 발전소 사찰시 수조 속에 저장되어 있는 사용후핵연료를 검증하기 위해 그림 1과 같은 수증카메라 보조장치를 개발하여 월성 원자력 발전소 사찰현장에 적용하고 있다. 그림 1에서 보는바와 같이 이 장치는 Guide Tube 연결부위에 매듭(Coupling)을 적용하였으며 그리고, Guide Tube 상단에 Handle을 부착하여 사람이 Handle을 조절함으로써 Guide Tube의 직선운동을 유지할 수 있도록 설계되었다. 그러나 월성 원자력 발전소 수조 내의 사용후핵연료 다발을 담은 Tray Stack간 간격이 약 15cm 정도로 매우 조밀하다. 그러므로 Guide Tube 상·하 운동시 매듭(Coupling) 부분이 사용후핵연료 다발을 담은 Tray에 걸리는 현상이 자주 발생한다. 이때, 보조장치 하중에 의해 크레인에 연결된 로프가 절단되면서 Guide Tube가 수조 바닥에 떨어지고, Guide Tube 밑 부분에 연결된 Transparent Tube가 깨지는 경우가 발생한다. 이런 상황이 발생할 경우 사찰관은 보조장치를 보수해야 하므로 한정된 기간 내에 보장조치 목적을 달성할 수 없으므로 검증시간이 지연될 뿐만 아니라, 이로 인해 Guide Tube, 카메라 및 케이블 등이 방사선에 오염되므로 이를 재염하는데 많은 시간을 소비하게 된다.

그리고 이 장치를 이용해 수직 방향 사용후핵연료 다발을 파악할 경우, 상·하 운동에 의해 Guide Tube가 흔들리면서 회전하게 된다. 이때, 모니터에 나타난 피사체 영상의 해상도가 나빠지므로 수시로 카메라 하단에 부착된 거울 방향을 조절하여 해상도를 높여 사용후핵연료 다발 수량을 정확히 파악해야 한다. 그리고 거울 방향이 확인하고자 하는 방향에서 벗어나는 최악의 경우에 카메라가 위치한 정확한 위치의 사용후핵연료 다발 영상이 모니터에 나타나지 않는 경우가 있다. 이와 같은 현상이 발생할 경우, 사찰관은 사용후핵연료 다발

수량을 정확히 파악할 수 있을 때까지 반복해서 카메라 거울 방향을 조절하면서 모니터를 통해 사용후핵연료 다발 수량을 파악하고 있다. 따라서 이와 같은 문제점 때문에 Guide Tube 상·하 운동시 Guide Tube Coupling이 Tray에 걸리지 않도록 주의하면서 Guide Tube 회전을 방지하기 위해 사찰관은 항상 Handle을 잡고 조절하여야 한다.

## 2-2. 시스템 설계 특성

사찰현장에서 필요한 사찰장비는 안전성과 재현성을 고려하여 조립/분해가 용이하도록 설계 및 제작되어야 한다. 이와 같은 사찰장비의 설계 특성을 만족할 수 있도록 IAEA 보조 장치의 단점을 보완하여 그림 2와 같은 새로운 보조장치(Supporting and Guiding Tool)를 설계하였다. 그림 2의 보조장치는 시설 특성을 최대한 활용하면서 다음과 같은 설계 특성들을 갖도록 설계되었다.

1. 상·하 운동시 최소 인력으로 동일 조건을 유지할 수 있도록 해주는 Guide Tube 지지대를 Gantry Bar 위에 쉽게 부착할 수 있도록 하였다.
2. Guide Tube Holder를 지지판에 부착하여 상·하 운동시 Guide Tube의 흔들림을 방지할 수 있도록 하였다. 그러므로 Tray Stack의 Z-축 방향 사용후핵연료 다발 끝단(End)에 대한 선명한 영상을 모니터로 받을 수 있다.
3. 검증 지점을 이동할 경우 지지대가 좌·우로 쉽게 슬라이딩될 수 있도록 지지대 상단에 2개의 롤러를 부착하였다.
4. 상·하 운동시 장치의 안전성을 향상시키기 위해 Guide Tube 연결 매듭(Coupling)을 없애 상·하 운동을 용이하도록 하였다.
5. Guide Line을 Guide Tube 표면에 일직선으로 부착함으로써 상·하 운동시 Guide Tube가 회전하는 것을 방지할 수 있도록 하였다.
6. Guide Tube 상단에 Low Limiter를 부착함으로써 Wire 절단시 카메라가 수조 바닥에 떨어지는 최악의 경우를 방지할 수 있도록 하였다.

## 2-3. 검증 절차

사찰관은 지지대를 Gantry Bar 위에 올려놓고 6개의 Guide Tube와 Transparent Tube를 서로 연결하여 수조 속에 넣고 Guide Tube 상단 연결 고리를 크레인 고리에 연결하여 보조장치를 설치한다. 그리고 카메라를 냉각시키고 장치의 오염을 방지하기 위해 깨끗한 물을 Guide Tube 속에 채운 후, 수중카메라를 Guide Tube 속에 넣어 모니터와 연결시킨다. 이와 같이 장치를 설치한 후 카메라 밑부분에 부착된 램프를 켜고 검증하고자 하는 사용후핵연료 다발 끝단의 영상을 얻을 수 있도록 거울 방향을 정확히 조절한다. 사찰관은 이와 같이 Underwater TV Camera System을 설치하고 크레인에 의해 Guide Tube를 상·하로 이동시키면서 Tray Stack에 담겨 있는 Z-축 방향 사용후핵연료 다발 수량을 파악한다.

## 2-4. 기대효과

그림 2에서 보는 바와 같이 월성 원자력 발전소 수조 속에 저장되어 있는 사용후핵연료

다발 수량을 육안으로 파악하는 것은 매우 곤란하다. 그러므로 IAEA는 수중카메라를 Tray Stack 사이에 삽입하여 모니터를 통해 사용후핵연료 다발 수량을 직접 파악하고 있다. 이때, 새로이 설계된 그림 2와 같은 보조장치를 적용한다면 다음과 같은 시스템 개선 효과를 기대할 수 있다.

1. 지지대를 Gantry Bar에 부착함으로써 Guide Tube를 인위적으로 지지하지 않아도 동일한 검증 조건을 유지하면서 신속한 검증활동을 수행할 수 있다.
2. 부착된 Guide Tube Holder가 Guide Tube가 좌·우로 이동하는 것을 방지하므로 조밀하게 저장되어 있는 다른 위치의 사용후핵연료가 촬영되는 것을 방지할 수 있다.
3. Guide Tube 표면에 부착된 Guide Line이 카메라 회전을 방지하므로 모니터 영상 해상도를 향상시킬 수 있다.
4. Guide Tube 상단에 Low Limiter를 부착함으로써 크레인에 연결된 Wire 절단시 카메라 파손을 방지할 수 있어 장치의 안전성을 향상시킬 수 있다.

이와 같은 장점을 갖는 새로이 설계된 수중카메라 보조장치를 사찰현장에 적용할 경우, 필요한 사찰인력과 사찰시간을 최대한 단축할 수 있으므로 보다 효율적으로 사찰활동을 수행할 수 있다. 그리고 한정된 사찰기간 내에 신속한 검증활동을 수행할 수 있으므로 시설 운영자의 사찰지원을 최소화함으로써 시설운영 방해를 최소화 할 수 있다.

### 3. 결 론

각 원자력 시설에 대한 IAEA 사찰활동을 분석하여 국가사찰을 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 보완하는 것이 현시점에서 필요하다. 이와 같이 수중카메라 보조장치를 새로이 설계·제작하여 IAEA 사찰을 효율적으로 지원한다면, 국제원자력 사회에서 우리 나라의 핵투명성과 신뢰도를 향상시키는데 크게 기여할 것이다. 향후, 우리 나라 핵시설 특성에 맞는 보장조치(Safeguards) 방법을 개발하기 위해서는 IAEA 회원국 지원 프로그램(MSSP)에 적극 참여하는 것이 필요하다. 이는 IAEA 회원국으로서 우리 나라 핵주권을 확립하는 것이며 또한, 국가사찰에 필요한 보장조치 기술을 확보할 수 있는 방법이다.

### 참 고 문 헌

- [1] IAEA "Safeguards Criteria (1991-1995)", 1992
- [2] IAEA " The CANDU Course(Session 10 ; Verification of Irradiated CANDU Fuel Bundles (Method K)", 1993.
- [3] R. Arlt, K. H. Czock and D. E. Rundquist, "Overview of the use of CdTe detectors for the verification of nuclear material in nuclear safeguards", NIM A322, p575-582, 1992.
- [4] Y. Kulikov, B. Barnes, "Non-Destructive Assay Verification of CANDU Type Dry Storage Canisters", IAEA-SM-333/80, 1994.

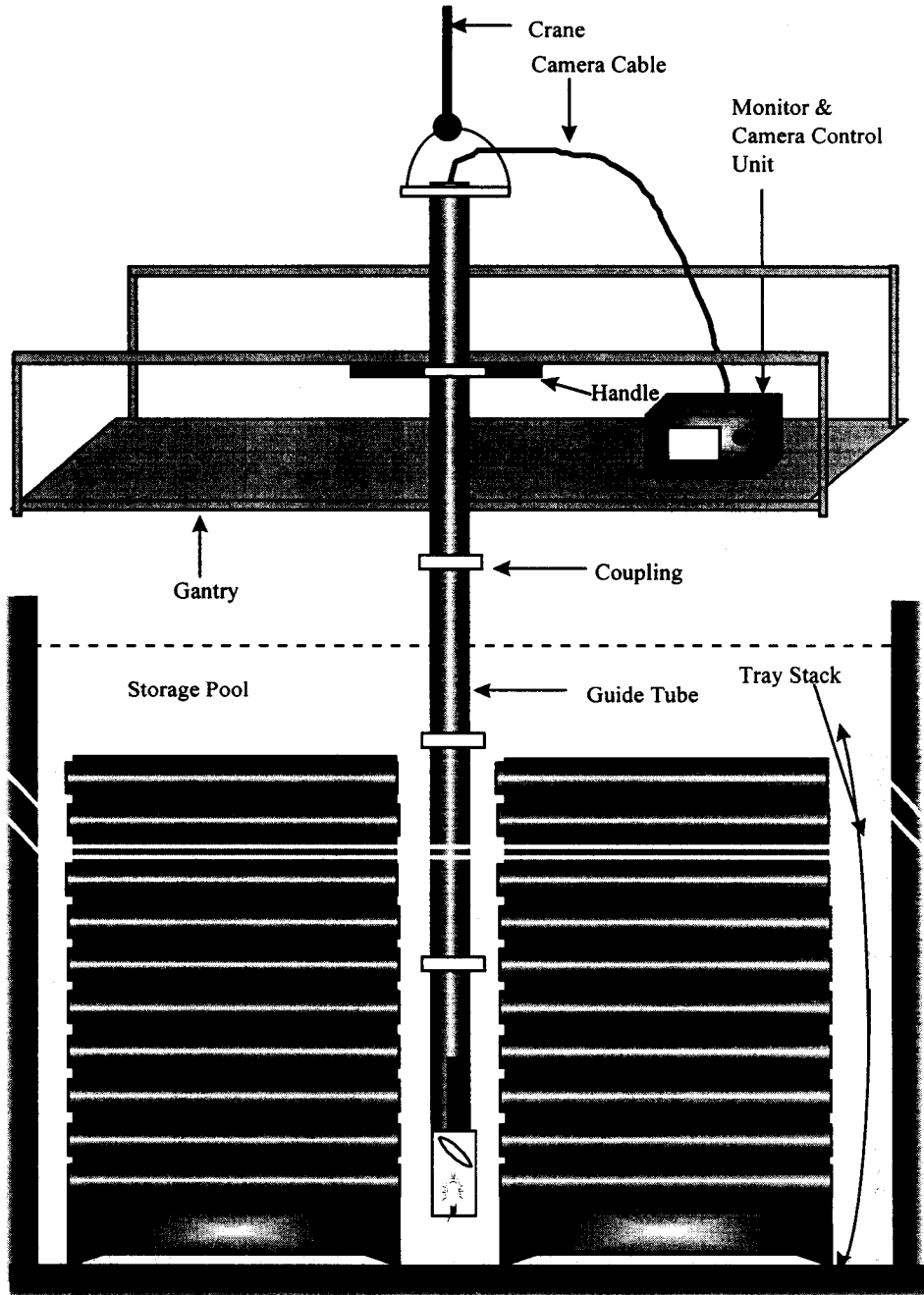


그림 1. 기존의 IAEA 수중카메라 보조장치

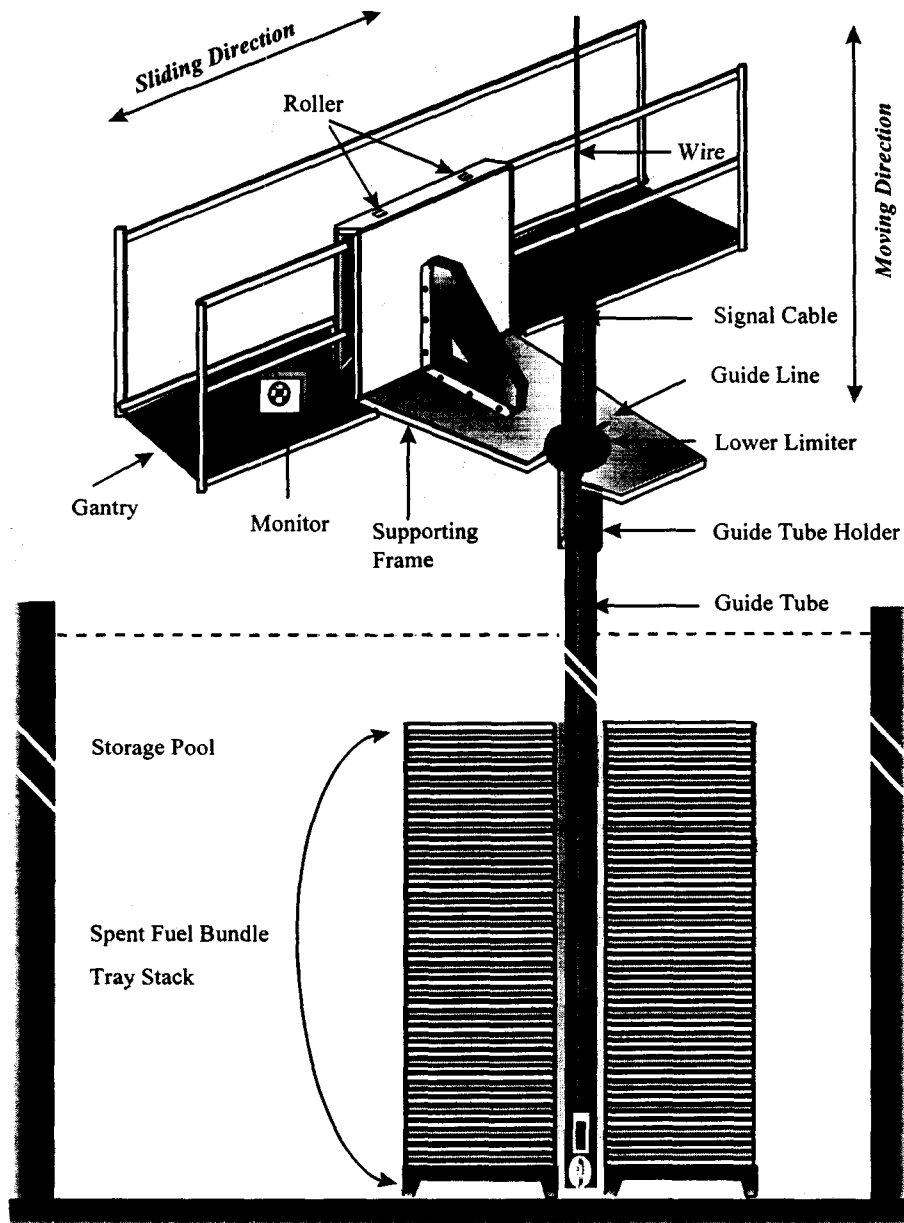


그림 2. 개선된 수중카메라 보조장치