

### 3차원 측정장치를 활용한 경수로용 사용후 핵연료 지지격자 측정기술 구축

주용선, 김길수, 김도식, 백승재, 유병옥, 송웅섭, 진영관, 김기하, 박대규, 안상복, 류우석  
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989-111  
 vschoo@kaeri.re.kr

#### 1. 서론

경수로용 사용후 핵연료는 원자로 로심에서 약 3주기 연소한다. 연소 중에 중성자 조사와 냉각수의 고속 흐름으로 인해 핵연료 집합체의 구조체인 지지격자와 핵연료봉과의 사이에 접촉으로 인한 마모 현상 및 변형이 발생한다. 이러한 발생은 핵연료 집합체의 수명에 절대적으로 나쁜 영향을 주기 때문에 셀의 크기 변화량, 스프링 피치 및 딥플 피치의 변형 관찰 및 크기측정이 절실하게 요구되어 왔다.

본 논문에서는 고방사능을 지니고 있는 지지격자의 셀 크기, 스프링 및 딥플피치를 측정하기 위해서 조사재시험시설(IMEF)의 M5a 핫셀 내부에 설치한 3차원 측정장치를 활용한 시험내용과 결과를 기술하였다.[1,2,3,4]

#### 2. 본론

##### 2.1 3-D 측정장치 개요

3-D 측정장치는 그림 1.과 같이 측정부, 콘트롤러(controller) 및 PC로 구성되어 있다.

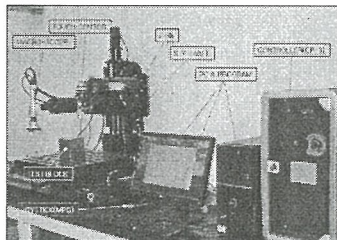


Fig. 1. 3-D measurement system for measuring the cell sizes, springs and dimples of PWR's spent fuel grid.

측정부에는 테이블, 카메라와 접촉식 센서(touch sensor)를 구축하고, 3축 방향 이동 및 회전한다. 지지격자의 크기를 고려하여 3차원 측정장치의 테이블 크기를 300 mmW x 300 mmD로 하였고, X-축 및 Y-축 방향으로 각각 최대 ±200

mm까지 구동하며, 카메라와 접촉식 센서를 Z-축 상하방향으로 최대 250mm까지 구동하며, 특히 측정 대상물의 내부를 측정하기 위해 접촉식 센서를 360도 회전(U-방향)할 수 있도록 하였다.

핫셀 외부에서 원격으로 구동부를 제어하기 위해 각 축별 방향성을 그림 2.와 같이 표시하였다.

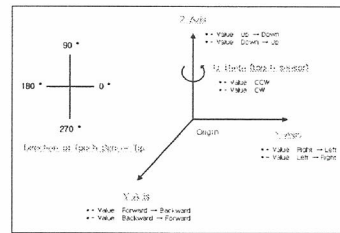


Fig. 2. Design of direction.

3축별 불확도를 작게 하고 정확도를 높이기 위해 스텝 모터(step motor)을 적용하였고, 리미트 스위치(limit switch)는 광센서(photo sensor)를 활용하였다. 측정부의 테이블 상면에는 다양한 종류의 시편을 장착할 수 있도록 홈(groove)을 40mm 간격으로 가공하였으며, 구동부는 선형레일(linear scale)을 적용하였다. 그리고 PC 프로그램에 의한 콘트롤러의 이동량과 구동부의 이동량을 상호 비교 및 확인하기 위해 좌표시스템 장치(coordinator)를 적용하였다.

##### 2.2 지지격자 핫셀 시험

경수로용 사용후 핵연료 지지격자는 그림 3.과 같이 셀, 안내관, 스프링 및 딥플로 구성되어 있다.

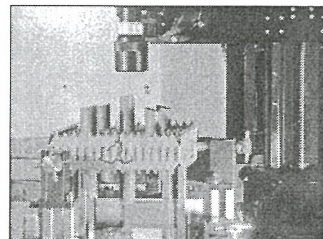


Fig. 3. The view of 3-D measurement for the grid of PWR's spent fuel.

셀 크기, 스프링 피치 및 딥플 피치를 측정하기 위해서 그림 4와 같이 조사재시험시설의 M5a 핫셀 내부에 설치한 3-D 제원측정장치를 활용하였으며, 촬영 심도(초점거리)가 약 80 mm인 특수카메라(모델명: 5040, 제작사: HIROX)로 그림 3과 같이 측정하였다.



Fig. 4. The view of 3-D measurement system in M5a hot cell of IMEF.

측정결과는 PC와 연계되어 있는 프로그램 상의 3축의 좌표값과 좌표시스템의 3축의 좌표값을 각각 그림 5와 같이 비주얼 베이직(Visual Basic)으로 작성한 엑셀 프로그램으로 계산하도록 하였고, 표 1.에 측정결과의 일부를 예로 나타내었다.

		3D 측정 결과					
		X	Y	Z	U	V	W
1	상	14121.00 (20.00E1)	0.000	0.000	0.000	-0.429	0.100
2	2011-09-28	14121.00 (20.00E1)	0.000	0.000	0.000	-0.429	0.100
3	2011-09-18	14121.00 (20.00E1)	0.000	0.000	0.000	-0.429	0.100
4	1D	14121.00 (20.00E1)	0.000	0.000	0.000	-0.429	0.100
5	상	14121.00 (20.00E1)	-10.156	-12.859	3.315	-0.727	-10.000
6	2011-09-28	14121.00 (20.00E1)	-10.156	-12.859	3.315	-0.727	-10.000
7	2011-09-18	14121.00 (20.00E1)	-10.156	-12.859	3.315	-0.727	-10.000
8	1D	14121.00 (20.00E1)	-10.156	-12.859	3.315	-0.727	-10.000
9	상	14121.00 (20.00E1)	0.000	0.000	0.000	-0.429	0.100
10	2011-09-28	14121.00 (20.00E1)	0.000	0.000	0.000	-0.429	0.100
11	2011-09-18	14121.00 (20.00E1)	0.000	0.000	0.000	-0.429	0.100
12	1D	14121.00 (20.00E1)	0.000	0.000	0.000	-0.429	0.100

Fig. 5. The view of 3-D measurement program.

Table 1. Measurement results of a grid (sample).

셀/행	측정명	셀/열				
		A	B	C-P	R	S
1	셀크기_형	9.504	9.491	생략	9.446	9.436
	형_피치_스프링	12.894	12.835	생략	12.856	12.887
	형_피치_DIMPLE	PASS	12.881	생략	12.897	PASS
	셀크기_중	9.484	9.463	생략	9.418	9.388
	중_피치_스프링	12.859	12.914	생략	12.809	12.811
	중_피치_DIMPLE	PASS	PASS	생략	PASS	PASS

### 3. 결론

고방사능을 지니고 있는 경수로용 핵연료 집합체 지지격자의 셀 크기, 스프링 및 딥플피치를 조사재시험시설의 M5a 핫셀 내부에 설치한 3-D 제원측정장치를 활용해 측정하는 기술을 구축하였다. 측정치의 결과를 처리하기 위해 MS사의 비주얼 베이직(Visual Basic) 프로그램을 구축 및 활용하였으며, 측정치의 정확도는 ±0.01 mm으로 하였다.

본 시험을 통해 획득하는 시험결과는 지지격자의 셀 스프링 및 딥플의 정적 및 동적 하중에 의한 변형을 해석하는데 유익하게 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 핵연료 설계에도 증성자 조사 등에 의한 변형을 반영할 수 있을 것으로 사려된다.

### 4. 감사의 글

이 연구는 지식경제부의 지원을 받아 수행되었습니다.

### 5. 참고문헌

[1] KAERI-NEMAC/RR-107-93, 과학기술처, 1993.  
 [2] 하나로 심포지엄, 2004.  
 [3] 하나로 심포지엄, 2008.  
 [4] 2011 한국방사성폐기물학회 추계학술대회 논문집, pp. 203-204, 2011.