

450kV X-ray 시스템을 이용한 핵연료봉 비파괴시험 및 제원측정

김영준*, 진영관, 김길수, 백상열

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*yjkim05@kaeri.re.kr

1. 서론

X-ray 시스템을 이용한 비파괴 시험은 핵연료봉 내의 변형이나 결함을 알아보기 위함과 동시에 제원측정도 가능하여 조사후시험 시 많이 활용되고 있다. 한국원자력연구원 조사재시험시설에는 현재 핵연료봉의 거시적 모습을 관찰하기 위한 450kV X-ray 시스템과 미세입자핵연료 관찰을 위한 160kV X-ray 시스템이 구축되어 활용되고 있다. X-ray 시스템을 이용하여 촬영한 핵연료는 3D 분석프로그램(VG Max)을 통해 합성할 수 있으며 이를 통해 다각적인 방향에서 내부형상을 확인 할 수 있다. 또한 이와 같은 프로그램을 활용할 경우 핵연료 제원측정, 부피(volume)분석, 결함(defect)분석 등 다양한 분석을 수행할 수 있으며 비교적 일관되고 정확한 결과를 생산할 수 있다. 현재 하나로에서 조사된 다양한 연구용 핵연료봉에 대한 X-ray 비파괴 시험들이 수행되어지고 있으며 3-D 분석 프로그램을 활용한 다양한 분석과 합리적인 데이터 생산을 위한 노력이 이루어지고 있다.

2. 본론

2.1 450kV X-ray 시스템

현재 조사재시험실에서 운영 중인 450kV X-ray 시스템[1]은 Fig. 1과 같이 핫셀 내부에 설치되어져 있으며 사양은 Table 1과 같다. 450kV X-ray 해상도 측정 결과 0.130 mm까지 구분이 가능한 것으로 확인되어졌다[2].

Table 1. Specification of 450kV X-ray system

X-ray tube	Voltage	20 - 450 kV
	Current	0 - 15 mA
	Focus size	0.4/1.0 mm
LDA	Length	5 0 0 m m (e f f e c t i v e) , non-curved
	Pitch	254 μ m pitch, 1984 elements in 32 modules
	Scintillator	CdW04
	Collimator	1 mm, tungsten



Fig. 1. 450kV X-ray system installed in Hotcell.

2.2 X-ray 비파괴 시험 및 제원측정

Fig. 2는 하나로(HANARO)에서 조사된 연구용 핵연료 중 하나로 핵연료봉을 척(chuck)에 고정 시킨 후 1 mm 간격으로 360도 회전시켜 측정된 결과이다. 결과에서 확인 할 수 있듯이 3-D 분석 프로그램을 통해 다각적인 방향에서 핵연료 내부 형상을 관찰 할 수 있다.

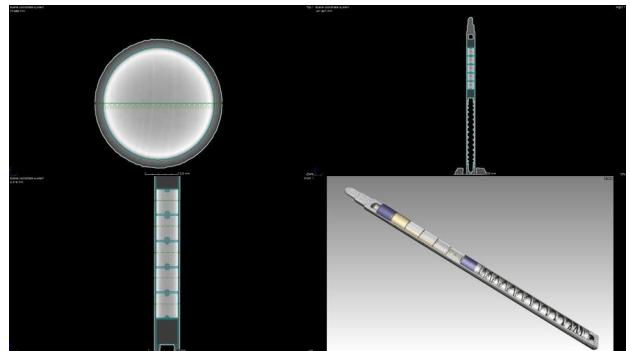


Fig. 2. 3-D Scan image of fuel rod irradiated in HANARO.

X-ray로 촬영한 자료는 해상도 및 측정 조건에 따라 피복관과 핵연료 등의 내부형상의 경계가 불분명할 수 있으며 이로 인해 제원 측정 시 측정자에 따라 편차가 발생 할 수 있다. 이러한 편차 발생을 줄이기 위해 명도의 차이로 경계선을 설정하여 측정하고 하는 형상을 명확히 구분한 후 Fig. 3

과 같이 프로그램에서 지원하는 기능을 이용하여 직경을 측정하였다. 또한 높이 측정 시에는 프로그램에 기록되는 상대적 높이 값의 차를 활용하여 일관된 결과를 생산하고자 하였다.

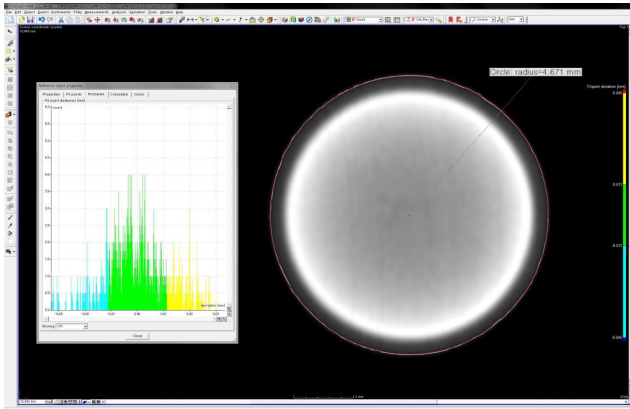


Fig. 3. Diameter measurement of fuel using 3-D software.

X-ray 비파괴 시험의 또다른 유용한 점은 Fig. 4와 같이 핵연료봉 내 각각의 핵연료 위치를 직접적으로 확인 할 수 있다는 것이다. 핵연료 위치 확인을 통하여 파괴 시험 계획을 좀 더 체계적으로 세울 수 있으며 조사된 핵연료 시편의 손실을 줄일 수 있다. 또한 연구용 핵연료의 경우 그 형태가 다양하여 그에 맞는 파괴 시험 계획이 수립되어야 하기 때문에 X-ray 비파괴 시험 결과는 더욱 유용하게 활용된다.

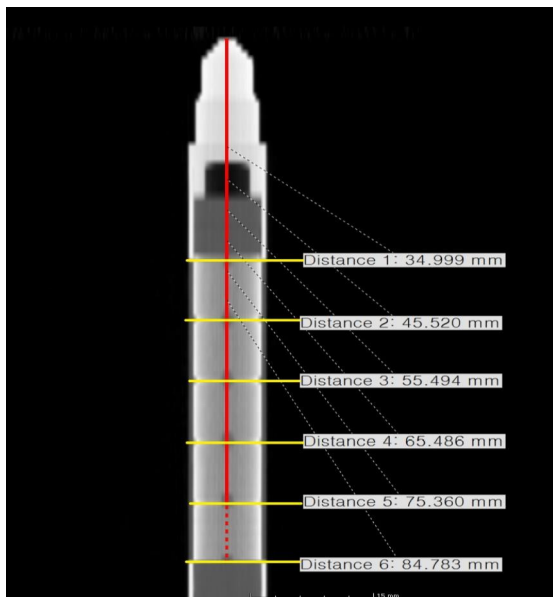


Fig. 4. Measurement result of fuel location.

3. 결론

조사 핵연료봉에 대한 X-ray 비파괴 시험은 그 활용도가 다양한 만큼 조사후 시험에 많이 활용되고 있다. 또한 3-D 분석 프로그램을 이용한 핵연료봉 내부 형상 확인 및 분석은 핵연료 조사 영향을 평가함에 있어 매우 유용하며 합리적이고 일관된 시험 결과를 생산할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다. 더불어 다양한 핵연료 특성에 맞춰 파괴 계획 수립을 할 수 있어 그 활용도가 더욱 크다. 앞으로 연구용 핵연료뿐만 아니라 사용후핵연료에 대한 X-ray 비파괴 시험들이 수행될 예정이며 제원측정 등 다양한 분석 기능을 이용한 조사후시험이 수행 될 것으로 기대되어 진다.

4. 참고문헌

- [1] 김희문 외, “조사 핵연료봉의 비파괴 검사를 위한 450kV X-ray 장비 핫셀내 구축”, 한국방사성폐기물학회 2014 추계학술발표회 논문요약집, 139-140, 10.15~17, 2014, 여수.
- [2] 김희문 외, “고연소 핵연료용 이미지 프로세싱 X-ray radiography 장비구축”, KAERI/RR-3972/2014.