

조사 핵연료집합체 그리드간 간격측정  
Measurement of Grid Spans of Irradiated Fuel Assemblies

구대서, 조문성, 전지수, 박광준, 전용범, 민덕기

한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

조사후 시험시설의 시험/해체수조에서 외관 및 제원 측정장치(VDIS)를 사용하여 고리원자력1호기, 고리원자력 2호기에서 2주기 및 3주기동안 연소한 핵연료 집합체의 그리드 간의 간격을 각각 측정하고 분석하였다. 조사 핵연료 집합체의 하부의 그리드 간격 신장률은 핵연료 집합체의 그리드 간격 설계치를 기준으로 할 때 집합체 중앙 및 상부의 그리드 간격신장률보다 작았다. 조사 핵연료집합체의 각 그리드 간격 신장률은 거의 같은 경향을 나타내었다. 조사 핵연료집합체의 각 그리드간 간격 신장률은 조사 핵연료 집합체 연소도와 무관함을 확인하였다.

Abstract

The grid spans of fuel assemblies, which were irradiated for 2 cycles and 3 cycles in Kori 1 and Kori 2 reactor, were measured and analyzed with visual dimensional inspection stand at examination/dismantling pool of PIEF. The elongation rates of grid spans of lower part of irradiated fuel assemblies, by comparing measurement values of grid spans of irradiated fuel assemblies with design values of grid spans of fuel assemblies, are smaller than those of grid spans of mid and upper part of irradiated fuel assemblies, respectively. The elongation rates of each face of irradiated fuel assemblies indicate similar trend, respectively. It is confirmed that the elongation rates of grid spans of irradiated fuel assemblies have no relation with the burnup of irradiated fuel assemblies.

1. 서론

원자로의 핵연료는 중성자조사, 원자로의 온도 및 압력 등 원자로 운전조건에 따라서 핵연료 제원변화가 수반 되는데 첫째 속 중성자에 의한 핵연료 크립(creep) 및 핵연료 성장에 의한 것과 둘째 연료소자와 피복관의 상호작용에 의한 것이 있다[1-5]. 이 때 핵연료

집합체의 그리드 이완 등이 초래하기도 한다.

본 실험은 조사후 시험시설의 시험/해체수조에서 핵연료 집합체 외관 및 제원 측정장치를 사용하여 고리원자력1호기, 고리원자력 2호기에서 2주기 및 3주기동안 연소한 핵연료집합체의 각 그리드 간의 간격을 측정하였다. 그 측정치를 핵연료 집합체의 각 그리드 간격 설계치를 기준으로 핵연료 집합체의 각 그리드 위치에 따라 비교 및 분석하고 또한 핵연료집합체의 그리드 간의 간격 측정치와 핵연료 집합체 연소도의 관계를 조사하였다.

## 2. 실험장치 및 측정방법

사용후 핵연료봉 길이방향으로 최대오차  $\pm 0.23\text{mm}$  범위 내에서, 횡 방향으로 최대오차  $\pm 0.05\text{mm}$  범위 내에서 측정 할 수 있는 그림1의 외관 및 제원측정장치(VDIS)를 사용하여 조사후 시험시설의 시험 및 해체수조에서 고리원자력1호기 및 2호기의 사용후 핵연료 집합체의 그리드간의 간격을 측정하는 실험을 수행하였다.

시험대상 핵연료 집합체는 고리원자력 1호기에서 연소한 핵연료 집합체는 J14 (방출연소도: 37,840 MWd/mTU), F02 (방출연소도: 28,160 MWd/mTU), C15 (방출연소도: 32,300 MWd/mTU), A39 (방출연소도: 25,300MWd/mTU) 및 고리원자력 2호기에서 연소한 핵연료 집합체는 J44 (방출연소도: 35,020MWd/mTU) 이다. R90 내방사선 수중 카메라(Rees Instruments Limied, England), VDIS 구동장치 및 17인치 모니터를 사용하여 사용후 핵연료봉 길이방향 위치 좌표 Z로부터 핵연료 집합체들의 그리드 간격을 각각 측정하였다. 그림2는 수중 카메라에 의한 핵연료집합체 그리드 간격을 측정하는 것을 나타낸 것이데, VDIS의 카메라를 수평방향(X)으로 340mm, Y방향으로 500mm 및 수직방향(Z)으로 5400mm만큼 움직이면서 핵연료 집합체의 각 그리드 간격을 측정하였다. 그림3은 수중12m에서 사용후 핵연료 집합체의 그리드 간격을 측정하는 것을 나타낸 것이고 그림 4~5는 고리원자력 1호기에서 3주기 연소한 F02 핵연료 집합체의 상단 및 하단을 나타낸 것이다.

## 3. 결과 분석 및 논의

표1은 조사 핵연료 집합체의 그리드 간격 신장률을 나타낸 것이다. 집합체 하부의 그리드 간격 신장률이 작았고 중앙 및 상부의 그리드 간격 신장률이 더 컸다. 표2는 J14 핵연료집합체 각 면의 그리드 간격 신장률을 나타낸 것이다. 집합체 하부의 그리드 간격 신장률이 작았고 중앙 및 상부의 그리드 간격 신장률이 더 컸다.

그림6은 사용후 핵연료집합체 각 그리드 간격 신장률을 나타낸 것이다. 집합체 하부에서 그리드 간격 신장률이 작았고 중앙 및 상부에서 그리드 간격 신장률이 더 컸다. 집합체의 각 그리드 간격 신장률은 사용후 핵연료 집합체 연소도와 거의 무관하였다.

그림7은 J14 사용후 핵연료집합체 각 면의 그리드 간격 신장률을 나타낸 것이다. 집합체 핵연료 봉 하단으로부터 1000mm이하에서 그리드 간격신장률이 작았고 반면에 중앙 및 상부의 그리드 간격 신장률이 더 컸다. 집합체 면 중에서 제1면의 4번째 및 6번째 그리드 간격 신장률이 0.28% 정도로 가장 컸다. 제3면의 6번째 그리드 간격 신장률이 0.10% 정도였으며, 제4면의 5번째 그리드 간격은 0.10% 미만 이었다. 전반적으로 집합체 제1~2면의 그리드 간격 신장률은 컸고 제3~4면은 작았다.

따라서 조사 핵연료 집합체의 중앙 및 상부의 그리드 간격 신장률이 하부의 그리드 간격 신장률보다 컸으며, 조사 핵연료집합체의 각 그리드 간격 신장률은 비슷한 경향을 나타내었다. 집합체의 그리드의 간격 신장률은 사용후 핵연료 집합체 연소도와 거의 무관하였다.

#### 4. 결론

1. 조사후시험시설의 시험/해체수조에서 외관 및 제원측정장치(VDIS)를 사용하여 조사 핵연료 집합체의 각 그리드 간격을 각각 측정하고 분석하였다.
2. 조사 핵연료 집합체의 중앙 및 상부 그리드 간격 신장률이 하부 그리드 간격 신장률보다 컸으며, 조사 핵연료집합체 각 면의 그리드 간격 신장률은 거의 같은 경향을 나타내었다.
3. 조사 핵연료집합체의 각 그리드 간격 신장률은 조사 핵연료 집합체 연소도와 거의 무관함을 확인 하였다.

#### 감사의 글

본 연구가 과학기술부의 원자력사업의 일환으로 수행되었음

#### 참고문헌

- [1] R. Manzel, H. Knaab, et al., "The Dimensional Behavior of LWR Fuel," Proc. Special Meet., IWGFPT/22, p. 174(1985).
- [2] V. Pasupathi, J. S. Perrin, "Study of Pellet Clad Interaction Defects in Dresden-3 Fuel Rods," Proc. Inter. Top. Meet., ANS., pp. 141-147(1979).
- [3] R. Manzel, et al., "Fuel Rod Behavior at Extended Burnup," Proc. Inter. Top. Meet., ANS., pp. 335-342(1994).
- [4] E. F. Ibrahim, R. A. Holt, "Anisotropy of Irradiation Creep and Growth of Zirconium Alloy Pressure Tubes," J. Nucl. Mat. V. 19, pp. 311-321(1980).
- [5] E. Kohn, M. G. Wright, "Axial Strains in Fuel Cladding Associated with Creep and fast Neutron Irradiation," J. Nucl. Mat., V. 98, pp. 247-258(1981).



그림1. 사용후 핵연료집합체 제원 영상처리 측정시스템.

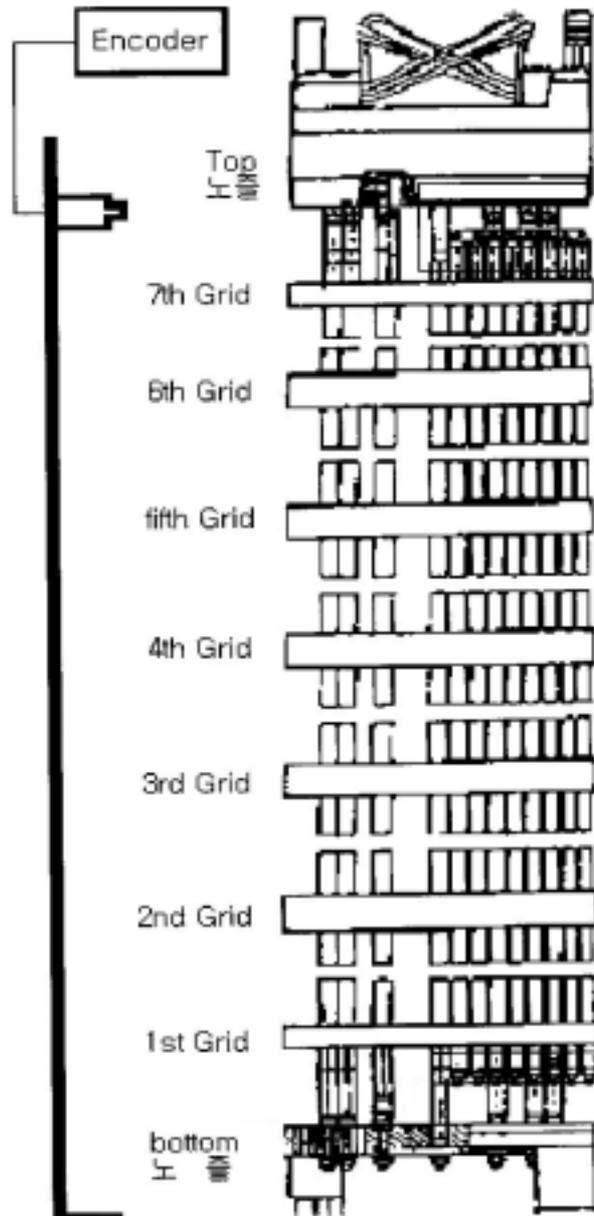


그림2. R90 수중 카메라에 의한 핵연료집합체 그리드간 거리측정.

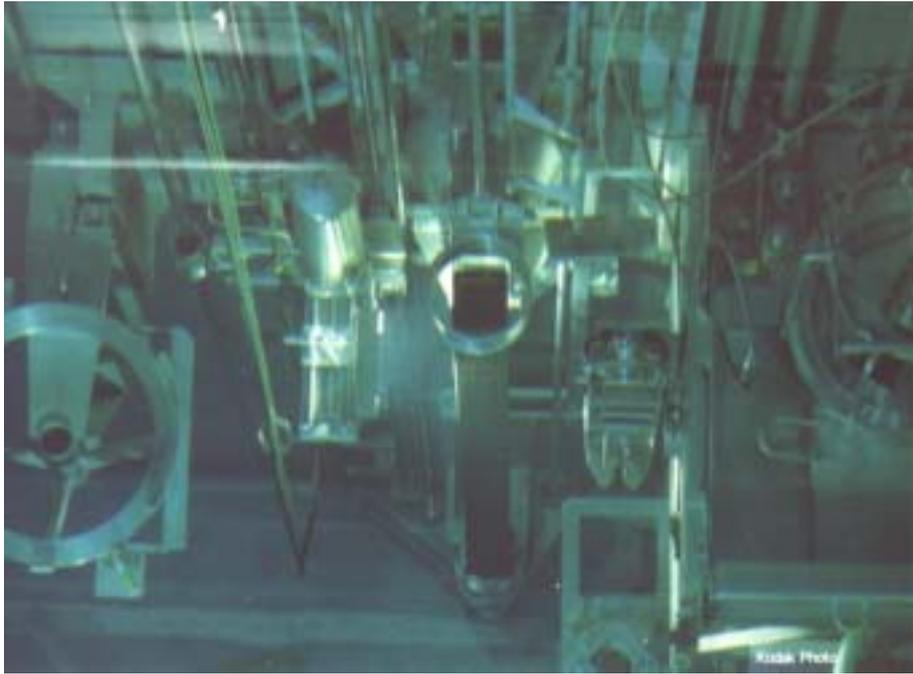


그림3. 수중에서 사용후 핵연료집합체의 그리드 간격 측정.

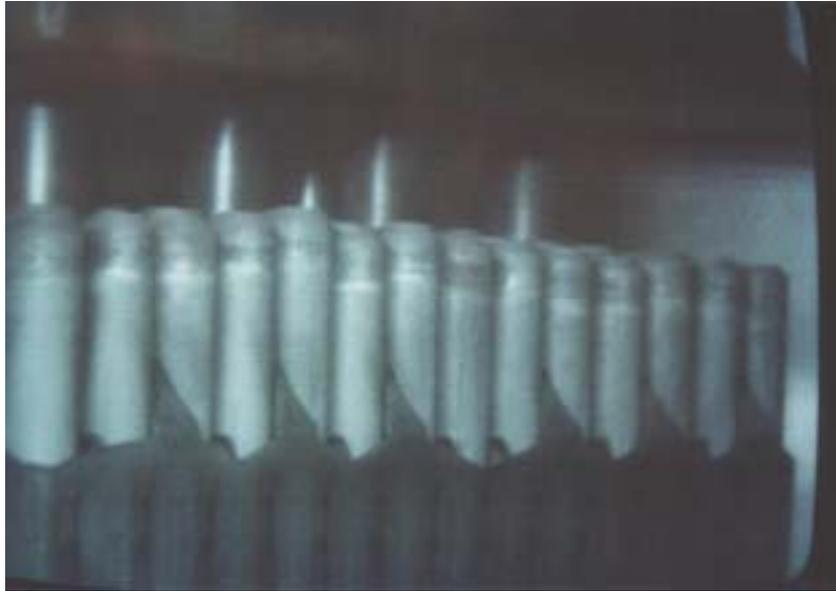


그림4. F02 사용후 핵연료집합체 상단 및 상부노즐.



그림5. F02 사용후 핵연료집합체 하단 및 하부노즐.

표1. 조사 핵연료 집합체의 그리드 간격 측정치

측정위치	설계치 (mm)	A39집합체		C15집합체		J44집합체		F02집합체		J14집합체	
		측정치 (mm)	신장률 (%)								
BN-1Grid		84.60		75.50		85.50		84.73		85.05	
1-2Grid	614.70	615.70	0.16	614.80	0.02	614.36	-0.06	615.10	0.07	614.36	0.06
2-3Grid	665.20	666.40	0.18	666.30	0.17	666.33	0.17	665.50	0.05	666.20	0.15
3-4Grid	665.20	666.50	0.29	666.50	0.20	666.60	0.21	666.26	0.16	666.60	0.21
4-5Grid	665.20	667.10	0.29	666.40	0.18	666.39	0.18	666.18	0.15	666.39	0.18
5-6Grid	665.20	666.60	0.21	666.70	0.23	666.30	0.17	665.82	0.09	666.30	0.17
6-7Grid	474.50	475.80	0.27	475.60	0.23	475.08	0.12	475.29	0.17	475.08	0.12
TN-7Grid		63.10		73.10		65.03		63.21		65.03	

표2. J14 핵연료집합체 그리드 간격 측정치

측정위치	설계치 (mm)	제1면		제2면		제3면		제4면	
		측정치 (mm)	신장률 (%)	측정치 (mm)	신장률 (%)	측정치 (mm)	신장률 (%)	측정치 (mm)	신장률 (%)
BN-1Grid		84.60		75.50		85.50		84.73	
1-2Grid	614.70	615.70	0.16	614.80	0.02	614.36	0.06	615.10	0.07
2-3Grid	665.20	666.40	0.18	666.30	0.17	666.33	0.17	665.50	0.20
3-4Grid	665.20	666.50	0.20	666.50	0.20	666.60	0.21	666.26	0.16
4-5Grid	665.20	667.10	0.29	666.40	0.18	666.39	0.18	666.18	0.15
5-6Grid	665.20	666.60	0.21	666.70	0.23	666.30	0.17	665.82	0.09
6-7Grid	474.50	475.80	0.27	475.60	0.23	475.08	0.12	475.29	0.17
TN-7Grid		63.10		73.10		65.03		63.21	

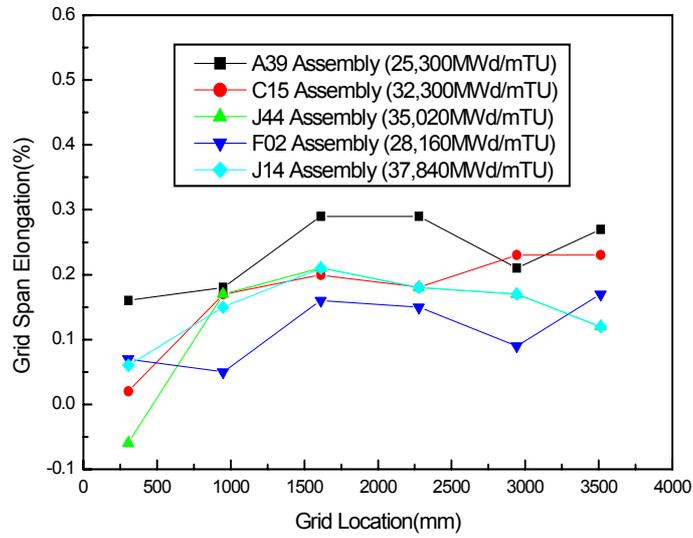


그림6. 사용후 핵연료집합체 그리드 간격 변화율.

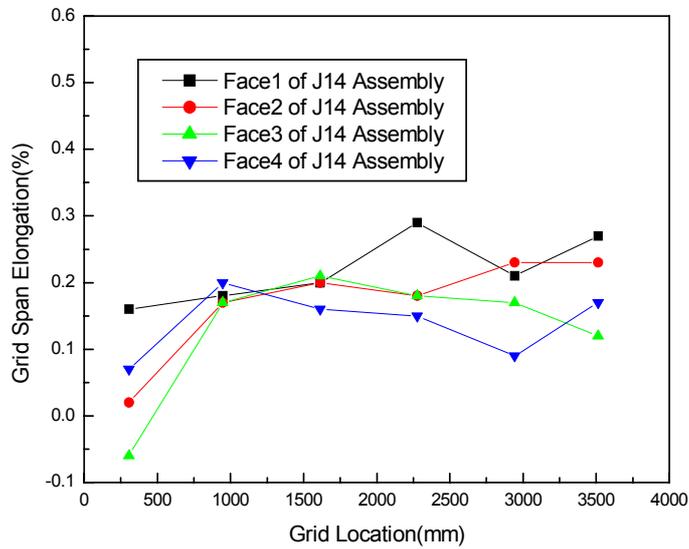


그림7. J14 사용후 핵연료집합체 각면의 그리드 간격 변화율.