

KAERI/TR-1897/2001

[기 술 보 고 서]

월성 1 호기에의 24개 중수로용

개량핵연료다발(CANFLEX-NU) 시범장전 조사:

핵연료 발주, 취급, 조사후 시험 및 후속 문서

생산 지침

KAERI

2001년 8월

한국 원자력 연구소

Korea Atomic Energy Research Institute

# 제 출 문

한국원자력연구소 소장 귀하

본 보고서를 2001 년도 “중수로용 개량핵연료 실용화 연구 - 중수로용 개량 핵연료 월성 1 호기 시범장전 조사” 과제 중에 수행된 기술보고서로 제출합니다.

제목 : 월성 1 호기에의 24 개 중수로용 개량핵연료다발 (CANFLEX-NU)  
시범장전 조사: 핵연료 발주, 취급, 조사후 시험 및 후속 문서 생산  
지침

2001. 8.

주저자 : 석호천 (핵연료설계기술개발팀 : 책임연구원)  
공저자 : 조문성 (핵연료설계기술개발팀 : 선임연구원)  
전지수 (핵연료설계기술개발팀 : 선임연구원)  
정종엽 (핵연료설계기술개발팀 : 선임연구원)

## 요 약 문

본 보고서는 과학기술부 주관 원자력실용화연구개발사업의 일환으로 2000년 11월부터 착수된 KEPRI/KAERI 공동 “중수로용 개량핵연료 (CANFLEX-NU) 실용화 연구” 과제의 계획에 따라 수행되는 24개 CANFLEX-NU 핵연료다발의 월성 1 호기 시범장전 조사 프로그램과 관련된 “CANFLEX-NU 핵연료다발 제조 및 품질보증(QA)”, “핵연료 취급”, “사용후 핵연료 운반 용기 및 운반”, “사용후 핵연료의 조사후 시험”, “후속 문서” 등에 대한 지침을 기술한 것이다. 여기의 “사용후 핵연료 운반 용기 및 운반”과 “사용후 핵연료의 조사후 시험”에 대한 기술은 CANFLEX-NU 핵연료의 월성 1 호기 전량 상업장전 인허가 과정에서 본 시범장전 조사를 대표할 수 있는 CANFLEX-NU 핵연료다발의 조사후 시험 결과가 요구될 경우를 대비하여 기술한 것이다.

## SUMMARY

Korea Ministry of Science and Technology(MOST) has pushed and given a financial support to a KEPRI/KAERI Joint Industrialization Program of CANFLEX-NU Fuel as one of the Korea's National Nuclear Mid- and Long-Term R & D Program. The Industrialization Program will be conducted for 3 years from 2000 November to efficiently utilize the CANFLEX fuel technology developed by KAERI and AECL jointly, where the KAERI's works have been conducted under the Korea's national program of the mid- and long-term nuclear R & D programs since 1992. This document is a report to guideline the following activities on the safety assessment for the 24 CANFLEX-NU (CANDU Flexible fuelling-Natural Uranium) fuel bundle demonstration irradiation at Wolsong-1 Generating Station : "Bundle manufacture and QA", "Fuel handling aspects such as loading fuel, de-fuelling and segregation, and visual in-bay examinations", "Flasking and shipping", "Post-irradiation examination", and "Follow-up documentation to be produced".

# 목 차

	Page
제출문 -----	i
요약문 -----	ii
Summary -----	iii
제 1 장 서론 -----	1
제 2 장 CANFLEX-NU 핵연료다발 제조 및 품질보증(QA)-----	1
제 3 장 핵연료 취급 (Fuel Handling Aspects) -----	3
3.1 핵연료 장전(Loading Fuel) -----	3
3.2 핵연료 방출 및 격리 (De-Fuelling & Segregation)-----	4
3.3 사용후 핵연료 저장 수조에서의 육안 검사 -----	4
제 4 장 사용후 핵연료 운반 용기 및 운반(FLASKING & SHIPPING)--	5
제 5 장 사용후 핵연료의 조사후 시험(Post Irradiation Examination)---	6
제 6 장 후속 문서-----	8
참고문헌-----	9
부록 1. STATUS OF THE DEMONSTRATION IRRADIATION PROGRAM OF THE NEW FUEL BUNDLE CANFLEX-NU IN KOREA -----	10
서지정보양식-----	20
BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET -----	21

## 제 1 장 서론

본 보고서는 원자력 실용화 연구개발 사업의 일환으로 2000년 11월부터 착수된 KEPRI/KAERI 공동 “중수로용 개량핵연료(CANFLEX-NU: CANDU Flexible Fuelling - Natural Uranium) 실용화 연구” 과제의 계획에 따라 수행되는 24개 CANFLEX-NU 핵연료다발의 월성 1 호기 시범장전 조사 프로그램과 관련된 “CANFLEX-NU 핵연료다발 제조 및 품질보증(QA)”, “핵연료 취급”, “사용후 핵연료 운반 용기 및 운반”, “사용후 핵연료의 조사후 시험”, “후속 문서” 등에 대한 지침을 기술한 것이다. 여기의 “사용후 핵연료 운반 용기 및 운반”과 “사용후 핵연료의 조사후 시험”에 대한 기술은 CANFLEX-NU 핵연료의 월성 1 호기 전량 상업장전 인허가 과정에서 본 시범장전 조사를 대표할 수 있는 CANFLEX-NU 핵연료다발의 조사후 시험 결과가 요구될 경우를 대비하여 기술한 것이다. CANFLEX는 캐나다원자력공사(AECL)와 한국원자력연구소가 등록한 상표이다.

## 제 2 장 CANFLEX-NU 핵연료다발 제조 및 품질보증(QA)

월성 1 호기에 24개의 중수로용 개량 핵연료다발, 즉, CANFLEX-NU 를 시범 장전 조사하기 위해 한국전력공사 전력연구원(KEPRI)은 한전원전연료주식회사(KNFC)에게 26개의 CANFLEX-NU 핵연료다발을 발주하여야 한다. 이 26개의 CANFLEX-NU 핵연료다발 중 24개의 핵연료다발은 시범장전 조사용이고, 나머지 2개의 핵연료다발은 우발사건에 대비하거나 또는 참고용으로 사용하고자 하는 것이다. 이 핵연료다발은 CANFLEX-NU 핵연료다발 기술시방서[1]의 시방에 따라 일련번호를 부여하여야 한다. 따라서, 본 시범장전 조사용 CANFLEX-NU 핵연료다발 일련번호는 예로서 CX001D부터 CX026D까지 부여할 수 있다. 여기서 일련번호의 CX는 CANFLEX를 의미하며, D는 Demonstration을 의미한다.

본 시범장전 조사용 CANFLEX 핵연료 다발의 제조공정은 발주하는 핵연료다발 수가 작기 때문에 월성 중수원전에 공급되고 있는 기존 37개 핵연료봉 다발(이하 기존 핵연료 혹은 기존 핵연료다발로 칭함) 제조 공정과 다를 것으로 예상된다. 그러나, 품질보증 시각에서 본 시범 장전 조사용 CANFLEX 핵연료다발은 기존 핵연료 생산과 같은 공정으로 생산되어야 할 것이다.

본 시범 장전 조사용 CANFLEX-NU 핵연료는 참고문헌[1]의 KAERI/AECL (캐나다원자력공사) CANFLEX-NU 핵연료다발 공동 시방서 및 이와

관련된 기술시방서와 참고문헌[2]의 KAERI/AECL CANFLEX-NU 핵연료 공동 설계도에 의하여 제조된 것을 말한다. CANFLEX-NU 핵연료다발 기술시방서는 봉단 접합관 용접의 비틀림(torque) 강도와 핵연료다발의 압력강하와 같은 핵연료다발 성능 등을 구체적으로 명시하고 있다.

핵연료발주자는 핵연료가공 사업자에게 핵연료공급을 주문할 때 핵연료 생산에 적용하게 될 설계도와 시방서로부터 벗어나는 사항과 내용을 제출하도록 허용하여야 한다. 핵연료발주자는 핵연료가공 사업자로부터 핵연료 제조에 적용하게될 핵연료가공 사업자의 상세 제조 도면과 제품을 기술하는 제품 시방서를 받아야 한다. 본 시범장전 조사 핵연료의 제조에 적용하게될 핵연료가공 사업자의 품질보증(QA) 프로그램은 현재 사용중인 기존 핵연료의 제조 QA 프로그램과 같이 CSA Z299.2 Standard 혹은 이와 동등한 QA 프로그램이어야 한다.

핵연료 가공 사업자를 평가하는 동안 핵연료 발주자(KEPRI)는 핵연료 가공사업자가 제시한 제조도면과 제품 시방서를 발주 설계도면과 시방서와 비교하여 벗어나는 사항과 내용을 세부적으로 검토하여야 할 것이다. 제조도면과 제품 시방서가 발주 설계도면과 시방서를 벗어나는 사항과 내용의 영향을 규명하기 위하여, 예로서 핵연료 피복관 변형, 핵연료출력급증 조사 성능 등과 같은 항목들을 살펴보아야 한다. 핵연료발주자가 발주 설계도면과 시방서를 벗어나는 제조도면과 제품 시방서의 사항과 내용을 합의·수용한다면, 이 합의된 사항과 내용은 핵연료가공사업자의 핵연료다발 제조 도면과 제품 시방서에 반영되어야 한다.

핵연료가공 사업자는 발주 받은 핵연료를 생산한 후 핵연료 검사 자료철을 만들어 가지고 있어야 한다. 이 핵연료 검사 자료 철은 재료 검증서, 검사 기록, 설계 편차 요구사항, 핵연료가공 사업자의 제품 및 재료 시방서 및 만든 상태(as-built) 도면 등이 포함되어 있어야 한다.

본 시범 장전 조사용 CANFLEX-NU 핵연료 생산은 다음과 같은 단계로 이루어지고 있거나 혹은 이루어져야 한다. 본 시범장전 조사시험용 CANFLEX-NU 핵연료 설계도 및 관련 핵연료 시방서는 KAERI/AECL이 공동으로 개발한 것으로 KAERI가 제공한 것이어야 한다. 따라서, KEPRI와 KAERI는 핵연료가공사업자가 제시한 핵연료다발이 위에서 언급한 핵연료 설계도와 관련 시방서 조건을 만족하는지의 여부를 판단하여야 한다. KEPRI와 KAERI는 핵연료가공 사업자가 제시한 핵연료다발이 위에서 언급한 핵연료 발주 설계도와 관련 시방서를 벗어나는 사항과 내용이 있다면 반드시 분석하고, 수용된 부분은 핵연료가공 사업자의 제조도면에 반영하여야 한다.

여기에 언급한 분석은 핵연료 가공 사업자 평가의 일환으로 수행하는 것이며, 만약 핵연료가공 사업자가 제시한 핵연료다발이 위에서 언급한 핵연료 발주 설계도와 관련 시방서에서 벗어나는 사항과 내용이 미미하다면 단순히 용인하여야 할 것이다. KEPRI는 핵연료가공 사업자가 제출한 모든 문서들을 월성 1 호기와 KAERI의 검토와 용인을 받기 위하여 사전 검토하여야 하며, 이들 문서들에서 위에서 언급한 핵연료 발주 설계도와 관련 시방서를 벗어나는 사항과 내용을 찾아내면 체크(check)하여 두어야한다. 본 KEPRI의 검토는 핵연료 가공 사업자가 제시한 현 공정 절차들이 KAERI가 제공한 본 시범장전 조사용 CANFLEX-NU 핵연료 발주 설계도와 관련 시방서에 나타난 모든 조건을 수용하고 있다는 것을 확신시키는 것이다. 이것은 제조된 핵연료가 위에서 언급한 설계도와 관련 시방서에 준하여 생산되었다는 것을 확신시켜 주는 공정의 일환으로서 중요한 것이다. 이러한 활동은 또한 발주된 핵연료다발이 핵연료의 설계 세부 사항 및 제원과 품질이 명시한대로 실제 송달되었다는 것을 확신 시켜주는 KEPCO-KEPRI-월성 1 호기-KAERI 품질보증 활동의 일환이다.

핵연료 발주자는 기존 핵연료와 같이 CANFLEX-NU 핵연료에 대해서도 핵연료가공 사업자의 시방서를 KAERI가 제공한 설계도 및 관련 시방서와 비교하여 감시하여야 하며, 이들 설계도와 시방서에 준하여 제조되도록 유도하여야 한다.

### 제 3 장 핵연료 취급 (Fuel Handling Aspects)

CANFLEX-NU 핵연료는 기존 CANDU-6 원전의 핵연료 취급계통과 양립하도록 설계되어 있다. CANFLEX 핵연료가 기존 CANDU-6 원전의 핵연료 취급 계통과 양립한다는 것은, 참고문헌 [3]의 제 II 장 4.3 항과 참고문헌 [4]에 기술된 것처럼, 광범위하게 시험적으로 실증되었으며, 또한 캐나다 Point Lepreau 중수원전에의 24개 CANFLEX-NU 핵연료 시범장전 조사[5]를 통해서도 입증되었다. 따라서 CANFLEX 핵연료는 기존 CANDU 6 원전의 핵연료 취급계통의 절차[6]와 양립한다는 결론을 얻을 수 있다.

#### 3.1 핵연료 장전(Loading Fuel)

CANFLEX-NU 핵연료는 기존 핵연료 장전 절차와 동일 절차로 원자로에 장전될 것이다. CANFLEX-NU 핵연료는 Point Lepreau 시범장전 조사시 Spacer Interlocking Gauge 시험에 충족되고 핵연료 장전실의 핵연료 장전 관련 장치의 제원과 양립한다는 것이 입증되었다. 그러나, 본 시범장전



조사시험용 CANFLEX-NU 핵연료가 월성 1 호기의 핵연료 장전실에 도착하면 동 실의 핵연료 장전관련 장치의 제원과 양립성 여부를 한번 확인하는 것이 바람직하다.

핵연료 취급실에 CANFLEX-NU 핵연료다발에 대한 핵연료교환 명령 (Fuel Change Order (FCO) for the CANFLEX-NU bundles to Fuel Handling)이 떨어지면, 핵연료 교환 담당자는 “CANFLEX-NU 핵연료다발을 monogram이 찍힌 봉단 접합판을 냉각재 상류 쪽을 향하도록 장전하라”고 기록하여야 한다. 이 지침은 조사후 핵연료다발이 원전의 사용후 핵연료 저장소에서나 혹은 조사후 시험실에서 냉각수 상·하류 방향의 핵연료다발의 장전위치를 명확하게 구분하고자 하는 것이다. 또한 핵연료 교환 담당자는 원자로 운전자에게 원자로에 장전된 각 CANFLEX-NU 핵연료다발의 조사출력이력을 가능한 상세히 기록 보관하도록 요청하여야 한다.

핵연료 교환 담당자는 또한 핵연료 취급실에 시범조사 완료된 CANFLEX-NU 핵연료다발을 사용후 핵연료 저장 수조에서 육안검사와 사진을 촬영하도록 옆자리 한곳에 모아 두어야 한다고 명시하여야 하며, 이중 2 다발은 본 시범장전 프로그램 이후 KAERI에서 조사후 시험을 수행할 수도 있다는 문장을 추가하는 것이 바람직하다.

### 3.2 핵연료 방출 및 격리 (De-Fuelling & Segregation)

CANFLEX-NU 핵연료가 한번 원자로에서 방출(defuel)되면 사용후 핵연료 저장수조에 도달할 때까지 기존 핵연료의 취급과 같이 동일하게 취급 하되, 본 시범장전 조사 프로그램의 일환으로 사용후 핵연료 저장 수조에 도달한 사용후 CANFLEX-NU 핵연료는 육안검사를 받기 위하여 한쪽에 모아 두어야한다.

핵연료 교환 담당자는 핵연료취급그룹에게 노심에서 방출된 CANFLEX-NU 핵연료를 사용후 핵연료 저장 수조에서의 육안검사 및 사진 촬영 등을 할 수 있도록 격리하여 달라고 요청하여야 하며, CANFLEX-NU 핵연료의 조사후 시험계획이 있으면, 선택된 조사후 CANFLEX-NU 핵연료다발을 별도로 격리하여 달라고 또한 요청하여야 한다.

### 3.3 사용후 핵연료 저장 수조에서의 육안 검사

사용후 핵연료 저장 수조에서의 육안검사는 기존 핵연료의 검사 절차에 따라 수행하면 된다:

- ① 잠망경을 사용한 핵연료다발의 사진 촬영

- ② 핵연료다발의 비정상적인 wear, fretting 및 손상 검사
- ③ 봉단 접합판, 봉단 마개, 지지체와 육안으로 볼 수 있는 모든 핵연료봉의 간격체 및 버턴 검사

만약 사용후 핵연료 저장 수조에서의 육안검사 중, 어떤 CANFLEX-NU 핵연료에서 비정상적인 자국(markings) 혹은 손상(damage)이 검출되면, 이 육안 검사 정보는 차후 이 핵연료다발이 조사후 시험(PIE)용으로 선택될 때 참고가 될 수 있도록 특별히 취급되어야 한다.

#### 제 4 장 사용후 핵연료 운반 용기 및 운반(FLASKING & SHIPPING)

원자력 실용화 연구개발사업의 일환으로 2000년 11월부터 착수된 KEPRI/KAERI 공동 “중수로용 개량핵연료(CANFLEX-NU) 실용화 연구”과제 계획에 따라 수행되는 본 24개 CANFLEX-NU 핵연료다발의 월성 1 호기 시범장전 조사는 2001년 10월 전후에 착수될 전망이며, 조사완료 시기는 2003년 3월 전후로 예상된다(부록 1 참조). 따라서 본 과제의 연구기간(2001.11.10-2003.11.19) 동안, 조사후 시험을 위한 사용후 핵연료의 냉각기간, 월성 1호기에서 KAERI 조사후 시험실로의 운반에 필요한 사용후 핵연료 운반용기 등을 마련하기에는 시간 및 경제적 제약이 나타날 것으로 예상되었다. 이에 따라, CANFLEX-NU 핵연료의 국내 조사후 시험은 본 실용화 연구개발 기간동안에는 수행하지 않는 것으로 계획되어 있다. 그러나, CANFLEX-NU 핵연료의 월성 1 호기 전량 상업장전 인허가 과정에서 본 시범장전 조사를 대표할 수 있는 CANFLEX-NU 핵연료다발의 조사후 시험 결과가 필요할 수 있다. 이런 경우를 예상하여, 아래와 같이 사용후 핵연료 운반 용기 및 운반에 대한 기술을 추가하였고, 또한 다음 항과 같은 사용후 핵연료의 조사후 시험을 추가 기술하였다.

만약 KEPRI 혹은 KAERI 동의 하에 KAERI가 월성 1 호기에서 시범장전 조사된 CANFLEX-NU 핵연료에 대해 조사후 시험을 수행하고자 한다면 다음과 같은 업무가 예상된다. 월성 1 호기 사용후 핵연료 저장 수조에서 수행한 각 핵연료다발의 육안검사 결과 특별한 이상이 발견되지 않으면, 조사후 시험 핵연료다발은 2개 혹은 3개로 축소될 것이다(부록 1 참조). 먼저 고출력/고연소도로 조사된 CANFLEX-NU 핵연료 다발 1개와 고출력 채널과 저출력 채널 각각에서 핵연료 장전시 출력급증을 겪은 핵연료다발 1개를 포함한 3개의 핵연료다발, 혹은 고출력채널에서 핵연료 장전시 출력급증을 겪었고 고출력/고연소도로 조사된 핵연료 다발 1개와 저출력 채널에서 핵연

료 장전시 출력급증을 겪은 핵연료다발 1개를 포함한 2개의 핵연료다발을 조사후 핵연료 시험 다발로 선택할 수 있다. 이들 핵연료다발들은 조사후 핵연료의 수송용기 용량과 조사후 시험 계획에 따라 월성 1 호기에서 KAERI 조사후 시험실로 한번 또는 두 번으로 나누어 운반될 수 있다. 여기서 언급한 조사후 중수로 핵연료의 수송용기는 국내에서 설계 제작하여 인허가를 받아 사용하거나 혹은 캐나다 AECL에서 확보하고 있는 조사후 중수로 핵연료 운반용기를 차용하여 사용할 수 있을 것이다.

조사후 시험이 예상되는 사용후 CANFLEX-NU 핵연료 다발들은 충분히 냉각시켜 사용후 핵연료 운송에 지장이 없도록 만전을 기해야하며, 또한 타 사용후 핵연료와 구분될 수 있도록 한곳에 놓아두어야 한다. 이 사용후 핵연료가 월성 1 호기에서 KAERI 조사후 시험실로 운반될 여건이 조성되면, 정상 절차에 따라 이 사용후 핵연료를 규제기관으로부터 인가 받은 수송용기에 넣어 KAERI 조사후 시험실로 육로를 통해 운반한다. 이 핵연료들이 KAERI 조사후 시험실로 운반될 때에는, 운반되는 조사후 시험용 CANFLEX-NU 핵연료들의 월성 1 호기에서의 출력이력과 냉각이력이 반드시 첨부되어야 한다. KAERI에서는 이 사용후 CANFLEX-NU 핵연료 운반을 지원하기 위하여 월성 1 호기에서의 출력이력을 사용한 핵연료봉 성능분석을 사전에 수행하는 것이 바람직하다. 이 성능 분석에서는 붕괴열, 요드-131( $I^{131}$ ) 재고량, 핵연료 피복관의 최대온도 등이 포함되어야 할 것이다.

CANFLEX-NU 핵연료다발의 붕괴출력 준위는 이 핵연료의 다발 출력과 유사하고 우라늄 무게가 거의 동일한 기존 핵연료의 붕괴출력 준위와 구분할 수 없다. 따라서 사용후 CANFLEX-NU 핵연료의 붕괴 출력은 ORIGEN-S 코드[7]를 사용하여 계산하여야 할 것이다. ORIGEN-S 코드는 동위원소 재고량과 이 동위원소에서 생성되는 붕괴열에 대한 모델링이 자세히 되어 있어 붕괴 출력을 좀더 실질적으로 계산한다고 알려져 있다. 따라서, 조사후 시험을 위한 사용후 CANFLEX-NU 핵연료의 붕괴 출력을 월성 1 호기에서 KAERI 조사후 시험실까지의 운반전에 최소화하기 위하여 ORIGEN-S 코드로 그 붕괴열을 계산하여 보는 것이 바람직하다.

## 제 5 장 사용후 핵연료의 조사후 시험(Post Irradiation Examination)

위 3 장에서 언급된 바와 같이 CANFLEX-NU 핵연료의 월성 1 호기 전량 상업장전 인허가 과정에서 본 시범장전 조사를 대표할 수 있는 CANFLEX-NU 핵연료다발의 조사후 시험결과가 필요할 수 있다. 이 경우를 예상하여, 아래와 같이 사용후 핵연료의 조사후 시험을 추가 기술하였다.

또한 위 3 장에서 언급된 바와 같이 월성 1 호기에서 시범장전 조사된 모든 CANFLEX-NU 핵연료들은 그 원전 사용후 핵연료 저장수조에서 육안 검사를 받는다. 이 핵연료다발들의 육안 검사에서 특별히 이상한 흔적 혹은 손상이 발견되지 않는 이상, 핵연료 장전시 출력급증을 겪고 또한 영역 제어 봉 이동에 다른 출력변화를 겪은 고출력/고연소도로 조사된 CANFLEX-NU 핵연료 다발 1개 혹은 2개와 저출력 채널에서 핵연료 장전시 출력급증을 겪고 노내에서 최장기적으로 조사된 CANFLEX-NU 핵연료다발 1개를 포함한 2개 혹은 3개 핵연료다발에 대해 조사후 시험을 하는 것이 제일 바람직하다. 이 조사후 시험 항목은 조사후 시험기관과 그 시험 시설에 따라서 다소 차이는 있겠지만 전형적으로 아래와 같다:

- KAERI Hot Cell에서 핵연료다발의 육안검사 및 사진 촬영
- 핵연료 다발 제원 측정 및 profilometry
- 핵연료다발 해체, 각 핵연료봉 검사 및 각 핵연료봉의 구분 번호부여
- 봉단 접합관 용접 비틀림 강도(Endplate weld torque strength)측정
- 핵연료봉 profilometry
- 핵연료봉의 구멍 뚫기(puncture), 핵분열 생성물 기체 포집 및 분석, 기포 체적(void volume) 측정 (그리고 만약 어떤 핵연료봉이 파손되어 구멍이 있는 징조가 있으면, 수중 Helium 누출 검사)
- metallographic and ceramographic 검사
- auto-radiography
- 화학적 연소도 분석(chemical burnup analysis)
- 핵연료 피복관 및 봉단 접합관의 수소 및 중수소 분석
- 핵연료 피복관에 초기균열(incipient cracks)이 없다는 것을 확인하기 위한 핵연료봉 휨 시험(bend testing)

위에서 언급한 gamma scanning, 핵분열 생성물 기체 포집 및 기포 체적 측정 등은 매 4 번째 핵연료봉 마다 (즉, #1, #4, #7, -- 등의 핵연료봉) 수행하도록 지침하는 것이 바람직하다. 금속조직(metallography)과 연소도 분석

을 위한 파괴 검사는 핵연료다발의 최외환 핵연료봉들 중에서 3개, 중환 핵연료봉들 중에서 3개, 내환 핵연료봉들 중에서 2개, 중심봉 1 개를 택하여 수행하는 것이 바람직하다. 저출력 채널에서 택한 조사후 시험용 CANFLEX-NU 핵연료다발의 조사후 시험 검사항목은 고출력 채널에서 택한 조사후 시험용 CANFLEX-NU 핵연료다발의 조사후 시험 검사항목 보다 상당히 국한할 수 있다. 저출력 채널에서 택한 조사후 시험용 CANFLEX-NU 핵연료다발의 조사후 시험 검사항목은 그 핵연료가 노내 최장 장전 조사한 기계적 영향을 검사하는 항목에 초점을 두는 것이 바람직하며, 핵분열 생성물 기체 포집 및 분석, 기포체적 측정, ceramographic analysis, auto-radiography 및 화학적 연소도 분석 등을 조사후 시험항목에서 제외하는 것이 바람직하다.

월성 1 호기에서 조사한 CANFLEX-NU 핵연료의 조사후 시험 결과에 대한 수용 기준은 CANFLEX-NU 핵연료 설계보고서[3] 혹은 설계지침서[8]에서 기술한 CANFLEX-NU 핵연료 설계요건을 기초로 한다.

## 제 6 장 후속 문서

본 문서 이외에 본 CANFLEX-NU 핵연료의 시범장전 조사에 대한 세부 정보를 기록 확보하기 위하여 아래와 같은 문서들이 생산되어야 한다.

- ① 핵연료 제조기관의 품질보증자가 기술한 핵연료다발 제조 요약서
- ② 월성 1 호기 사용후 핵연료 저장 수조에서 수행한 육안 검사 보고서
- ③ 월성 1 호기에서 CANFLEX-NU 핵연료다발의 조사 기간 및 조사전에 수집된 모든 정보를 요약하는 조사자료 보고서(Irradiation Data Report)
- ④ 조사후 시험을 위한 핵연료다발의 운반서류 및 핵연료 다발 붕괴 출력 계산 결과(조사후 시험 수행 경우)
- ⑤ 조사후 시험 보고서(조사후 시험 수행 경우)
- ⑥ 요약보고서

## 참고문헌

- [1] M. Gabbani, P. Alavi and K-S. Sim, "Technical Specification - CANFLEX Natural Uranium Fuel Bundle," CFX-37000-TS-001 revision 2, April 1997.
- [2] P.A. Basten, "Joint AECL-KAERI CANFLEX 43 Element Bundle (CANDU-6) Reference Drawing," CANFLEX-37000-I-I-GA-E revision 3, December 16 1994.
- [3] 석호천, 심기섭, 박주환, 전지수, 정창준, 정장환 "월성로(CANDU 6)형 CANFLEX-NU 핵연료 설계 보고서", KAERI 기술보고서 KAERI/TR-1220/99, July 1999.
- [4] P. Alavi, "Test Report - CANFLEX Fuel Bundle and CANDU 6 Fuel Machine Compatibility Tests", CFX-37100-TR-001 (CANFLEX-096) Revision 0, September 1996.
- [5] W. R. Inch, P. D. Thompson and Ho Chun Suk, "Introduction of the New Fuel Bundle CANFLEX into an Existing CANDU Reactor", Presented at 12th Pacific Basin Nuclear Conference, Seoul, Korea, 2000 October 29 - November 2.
- [6] 월성 원전 "제 1 발전소 운영 절차서 - 1 호기 OM35200 핵연료 교체 계통" 절차서 번호 : 핵1-5-029 (개정 :13), 2001년 4월 20일
- [7] O. W, Hermann and R. M. Westfall, "ORIGEN-S - SCALE System Module to Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup and Decay, and Associated Radiation Source Terms", in SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluations, NUREG/CR-0200, Rev. 4 (ORNL/NUREG/CSD-2/R4), Vol. II, Part I, (Draft November 1993).
- [8] "Design Manual for CANFLEX -.24 Natural Uranium Fuel Bundles Demonstration in Point Lepreau NGS," CFX-37000-DM-001 (CANFLEX-067) revision 1, December 1997.

## Appendix 1.

### STATUS OF THE DEMONSTRATION IRRADIATION PROGRAM OF THE NEW FUEL BUNDLE CANFLEX-NU IN KOREA

H. C. SUK<sup>(1)</sup>, M. S. CHO<sup>(1)</sup>, J. S. JUN<sup>(1)</sup>, S. H. LEE<sup>(2)</sup> and Y. B. KIM<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Korea Atomic Energy Research Institute  
P. O. Box 105, Yusong, Taejon City, Korea (R.O.K.), 305-600

<sup>(2)</sup>Korea Electric Power Research Institute  
#103-16 Mun-Gi-Dong, Yusong, Taejon City, Korea(R. O. K.) 305-380

#### ABSTRACT

In the late part of 1999, the Korea Electric Power Corporation has initiated a program to use CANFLEX-NU(Natural Uranium) fuel in the Wolsong Generating Station(WGS) - #1 which has been operating since 1983, because the CANFLEX could be used to recover some of a CANDU heat transport system operation margins that had decreased due to ageing. The Korea Ministry of Science and Technology (MOST) has recognized the successful demonstration irradiation of 24 CANFLEX bundles at the Pt. Lepreau Generating Station in Canada, as final verification of the CANFLEX design in preparation for full core conversion. Therefore, MOST has pushed and gave a financial support to a KEPRI/KAERI Joint Industrialization Program of CANFLEX-NU Fuel, which will be conducted for 3 years from 2000 November, to validate CANFLEX-NU fuel bundle performance in direct conditions of relevance under the Korean licensing requirements as well as to evaluate the fuel fabrication capability, and to produce a safety analysis report for the full-core implementation.

The economic benefits of CANFLEX-NU fuel are directly dependent on the thermalhydraulic performance. Switching from the existing 37-element fuel to the CANFLEX fuel will be largely driven by the economic benefits to be realized. Showing a positive result in the economic evaluation as well as successfully demonstrating the CANFLEX fuel irradiation in WGS-#1, the full-core implementation of the fuel at the WGS-#1 in Korea will proceed by starting the licensing process at around 2003 April because the safety report for the full-core conversion will be ready by 2003 March.

This paper describes the status of CANFLEX-NU fuel industrialization program in Korea, as well as the fuel design features. It summarizes the plan of CANFLEX-NU fuel demonstration irradiation at the WGS- #1 in Korea and the status of documentation for the demonstration irradiation as well as for the CANFLEX-NU full-core implementation.

## 1. INTRODUCTION

As a prime example of the results that can be achieved through collaborative ventures between Canada and Korea, the Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) and the Atomic Energy of Canada Limited (AECL) have pursued, since 1991, a collaborative program to develop, verify, and prove the new fuel bundle design, CANFLEX (CANDU Flexible Fuelling) is a registered trademark of Atomic Energy of Canada Limited(AECL) and Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI). -NU(Natural Uranium)[1] fuel which could likely counterbalance the adverse effects of ageing within the CANDU (Canada Deuterium Uranium) is a registered trademark of Atomic Energy of Canada Limited(AECL) heat transport system.

CANFLEX fuel has been verified through extensive testing by KAERI and AECL and has been critically reviewed under a Formal Design Review. KAERI prepared the CANFLEX-NU fuel design report for use of CANFLEX bundles in Korea and submitted it to the Korea Institute of Nuclear Safety (KINS) on 1996 July, to obtain approval of the fuel design and fabrication method, as part of the Korean licensing process. This approval was obtained from the Korea Ministry of Science and Technology (MOST) on 1999 August 6.

Following the Government approval of the CANFLEX-NU fuel design and fabrication method in Korea as well as the successful DI (Demonstration Irradiation) of CANFLEX-NU fuel in the Point Lepreau Generating Station (PLGS), the Electric Power Research Institute (KEPRI) and KAERI are jointly conducting a 3-year Industrialization Program for the use of CANFLEX-NU fuel in a CANDU 6 Wolsong Generating Station (WGS).

In this paper, the first will shortly describe the design features of CANFLEX fuel bundle. The rest of the Sections will describe the industrialization program of CANFLEX-NU fuel in Korea, covering the plan of the fuel DI in WGS-#1, the status of licensing documentation for the DI, the schedule of the DI and the full-core implementation.

## 2. DESIGN FEATURES OF CANFLEX FUEL BUNDLE

The 43-element CANFLEX fuel bundle assembly and its critical-heat-flux(CHF) enhancement appendages [1], as shown in Figure 1, offer higher operating and safety margins than current fuel, while maintaining full compatibility with operating CANDU reactors. It enables a higher power to be realized before CHF occurs, leading to a net gain in critical channel power (CCP) typically of 6 to 10% over the existing 37-element NU fuel. The greater element subdivision and the use of two element sizes lower the peak linear-element rating, and a more balanced radial power distribution [1, 2, 3]. The maximum linear element rating in a CANFLEX bundle is 20 % lower than that of a 37-element bundle, reducing the consequence of most design-basis accidents. Therefore,



the bundle is well suited for the use of advanced fuel cycles, particularly those that can attain high fuel burnup. The higher operating and safety margins offer the potential of reactor power uprating, which would further increase the economic competitiveness of the CANDU reactor.

CANFLEX fuel has been designed to have hydraulic and neutronic characteristics that are similar to those of the existing fuel. This feature provides the operators with the ability to introduce CANFLEX bundles during normal on-power refuelling. No hardware changes are required to switch to CANFLEX fuel because CANFLEX fuel is fully compatible with existing fuel handling equipment [4]. Fuel channels containing both CANFLEX and 37-element fuel, in any combination that can occur with normal fuelling, have improved or unchanged operating margins. Transition to CANFLEX fuel can be gradual with no waste of existing fuel.

In addition, CANFLEX[1] also enables the introduction of advanced fuel cycles [5] such as slightly enriched uranium (SEU), recycled uranium (RU) and other fuel cycles into CANDU reactors, and provides enhanced performance relative to natural uranium fuel by providing higher operating margins in existing CANDU reactors. The CANFLEX-RU offers lower fuelling costs and provides a means to raise reactor power within a fixed core size. The use of RU from PWR reactors promises to be more economical than SEU or natural uranium. The use and economics of RU are being assessed in the collaborative programs with AECL and British Nuclear Fuel Plc. (BNFL).

### **3. THE STATUS OF CANFLEX-NU FUEL INDUSTRIALIZATION PROGRAM IN KOREA**

Because of the increase in critical channel power with CANFLEX, the Korea Electric Power Corporation (KEPCO) headquarter and WGS-#1 site recognized that it could use CANFLEX to recover some of the heat transport system operation margins that had decreased due to ageing. WGS-#1 as the first CANDU-6 nuclear power plant in Korea has been commercially operating since 1983 April. Since the late part of 1999, KEPCO has announced a program in Korea to prepare for a DI of CANFLEX-NU fuel in WGS-#1 and potentially implement the CANFLEX-NU full core. The Korea Ministry of Science and Technology (MOST) has recognized the successful DI of 24 CANFLEX bundles at PLGS in Canada, as final verification of the CANFLEX design in preparation for full core conversion. Therefore, MOST has pushed and gave a financial support to a KEPRI/KAERI Joint Industrialization Program of CANFLEX-NU Fuel, which will be conducted for 3 years from 2000 November, to efficiently utilize the CANFLEX fuel technology developed by KAERI and AECL jointly, where KAERIs works has been conducted under the Koreas national program of the mid- and long-term nuclear R & D programs since 1992.

#### **3.1 The DI(Demonstration Irradiation) Plan**

KEPCO intends to perform a DI of 24 CANFLEX-NU fuel bundles in WGS-#1, while maintaining a minimum risk and maximum flexibility of the reactor operation. The purpose of this DI is: to validate CANFLEX-NU fuel bundle performance in direct conditions of relevance under the Korean licensing requirements, while limiting the risk, to evaluate the fabrication capability in Korea, and to provide the rationale for the decision to perform the full-conversion of CANFLEX-NU fuel in WGS-#1.

The DI plan called for the KEPCO Nuclear Fuel Co. Ltd. (KNFC) to manufacture 26 CANFLEX-NU fuel bundles (24 fuel bundles for fuelling in WGS-#1 and 2 for archival purpose) to the Quality Assurance levels normally applied to the 37-element fuel supplied to WGSs. All configurations of CANFLEX-NU fuel bundles mixed with the 37-element bundle in a single channel during transition and full-core refuelling are going to be tested. As taken for the DI of 24 CANFLEX-NU fuel bundles in PLGS [6], the following DI objectives are set and applied to select candidate sites: some fuel should be exposed to as high a power as possible within the allowable operating envelope, some fuel should be exposed to as wide a power variation as possible within the allowable operating envelope, at least one selected channel should have normal dwell with a full CANFLEX fuel string, some fuel should be exposed to normal fuelling-induced power ramps, at least one selected channel should be in the flow-assist-fuelling region, some fuel should be exposed to the high burnup within the allowable operating envelope, some fuel should be exposed to the long in-reactor residence time, and some fuel should be in an instrumented channel. The DI will be fully documented, covering the station data report.

As CANFLEX-NU fuel bundles are discharged and transported to the bays, they will be visually examined. Figures 2 and 3 show projected fuelling histories of the fuel bundles for WGS - #1 high and low power channels, respectively, during the DI. The first fuelling of the CANFLEX bundles in WGS-#1 is planned in around 2000 October immediately after KINS review of the safety assessment report for the DI of 24 CANFLEX-NU fuel bundles at WGS-#1 as mentioned in the next Section. The post-irradiation examinations (PIE) of the CANFLEX-NU bundles irradiated in WGS-#1 are not initially planned in the period of this 3 year Industrialization Program, because the overall schedule of the DI program is too tight to cover the PIEs by 2003 March as well as a shipping cask for the transportation of the irradiated bundles from WGS site to KAERI PIEF (Post-Irradiation Examination Facility) is not available in Korea. Therefore, KAERI intends to perform the PIEs right after the completion of this Industrialization Program, by calling for 2 bundles to be shipped to the KAERI PIEF for PIE as follows: a bundle from the high-power channel that has received highest burnup, and a bundle from the lower-powered channel that has seen longer residence times. The PIE will consist of visual examination, bundle profilometry, disassembly and element profilometry, gamma scanning, fission-gas and void volume measurements, end-plate weld and appendage-weld strength tests, metallography and ceramography, chemical burnup analysis, alpha, beta and gamma autoradiography, and hydrogen analysis of sheath, appendage and end plate.

### **3.2 Documentation for the DI**

As mentioned above, on 1999 August, KAERI obtained the Korean Government (MOST) approval of CANFLEX-NU fuel design and fabrication method for the use of the fuel in WGSs, as part of the Korean licensing process. The major prerequisite for the DI at the WGS-#1 is the preparation of an appropriate safety analysis for the reactor, which covers the major features of the license under which that particular reactor operates. With extensive discussions and interactions with KEPRI, KAERI had prepared the safety analysis report for the DI. With extensive discussions and interactions with WGS-#1 site, AECL and/or KNFC, KAERI has prepared other prerequisite documents such as the operational considerations and irradiation requirements, the fuel design drawing and technical specifications, and a general guideline of the fuel manufacture, handling and PIEs for the DI.

In the safety assessment for the DI of 24 CANFLEX-NU fuel bundles at the WGS-#1, the focus was on establishing the behaviour of CANFLEX fuel relative to the 37-element fuel. Hence, as presented in the safety assessment documents for the DI of 24 CANFLEX-NU fuel bundles at PLGS [7], these was not comprehensive re-analyses of the postulated accident scenarios, but an examination of the expected difference in accident consequences because of the 24 CANFLEX-NU fuel bundles in two channels. Even when an explicit assessment was performed, the approach was to select one or two representative cases and then to compare the relative behaviour. The accident scenarios expectantly subjected to fuel failure were selected for the safety assessment [8]: large LOCA (Loss-Of-Coolant Accident), large break LOCA with LOECC (Loss Of Emergency Core Coolant), feeder breaks, end fitting failure, flow blockage, pressure tube rupture, and so on. The CANFLEX bundle has a smaller cross-sectional area than the 37-element bundle does, thus resulting in the potential for more void to form. Therefore, the power pulse that is attributable to void of the channel may be greater in magnitude for the CANFLEX bundle relative to the 37-element fuel. The differences in power pulses between a CANFLEX channel and a 37-element channel are only a consideration for large break LOCA and loss of regulation accidents and have no effect on the small break LOCA analysis, pressure tube rupture analysis, flow blockage analysis, the end fitting failure analysis. The lower maximum linear element ratings for CANFLEX bundles compared to 37-element bundles at the same bundle power leads to that any adverse consequences with the CANFLEX bundles for the accident scenarios that are not expected to result in any fuel failure are not expected, and therefore, the postulated accidents such as small break LOCA, loss of Class IV power, loss of HTS pumps in the primary circuit, loss of feed-water, steam-line breaks, and so on are not analyzed for this safety assessment. In

### **3.3 CANFLEX-NU Full-Core Implementation in WGS-#1**

The CANFLEX-NU Fuel Industrialization Program called for the Korea Power Engineering Company Inc. (KOPEC) to prepare a safety analysis report for the full-core

conversion of CANFLEX-NU fuel in WGS-#1 by 2003 March. KOPEC intends to present the safety analyses on postulated accident scenarios as listed in Table 1 for the full-core implementation, where the input parameters for the safety analyses, which are based on the CANFLEX-NU fuel design as shown in Table 2, will be provided by KAERI. At this moment, KEPSCO identified the detail work-scope based on the postulate accident scenarios shown in Table 1, and then is getting ready for CATHENA model report on the detailed fuel channel model, multiple average channel model, secondary side model, above header model, ECCS model, slave channel model, trip coverage analysis model as well as for the initial fission product inventory.

The Fuel Industrialization Program called for KEPRI to conduct an economic evaluation for the full-core conversion of CANFLEX-NU fuel in WGS-#1 also by 2003 March. This economic evaluation will be performed starting from 2001 December. The decision on the full-core conversion will be processed in this program. Successfully demonstrating the irradiation of CANFLEX fuel in the WGS-#1, it will lead the way towards the full-core implementation of CANFLEX-NU fuel in the reactor.

#### **4. CONCLUSIONS**

CANFLEX fuel has been under development for over 10 years. CANFLEX-NU fuel is a prime example of the benefits that can be achieved through collaborative ventures between Canada and Korea. Following the successful approval of the CANFLEX-NU design and fabrication method by Korean Government (MOST) as well as the successful DI of CANFLEX-NU fuel in PLGS, MOST has pushed and financially supported a KEPRI/KAERI CANFLEX-NU Joint Industrialization Program for 3 years from 2000 November to cover a DI of 24 CANFLEX-NU fuel bundles in WGS-#1 and the safety analyses for the full-core conversion of the fuel in the reactor.

The economic benefits of CANFLEX-NU fuel are directly dependent on the thermalhydraulic performance. Therefore, switching from the existing 37-element fuel to CANFLEX-NU fuel will be largely driven by the economic benefits to be realized. If KEPSCO has a positive result from the economic evaluation as well as the successful DI of CANFLEX-NU fuel in WGS-#1, the full-core implementation of CANFLEX-NU fuel at the WGS-#1 in Korea will proceed by starting the licensing process immediately from around 2003 April because the safety report for the full-core conversion will be ready by, at least, 2003 March.

#### **ACKNOWLEDGEMENT**

This work has been carried out under the Mid- and Long-Term Nuclear R & D Programs pushed by the Korea Ministry of Science and Technology.

## REFERENCES

1. H. C. Suk, K-S. Sim, B. G. Kim, C. B. Choi, C. H. Chung, A. D. Lane, D. F. Sears, J. H. K. Lau, I. Oldaker, and P. G. Boczar, CANFLEX as a CANDU Advanced Fuel Bundle , Proceedings of the 5th International Topical Meeting on Nuclear Thermal Hydraulics, Operations and Safety, pp.U1-1 to U1-16, Beijing, China, 1997 April.
2. A. D. Lane, D. F. Sears, I. E. Oldaker, B. M. Townes, A. Celli, H. C. Suk, C. H. Chung and K-S. Sim, Recent Achievement in the Joint AECL/KAERI Program to Develop the CANFLEX Fuel Bundle , Proceeding of the 10th KAIF/KNS Annual Conference, Seoul, Korea, 1995 April 6-7.
3. A. D. Lane, G. R. Dimmick, J. H. K. Lau, H. C. Suk, C. H. Chung and C. B. Choi, CANFLEX : A New CANDU Fuel Bundle with Expanded Operating Capabilities , Proceeding of the 11th KAIF/KNS Annual Conference, Seoul, Korea, 1996 April 11-12.
4. W. R. Inch, P. D. Thompson and Ho Chun Suk, Introduction of the New Fuel Bundle CANFLEX into an Existing CANDU Reactor , Presented at 12th Pacific Basin Nuclear Conference, Seoul, Korea, 2000 October 29 - November 2.
5. H. C. Suk, M. S. Yang and P. J. Fehrenbach, Feasible Advanced Fuel Cycle Options for CANDU Reactors in Korea , Presented at the International Seminar on Status and Prospects for Small and Medium Sized Reactors, Cairo, Egypt, 2001 May 27 to 31.
6. Wayne W. R. Inch, Paul D. Thompson, Patrick J. Reid and Ho Chun Suk, Demonstration Irradiation of CANFLEX in CANDU 6 Power Reactor , Proceedings of 14th KAIF/KNS Annual Conference, Seoul, Korea, 2000 April 18-20.
7. Z. Bilanovic et. al., "Safety Assessment for the 24 CANFLEX Bundle Demonstration Irradiation at Point Lepreau Generating Station", AECL Report TTR-636, Volumes 1-9, February 1998.
8. H. S. Lim and H. C. Suk, Safety Assessment for the CANFLEX-NU Fuel Bundles with respect to the 37-Element Fuel Bundles , KAERI Technical Report, KAERI/TR-1431/99, 1999 November.
9. Wolsong 2, 3 & 4 Final Safety Analysis Report, Korea Electric Power Corporation, 1995
10. Atomic Energy of Canada Limited, "600 MWe CANDU-PHW Wolsung-1 Nuclear Power Plant for the Korea Electric Company - Safety Report, Volume one & Two, 1980.

**Table 1. List of the Postulated Accident Scenarios in the Safety Analysis for the CANFLEX-NU Full-Core Conversion in WGS-#1**

<ul style="list-style-type: none"> <li>● Large break LOCA (LBLOCA)</li> <li>● LBLOCA with containment system failure</li> <li>● LBLOCA with ECCS failure</li> <li>● Small break LOCA (SBLOCA)</li> <li>● SBLOCA with containment system failure</li> <li>● SBLOCA with ECCS failure</li> <li>● Pressure tube rupture (PTR)</li> <li>● PTR with containment system failure</li> <li>● PTR with ECCS failure</li> <li>● Channel flow blockage (CFB)</li> <li>● CFB with containment system failure</li> <li>● CFB with ECCS Failure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● End fitting failure (EFF)</li> <li>● EFF with containment system failure</li> <li>● EFF with ECCS Failure</li> <li>● Steam line break (SLB)</li> <li>● SLB with containment system failure</li> <li>● SLB with ECCS Failure</li> <li>● Feed-water system failure</li> <li>● Loss of Class IV power</li> <li>● HT Pump seizure</li> <li>● Loss of reactivity control</li> <li>● Loss of P &amp; I control</li> <li>● Loss of secondary pressure control</li> <li>● Loss of shutdown cooling</li> <li>● Loss of end shield cooling</li> <li>● Pipe break in HT auxiliary system</li> </ul>
--	---

**Table 2. List of Input Parameters of the Safety Analysis for the CANFLEX-NU Full-Core Conversion in WGS-#1**

<ul style="list-style-type: none"> <li>● Physics parameter for time averaged core</li> <li>● Channel thermalhydraulic parameter for time averaged core</li> <li>● Physics parameter for equilibrium core</li> <li>● Physics parameter for transition core</li> <li>● Bundle relative element linear power</li> <li>● Bundle relative element burnup</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● SDS1 &amp; SDS2 reactivity data</li> <li>● Point neutronic data</li> <li>● Reactivity change by coolant density, fuel temperature, coolant temperature</li> <li>● Liquid zone controller reactivity</li> <li>● Mechanical control absorber reactivity</li> <li>● Adjuster reactivity</li> </ul>
--	--

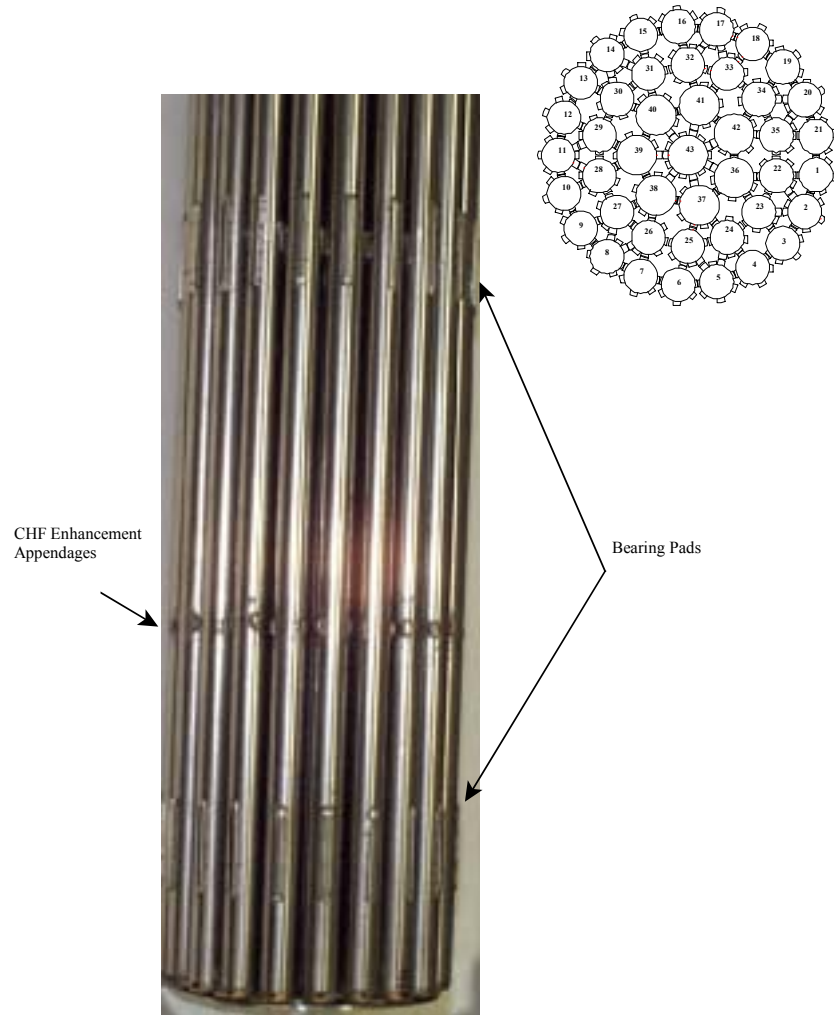


Figure 1. CANFLEX 43-Element Bundle

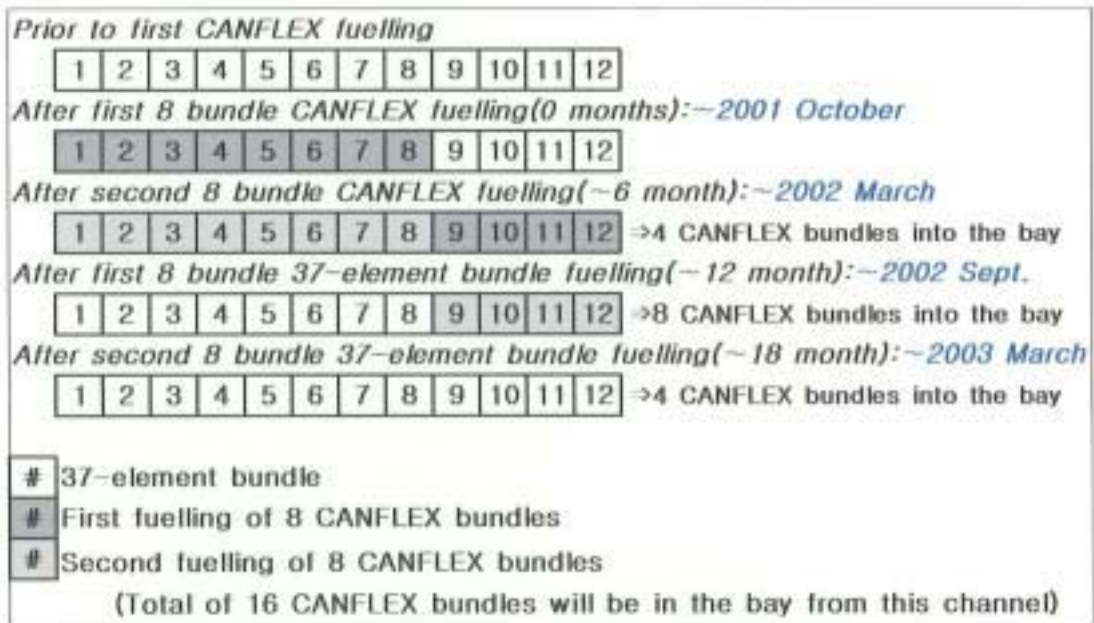


Figure 2. Projected CANFLEX-NU Fuelling History for a High-Power Channel in WGS-#1

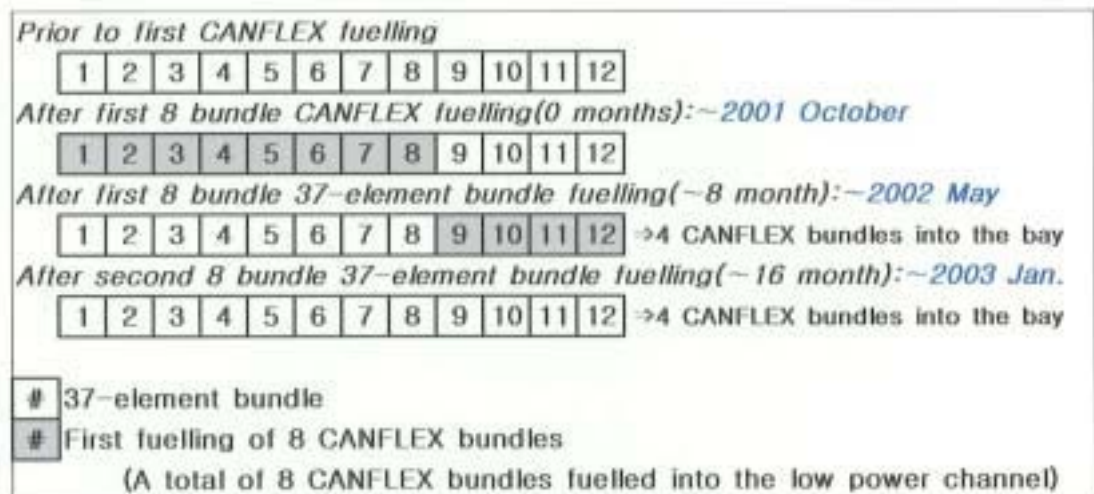


Figure 3. Projected CANFLEX-NU Fuelling History for Low-Power and Flow Instrumented Channel in WGS-#1



서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KAERI/TR-1897/2001					
제 목 / 부 제	월성 1 호기에의 24 개 중수로용 개량핵연료다발 (CANFLEX-NU) 시범장전 조사: 핵연료 발주, 취급, 조사후 시험 및 후속문서 생산 지침				
연구책임자 및 부서명 (AR, TR등의 경우 주저자)	석 호 천 (핵연료설계기술개발팀)				
연구자 및 부서명	조문성, 전지수, 정종업 (핵연료설계기술개발팀)				
출 판 지		발행기관	한국원자력연구소	발행년	2001. 7
페 이 지	21 p.	도 표	있음( 0 ), 없음( )	크 기	26 Cm.
참고사항					
비밀여부	공개( v ), _ 급비밀	대외비( ),	보고서종류	기술보고서	
연구위탁기관			계약 번호		
초록 (15-20줄내외)					
<p>본 보고서는 과학기술부 주관 원자력실용화연구개발사업의 일환으로 2000년 11 월부터 착수된 KEPRI/KAERI 공동 "중수로용 개량핵연료(CANFLEX-NU) 실용화 연구" 과제 계획에 따라 수행되는 24개 CANFLEX-NU 핵연료다발의 월성 1 호기 시범장전 조사 프로그램과 관련된 "CANFLEX-NU 핵연료다발 제조 및 품질보증(QA)", "핵연료 취급", "사용후핵연료 운반 용기 및 운반", "사용후 핵연료의 조사후 시험", "후속 문서" 등에 대한 지침을 기술한 것이다. 여기의 "사용후 핵연료 운반 용기 및 운반" 및 "사용후 핵연료의 조사후 시험"에 대한 기술은 CANFLEX-NU 핵연료의 월성 1 호기 전량 상업장전 인허가 과정에서 본 시범장전 조사를 대표할 수 있는 CANFLEX-NU 핵연료다발을 조사후 시험 결과가 요구될 경우를 대비하여 기술한 것이다</p>					
주제명키워드 (10단어내외)	CANFLEX-NU 다발, 시범 조사, 핵연료다발 제조, 품질보증(QA), 핵연료 취급, 사용후핵연료 운반 용기 및 운반, 조사후 시험,				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	
KAERI/TR-1897/2001					
Title / Subtitle		The 24 CANFLEX-NU Bundle Demonstration Irradiation at Wolsong-1 Generating Station- BUNDLE MANUFACTURE & QA, FUEL HANDLING ASPECTS, FLASKING & SHIPPING AND PIE FOR THE IRRADIATED FUEL, AND FOLLOW-UP DOCUMENTATION			
Main Author		Suk. Ho-Chun (CANDU Advanced Fuel Technology Development Project)			
Researcher and Department		M.S. Cho, J.S. Jun, J.Y. Jung (CANDU Advanced Fuel Technology Development Project)			
Publication Place		Publisher	KAERI	Publication Date	2001. 7.
Page	21 p.	Fig. & Tab.	Yes( o ), No ( )	Size	26 Cm.
Note					
Classified	Open(v). Restricted(). __ Class Document	Report Type	Technical Report		
Sponsoring Org.		Contract No.			
Abstract(15-20 Lines)	<p>Korea Ministry of Science and Technology(MOST) has pushed and given a financial support to a KEPRI/KAERI Joint Industrialization Program of CANFLEX-NU Fuel as one of Korea's National Nuclear Mid- and Long Term R &amp; D Program. The Industrialization Program will be conducted for 3 years from 2000 November to efficiently utilize the CANFLEX fuel technology developed by KAERI and AECL jointly, where the KAERI's works have been conducted under the Korea's national program of the mid- and long-term nuclear R &amp; D programs since 1992. This document is a report to guideline the following activities on the safety assessment for the 24 CANFLEX-NU (CANDU Flexible fuelling-Natural Uranium) fuel bundle demonstration irradiation at Wolsong-1 Generating Station : "Bundle manufacture and QA", "Fuel handling aspects such as loading fuel, de-fuelling and segregation, and visual in-bay examinations", "Flasking and shipping", "Post-irradiation examination", and "Follow-up documentation to be produced"</p>				
Subject Keywords (About 10 words)	CANFLEX-NU fuel bundle, demonstration irradiation, bundle manufacture, QA, fuel handling, flasking, shipping, post-irradiation examination				