

## 핫셀에서의 DUPIC 핵연료 소결체 원격 검사 Remote Inspection of DUPIC Fuel Pellets at Hot-cell

김웅기, 김수성, 임성팔, 이정원, 이재원, 민진영, 김종호, 양명승

한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

### 요 약

사용후 경수로(PWR) 핵연료를 건식으로 처리하여 중수로 핵연료로 재사용하는 DUPIC(Direct Use of spent PWR fuel In CANDU reactor) 핵연료 주기기술을 개발하기 위해 1986년에 방출된 고리 1호기 사용후핵연료를 이용하여 1999년 4월부터 핫셀에서 DUPIC 핵연료 소결체 제조실험을 수행하고 있다. DUPIC 핵연료 소결체는 방사능이 매우 높기 때문에 핫셀에서 원격으로 제조되며 품질검사 또한 핫셀에서 원격으로 이루어진다. DUPIC 소결체를 검사하기 위해 핫셀에서 원격 조작이 가능한 검사장비를 개발하였으며 개발된 장비를 이용하여 핫셀에서 제조된 DUPIC 소결체의 특성을 검사하였다. 화학분석 및 조직검사는 소결체의 일부 표본에 대해 검사용 핫셀에서 수행되었다. 본 기술을 적용하여 DUPIC 소결체의 특성을 분석하고 건전성을 확인하였으며 이를 바탕으로 제조된 DUPIC 소결체중 15개의 소결체를 하나로 원자로에서 성공적으로 조사시험하였다.

### Abstract

Since April 1999, DUPIC fuel fabrication experiment has been performed using the spent PWR fuel released from the nuclear power plant Kori 1 in 1986 to develop the nuclear fuel technologies for DUPIC(Direct Use of spent PWR fuel In CANDU reactor) fuel cycle, one of dry processing fuel cycles to reuse irradiated PWR fuel in CANDU reactors. Since DUPIC fuel pellets are high-radioactive, the fuel pellets are remotely fabricated and inspected at hot-cell. The inspection systems operated remotely at hot-cell were developed to inspect DUPIC pellets. Using the developed inspection systems, the characteristics of DUPIC pellets was analyzed. Chemical analysis and micro-structure analysis were performed at the hot-cells used for inspection, respectively. Based on the inspection technologies, DUPIC pellets were analyzed, and the soundness of the pellets were confirmed. The 15 DUPIC pellets were successfully irradiated for performance test at HANARO reactor.

## 1. 서론

경.중수로 연계 핵연료주기기술인 DUPIC(Direct Use of spent PWR fuel In CANDU reactor)은 사용후 PWR 핵연료를 건식으로 처리하여 중수로 원자력발전소의 연료로 재사용하는 것을 목표로 하고 있다. DUPIC 핵연료는 새로운 개념의 핵연료이기 때문에 핵연료로서 갖추어야 할 성능을 확보하고 안전성을 평가하는 작업은 무엇보다도 중요하다. DUPIC 핵연료 소결체는 DUPIC 핵연료의 기본적인 요소로서 그 특성을 검사하는 작업은 매우 기본적이며 중요한 부분이다.

본 연구에서는 1986년에 방출된 고리 1호기 사용후핵연료를 이용하여 1999년 4월부터 핫셀에서 DUPIC 핵연료 소결체 제조실험을 수행하고 있다. DUPIC 핵연료 소결체는 방사능이 매우 높기 때문에 핫셀에서 원격으로 제조되며 품질검사 또한 핫셀에서 원격으로 이루어진다. DUPIC 핵연료는 중수로 원자력발전소에서 사용되는 것을 목적으로 하고 있기 때문에 DUPIC 핵연료의 검사 항목과 검사 기준은 CANDU 핵연료의 검사항목과 검사기준을 참고하였다. DUPIC 소결체의 밀도, 치수, 표면결합, 표면조도, 소결체 장전길이를 검사하기 위해 핫셀에서 원격 조작이 가능한 검사장비들을 개발하였으며 개발된 장비를 이용하여 핫셀에서 제조된 DUPIC 소결체의 특성을 검사하였다. 화학분석 및 조직검사는 소결체의 일부 표본에 대해 검사용 특수 핫셀에서 수행되었다. 본 기술을 적용하여 DUPIC 소결체의 특성을 분석하고 건전성을 확인하였으며 이를 바탕으로 DUPIC 핵연료 소결체중 15개의 소결체를 하나로 원자로에서 성공적으로 조사시험하였다.

## 2. DUPIC 핵연료 소결체 검사

### 2.1 DUPIC 핵연료 소결체 제조

DUPIC 핵연료는 중수로 원자력 발전소의 연료로 사용되는 것을 목표로 하고 있기 때문에 DUPIC 핵연료 소결체의 기본적인 사양은 CANDU 핵연료 소결체의 사양과 동일하다. 그러나 현재 DUPIC 핵연료 소결체는 핫셀에서 원격으로 제조되어 이산화우라늄 핵연료보다 제조공정이 까다로울 뿐만 아니라 최적 제조 조건 및 제조 사양을 확립하는 단계에 있다. DUPIC 핵연료 소결체는 성능평가를 위해 연구용 원자로인 하나로 원자로에서 조사시험되며 현재 DUPIC 핵연료 소결체를 장전한 조사시험용 연료봉은 길이 약 20 cm, 두께 0.66 mm의 소연료봉으로 Zircaloy-4 튜브로 제조된다<sup>[1]</sup>. DUPIC 핵연료 소결체의 직경 및 길이는 조사시험용 소연료봉에 장전될 수 있도록 제조되었다. 초기 조사시험용 소연료봉과는 달리 최종적으로는 CANFLEX 연료봉에 장전하여 조사시험을 수행할 계획이며 DUPIC 핵연료 소결체의 사양도 CANFLEX 핵연료 소결체의 사양을 참조할 예정이다. 그림 1은 두께가 0.66 mm인 지르카로이-4 재료의 조사시험용 소연료봉의 구조를 보여준다. 조사시험용 소연료봉은 3 개가 제조되어 조사시험용 캡슐에 장착된다. 초기에는 무게장 캡슐을 사용하며 단계적으로는 계장 캡슐을 이용하여 DUPIC 핵연료 소결체의 성능을 세밀하게 분석할 예정이다. 각각의 조사시험용 소연료봉에는 5 개의 DUPIC 핵연료 소결체가 장전되므로 총 15 개의 DUPIC 핵연료 소결체가 한 번의 조사시험에 이용된다. 15 개의 조사시험

용 소결체를 제조하기 위해 압분 압력에 따른 3 가지 제조 공정 조건으로 모두 26 개의 소결체를 제조하였다<sup>[2]</sup>. 26 개의 소결체 중에서 결함이 없는 15 개의 소결체를 선택하여 특성을 분석하고 하나로 원자로에서 조사시험을 수행하였다.

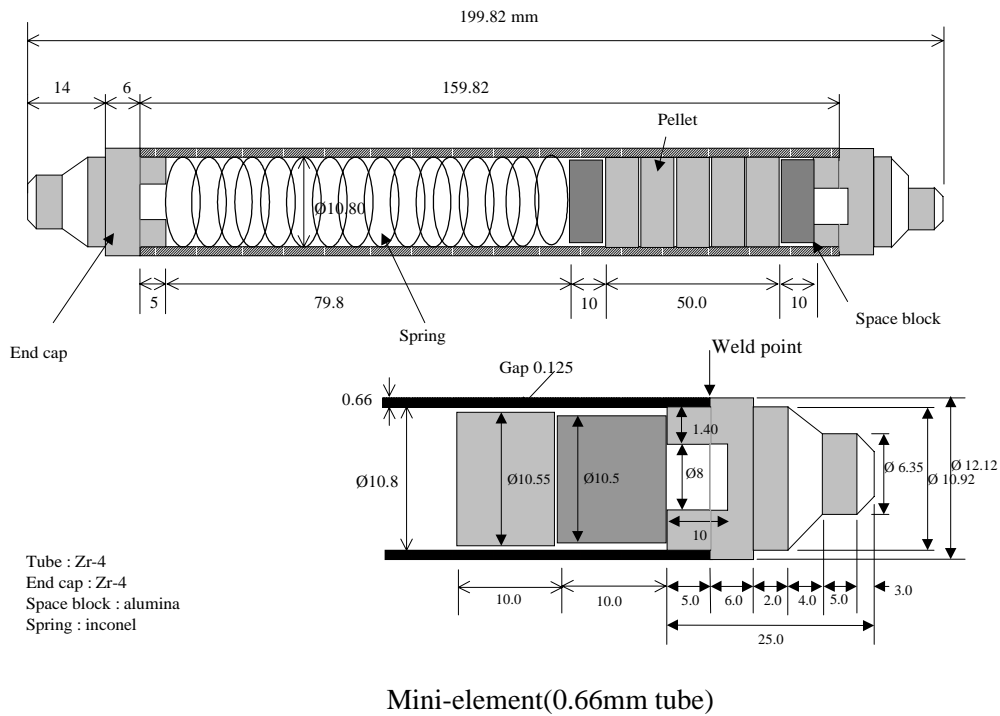



그림 1. Zircaloy-4 조사시험용 소연료봉의 구조

## 2.2 DUPIC 핵연료 소결체 검사 계획

DUPIC 핵연료 소결체를 제조하기 전에 제조 사양이 결정되며 제조 사양을 기준으로 시험검사 계획서를 작성한다. 시험검사계획서를 근간으로 품질검사이침서를 작성하고 지침서에 근거하여 DUPIC 핵연료 소결체를 검사한다<sup>[3]</sup>. 표 1은 조사시험용 DUPIC 소결체 시험검사계획서의 예를 보여준다.

표 1. DUPIC 핵연료 소결체 시험검사계획서

 KAERI DUPIC 핵연료 개발		DUPIC 핵연료 소결체 시험검사계획서 INSPECTION AND TEST PLAN of DUPIC Pellets			문서번호 ITP-DUPELLET-Rev.0
검사항목	관련지침서 번호	검사수준	판정 기준	검사방법 및 장치	
밀도검사 (침적밀도)	QCI-08 5.1	전수검사	9.15 ~ 10.44 g/cm <sup>3</sup>	마이크로천칭(0.001g) 크래들	
화학성분분석	QCI-08 5.2	1ea/로트	-	화학분석	
미세조직검사	QCI-08 5.3	1ea/배취	-	미세조직검사	
표면결함	QCI-08 5.4	전수검사	-	확대망원경(X20), 사진촬영장치	
췌수	길이	QCI-08 5.5	전수검사	8.00 ~ 12.00 mm	다이알게이지(0.01mm)
	직경	QCI-08 5.5	전수검사	10.47 ~ 10.63 mm	다이알게이지(0.01mm) 또는 마이크로메타(0.001mm)
	홈깊이	QCI-08 5.5	전수검사	0.34 ~ 0.50	다이알게이지(0.01mm)
	어깨폭	QCI-08 5.5	전수검사	0.40 ~ 1.00 mm	사진촬영
표면조도	QCI-08 5.5	전수검사	Ra < 1.30um	표면조도측정기(0.02um)	
소결체 장전길이 검사	QCI-08 5.6	전수검사	46.00 ~ 54.00 mm	다이알게이지(0.01mm) 또는 마이크로메타(0.01mm)	

### 2.3 DUPIC 핵연료 소결체 원격 검사 장치 개발

DUPIC 핵연료 소결체의 화학성분 및 조직검사는 각각 검사용 핫셀에서 수행되며 일반적인 물리적 특성 검사는 소결체를 제조하는 IMEF M6 핫셀에서 수행된다. DUPIC 핵연료 소결체 검사 장치는 핫셀에서 사용되므로 내방사성과 원격조작 및 유지보수 측면을 고려하여 설계 및 제작되었다. 개발된 장치는 DUPIC 핵연료를 제조하는 IMEF M6a 및 M6b 핫셀에 설치되어 DUPIC 핵연료 소결체 검사에 이용되고 있다<sup>[4]</sup>.

#### 2.3.1 길이 측정 장치

길이 측정 장치는 DUPIC 압분체 및 연마된 소결체의 길이를 측정하는 장치이다. 레버식 다이알 게이지와 추를 사용하여 원격조작성을 향상시키고 원격 조작시 힘의 불균등에 의해 수반될 오차를 최소화시킬 수 있는 구조로 설계제작하였다. 길이 측정 범위는 0 ~ 20 mm, 정밀도는 0.01 mm이다. 개발된 장치를 이용하여 표준 길이블록을 측정하였다. 측정 정밀도를 확인하기 위해 3회 측정하였으며 0.01 mm 이내의 오차범위를 나타내었다. 그림 2는 길이 측정장치를 보여준다.

#### 2.3.2 홈깊이 측정 장치

길이 측정 장치와 함께 사용되어 DUPIC 핵연료 압분체 및 소결체의 홈깊이를 측정하는 장치이

다. 길이 측정 장치에서 측정한 값에서 흠깊이 측정장치에서 측정한 값을 빼면 흠깊이 값을 얻을 수 있다. 길이 측정 장치와 마찬가지로 레버식 다이얼 게이지와 추를 사용하여 원격조작성을 향상시키고 원격 조작시 힘의 불균등에 의해 수반될 오차를 최소화시킬 수 있는 구조로 설계제작하였다. 길이 측정 범위는 0 ~ 20 mm, 정밀도는 0.01 mm이다. 개발된 장치를 이용하여 표준 길이블록을 측정하였다. 측정 정밀도를 확인하기 위해 3회 측정하였으며 0.01 mm 이내의 오차범위를 나타내었다. 그림 3은 흠깊이 측정 장치를 보여준다.



그림 2. 길이 측정 장치



그림 3. 흠깊이 측정 장치

### 2.3.3 직경 측정 장치

직경 측정 장치는 DUPIC 핵연료 압분체 및 소결체의 직경을 측정하는 장치이다. 직경 측정 범위는 0 ~ 25 mm, 정밀도는 0.001 mm인 마이크로메타와 소결체를 고정시키기 위한 V형 블록으로 구성되었다. 압분체의 직경은 0.01mm의 측정 정밀도가 요구되며 연마된 소결체의 직경은 0.001mm의 측정 정밀도가 요구되며 본 장치로 두 가지 측정이 가능하다. 측정 정밀도를 확인하기 위해 표준길이 블록을 2회 측정하였으며 측정 평균값은 0.013 mm 이내의 오차범위를 나타내었다. 영점조정시 +0.006 mm의 값을 유지하고 있었으므로 보정된 값의 평균값은 0.006 mm 이내의 오차를 나타내었다. 그림 4는 직경 측정 장치를 보여준다. 조사시험용 소결체는 0.01 mm의 정밀도로도 측정이 가능하여 길이 측정 장치를 활용하여 소결체의 직경을 측정할 수도 있다. 그림 5는 IMEF M6a 핫셀에 설치된 길이, 흠깊이, 직경 측정장치를 보여준다.

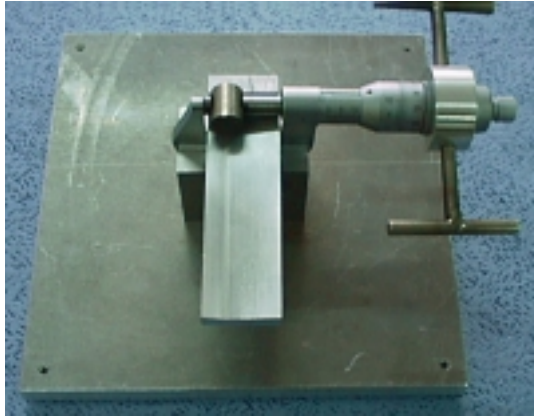


그림 4. 직경 측정 장치

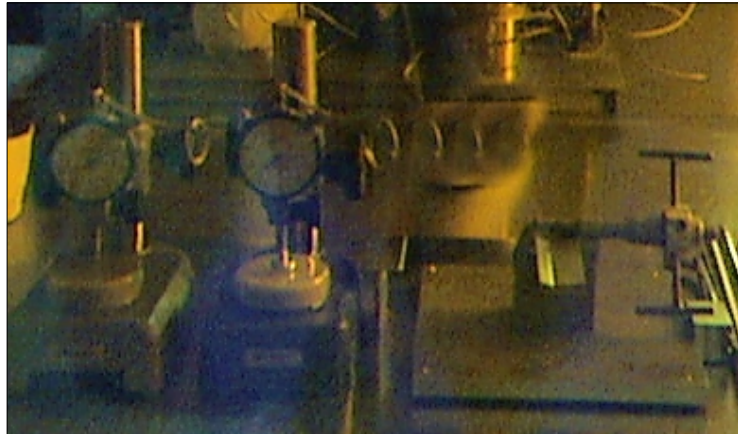


그림 5. IMEF M6a 핫셀에 설치된 소결체 검사장치 (길이, 흠깊이, 직경 측정)

#### 2.3.4 밀도 측정 장치

밀도 측정 장치는 DUPIC 핵연료 압분체 및 소결체의 무게 및 소결체의 밀도를 측정하는 장치이다. 압분체의 밀도는 측정된 길이 및 직경값을 이용하여 부피를 계산하여 측정되지만 소결체의 밀도는 침적밀도에 의해 측정된다. 측정 장치는 최대용량 620 g, 정밀도 0.001 g의 전자저울과 밀도측정용 기구로 구성되어 있다. 전자저울의 본체에는 방사선에 취약한 전자회로 부분이 포함되어 있다. 핫셀 내부에는 측정대상인 DUPIC 핵연료 소결체 뿐만 아니라 주위에 방사능이 높은 물질이 산재하므로 전자저울의 수명이 매우 단축된다. 실제 사용후핵연료를 이용한 핫셀 실험에서 방사선에 의해 전자저울의 전자회로 부분이 손상되어 전자회로가 포함된 전자저울의 수명이 한달을 넘기지 못한 경우가 있다. 따라서 전자저울에 포함된 전자회로 부분을 분리하였으며 1cm

두께의 납으로 전자저울의 센서 부분을 보호하여 방사선의 영향을 최대한 억제할 수 있도록 밀도 측정 장치를 구성하였다.



그림 6. DUPIC 핵연료 소결체 밀도 측정 장치

### 2.3.5 표면조도 측정 장치

표면조도 측정 장치는 연마된 DUPIC 핵연료 소결체의 표면조도를 측정하는 장치이다. 제작된 표면조도 측정 장치는 그림 7과 같다. 표면조도 측정 장치는 본체, 프린터, 접촉센서, 스탠드 및 V블록으로 구성된다. V블록에 측정하고자 하는 소결체를 위치시키고 레버를 조작하여 소결체 표면에 접촉센서를 접촉시켜 표면조도를 측정한다. 측정범위는 5mm, 정밀도는 0.01  $\mu\text{m}$ 이다. 표면조도 측정시 접촉센서 부분은 고방사능 DUPIC 핵연료 소결체와 밀접하게 된다. 센서부분은 방사선에 매우 취약할 것으로 예측되며 이 센서부분을 방사선으로부터 보호하기 위해서는 가능한 DUPIC 핵연료 소결체에 대한 측정시간을 줄여 센서가 방사선에 노출되는 시간을 줄이고 주위에 핵물질이 존재하지 않도록 핵물질을 관리할 필요가 있다. 평상시에 센서를 보호할 수 있도록 센서 주변에 5cm 두께의 납블록을 설치하였다.



그림 7. 연마된 DUPIC 핵연료 소결체의 표면조도 측정 장치

### 2.3.6 표면상태 검사 장치

표면상태 검사 장치는 연마된 소결체의 표면을 확대하여 육안으로 소결체 표면에 존재하는 결함을 검사하는 장치이다. 100 ~ 200배의 고배율 근접초점 망원경과 회전 테이블로 구성되며 1.5 ~ 2 m 관측거리에 있는 핫셀 내부의 소결체 표면을 육안으로 관측하거나 고해상도 CCD 카메라 및 모니터를 부착하여 모니터화면을 통해 소결체의 표면을 관측하고 검사를 수행한다. 그림 8은 소결체 표면검사용 회전장치를 보여준다. 그림 8 a)는 원주방향의 표면을 검사할 경우에, 그림 8 b)는 소결체의 상하 양단면을 검사할 경우를 나타낸다.



a) 원주방향 표면검사



b) 상하 양단면 검사

그림 8. 소결체 표면 검사용 회전장치





그림 9. IMEF 핫셀에 설치된 표면 검사 장치

### 2.3.7 어깨폭 측정

DUPIC 소결체의 어깨폭은 0.5mm 정도로 매우 작아 핫셀에서 측정 도구를 이용하여 원격으로 측정하기가 곤란하며 일반적인 투영기를 핫셀에 설치하기도 곤란하여 확대사진촬영 방법을 사용하여 어깨폭을 측정한다. 표면검사장치로 사용되는 근접초점 망원경의 아이피스 부분에 카메라를 설치하여 소결체의 상부 또는 하부면을 촬영하고 이를 현상한다. 소결체의 외경은 측정을 통해 알 수 있으므로 외경에 대한 어깨폭 원주면의 직경을 측정하여 어깨폭을 환산한다. 어깨폭은 다음 식과 같이 계산된다.

$$R_i = R_a/R_b \times R_o,$$

$$S_w = (R_o - R_i)/2$$

여기서  $R_a$ 는 사진상의 소결체 내경,  $R_b$ 는 사진상의 소결체 외경,  $R_o$ 는 소결체의 외경,  $R_i$ 는 소결체의 내경,  $S_w$ 는 어깨폭을 나타낸다. 그림 10과 11은 연마하기 전 및 연마한 후의 DUPIC 핵연료 소결체를 보여준다. 표 2는 각각의 소결체에 대해 어깨폭을 측정한 결과를 나타낸다.

표 2. DUPIC 핵연료 소결체 어깨폭 측정 실험

	소결체 외경, $R_o$	사진상의 소결체 외경, $R_a$	사진상의 소결체 외경, $R_b$	챔퍼 원주 내경, $R_i$	어깨폭, $S_w$
미연삭체	11.03 mm	54 mm	63 mm	9.45 mm	0.79 mm
연삭체	10.576 mm	85 mm	94 mm	9.563 mm	0.507 mm

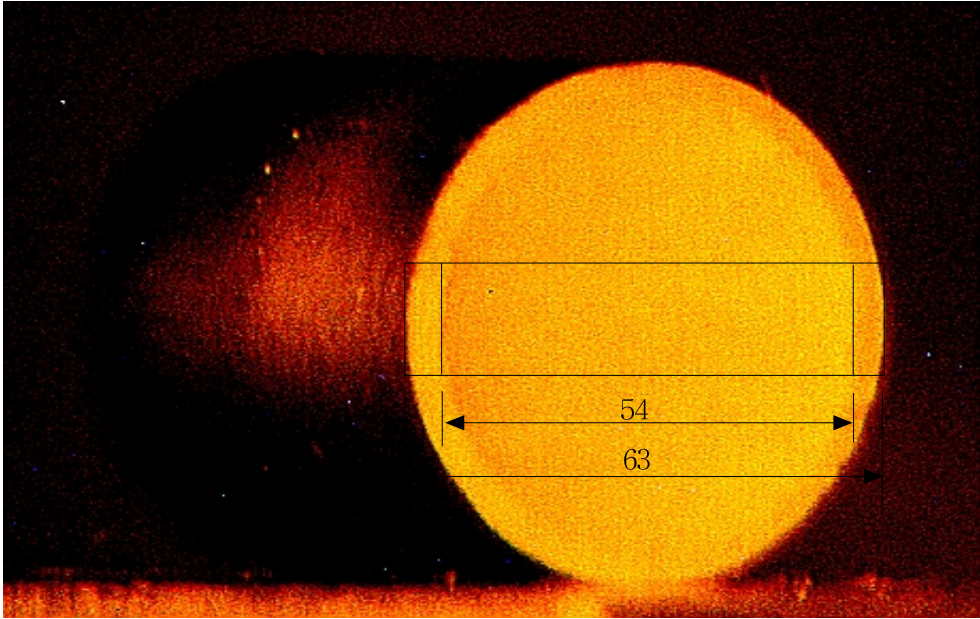


그림 10. 연삭하기 전의 DUPIC 소결체 어깨폭 측정

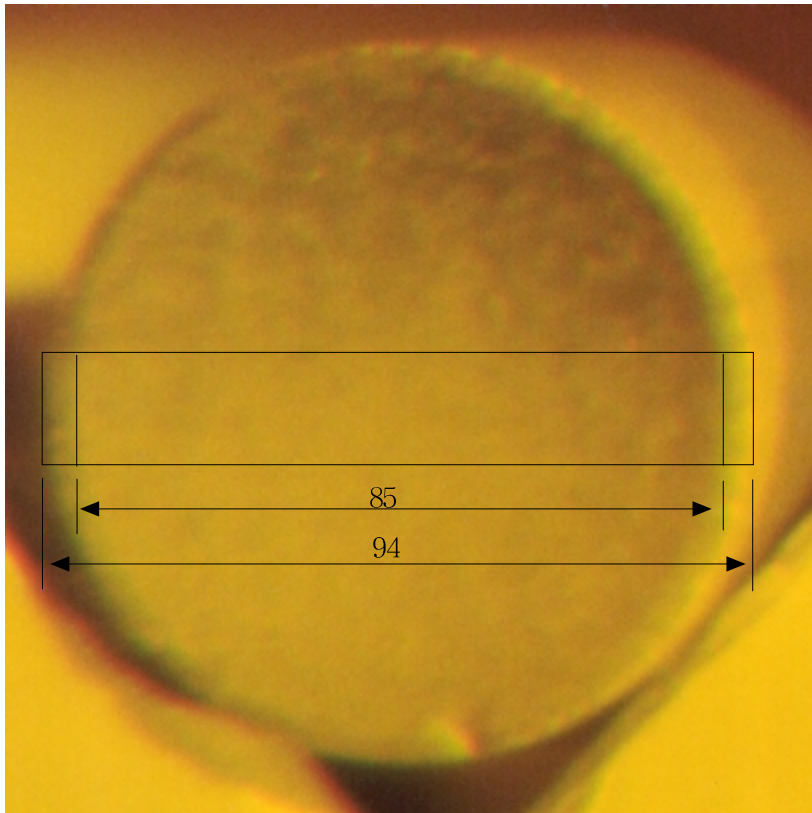


그림 11. 연삭된 조사시험용 DUPIC 소결체(#1) 어깨폭 측정

## 2.4 조사시험용 DUPIC 핵연료 소결체 검사

### 2.4.1 소결체 밀도, 길이, 흠깊이, 직경, 어깨폭, 표면조도 및 표면결함 검사

제조된 26 개의 DUPIC 핵연료 소결체 중에서 조사시험용으로 사용된 15 개의 소결체에 대해 밀도, 길이, 흠깊이, 직경, 어깨폭, 표면조도 및 표면결함을 검사하고 표 3에 정리하였다. 1~5 번 소결체의 압분압력은  $0.8 \text{ ton/cm}^2$ , 6~12 번 소결체의 압분압력은  $1.2 \text{ ton/cm}^2$ , 13~15 번 소결체의 압분압력은  $1.6 \text{ ton/cm}^2$  이다. 그림 12는 압분압력에 따른 소결체의 밀도를 보여준다. 압분압력이 높은 경우 압분밀도 뿐만 아니라 소결밀도도 증가하였다. DUPIC 핵연료 소결체의 밀도는 CANDU 핵연료 소결체의 밀도에 비해 상대적으로 작은 값을 나타냈다. 이는 DUPIC 핵연료 소결체의 이론밀도가 CANDU 핵연료 소결체의 이론밀도보다 작을 뿐만 아니라 최적의 제조조건을 확립하는 단계이기 때문이다. 최적의 DUPIC 제조조건이 확립되면 DUPIC 핵연료 소결체의 밀도가 향상될 수 있을 것으로 기대하고 있다. DUPIC 핵연료 소결체의 표면조도 측정 결과  $0.8 \sim 1.29 \mu\text{m}$  범위의 값을 나타냈다. 이는 DUPIC 핵연료 제조 공정의 특성상 소결체의 표면을 건식방법으로 연마했기 때문으로 분석된다.

표 3. 조사시험용 DUPIC 핵연료 소결체의 밀도, 길이, 흠깊이, 직경, 어깨폭, 표면조도 검사

핵연료 번호	밀도, $\text{g/cm}^3$	길이, mm	흠깊이, mm	직경, mm	어깨폭, mm	표면조도, Ra, $\mu\text{m}$
1	10.068	9.31	0.36	10.576	0.51	1.17
2	10.054	10.32	0.38	10.567	0.50	1.06
3	10.061	10.17	0.37	10.612	0.51	0.92
4	10.068	9.78	0.36	10.620	0.46	0.88
5	10.023	9.82	0.35	10.585	0.46	0.88
6	10.092	9.88	0.44	10.580	0.46	1.18
7	10.098	9.86	0.38	10.500	0.45	1.15
8	10.094	10.01	0.39	10.613	0.51	1.29
9	10.088	9.92	0.38	10.558	0.45	1.13
10	10.090	9.64	0.35	10.614	0.51	1.26
11	10.107	9.85	0.36	10.548	0.51	0.99
12	10.070	10.01	0.38	10.587	0.51	1.22
13	10.142	9.89	0.41	10.598	0.51	0.98
14	10.136	10.05	0.37	10.590	0.46	1.10
15	10.131	9.71	0.39	10.562	0.46	1.02

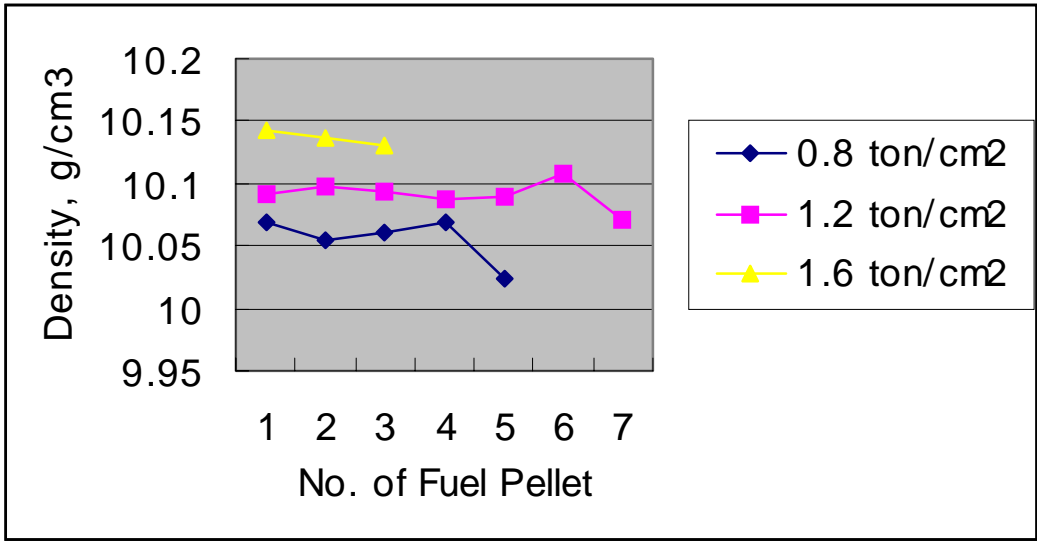


그림 12. 압분압력에 따른 DUPIC 핵연료 소결체의 밀도

#### 2.4.2 장전길이 측정

3 개의 조사시험용 소연료봉에 장전된 5 개의 소결체의 총길이는 표 4와 같다.

표 4. 조사시험용 DUPIC 핵연료 소결체 장전길이

소연료봉 번호	장전 길이, mm
1	49.40
2	49.31
3	49.51

#### 2.5 DUPIC 핵연료 소결체 조직검사

제조된 DUPIC 핵연료 소결체 중 2 개의 소결체에서 일부 샘플을 채취하여 조직검사용 특수 핫 셀에서 미세조직을 검사하였다. 1000 배 배율에서 소결체의 미세조직을 검사하였으며 교차 방식으로 측정된 평균결정립의 크기는 각각 3.74  $\mu\text{m}$ , 3.53  $\mu\text{m}$ 이다. 그림 13은 1000배율 사진을 1/2로 축소하여 500배율로 나타낸 DUPIC 핵연료 소결체의 조직사진이다.

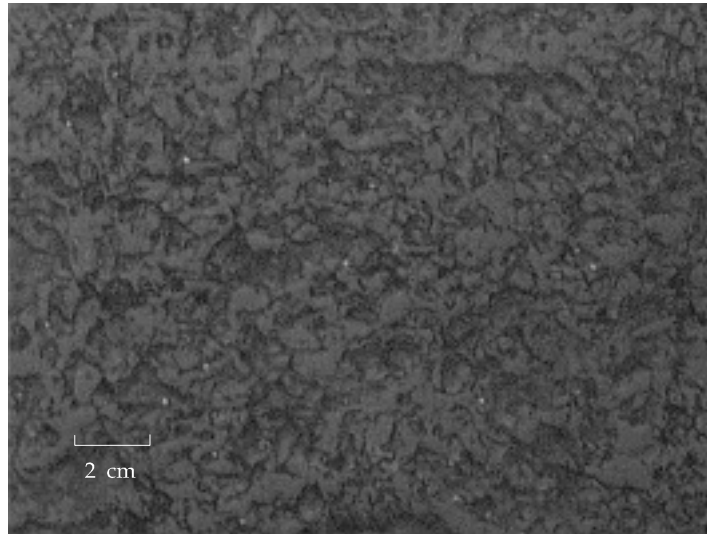


그림 13. DUPIC 핵연료 소결체 조직 사진(X500)

## 2.6 DUPIC 핵연료 소결체 화학 분석

제조된 DUPIC 핵연료 소결체 중 1 개의 소결체에서 일부 샘플을 채취하여 화학분석용용 특수 핫셀에서 화학성분을 분석하였다. 분석 가능한 성분의 종류가 제한적이었지만 분석결과 ORIGEN 계산값과 유사한 결과를 얻었다. 분석한 결과는 표 4와 같다.

표 4. DUPIC 핵연료 소결체 화학성분 분석

Element	함량 (mg/g sample)	상대표준편차 (RSD, %)
La	1.21	1.3
Nd	3.58	1.2
Sm	0.63	0.7
Eu	0.13	0.0
U 총량	821.1	0.22
U-234	0.0197 (wt%)	0.0026 ( $2\sigma$ )
U-235	0.7192 (wt%)	0.0054 ( $2\sigma$ )
U-236	0.3295 (wt%)	0.0032 ( $2\sigma$ )
U-238	98.9316 (wt%)	0.0069 ( $2\sigma$ )
Pu 총량	8.415	0.27
Pu-238	2.1956 (wt%)	0.0021 ( $2\sigma$ )
Pu-239	56.6637 (wt%)	0.0021 ( $2\sigma$ )
Pu-240	26.3664 (wt%)	0.0031 ( $2\sigma$ )
Pu-241	7.9364 (wt%)	0.0019 ( $2\sigma$ )
Pu-242	6.8378 (wt%)	0.0014 ( $2\sigma$ )

### 3. 결 론

사용후 경수로 핵연료를 건식으로 처리하여 중수로 핵연료로 재사용하는 DUPIC 핵연료 주기기술을 개발하기 위해 1986년에 방출된 고리 1호기 사용후핵연료를 이용하여 1999년 4월부터 핫셀에서 DUPIC 핵연료 소결체 제조실험을 수행하고 있으며 DUPIC 핵연료 제조공정을 확립하기 위한 실험을 계속 수행중이다. DUPIC 핵연료 소결체는 방사능이 매우 높기 때문에 핫셀에서 원격으로 제조되며 품질검사 또한 핫셀에서 원격으로 이루어진다.

DUPIC 소결체의 밀도, 치수, 표면결함, 표면조도, 소결체 장전길이를 검사하기 위해 핫셀에서 원격 조작이 가능한 검사장비들을 개발하였으며 개발된 장비를 이용하여 핫셀에서 제조된 DUPIC 소결체의 특성을 검사하였다. 화학분석과 조직검사는 소결체의 일부 표본에 대해 검사용 핫셀에서 수행되었다. 실험결과 원격조작기로 검사기기를 조작하여 DUPIC 핵연료 소결체의 밀도, 길이, 흠깊이, 직경, 표면조도, 표면결함, 장전길이를 검사하였으며 화학성분과 미세조직도 검사용 핫셀에서 성공적으로 검사하였다. 3 가지 압분압력을 변수로 제조된 26 개의 소결체를 검사하였으며 그 중에서 선별된 15 개의 소결체를 2 달 동안 하나로 원자로에서 성공적으로 조사시험하였다.

### Acknowledgement

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] 김수성 등, "DUPIC 조사시험용 연료봉단 용접," QR-00-04, (2000)
- [2] 이정원 등, "조사시험용 DUPIC 핵연료 소결체 제조보고서," QR-00-02, (2000)
- [3] 양명승 등, "중수로핵연료 품질관리지침서," (1988)
- [4] 양명승 등, "DUPIC 핵연료 제조장비 및 검사기기 개발," KAERI/TR-1319/99, 한국원자력연구소, pp.72-75, (1999)