

## CANDU형 사용후 핵연료 다발 일련번호 확인을 위한 육안검사 장치 개발 및 적용

### Development and Application of the Visual Test Instrument for Spent CANDU Fuel Bundle Serial Number Identification

나원우\*, 이영길\*, 윤완기\*, 꺾은호\*, 박승식\*

Won Woo Na\*, Young Gil Lee\*, Wan Ki Yoon\*, Eun Ho Kwack\* and Seung Sik Park\*

**초 록** 월성 1호기 원전의 경우에, 사용후 핵연료 저장조 공간을 확보하기 위해서 약 7년 동안 저장조에서 냉각된 사용후 핵연료를 건식저장조로 매년 이송하고 있다. 연간 2개월이 소요되는 핵연료 이송은 국제원자력기구와 국가의 핵물질 계량 관리검사를 위한 많은 인력과 비용을 필요로 하는 공정이다. 사용후 핵연료 일련번호 확인은 고방사선장인 약 6m 깊이의 저장조속에서 진행되어야 하므로 검사 장비의 유지와 운영이 어렵다. 이 조건에서 CANDU형 사용후 핵연료 다발 일련번호를 확인할 수 있는 장치를 설계·제작하여, 국가 안전 조치 검사현장에 적용하였다. 본 육안검사 장치는 간단한 조작에 의해 수조속의 사용후 핵연료 다발 일련번호를 한정된 검증 시간내에 정확히 읽을 수 있었고, 간편하게 운영될 수 있었다. 안전 조치 검사관은 본 장치를 이용하여 검증 활동을 효과적으로 수행할 수 있는 검사 장비인 것으로 평가되었다. 본 육안검사 장치는 일련번호 확인의 정확성과 재현성 그리고 운영상의 편리성 등에서 기존 장치에 비해 좋은 결과를 보여주었다.

**Abstract** SCAI(spent CANDU fuel bundle serial number identifier) was developed to read serial numbers of spent fuel bundles in the spent fuel storage. For the purpose of effectively identifying the serial number of fuel bundle, SCAI was composed of underwater camera & light part, guiding & supporting part and control & monitor part. So it is easy to assemble and disassemble, and operate. It was tested to read serial numbers of spent fuel bundles loaded in basket during the recent spent fuel transfer campaign at Wolsong Unit 1. And it was also applied to read serial numbers of spent fuel bundles discharging from the initial core at Wolsong Unit 3 by slight change of camera and light. Inspectors could easily operate SCAI after several practices in the storage pond, which was a user friendly. And SCAI provided clear and immediate picture for identification of serial numbers of spent fuel bundles. It was interally evaluated that SCAI greatly contributed to cut inspection efforts for national and international safeguards at Wolsong power plant.

#### 1. 서 론

우리나라는 1995년 1월 5일 개정 공포된 원자력법을 시작으로 1996년 7월 23일 제정 공포된 특정 핵물질의 계량 관리 및 물리적 방호에 관한 검사 규정으로 국가 검사를 실시하는 근거 법령이 완비되었다. 이에 근거하

여 국내의 원자력시설에 대해 1997년부터 국가 핵물질 계량 관리검사를 수행하고 있다. 국제원자력기구는 각 시설 건설 단계부터 이와 관련된 모든 장치를 설치·운영하면서 안전 조치 목적을 효과적으로 달성하고 있다. CANDU (Canada Deuterium Uranium)형 원전의 경우, 국가 안전 조치 검사를 성공적으로 수행하기

위해서는 안전 조치 장치에 대한 개발 및 연구가 선행되어야 한다. 현재, 우리나라에서는 3기의 CANDU형 원전이 운영되고 있고 1999년에 월성 4호기가 상업 운전 시작하는 것을 감안한다면, 향후 국가 안전 조치 검사의 상당량이 4기의 CANDU형 원전에 투입되어야 할 것이다.

천연 이산화우라늄( $UO_2$ )을 핵연료로 사용하고 있는 CANDU형 원전은 PWR (pressurized water reactor)형 원전에 비해 상당량의 안전 조치 검사 요구되는 OLR (on-load reactor)로 분류되어 국제원자력기구의 안전 조치 검사(safeguards inspection)를 받고 있다. 국제원자력기구가 10기 이상의 PWR형 원전에 투입하는 검사 인력과 비용을 1기의 OLR에 투입하고 있을 정도로 CANDU형 원전은 안전 조치 측면에서 민감한 원자력시설로 간주되고 있다. 특히, 우리나라의 CANDU형 원전은 사용후 핵연료 저장조에서 약 7년 동안 냉각된 사용후 핵연료를 건식저장고로 이송하여 저장·관리하는 건식저장법을 채택하고 있다. 연간 약 2개월이 소요되는 핵연료 이송 공정은 반드시 국제원자력기구 및 국가안전조치검사관의 입회하에 이루어져야 한다. 본 연구는 CANDU형 사용후 핵연료 이송 기간에 사용후 핵연료 다발 일련번호를 신속·정확하게 확인할 수 있는 장치를 설계·제작하여 안전 조치 검사 현장에 적용하는데 목적이 있다.

## 2. 국제원자력기구 안전 조치 검사

### 2.1. 육안검사에 의한 안전 조치 검사

국제원자력기구는 핵물질 및 핵물질과 관련된 장비 등이 핵폭발장치로 전용되는 것을 방지하기 위하여 적절한 주기로 안전 조치 대상 핵물질을 검사할 수 있는 안전 조치 기준(safeguards criteria)[1]을 정하여, 이 기준에 의하여 안전 조치 검사를 수행하고 있다. 특히, 가장 정확하고 간단한 육안검사법인 accountancy(일련번호 확인)는 물질 수지 구역(material balance area)내에 검사 대상 핵물질의 존재 유무를 확인하기 위한 목적으로 현장에 적용되고 있다. 신연료의 일련번호는 안전조치검사관이 직접 육안으로 관찰하여 확인할 수 있지만, 고방사선장인 사용후 핵연료 저장조속에 저장되어 있는 핵연료 일련번호를 확인하기 위해서는 이 조건에 적합한 육안검사 장치를 적용하여

야 한다.

국제원자력기구와 국가안전조치검사관은 PWR형 원전의 물자 재고 검사 기간(material balance period)에 시설측의 underwater TV camera를 이용하여 원자로에 장전되어 있는 핵연료 집합체 수량을 확인(method I : item counting)하고, 장전된 핵연료집합체 일련번호를 확인(method A : accountancy)하는 등의 검사 활동을 수행하고 있다. 특히, CANDU형 사용후 핵연료 끝단에 약 20mm 길이로 작게 음각된 일련번호를 약 6m 깊이의 저장조속에서 정확히 확인하는 것은 안전 조치 측면에서 중요한 검증 방법이다. 국제원자력기구와 국가안전조치검사관은 월성 1호기의 사용후 핵연료 이송 기간에 수조 속의 바스켓에 담겨 있는 임의의 사용후 핵연료 다발들을 선정하여 일련번호를 확인해야 한다.

### 2.2. CANDU형 원전에 대한 국제원자력기구 안전 조치 검사

CANDU형 원전은 운전중에 핵연료를 교체하는 on-load 방식을 채택하고 있어서, 매일 신연료 16다발(최대 : 24다발) 정도를 노심에 장전하고 동시에 장전된 만큼의 사용후 핵연료를 reception bay로 방출한다. 운전중에 핵연료를 교체하기 위해서 시설 종사자, 장비, 도구 및 용기 등의 출입이 경수로에 비해 운전중에 빈번히 일어난다. 따라서 CANDU형 원전에서의 핵물질 전용 가능성은 상대적으로 높은 것으로 평가된다. 특히, 천연 이산화우라늄( $UO_2$ )을 핵연료로 사용하고 있어서 CANDU형 핵연료의 단위(질량)당 플루토늄 생성률이 다른 로형의 원전에 비해 훨씬 높다. 국제원자력기구는 정상 운전중에 평균 3500MWD/t의 연소도(burn-up)로 연소된 핵연료 1다발에는 약 42.2g의 플루토늄이 생성될 수 있는 것으로 평가하였다[2].

국제원자력기구는 CANDU형 원전에서 핵물질 전용이 이루어지지 않았음을 검증하기 위하여 CDM(core discharge monitor), SFBC(spent fuel bundle counter), Y/N detector, 그리고 MUX-CCTV 등을 핵물질 전용 경로로 평가되는 곳에 설치하였다. 안전 조치검사관은 CANDU형 신연료 및 사용후 핵연료의 전용 기준[1]에 의해 핵물질 전용을 적시에 탐지할 수 있는 주기로 시설에 설치된 상기 장치의 결과들을 확인하고 관련된 검사 활동을 수행하고 있다[3,4]. 국제원자력기구는 직접핵물질(direct use material)로 분류

되는 CANDU형 사용후 핵연료 120다발에는 1SQ (significant quantity)의 플루토늄이 포함될 수 있는 것으로 평가하였다. 특히, 국제원자력기구 안전 조치 기준은 0.3 SQ 이상의 직접 핵물질을 담을 수 있는 용기의 물질 수지 구역 밖으로의 이동은 안전조치검사관의 입회하에 이루어져야 한다고 명시하고 있다[1].

### 2.3. 사용후 핵연료 이송 기간의 국제원자력기구 안전 조치 검사

월성 1호기 원전은 약 8년 동안의 정상 운전에서 발생하는 사용후 핵연료 45,600다발을 보관할 수 있는 용량의 사용후 핵연료 저장조를 보유하고 있다. 따라서 운영자는 약 7년간 냉각된 사용후 핵연료를 Fig. 1의 절차에 의해 건식저장고로 이송하여 저장조 공간을 매년 확보한다. 운영자는 저장용 선반(용량 : 24 bundles)에 수평으로 놓인 사용후 핵연료를 바스켓(용량 : 60 bundles)에 담아 뚜껑을 닫고, hotcell 내에서 바스켓 내부를 건조시켜 바스켓의 상·하단을 용접한다. 그리고 용접된 바스켓을 이송 용기(flask)속에 넣고 트레일러에 적재하여 건식저장고의 silo(용량 : 9 baskets, 540 bundles)로 이송하여 저장·관리한다 [2].

사용후 핵연료 이송 기간에 안전조치검사관은 검사 기준에 의해 바스켓에 담긴 임의의 사용후 핵연료 다발을 선정하여 다음의 검사를 수행한다[2]. 첫째, 안전 조치 검사관은 주변 사용후 핵연료의 방사선 영향이 없는 위치에 설치된 방사선 계측기를 이용하여 임의로 선정된 핵연료를 측정하여 사용후 핵연료 진위 여부를 파악한다. 둘째, 안전 조치 검사관은 바스켓에 담겨있는 임의로 선정된 사용후 핵연료 다발 일련번호를 확인하여 시설운영자가 제시한 핵연료 일련번호 목록과 일치하는지 여부를 확인한다. 그동안 국제원자력기구 안전 조치검사관은 underwater telescope를 저장조 물 표면에 닿도록 설치하여 6m 깊이의 수조속에 놓여 있는 사용후 핵연료 일련번호를 확인하였다. 그러나 underwater telescope을 이용하여 6m 거리에 있는 20mm 크기의 일련번호를 육안으로 확인하는 것은 매우 어려운 검증 활동이다. 특히, underwater telescope은 고정 설치할 수 없는 장치여서 검증 활동의 재현성이 없어서, 안전조치검사관은 반복해서 장치의 초점을 조절하면서 일련번호 확인 작업을 수행해야 한다. 이 장치는 검사 결과를 공유할 수 없기 때문에 국가 안전조치검사관은 상기 작업을 별도로 수행하여 국가 안전조치검사 목적을 달성해야 한다. 셋째, 사용후 핵연료 저장용기인 바스켓은 사용후 핵연료 60다발(0.5

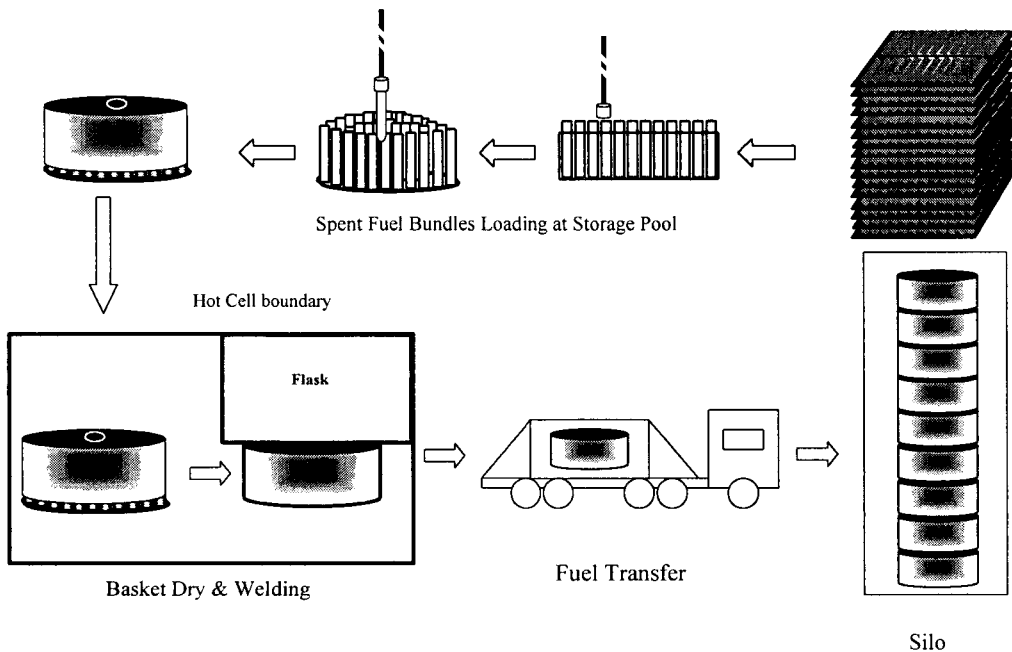


Fig. 1 Schematic drawing of spent CANDU fuel bundle transfer

SQ)을 담을 수 있어서 안전조치검사관은 사용후 핵연료 이송 기간에 현장에서 바스켓의 이동을 직접 검증해야 한다. 상기의 검사 활동으로 인해 월성 1호기의 사용후 핵연료 이송 공정은 국제원자력기구 및 국가 안전조치 검사의 상당량을 요구하는 민감한 공정이다.

### 3. SCAI 장치 개발

#### 3.1. 장치 용도

본 연구에서는 다음의 두 가지 안전 조치 검사 목적에 적합한 CANDU형 사용후 핵연료 다발 일련번호 확인장치(SCAI : spent CANDU fuel bundle serial number identifier)를 설계·제작하였다 [5]. 첫째, SCAI는 수조속의 바스켓에 담겨 있는 사용후 핵연료 60다발 각각을 수직방향에서 시준하여 일련번호를 간단히 확인할 수 있어야 한다. 둘째, CANDU형 원전에서 타고 나온 사용후 핵연료들은 reception bay에서 저장용 선반에 수평 방향으로 놓여 저장된다. 운영자가 수평으로 놓여 있는 핵연료 끝단을 SCAI 촬영부에 접근시켰을 경우에, SCAI 장치는 핵연료 끝단을 수평방향에서 시준하여 일련번호를 정확히 확인할 수 있어야 한다.

#### 3.2. 장치 설계 조건

SCAI 장치는 기존 국제원자력기구의 underwater telescope를 대체할 수 있을 정도로 일련번호를 정확히 확인하고, 안전조치검사관이 시설물에 간단히 설치하여 편리하게 사용할 수 있어야 한다. SCAI 장치는 시설운영자가 fuel loading 작업을 지속적으로 수행할 수 있도록 작업 영역밖으로 안전하게 이동하여 운영자의 작업 방해 최소화할 수 있어야 한다. SCAI 장치는 고방사선장인 약 6m 깊이의 사용후 핵연료 저장조속에서 장기간(약 2개월) 사용하기 위해 다음의 조건들을 만족하는 요소들로 구성되었다[5].

첫째, 고방사선장인 수조속에서 장기간 정상적으로 작동해야 하는 촬영부는 내방사선과 방수 조건을 충분히 만족시키는 수중카메라와 라이트로 구성되었다. SCAI 장치의 카메라(모델: R93, 제조회사: Bees Instruments Ltd., 제원 : 직경: 40.5mm, 무게: 1.25kg)는  $2 \times 10^8$  rads의 총흡수선량(total dose rate)과  $3 \times 10^6$  rads의 시간당 흡수선량(dose rate per

hour)의 내방사선을 갖고 있다. 수조속에서는 browning 현상이 카메라 렌즈에 발생하여 피사체 촬영을 방해하기 때문에, 20m 깊이의 수압을 견딜 수 있는 non-browning vidicon lens로 된 3:1 zoom body가 카메라에 사용되었다. 시설 라이트를 사용할 수 없는 최악의 조건에서 충분한 밝기를 내기 위해 라이트는 2개의 외장형 라이트 전구(150W)로 구성되었다.

둘째, CANDU형 핵연료 다발 끝단에 아주 작게 음각된 일련번호를 먼 거리에서 정확히 시준하기 위해서는 카메라 렌즈와 피사체간의 거리를 원격 조절할 수 있는 기능이 요구된다. 카메라에 사용된 zoom lens는 초점 거리가 50mm~infinity로서 8mm에서 24mm까지 zooming 하면서 적절한 크기로 피사체를 촬영하여 모니터상에 나타낼 수 있다. SCAI 장치의 라이트는 수조속의 밝기 정도에 따라 밝기를 원격 조절할 수 있다.

#### 3.3. 장치 설계 및 제작

##### 3.3.1. 초점 거리 설정 직경

100mm인 CANDU형 사용후 핵연료 다발 끝단에 작게 음각된 일련번호의 총길이는 20mm이다. 일련번호 영상이 9인치 모니터 화면의 50% 영역에 나타날 경우에, 작게 음각된 일련번호를 정확히 확인할 수 있다. 이 조건을 충족하기 위해 피사체인 일련번호의 총길이를 30mm( $20\text{mm} + 20\text{mm} \times 0.5$ )로 하여 초점 거리를 다음과 같이 계산하였다. 장치에 적용된 R93 카메라 렌즈의 초점 이동 거리는 8~24mm이다. 이 경우에 피사체와 카메라와의 거리 L, 피사체의 높이 H, 카메라 렌즈의 초점 이동 거리 f를 이용하여 핵연료 끝단이 카메라에서 얼마만큼의 거리에 놓여야 일련번호 영상이 모니터 화면의 50% 영역에 나타날 수 있는지를 계산할 수 있다. 이때, 사용된 공식은 다음과 같다.

$$f = \frac{6.6 \times L}{h \times 1.33} \Rightarrow L = \frac{1.33 \times f \times h}{6.6}$$

여기서,

6.6 : 카메라내에 장착된 센서(nonbrowning vidicon lens)의 수직축 높이

1.33: 공기중의 계산 방법과 수중에서의 계산 방법이 상이하므로 이를 보정하기 위한 상수값

f : 카메라 렌즈의 초점 이동 거리(8~24mm)

상기 공식에 의한 피사체와 카메라간의 초점 거리

$$L = \frac{1.33 \times f \times h}{6.6} = \frac{1.33 \times (8 \sim 24) \times 30}{6.6}$$

= 48.36mm ~ 145.1mm 이다.

식에 나타난 바와 같이, 카메라 렌즈에서 약 150mm 정도의 초점 거리에 CANDU 핵연료 끝단이 위치할 경우에, 일련번호가 모니터상에 선명하게 나타날 수 있는 카메라와 피사체간의 정렬 조건이다.

3.3.2. 장치 구성

Fig. 2(A)는 월성 1호기의 사용후 핵연료 이송 기간에 수조속의 바스켓에 담겨 있는 사용후 핵연료 다발 일련번호를 확인할 수 있도록 SCAI 장치를 시설구조물에 설치한 모습을 나타낸 것이다. SCAI 장치는 안전 조치 검사관이 지지판 상단에 부착된 회전자와 수조속의 turn table을 조절하여 바스켓에 담겨 있는 사용후 핵연료 60다발 각각을 정확히 시준할 수 있도록 설계·제작되었다. 그리고 SCAI 장치는 안전조치검사관이 선정한 사용후 핵연료 일련번호를 짧은 시간내에 정확히 촬영하여 모니터상에 선명하게 나타낼 수 있다. 이때, 국제원자력기구와 국가안전조치검사관, 그리고 시설운영자 등이 모니터상에 나타난 일련번호를 동시에 확인하여 검사 결과를 공유할 수 있다.

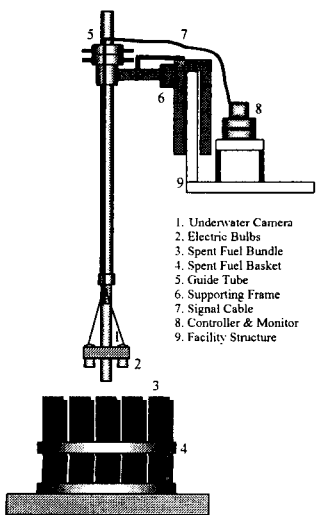


Fig. 2 (A) SCAI installed in storage pond

Fig. 2(B)는 CANDU형 원전에서 타고 나온 사용후 핵연료 다발 일련번호를 reception bay에서 확인하기 위해 SCAI 장치를 시설에 설치한 모습이다. 운영자는 신연료를 장전하면서 반대 방향에서 방출되는 사용후 핵연료 다발을 cart에 싣고 reception bay로 방출하여 저장용 선반에 옮겨 놓는다. 안전조치검사관은 카메라와 라이트가 수평 방향으로 조립된 촬영부를 cart와 선반 사이의 저장조 바닥에 내리고 SCAI 장치를 시설구조물에 설치한다. 운영자가 cart에서 선반으로 사용후 핵연료를 이동시킬 때 핵연료 끝단을 촬영하여 일련번호를 확인한다.

SCAI 장치는 두 지점에서의 안전 조치 검사 목적을 효과적으로 달성하기 위해 Fig. 3의 요소로 구성되었다. 첫째, 수조속에서 일련번호를 정확히 촬영하는 Fig. 3의 촬영부는 두 지점에서의 검사 목적에 따라 카메라와 라이트의 조립 방향과 각도를 달리 할 수 있도록 설계되었다. 둘째, 촬영부를 수조속의 검증 지점까지 접근시켜 주고, 바스켓에 담겨 있는 임의의 사용후 핵연료 끝단을 정확히 시준할 수 있도록 조절하고, 그리고 검사 기간 동안 장치를 안전하게 지지해 주는 지지부이다. Fig. 3의 지지부는 조립·분해가 용이하며, 카메라와 피사체간의 거리를 항상 일정하게 유지하도록 설계되었다. 셋째, 지지부에 의해 수조속에서 촬영부가 촬영한 영상이 나타나는 모니터, 카메라와 라이트 기능을 원격 조절하는 콘트롤러로 구성된 제어부이다. 안전 조치검사관은 모니터상에 나타난 영상을 보면서 카메라

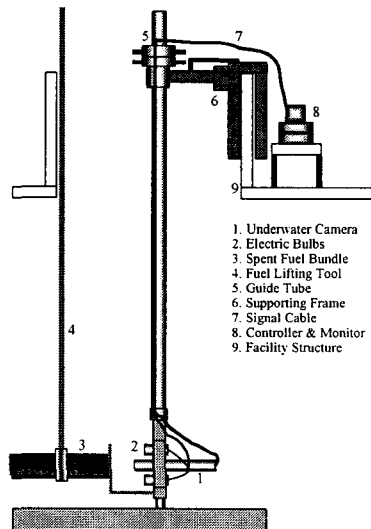


Fig. 2 (B) SCAI installed in reception bay

의 줌(zoom)과 매크로(macro) 기능을 조절하고, 최적의 조건이 되도록 라이트 밝기를 조절하여 선명한 일련번호 영상을 얻는다. 이때, 안전조치검사관은 모니터 상에 나타난 일련번호를 확인하여 시설운영자가 제시한 선반별 사용후 핵연료 다발 일련번호 목록과 대조하는 검사 활동을 수행한다.

#### 4. 현장 적용 및 결과

검사관은 SCAI 장치의 주요 구성 요소인 카메라와 라이트를 검사 대상 사용후 핵연료가 놓인 조건에 맞게 촬영부 아답터에 부착시킨다. 일련번호 영상이 모니터 상에 선명하게 나타나도록 약 150mm의 초점 거리에 위치한 피사체 중심에 라이트 빛이 최적의 조건으로 비칠 수 있도록 라이트 각도를 공기중에서 조절한다. 만일, 카메라와 라이트 조립 각도가 조건에 어긋나게 되면 빛 반사에 의해 선명한 영상을 얻을 수 없다. 조립된 촬영부를 가이드 튜브로 연결하여 수조속의 사용후 핵연료에 접근시키고, 장치를 지지부에 안전하게 고정시킨다.

SCAI 장치는 1998년에 있었던 2개월간의 월성 1호기 사용후 핵연료 이송 기간에 수조속의 바스켓에 담겨 있는 사용후 핵연료 60다발 각각을 정확히 시준할 수 있도록 설치되었다. 국제원자력기구와 국가안전조치검사관은 시설에 설치된 SCAI 장치를 이용하여 임의의 사용후 핵연료 다발을 촬영하여 Fig. 4의 일련번호 영상을 얻었으며 또한, 다음과 같은 현장 적용 결과를 얻었다. 첫째, 시설 구조물에 안전하게 설치된 SCAI 장

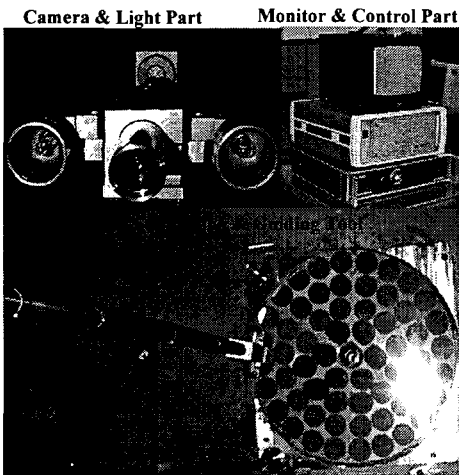


Fig. 3 SCAI Components

치는 시설운영자의 작업을 방해하지 않고 간단한 동작에 의해 편리하게 사용될 수 있어 검사 장비로서 편리성을 갖고 있다. 둘째, SCAI 장치는 수조속의 바스켓에 담겨 있는 사용후 핵연료 60다발 각각을 정확히 시준할 수 있고, 한번 설정된 초점 거리에 의해 짧은 시간 내에 일련번호를 확인할 수 있으므로 검사 장비로서 재현성을 갖고 있다. 셋째, 국제원자력기구와 국가안전조치검사관, 그리고 시설운영자가 모니터상에 나타난 일련번호를 동시에 확인할 수 있으므로, SCAI 장치는 검사의 투명성을 갖고 있고 안전 조치 검사 결과를 공유할 수 있는 것으로 평가되었다. 넷째, SCAI 장치는 시설운영자가 fuel loading 작업을 수행하는 동안 짧은 시간내에 일련번호를 촬영하여 모니터상에 나타낼 수 있어서 안전조치검사관이 일련번호 확인을 매우 효율적으로 할 수 있도록 하였다. 특히, SCAI 장치는 기존의 underwater telescope 장치에 비해 검사 시간을 상당히 절감시킬 수 있으므로 사용후 핵연료 이송 기간의 검증 활동에 필요한 검사 인력 및 비용 등의 절감 효과를 가져올 수 있는 것으로 평가되었다.

#### 5. 결 론

1998년 월성 1호기의 사용후 핵연료 이송 기간에 SCAI 장치를 현장에 적용하여, 본 장치가 국제원자력기구 안전 조치 기준의 검사 목적을 효과적으로 달성할 수 있는 검사장비인 것으로 평가되었다. 국제원자력기구 안전 조치 검사를 지원하고, 동시에 국가 안전 조치 검사 목적을 달성하기 위해 설계·제작된 SCAI 장치는 국제원자력기구의 기존 장치(underwater telescope)에 비해 검사 장비로서 편리성과 재현성, 그리고 일련번호 확인의 정확성 등에서 우수한 것으로 평가

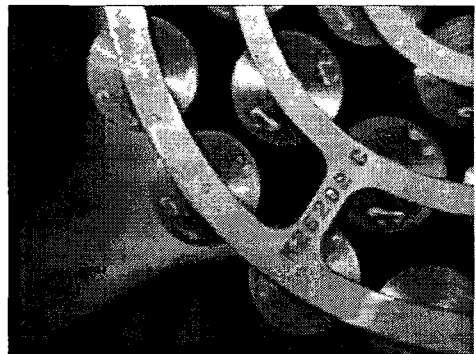


Fig. 4 Serial number taken by SCAI

되었다. 향후, SCAI 장치는 안전 조치 검사 장비로서 국제원자력기구 인증(authentication)을 받을 경우 국제원자력기구와의 장비 공유를 위한 토대를 마련할 것으로 기대된다. 상기의 현장 적용 결과를 갖고 있는 SCAI 장치는 검사 장비로서 국제원자력기구 안전 조치 활동을 투명하게 지원할 수 있었다. 특히, 본 장치는 핵연료의 일련번호를 효율적으로 확인할 수 있어 핵연료 이송 기간의 검증 활동에 필요한 검사 인력과 비용을 절감할 수 있는 것으로 평가되었다. 따라서 본 연구의 SCAI 장치 개발은 원자력산업에 대한 우리나라의 핵투명성을 높이는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- [1] IAEA, "Safeguards criteria 1991-1995", (1994)
- [2] IAEA, "Verification of spent fuel bundle transfer from spent fuel bay to dry storage at Wolsong-1", (1996)
- [3] IAEA, "The CANDU course(Session 10 : verification of irradiated CANDU fuel bundles (Method K)", (1993)
- [4] 이재성 외, "CANDU 사용후 핵연료에 대한 안전 조치 접근방법", '97 추계 원자력학회 논문집, pp. 681-686, (1997)
- [5] 박은호 외, "원자력통제기술센터 운영사업, 사찰 기술분야", KAERI/MR-306/97, (1997)