경수로용 사용후핵연료 지지격자 딤플 및 스프링 피치 측정

주용선*, 김길수, 백승제, 유병옥, 김영준, 진영관, 김희문, 안상복
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길111
*yschoo@kaeri.re.kr

1. 서론

핵연료 집합체의 구조체인 지지격자에서 셀(cell)의 크기 변화량, 스프링(spring) 피치 및 딤플(dimple) 피치의 변형 관찰 및 크기측정 등은 연소 중에 중성자 조사와 냉각수의 고속 흐름으로 인한 지지격자와 핵연료봉간의 접촉으로 발행하는 마모 현상 및 변형을 이해 및 확인하는데 많은 도움을 준다[1].

본 논문에서는 조사재시험시설(IMEF)의 M5a 핫셀 내부에 설치한 3차원 제원측정장치를 활용하여 사용후핵연료 집합체의 상하 및 중앙부에 위치한 4개의 지지격자 스프링 및 딤플의 피치를 측정하였고, 이를 분석하였다.

2. 본론

2.1 사용후핵연료 지지격자

총 4개의 지지격자들을 조사후시험시설(PIEF)에서 운반용 캐스크(cask)를 사용하여 조사재시험시설의 풀을 통해 M5a 핫셀로 이송하였다. 사용후핵연료 다발은 노심에서 3주기 연소하였고, 시험에 사용한 지지격자들은 상부(Grid-top-1) 1개, 하부(Grid-bot-1) 1개, 그리고 중간부(Grid-mid-1 & Grid-mid-2) 2개이다.

2.2 시험장치

3차원 측정장치는 Fig. 1과 같이 측정부(measurement part), 조종부(controll part), 그리고 PC 및 DB 시스템으로 구성되어 있으며, 세부적인 기술적 사양은 다음과 같다.

- 작업대 이동거리 : X-축 및 Y-축 방향 각각 250 mm
- 카메라 Z-축 이동거리 : 약 250 mm
- 측정 깊이 : 약 100 mm
- 측정 정확도 : ±0.001 mm
- 직진도 및 평평도 : ±1.0 mm
- 각종 치구들을 설치할 수 있도록 작업대에 dove tail 형태의 홈(groove) 설치
- 좌표 표시 시스템(coordinator) 장착

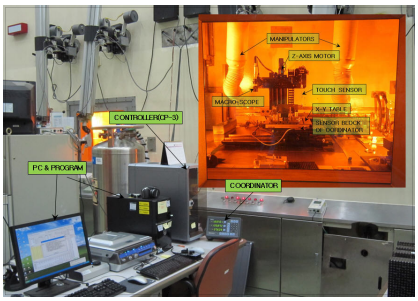


Fig. 1. The appearance of a 3-dimensional measurement apparatus at M5a hot cell in IMEF.

2.3 지지격자 설치용 지그

지지격자는 Fig. 2과 같이 작업대 위에 설치한 고정용 지그(fixing jig)에 원격조종기(master-slave manipulator)를 사용하여, 측정 평균값 및 표준오차를 최소하도록 거치하였다. 또한 고정용 지그의 상면도의 높이차를 ±100 ㎛ 이내로 설정하였다.

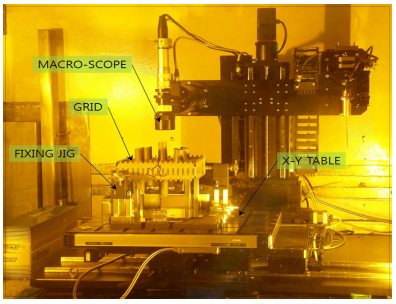


Fig. 2. The appearance of a grid on the fixing jig.

2.4 시험 결과

총 4개의 지지격자에 대한 스프링 및 딤플 피치의 측정결과를 Table 1 및 2와 Fig. 3~6에 나타내었고, 이로부터 요약하면 다음과 같다.

1) 중간부, 상부 및 하부의 지지격자의 스프링피치 횡방향/종방향의 측정치 경향이 거의 일정하였다.
2) 중간부, 상부 및 하부의 지지격자의 딤플 피치 횡방향/종방향의 측정치 경향도 거의 일정하였다.

Table 1. test results of spring pitch for grid

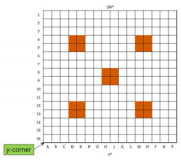
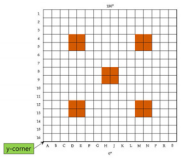
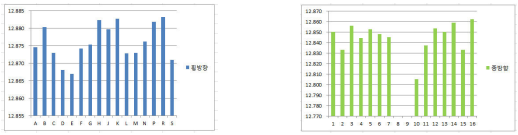
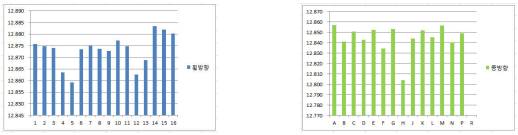
ID	Measured data (unit : mm)		Remarks
	Direction-1	Value	
Grid-mid-1	Hori. (1-16) aver.	12.876±0.003	k≒2.13 (95% confidence level, dof=15), k≒2.16 (95% confidence level, dof=13)
	Ver. (A-S) aver.	12.844±0.003	
Grid-mid-2	Hori. (1-16) aver.	12.880±0.003	
	Ver. (A-S) aver.	12.898±0.011	
Grid-top-1	Hori. (1-16) aver.	12.851±0.004	
	Ver. (A-S) aver.	12.825±0.003	
Grid-bot-1	Hori. (1-16) aver.	12.854±0.002	
	Ver. (A-S) aver.	12.826±0.003	
Designation			

Table 2. test results of dimple pitch for grid

ID	Measured data (unit : mm)		Remarks
	Direction-1	Value	
Grid-mid-1	Hori. (1-16) aver.	12.873±0.004	k≒2.13 (95% confidence level, dof=15), k≒2.16 (95% confidence level, dof=13)
	Ver. (A-S) aver.	12.843±0.004	
Grid-mid-2	Hori. (1-16) aver.	12.881±0.007	
	Ver. (A-S) aver.	12.894±0.009	
Grid-top-1	Hori. (1-16) aver.	12.852±0.004	
	Ver. (A-S) aver.	12.819±0.003	
Grid-bot-1	Hori. (1-16) aver.	12.852±0.003	
	Ver. (A-S) aver.	12.824±0.003	
Designation			



(a) spring pitch



(b) dimple pitch

Fig. 3. Test result for Grid-mid-1.

(a) spring pitch

(b) dimple pitch

Fig. 4. Test result for Grid-mid-2.

(a) spring pitch

(b) dimple pitch

Fig. 5. Test result for Grid-top-1.

(a) spring pitch

(b) dimple pitch

Fig. 6. Test result for Grid-bot-1.

3. 결론

조사재시험시설의 M5a 핫셀 내부에 설치한 3-D 제원측정장치를 활용해 사용후핵연료 지지격자의 중간, 상단 및 하단의 스프링 및 딤플 피치를 측정하였다. 또한 통계처리를 하여 평균, 표준편차 및 불확도를 산출하였다. 이를 통하여 고방사능을 지니고 있는 경수로용 핵연료 집합체 지지격자의 셀 내부에 위치하고 있는 스프링 및 딤플의 피치를 확인하는 기술을 구축하였다.

4. 참고문헌

[1] 2011 한국방사성폐기물학회 춘계학술대회 논문집, pp. 203-204, 2011.