

2004 춘계학술발표회 논문집

원자력학회

CANDU 사용후연료 이송검사정보 시스템 개발

A System Development for the Spent Fuel Transfer Inspection Information in CANDU Power Plant

전인, 박수진, 민경식, 최영명

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

CANDU형 발전소는 습식 저장소에서 건식 저장조로 사용후연료 이송 캠페인이 매년 한 호기 당 약 2.5개월 동안 수행되고 있다. 현재 이송 캠페인이 월성 1호기에서 수행되고 있으나 금년에 월성 2호기를 시작으로 2006년까지 월성 발전소 4기에 대한 이송 캠페인이 수행될 것으로 예측되고 있다. 이에 따라 이때 발생하는 검사정보를 체계적으로 관리할 수 있는 검사정보 시스템이 필요하게 되었다. IAEA와 TCNC는 이송 캠페인에 대해 다년간의 검사경험을 축적하고 있지만 관련 정보의 관리는 현장에서 직접 작성한 파일에 의존하여 왔다. 따라서 이러한 정보를 효율적으로 관리하여 필요시 신속하게 검색 및 관리할 수 있는 검사정보관리 시스템이 필요하게 되었다. 본 논문에서는 이러한 이송검사 정보를 Web을 통하여 효율적으로 검색 및 관리할 수 있도록 intra-net을 이용하여 개발하였다.

Abstract

Due to the unique character of the CANDU reactor, a transfer campaign has been carried out every year for 2.5 month or so in Wolsong unit 1. It is expected to require performance of the transfer campaign for 4 units of Wolsong site in 2006 and more than 50% of the ROK safeguards inspection efforts. The IAEA and TCNC have gained several years of experience in Safeguards approach during transfer campaign. But, the information control depends on the file that written in manual at the field. So, the information system can control

this type of transfer information has been required. In this theses, the spent fuel transfer information system for CANDU plant was developed and this system can control and retrieve that via web browser in their intra-net.

1. 서론^{[1][2][3][4]}

월성 원자력 발전소는 가동중 핵연료를 교체하는 CANDU 원자로의 고유한 특성에 따라 안전조치 측면에서 관심의 대상이 되어왔다. 현재 가동 중인 월성 원자력 발전소에서는 호기 당 매일 2~3 채널(16~24다발)의 신 연료가 노심으로 장전되고 동시에 노심으로부터 동일한 양의 사용후연료가 discharge bay로 방출되고 있다. 이러한 특성에 따라 많은 양의 사용후연료가 정상가동 중에 습식 저장조인 사용후연료조에 저장되고 있다. 월성 원전의 사용후연료 습식 저장고는 약 10년 동안 방출되는 사용후연료를 저장할 수 있는 용량으로 설계되어 있다. 현재 사용후연료는 습식 저장조에서 7년 이상 냉각된 후 건식저장고인 캐니스터로 이송되어 보관되고 있다.

안전조치 측면에서 CANDU와 다른 형태 원자력발전소의 주요 차이점 중의 하나는 CANDU는 상업 운전이 시작된 후 대략적으로 7~10년이 지나면 사용후연료 이송 캠페인이 시작된다는 것이다. IAEA 안전조치 기준에 따르면, 월성 원자력 발전소의 사용후연료가 장기 저장고인 캐니스터에 이송, 저장될 경우에는 이를 접근이 어려운 지역(difficult to access)으로 분류한다. 즉 가장 엄격한 안전조치 기준을 적용하여 전 이송 과정에 대해 사찰관의 현장 검증과 아울러 캐니스터에 저장된 연료에 대해 이송 격납 및 감시 체제하에 두고 있다.

국내에는 현재 4기의 CANDU 원자로가 가동 중에 있다. 월성1호기는 1982년 가을에 가동에 들어갔으며, 첫 번째 사용후연료 이송 캠페인은 1992년 여름부터 시작되었다. 그때 이후 사용후연료 이송 캠페인은 매년 약 2.5개월 동안 수행되어 오고 있다. 한편, 월성 원자력발전소 2호기의 사용후연료 이송 캠페인은 금년부터, 3호기는 2005년 그리고 2006년에는 월성원자력 4호기에 대한 이송 캠페인이 시작될 예정이다.

이와 함께 이송검증에 대한 관련정보 관리는 과거에는 손으로 작성된 file을 가지고 관리하였고 최근까지 이러한 방법으로 사용후연료 이송 검증 정보를 보관하여 왔다. 따라서 건식 저장고를 검사하거나 과거 검사관련 정보를 조회하거나 참고할 때 이의 이용이 매우 불편하고 체계적인 관리가 되지 않아 관련 정보에 쉽게 접근할 수 있는 방법이 관련 file을 찾는 수준에 불과하였다. 앞으로 4기의 발전소에서

사용후연료 이송이 발생하면 관련 정보의 양 또한 급격하게 증가하고 이를 체계적으로 관리할 수 있는 정보관리 시스템이 절실히 필요하게 되었다.

2. 본 론

2.1 사용후연료 이송공정 및 관련 정보

월성원전 1호기는 1992년부터 사용후연료 이송공정을 매년 실시하고 있으며 IAEA 및 국가 검사관은 이송공정 기간에 현장에 상주하며 검증활동을 수행하고 있다. 월성 2호기 역시 금년부터 사용후연료를 이송하면서 관련 정보를 관리하여야 한다. 이 공정은 3, 4호기에서도 연차적으로 진행될 것이다. 그러므로 월성 전호기에서 핵연료 이송공정을 해야 하는 2006년부터는 이를 관리하여야 할 정보가 급격히 증가할 것이 예상된다. 그림 1은 CANDU형 발전소의 사용후연료 이송공정을 보여주고 있다. 이송공정에 대한 검사활동은 다음의 절차에 의해 진행된다. 특히 사용후연료는 Difficult To Access 한 영역인 건식저장고로 이송되어지기 때문에 이송 전에 사용후연료의 품목계수, 일련번호확인, 그리고 대량/부분결손(Gross and Partial Defects)에 대한 높은 탐지확률 (90%)의 비파괴 검증을 수행하고 이를 기록한다.

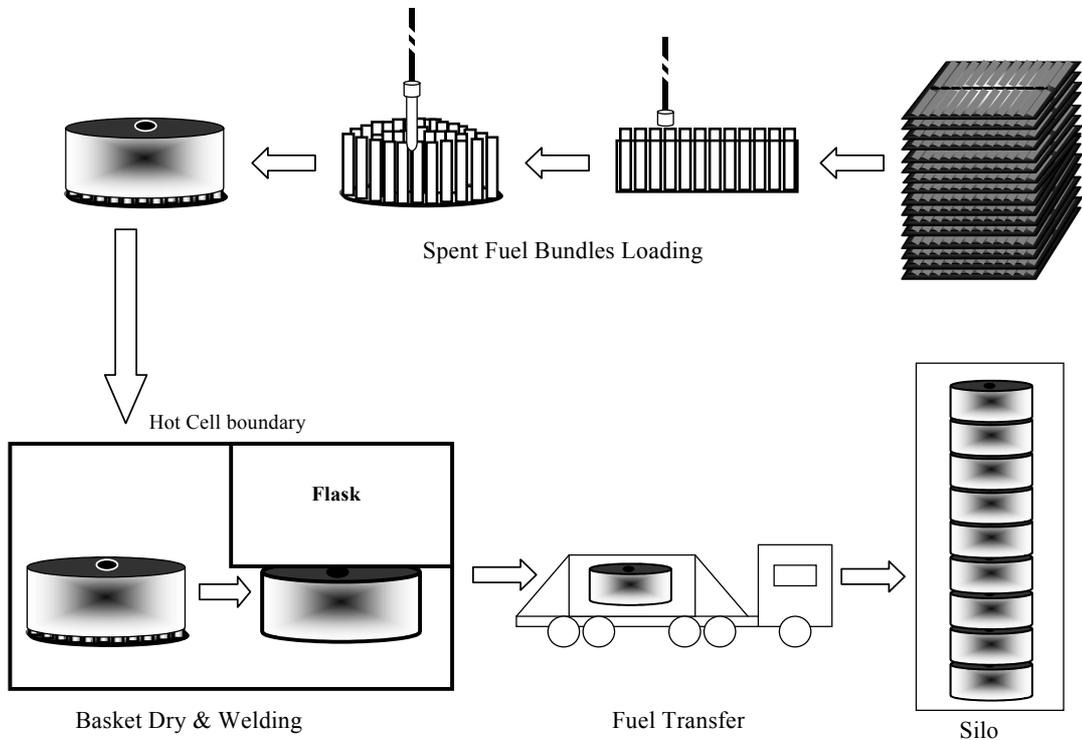


그림 1. CANDU형 발전소의 사용후연료 이송공정^[1]

2.2 핵연료 Loading 작업에 대한 검증정보

작업자가 빈 바스켓을 작업구역 안으로 내려놓기 전에 검사관은 바스켓 일련번호를 확인하고 그 정보를 기록한다. 작업자는 이송대상 핵연료 선반을 작업구역으로 이동하여 사용후연료 60다발을 바스켓에 장전한다. 이때 검사관은 60개의 연료에 대해 임의로 2개 연료를 선정하여 일련번호 확인 및 비파괴 검증하여 관련 정보를 기록하고 이상이 없을 시에 작업자가 바스켓 뚜껑을 닫을 수 있도록 한다. 검사관은 뚜껑이 닫힌 바스켓이 건조/용접구역으로 제대로 들어갔는지를 확인하고 그 일자과 시간 등 관련 정보를 기록한다. 만일, 현장을 떠날 시에는 사용후연료 저장조 밖으로 핵연료가 담긴 바스켓이 반출되지 않도록 하기 위해 바스켓을 용접구역으로 들어 올리는 Grapple에 봉인을 하고 떠난다. 그리고 작업현장에 돌아와서는 설치된 봉인의 건전성을 확인하여 핵물질 전용이 없었다는 것을 확인하고 다음 공정이 진행되도록 한다. 이때 봉인이 설치된 장소 및 시간 봉인의 형태 등에 관련된 정보를 기록한다.[그림 2]

TCNC Technology Center Nuclear Control

Carister Id: W1-1085

Basket Id.		W1-1085		MBA Code	HOP1		검사일	
Period		Ins	2009-11-15	검사일				
No.		이송 일자 및 작업내용	일시	확인	비고	Other Information		
A1	Basket 진입 및 노 확인	2009-11-15	O.K.	13:56	Tray 확인	Bundle 검출 (PWCC C)		
A2	Basket pool 내 작업대로 이동	2009-11-15	O.K.	14:20	Number	Code	Id	PWCC
B1	첫번째 1/2tray 적재	2009-11-15	O.K.	14:36	K-215	A	H80478	21.7
B2	두번째 1/2tray 적재	2009-11-15	O.K.	14:45		C	H581341	25.0
B3	세번째 1/2tray 적재	2009-11-17	O.K.	09:25	K-244	A		
B4	네번째 1/2tray 적재	2009-11-17	O.K.	09:49		C	H581194	
B5	다섯번째 1/2tray 적재	2009-11-17	O.K.	10:17	K-553	A		
C1	핵연료운반 수량 및 위치를 확인	2009-11-17	O.K.	13:06	특기사항			
C2	Basket 이동 및 건조/봉인시 노 확인	2009-11-17	O.K.	13:43				
C3	Rack에 Basket 적재	2009-11-17	O.K.	14:39				
D1	Truck에 Rack 적재 및 이동	2009-11-17	O.K.	14:45				
D2	Carister 내 Basket 적재	2009-11-17	O.K.	15:15	Carister 내 위치 확인	Carister Id.	W-34	

Save Delete Reset

그림 2 사용후연료 loading 정보관리 화면

2.3 바스켓 Dry & Welding 작업에 대한 검증정보

60개의 사용후연료 다발이 장전된 바스켓이 검사관에 의해 검증되고 Dry & Welding 용 Hot-cell로 이동되어 완전 건조된 후에 바스켓의 상/하단이 원격용접되어 밀봉된다. 검사관은 용접과정에서 바스켓 상단에 새겨진 바스켓 일련번호를 최종 확인하고 일자 및 시간을 기록한다. 만일 용접된 바스켓이 건식저장고로 즉시 이송되지 않을 경우 검사관은 Dry & Welding 용 Hot-cell 상단에 놓여 있는 Flask에 봉인을 하여 COK를 유지한다.[그림 3]

Canister Block 1						
No.	Basket Id	Date	M(kg)	DU(kg)	Pu(kg)	Remarks
1/9	WI-0975	2002-12-24	1,130.319		4,070.6	
2/9	WI-0991	2002-12-24	1,131.79		4,043.1	
3/9	WI-1002	2002-12-26	1,132.806		4,036.5	
4/9	WI-0996	2002-12-26	1,132.988		4,096.3	
5/9	WI-1007	2002-12-26	1,131.279		4,147.1	
6/9	WI-1025	2002-12-27	1,130.2		4,071.7	
7/9	WI-1003	2002-12-27	1,132.879		4,100.7	
8/9	WI-1026	2002-12-27	1,130.775		4,062.4	
9/9	WI-1049	2002-12-28	1,130.966		4,122.4	
Total			10,191.796	0	38,739.8	

그림 3 basket 정보관리 화면

2.4 바스켓 이송 작업에 대한 검증정보

작업자는 용접된 바스켓을 담은 차폐 수송용기 (Flask)를 트레일러에 적재하여 건식저장고로 이동해 해당 캐니스터에 저장한다. 검사관은 핵연료 이송경로를 직접 추적하고 캐니스터에 저장되는 전 과정을 현장 확인하고 관련 정보를 기록한다. 작업자는 빈 캐니스터에 바스켓을 저장하고 상단에 임시 End Plug로 닫는다. 이때 검

사관은 이 End Plug에 임시 봉인을 부착하여 핵물질 전용이 없었다는 것을 확인하고 봉인번호, 부착일자 및 시간 등의 정보를 기록한다. 이런 이송절차에 의해 9개 바스켓이 캐니스터에 모두 장전되면 작업자는 영구 End Plug로 닫고 Cover를 씌운다. 이때 검사관은 이중 봉인을 설치하여 저장된 사용후연료를 Difficult To Access 한 것으로 관리하기 시작하게 된다. 이런 과정에 의해 이송공정이 마무리되면 검사관은 새로이 이송된 캐니스터에 대한 방사능Finger Print를 확보한다. 이는 건식저장고에 대한 재검증이 필요할 경우에 결과를 대조하여 동일한지 여부를 확인함으로써 핵물질 전용이 없었다는 것을 확인하는 중요한 정보가 된다.[그림 4]

The screenshot shows a web browser window displaying the 'Canister List' page of the Technology Center Nuclear Control (TCNC). The page includes a search filter for the year '2003' and a table of canister data. The table is organized into sections for different canister types (KOFI, A-33, B-33, C-33, E-33, B-34, C-34, D-34, E-34) and lists various attributes for each.

KOFI					
Canister Id.	A-32	B-32			
Transfer	2003	2003			
Seal Id.	0001C9C9E8	0001D9C029			
Seal Date.	2003-10-02	2003-09-30			
Nu-kg	0	0			
Pu-kg	0	0			
Du-kg	0	0			
A-33, B-33, C-33, E-33					
Canister Id.	A-33	B-33	C-33	E-33	
Transfer	2003	2003	2003	2003	
Seal Id.	109999	0001D9F902	000120209	0001C96207	
Seal Date.	2003-11-04	2003-10-23	2003-10-23	2003-10-02	
Nu-kg	0	0	0	0	
Pu-kg	0	0	0	0	
Du-kg	0	0	0	0	
B-34, C-34, D-34, E-34					
Canister Id.		B-34	C-34	D-34	E-34
Transfer		2003	2003	2003	2003
Seal Id.		00-0109-ADAC	00-0109-BC00	00-0109-D894	109F03
Seal Date.		2003-11-21	2003-11-21	2003-11-17	2003-11-08
Nu-kg		0	0	0	0
Pu-kg		0	0	0	0
Du-kg		0	0	0	0

그림 4 Canister 정보관리 화면

2-5 시스템 구성

사용후연료 이송 검사를 위한 기본 정보로는 이송 대상이 되는 핵연료의 일련번호, 사용후연료를 담은 basket 정보 및 basket이 저장될 canister정보 및 각 과정에 COK 유지를 위한 봉인 설치 및 제거 정보가 필요하다. 각각의 정보구성은 다음과

같이 설계하였다.

○ 캐니스터 정보(Canister Information) : 시설코드, Canister ID, 저장시작일, 저장종료일, 검사관, 검사원, 확인일의 기본 정보와 각각의 9개에 해당하는 basket의 저장일자, 핵물질 종류 및 무게, 용접작업일시, finger print 등의 정보 관리.

○ 바스켓 정보(Basket Information) : 사용후연료를 담고 용접하여 이송할 basket 정보에는 basket id, 반입일, pool로의 이동일, 적재 tray의 정보, 연료 일련번호 확인정보, 비파괴 검증정보, loading 시작일 및 종료일, 검사관, 검사원, 저장될 canister 정보 및 위치 등.

○ 봉인관련 정보(Seal Information) : 봉인부착연도, 이송주간, 시설코드, 확인일, 검사관 및 검사원 정보와 작업의 종류, 봉인 위치, 봉인 검사형태, 일자, 시간, 봉인번호 및 검사원 정보 등.

위의 각 정보들은 기본적으로 행위가 일어난 구체적인 일자와 관련 정보를 기록할 수 있도록 구성되었다[표 1].

종 류	내 용
캐니스터 정보	시설코드, Canister ID, 저장시작일, 저장종료일, 검사관, 검사원, 확인일의 기본 정보와 각각의 9개에 해당하는 basket의 저장일자, 핵물질 종류 및 무게, 용접작업일시, finger print
basket 정보	사용후연료를 담고 용접하여 이송할 basket 정보에는 basket id, 반입일, pool로의 이동일, 적재 tray의 정보, 연료 일련번호 확인정보, 비파괴 검증정보, loading 시작일 및 종료일, 검사관, 검사원, 저장될 canister 정보 및 위치
봉인 정보	봉인부착연도, 이송주간, 시설코드, 확인일, 검사관 및 검사원 정보와 작업의 종류, 봉인 위치, 봉인 검사형태, 일자, 시간, 봉인번호 및 검사원 정보

표 1. 정보의 종류 및 범위

2.6 시스템 개발

사용자들이 시스템에 직접 만날 수 있는 인터페이스(interface)를 개발하는 것으로 가능하면 사용자들이 친숙한 보고서양식을 그대로 구현하는 것이 좋다. 또한 사용자의 pc 환경에 관계없이 프로그램을 개발할 수 있고 프로그램을 모든 사용자의 pc에 직접 설치함이 없이 응용 프로그램 서버에 한번 설치함으로써 유지보수의 노력을 대폭 줄일 수 있는 인트라넷 방식으로 개발하는 것이 좋다. 개발에 사용될 도구에는 여러 가지가 있으나 표 2와 같은 사항을 고려하여 Java, JSP로 결정하였다.

2.7 정보과약 기능

본 시스템은 사용자의 요구에 따라 다음과 같은 자료를 추출할 수 있어야 한다.

고려 사항	비 고
1. 운영체제(O/S, Operating System)에 종속적인가?	OS에 비종속
2. 특정 Web 서버(Server)에 종속적인가?	H/W에 비종속
3. 생산성에 향상은 어느 정도인가?	개발 관점에 영향
4. DB와의 접속성에는 어느 정도 용이한가?	직,간접 접속 가능
5. 산업계의 표준화 및 어느 정도 널리 사용되고 있는가?	ANSI 및 ISO 적용
6. 개발의 용이성 및 향후 유지보수에 용이한가?	효율성 고려
7. 이미 사용 중에 시스템환경과 부합하는가?	호환성

표 2. 설계 및 개발 시 고려사항

- 각 캐니스터별 핵물질 종류 및 양
- 각 캐니스터의 봉인 현황
- 저장된 basket 관련 기본 정보
- 봉인의 사용형태 및 건전성에 관한 정보
- 각 basket에 저장된 tray 정보
- 각 단계별 검증관련 정보
- 기타 필요한 정보의 제공

2.8 시스템의 구성

대부분의 데이터베이스 관리 시스템에서 적용하는 방법은 크게 두 부분으로 구성된다. 시스템이나 사용자가 요구하는 자료를 제공하는 역할의 데이터베이스 관리 시스템과 이를 사용자의 요구에 맞게 재구성하여 화면에 보여주는 응용프로그램 부분이다. 과거의 시스템은 이 두 가지가 서로 분리되지 않고 하나의 H/W에서 제공하여 데이터의 back up 과 recovery에 많은 부분이 투자되었다. 인터넷의 발달로 인해 이젠 이 두 가지 시스템을 서로 분리하여 각각의 역할을 별도로 부여하여 작업의 효율성을 증가 시키고 자료의 backup을 용이하게 하기 위해 서로 분리하여 별개로 운영하는 것이 기본 방법으로 채택되고 있다.[그림 5] 이러한 방법의 좋은 점은 데이터가 변해도 그 자료를 취급하는 응용프로그램은 영향을 주지 않아 프로그램 유지보수에 매우 강점이 있다.

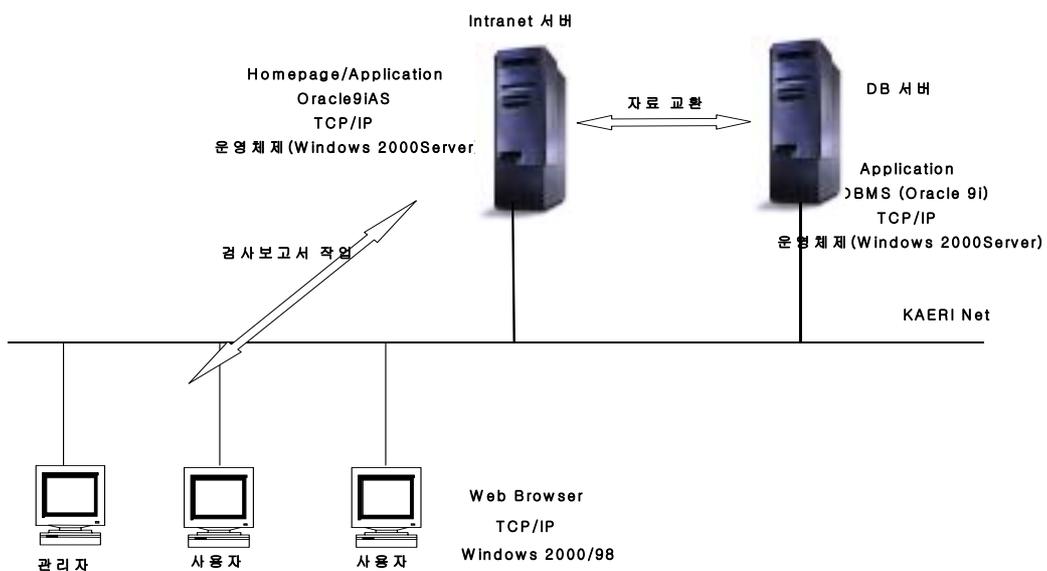


그림 5. 시스템 구성도

3. 결 론

월성원전의 가동 중 노심연료 교체라는 독특한 특성으로 인해 발생한 대량의 사용후연료는 월성 원전에서 한 호기당 매년 2.5개월의 기간동안 사용후연료의 이송 캠페인이 수행되어지고 2006년에는 월성원전 1~4호기 모두 사용후연료 이송이 필요한 것으로 나타나 이송에 대한 안전조치 검증을 위해 관련 정보의 데이터 베이스화 과정이 절실히 요구되어 왔다. 월성 원전은 습식 및 건식 저장고가 동일한 부지내에 비교적 가까운 곳에 위치하고 있어서 COK를 유지하기 편리한 특성을 지니고 있다. 접근이 어려운 구역으로 구분되는 시설에 대한 사용후연료 이송 검사 정보는 설계 특성을 고려한 case by case 정보 분석이 고려되어야 한다. 이러한 정보는 관련 정보간의 유기적인 관계 유지 및 정보의 건전성을 확인할 수 있도록 개발되어야 한다. 따라서 본 논문에서 개발된 정보관리 시스템으로 월성 원전 1~4호기의 사용후연료 이송 검증과정에서 발생한 각각의 정보를 데이터베이스로 구축하고 이를 관리할 수 있도록 개발되었다. 이를 이용하여 사용후연료 이송 검증에 관련된 정보를 효율적으로 관리 하고 관련 정보를 조회할 수 있게 되었다.

참고문헌

1. 박승기 외 4인, “월성발전소의 사용후연료 이송에 대한 안전조치 효율화 방안”, 2002 추계 원자력학회
2. Won Woo Na, “New Approach for Safeguards Verification of Spent Fuel Bundles by the Underwater Camera System”, INMM 2001.
3. 나원우외 3인, “CANDU형 원자력발전소에 대한 안전조치 검사“, 2002 추계 원자력학회
4. Jong-Soo Kim, “Verification on Loading of CANDU Spent Fuel into Canister Using Optical Fiber Scintillator”, INMM 2002