

탈피복 시험을 위한 사용후핵연료 모사 피복관 제조 연구 A Study on the Fabrication of Simulated Nuclear Spent Fuel Tube for Decladding

*정재후¹, #박병석², 김영환³, 홍동희⁴, 김성현⁵, 이효직⁶

*J. H. Jung¹, #B. S. Park(nbspark@kaeri.re.kr)², Y. H. Kim³, D. H. Hong⁴, S. H. Kim⁵, H. J. Lee⁶
한국원자력연구원

Key words : Decladding, Simulated Fuel Rods, ACPF, Zircalloy Tube, Slitting Device, Autoclave Furnace, High throughput

1. 서론

탈피복 시험을 위하여 사용후핵연료 모사 피복관이 필요하고, 이러한 모사 피복관을 제조하기 위해 모사 피복관 제조 장치가 필요하다. 제조된 모사 피복관은 Fig 1과 Fig 2에서 보는 바와 같이 탈피복 장치가 설치된 사용후핵연료 차세대관리공정시설(ACPF : Advanced Spent Fuel Conditioning Process Facility) 내에서 탈피복 장치를 이용하여 모사 시험을 수행한다. 모사 피복관을 제조하기 위하여 지르칼로이 튜브를 사용하여 온도별(340, 380, 450, 670 °C)로 예비 모사 피복관을 제조하여 인장시험을 수행하였다. 이의 결과 분석을 통한 사용후핵연료봉의 기계적 성질(인장강도 581 MPa, 항복강도 698 MPa, 연신율 11.2 %)과 유사한 최적의 조건을 도출(물 102 cc, 온도 450 °C, 105 bar, 15 시간 유지) 한 후, 이를 토대로 모사 시험에 사용할 모사 피복관 280개(20 kgHM의 2 batch 용)를 제조하였다. 제조한 모사 피복관은 ACPF 내에서 탈피복 시험을 하였다. 시험결과, 탈피복된 Hull 시편의 파단면은 SEM 촬영을 통하여 조직을 분석하였다. 또한 탈피복에 사용된 Blade도 SEM 촬영을 통하여 Blade의 내구성(마모, 파손 등)을 종합 분석과 평가를 수행하였다. 이러한 일련의 과정을 통하여 향후의 High throughput(대용량) 탈피복 장치에 기본 자료로 활용될 것이다.

재료는 상용화된 실제의 지르칼로이 튜브이며, 사양으로는 길이 250, 외경 9.50, 내경 8.36, 두께 0.57 mm 등이다.

Table 1. Spare Parts Specification of the Device.

내용	규격	비고
장치 압력	0 ~ 100 kgf	최대 압력
Furnace 가열 온도	700 °C (Max.)	최대 온도
전압	220 v	
상	단상	
전기용량	3.5 kw	
암페어	35 A	
압력계	압력 밸브 게이지	1개 부착
온도계	온도 컨트롤 게이지	1개 부착

* 압력 게이지는 Furnace(로) 내에 물이나 다른 매체를 넣어서 로를 가열하면 로의 내부 압력이 상승하게 되는데 이를 막기 위하여 밸브 게이지를 부착하였다.

* 온도 컨트롤 게이지는 일정한 온도 이상으로 온도가 상승하는 것을 막기 위하여 온도 컨트롤 게이지를 부착하였다.

2.2 모사 피복관 제조 장치 설계도 및 제작

모사 피복관을 제조하기 위한 제조 장치의 크기는 길이 185, 높이 297, 폭 150 mm 이다. Fig 3, 4는 모사 피복관을 제조하기 위한 제조 장치의 설계도와 장치를 나타낸 것이다.



Fig 1. Advanced Spent Fuel Conditioning Process Facility(ACPF).



Fig 2. Decladding Device of Actual Proof.

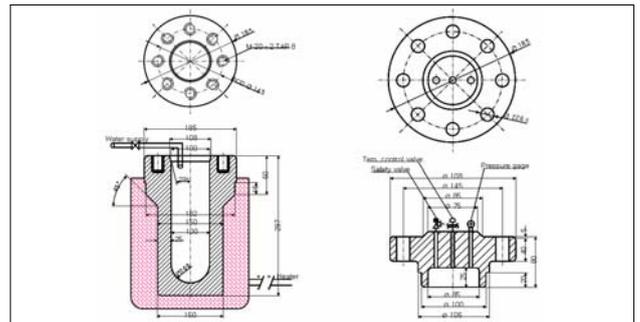


Fig 3. Design of Simulated Tube Manufacture Device.



Fig 4. Device of Simulated Tube Manufacture.

2. 모사 피복관 제조 장치

2.1 제조 장치의 주요 부품 및 사양

모사 피복관을 제조하기 위한 제조 장치(Autoclave Furnace)의 주요 부품으로는 장치 몸체, Control panel, Furnace 내부, 압력계 및 온도계 등이다. 이들 주요 부품의 사양은 Table 1에서 보는 바와 같다. 모사 피복관을 제조하기 위하여 사용된

3. 모사 피복관 제조

3.1 모사 피복관 제조 방법

모사 피복관을 제조하기 위하여 사용된 재료는 일반적으로 상용화된 지르칼로이 튜브(Zry-4, PWR 14x14)를 사용하였다. 모사 피복관의 제조 방법으로는 제조 장치의 Furnace 안에 일정량의 지르칼로이 튜브를 넣은 후, 물 102 cc, 온도 450 °C로 가열하면서 105 bar의 압력으로 15시간 동안 유지해 준다. 모사 피복관을 제조하기 위하여 온도를 여러 형태(340, 380, 450, 670, 670 °C)로 가변화하면서 모사 피복관을 제조하였다. 지르칼로이 튜브 및 모사 피복관은 Fig 5에서 보는 바와 같다.

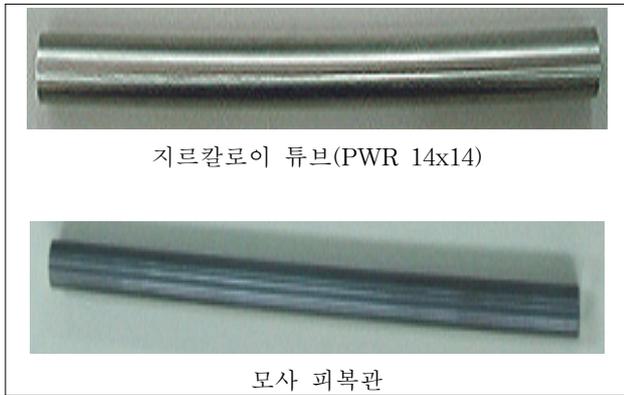


Fig 5. Zircaloy Tube and Simulated Tube.

3.2 모사 피복관의 기계적 시험(인장시험)

제조된 모사 피복관을 이용하여 기계적 시험 값(인장강도 : YS, 항복강도 : UTS 및 연신율 : EL 등)을 알아보기 위하여 인장시험을 수행하였다. 기계적 시험에 사용된 인장시험기는 만능재료시험기(Universal testing machine) 이다. Fig 6은 인장시험의 공정을 나타낸 것이다.



Fig 6. Universal testing machine and Test Process.

3.3 인장시험 결과

제조된 모사 피복관을 이용하여 기계적 시험 값인 인장강도 (YS), 항복강도(UTS), 연신율(EL) 등을 알아보기 위한 인장시험을 수행하였다. 이러한 시험은 실제의 사용후핵연료 피복관과 유사한 값을 찾기 위한 것으로, 모사 피복관 5개를 사용하여 5회의 인장시험을 수행하였다. 시험 결과, Table 2에서 보는 바와 같이 사용후핵연료 피복관의 기계적 값과 유사한 값을 가진 최적의 모사 피복관은 1번 피복관이다. Table 3은 사용후핵연료 피복관, 지르칼로이 튜브 및 제조한 모사 피복관 등에 대한 기계적 시험 결과를 비교하기 위하여 나타낸 것이다. Fig 7에서 보는 바와 같이 사용후핵연료 피복관과 유사한 기계적 값을 갖는 모사 피복관 1번을 선정하였다. 다량의 연료봉을 확보하기 위하여 선정된 모사 피복관을 속에 모의 Pellet(알루미늄)을 가공하여 충전시켜 모사 피복관을 제조하였다.

Table 2. Result of Simulated Tube Test.

피복관	인장강도 (YS)	항복강도 (UTS)	연신율 (EL)	비고
1번	421	544	20	15시간
2번	382	534	33	15시간
3번	369	523	28	15시간
4번	399	542	31	15시간
5번	393	528	29	15시간

Table 3. Mechanical Test Result of Tube.

피복관 종류	인장강도 (YS), MPa	항복강도 (UTS), MPa	연신율 (EL), %	연료봉 규격
S/F 피복관	581	698	11.2	PWR 14x14
지르칼로이 튜브	346	439	18.8	외경 9.50 내경 8.36 두께 0.57
모사 피복관	421	544	20	외경 10.2 내경 8.92 두께 0.57



Fig 7. Simulated Tube of Test After.

4. 결론

제조된 모사 피복관은 탈피복 장치가 설치된 ACPF 내에서 제조된 모사 피복관을 이용하여 탈피복 모사 시험을 수행하는 것이다. 실제의 사용후핵연료봉을 사용하여야 하나, 이는 현실적으로 불가능하다. 그래서 실제와 기계적 성질(인장강도 581 MPa, 항복강도 698 MPa, 연신율 11.2 %)이 유사한 모사 피복관(인장강도 421 MPa, 항복강도 544 MPa, 연신율 20 %)을 제조하는 것이다. 모사 피복관의 제조 조건으로는 온도별(340, 380, 450, 670 °C), 최적의 조건(물 102 cc, 온도 450 °C, 105 bar, 15 시간 유지)을 적용하여 모사 피복관을 제조한 후 인장시험을 거쳐, 테스트 후 다량의 모사 피복관을 제조한다. 이러한 자료는 향후 대용량을 갖는 탈피복 장치에 적용될 것이다.

참고문헌

1. Matheret and M. Bourgeois, "Mechanical Decladding of Stainless-steel-clad Oxide Fuels", CEA-R-4469, 1973.
2. F.H.Hammad, et al., "Technical report: Effect of some nuclear fuel rod parameters on mechanical decladding by roller straightener technique", J. Nucl. Sci. Eng., 517, 1974.
3. 양명승외, "핵연료제조 및 품질관리기술개발," KAERI/RR-1744/96, 한국원자력연구소, 과학기술처, 1996.
4. K.Fukudome, "Mechanical Decladding by Rolling Straightener", Technical Report, Kobe Steel Ltd., July, 1997.
5. 박장진외, "경-중수로연계핵연료주기기술개발," KAERI/RR-2009/99, 한국원자력연구소, 과학기술처, 1999.
6. 신영준외, "사용후핵연료차세대관리공정개발," KAERI/RR-2128/2000, 한국원자력연구소, 과학기술부, 2000.