

핵셀용 충격시험기 시편이송장치 및 온도조절장치 개선 후 정확도 및 불확도 시험

주용선, 김길수, 백승계, 유병욱, 김도식, 김기하, 안상복, 류우석
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 vschoo@kaeri.re.kr

1. 서론

조사재시험시설[1,2]에서는 1994년 시설의 정상 운전 이후 국내 상용원자력발전소 중에서 경수로형 압력용기(Light-Water Reactor's Pressurized Vessel)의 중성자 조사로 인한 재료의 조사취화(irradiation embrittlement) 정도를 확인하고, 안전성 및 건전성을 확보 및 검증하기 위해 ASTM E 2215-02[3]에서 규정하고 있는 시험 종류 중 충격 시험을 수행해 왔다. 방사성물질로 오염되어 있는 핵셀 내부에 설치되어 있는 시험기기는 교정 검사원이 교정 및 검정을 위해 근접 거리에서 ASTM E 23-02[4]에서 요구하는 내용들을 점검해야 하지만, 현실적으로 핵셀 내부 출입이 곤란하여 직접교정 방법이 아닌 간접교정 방법만으로 수행하고 있는 실정이다. 특히 충격시험기의 결과치에 막대한 영향을 줄 수 있는 충격시험기의 앤빌(anvils), 충격시험시편 온도조절장치 및 시편이송장치를 교체 또는 보수를 하는 경우에는 간접교정을 통한 시험기기의 교정이 더욱 더 중요하다.

본 논문에서는 충격시험기기의 일부 부품의 노후화로 인한 앤빌 교체, 온도조절장치 내의 시편 가이드의 교체 및 시편이송장치의 보완 후, 고에너지용 NIST-CRM(Certified Reference Material)으로는 시험기기의 불확도(uncertainty)를 점검하고, 고에너지용 JIS-CRM으로는 시험기기의 정확도(precision)를 확인하였다. 불확도는 ± 1.53 J(0.7 %)이고, 정확도는 +2.74 % (한계치는 공칭값의 +5.0 % 임)이었다.

2. 실험 및 결과

2.1 시험기기의 개요 및 구성

경수로형 압력용기(Light Water Reactor's Pressurized Vessel)의 중성자 조사로 인한 재료의 조사취화 정도를 확인하기 위해 노심(reactor core)의 벨트라인(beltline)에 설치한 감시캡슐(surveillance capsule)을 이용하는데, 감시캡슐 내

부에는 노심의 모재(base metal), 용접재(weld metal) 및 열영향부(heat affected zone) 재료로부터 제작한 표준형 충격시편, 인장시편 및 파괴인성시험용 CT시편을 담고 있다. 이들 중 표준형 충격시편들은 ASTM E 2215-02 및 ASTM E 23-02 규정에 의거하여 조사재시험시설의 M5a 핵셀 내부에 설치한 원격시험용 충격시험기로 수행한다.

본 장치는 Fig. 1과 같이 충격시험기 본체, 앤빌(anvils), 온도조절장치 및 시편이송장치로 구성한다. 충격시험기 본체는 최대 시험용량이 406 J인 Tinius-Olsen사의 제품이고, 온도조절장치 및 시편이송장치는 국내에서 자력으로 구축하였다[5]. 온도조절장치는 냉각/가열용 로, 전기히터, 솔레노이드 밸브(solenoid valve), 액체질소(LN₂), 온도조절용 컨트롤러(TIC) 등으로 구성하며, 설정온도를 +300 °C 부터 -150 °C 까지 조절할 수 있다. 시편이송장치는 냉각/가열용 로 중앙에서 온도조절을 완료한 충격시험편을 충격시험기 앤빌까지 이송하는 장치로써 시편이송용 핸들, 시편이송 바(bar) 등으로 구성한다.

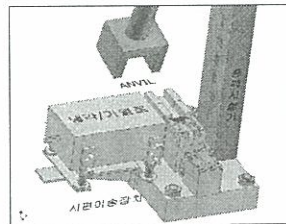


Fig. 1. Impact test system of IMEF (3-D)

2.2 시험기기 구성품의 교체 및 시험

충격시험기의 앤빌을 Fig. 2와 같이 교체하였고, 냉각/가열용 로 중앙에서 온도 조절을 완료한 시험편을 충격시험기의 앤빌 중앙부에 정확하게 위치함과 동시에 앤빌의 수직면과 100 % 접촉하도록 본 시스템을 개선 및 보완하였다. 압축공기 압력 0.2 MPa로 작동하는 모델 CU16-50D 실린더 2개는 충격시험기 앤빌과 시험편과의 100 % 접촉을 위해 사용하였고, 같은 사용압력의 모델

CU10-15D 실린더 1개는 충격시험편이 앤빌의 중앙부에 정확하게 위치하도록 하는 스톱퍼(stopper) 기능을 하도록 각각 Fig. 2와 같이 설치하였다. 특히 온도조절이 완료한 시험편의 온도가 유지되도록 실린더 바의 끝부분을 테프론(Teflon)으로 설계하였다. 그리고 온도조절용 콘트롤러, 솔레노이드 밸브 및 냉각/가열용 로 내부의 시편가이드도 교체하였다.

시험기기 구성품의 교체 후 온도시험, 충격시험치의 정확도 및 불확도 시험을 수행하였다. 냉각/가열용 로 내부에서 온도 조절을 완료한 시험편을 충격시험기 앤빌로 방출한 시험편의 온도 변화 여부를 상온 이상 및 이하에서 각각 수행하였고, 섭씨 -50 ℃에서의 시험내용을 Fig. 3에 나타내었다. 그리고 충격시험치의 정확도 및 불확도 시험을 고에너지용 표준시편들로 수행하였고, 그 내용은 Table 1과 같다.



Fig. 2. Anvils of Impact test and specimen transferring system (plan view)

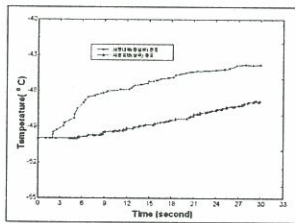


Fig. 3. Temperature holding time test after out of heating/cooling furnace (test temperature : -50.0 ℃)

3. 결 론

충격시험기기의 일부 부품의 노후화로 인한 앤빌 교체, 온도조절장치 내의 시편가이드의 교체 및 시편이송장치의 보완 후, 간접교정 방법으로 NIST용 CRM으로는 시험기기의 불확도(uncertainty)를 점검하고, JIS용 CRM으로는 시험기기의 정확도(precision)를 확인하였다. 불확도는 ± 1.53 J(0.7 %)이고, 정확도는 +2.74 %이었으며, 정확도는 공칭값의 +5.0 %이내에 있다.

그리고 저에너지에 대한 충격시험기의 불확도 및 정확도를 측정하기 위해 저에너지용 NIST-CRM 및 JIS-CRM들로 각각 시험을 수행할 예정이다.

Table 1. Specimen test results of NIST-CRM

시편 ID	시험 온도 (℃)	충격 시험값 (J)	비고
HH120_0600	-42.5	106.79	1) NIST-CRM 2) 불확도 - ± 1.53 J (0.7 %) - k=2, (신뢰수준 : 95%)
HH120_0636		105.70	
HH120_0637		106.59	
HH120_0638		109.27	

Table 2. Specimen test results of JIS-CRM

시편 ID	시험 온도 (℃)	충격 시험값 (J)	비고
M37_0362	0.0	100.2	1) JIS-CRM 2) 정확도 : 2.74 % - 평균값 : 99.9 J - 공칭값 : 97.25 J
M37_0279		100.6	
M37_0347		99.04	

4. 참고문헌

- [1] 주용선 외, “하나로 조사 핵연료 및 재료용 무게장/계장 캡슐 조사후시험 현황”, 하나로 심포지엄, 2004.
- [2] 주용선 외, “하나로 OR 시험공에서 조사한 계장용 재료캡슐(07M-21K) 핫셀시험”, 하나로 심포지엄, 2008.
- [3] ASTM E 2215-02, “Standard Practice for Evaluation of Surveillance Capsules from Light-Water Moderated Nuclear Power Reactor Vessels”, ASTM, 2002.
- [4] ASTM E23-02, “Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials”, ASTM, 2002.
- [5] 노성기의 5인, “장기저장 조사재료 특성시험연구”, KAERI-NEMAC/RR -107-93, 과학기술처, 1993.