

Zirlo의 고온산화 연구 Research of Zirlo by High-Temperature Oxidation

유재룡*, 정훈, 박광현 (경희대학교 청정제염연구실)
유태근(FNC Technology)

1. 서론

원자로내 1차 계통의 사고인 LOCA(Loss of Coolant Accident)시 중요한 반응중의 하나는 수증기와 지르칼로이 피복관의 반응이다. 이 때 피복관은 고온의 수증기 분위기에 놓이게 된다. LOCA사고시 피복관은 고온의 수증기와 산화반응을 일으킨다. 이때 피복관의 온도는 급상승하게 되며, 이후 피복관의 온도는 다소 감소하는 경향을 나타낸 후 비상노심냉각장치(ECCS, Emergency Core Cooling System)가 작동하기까지 서서히 증가한다.

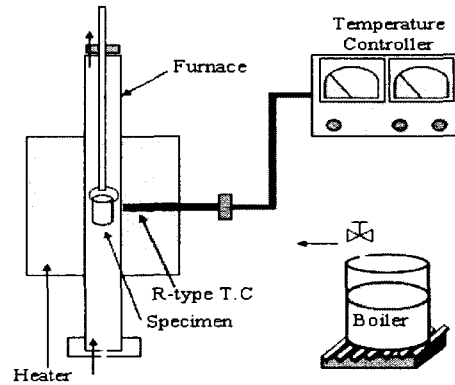
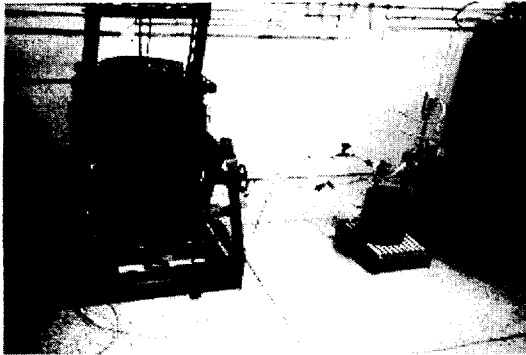
마지막으로 재급수(Reflooding)가 발생하여 냉각될 때까지 핵연료 피복관은 600 ~ 1000℃ 범위의 온도에 노출된다. 만일 LOCA사고시 ECCS 작동이 늦어지거나 고장난 경우에 중대연료손상(SFD; Severe Fuel Damage)을 초래한다. 이러한 LOCA사고시 핵연료 봉에 대한 주요 문제는 다음과 같다. 피복관의 산화는 피복관이 취성을 갖게 하며, 결국 파손되며 이로 인해 핵분열 생성물의 방출과 수소를 생성시킨다. 그리고, 피복관의 변형으로 냉각수 흐름의 단면적이 축소되고 이로 인해 노심에서 냉각수로 열전달이 감소되어 결국 핵연료봉의 손상을 초래한다.

고연소도 핵연료를 개발하기 위해서 현재 원자로내의 장기간 가혹한 조건에서 부식을 극복할 수 있는 새로운 피복관의 개발에 국내외에서 많은 투자가 이루어지고 있다. 이러한 신형 피복관은 사용되기 전에 검증 절차를 반드시 밟아야 한다.

본 연구에서는 LOCA사고시 개량형 피복관(Zirlo)의 건전성을 알아보고 Zirlo의 산화막과 미세조직의 특성을 알아 보았다.

2. 본론

본 실험에서는 850℃에서 1250℃사이의 100℃간격으로 2, 5, 10, 20, 50, 80분 간격으로 시간을 늘려가면서 개량형 피복관(Zirlo)을 산화시켰다. 이를 위한 실험장치는 <그림 1>과 같으며 실험장치는 전기저항로, 온도조절기, 증기발생기, 3Kw 전기가열판으로 구성되어 있다. 산화실험을 한 후에는 미세저울(Microbalance)를 이용하여 산화실험이후 시편의 무게증가를 측정하였다. 산화실험을 마무리 한뒤 KAERI의 신합금개발팀이 연구를 하고 있는 정보과학동예가서 시편을 절단(Cutting), 밀판제작(Mounting), 연마(Grinding, Polishing), 에칭(Etching)을 하여서 광학현미경(Optical Microscopy)촬영을 하였으며, 산화막주위와 시편 전체의 경도(Hardness)를 측정하였다.



<그림 1>

3. 결과 요약

실험은 각각 850℃, 950℃, 1050℃, 1150℃에서 2, 5, 10, 20, 50, 80분 동안의 조건에서 산화 실험을 하였으며, 시간/온도가 증가할수록 무게가 높은 증가율을 보인다는 것을 확인할 수 있다. 특이한 점은 1050℃까지의 온도영역에서는 상승곡선을 그린다는 점이다. 이것은 지르칼로이 산화물의 특성을 나타내는 것인데, 1050℃이하의 영역에서는 1차법칙(Monoclinic)을 나타내고 1050℃에서 1580℃사이의 영역에서는 2차법칙(Tetragonal)을 나타낸다는 것을 알 수가 있다. Zirlo 산화물의 미세조직은 시간/온도가 증가할수록 α-상이 커지는 것을 확인할 수가 있다.

경도측정결과 역시 시간/온도가 증가할수록 경도 값이 커진다는 것을 확인할 수가 있는데 산화막 부근에서의 경도 값이 가장 높은 수치를 나타낸다는 것이다. 이것은 지르칼로이 금속의 계면에 형성된 ZrO_2 의 영향 때문이며 α-상 형성에도 영향을 미치게 된다. Zirlo의 경우 두꺼운 산화막 시편뿐만 아니라 얇은 산화막 시편에서도 고온수증기하에서 20분간 산화시 기존 산화막의 보호성을 유지하는 것으로 나타났다. 결국 기존산화막 시편은 고온에서 산화시 산화막이 없는 시편에 비해 지르칼로이뿐만 아니라 Zirlo에서도 보호성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 만약 LOCA와 같은 사고시 ECCS가 늦어도 10분 안에 작동된다고 했을 때 본 연구결과로 미루어보면 Zirlo가 사고시 안정성이 우수한 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] S.Leistikow and G.Schanz, "Oxidation kinetic and Related Phenomena of Zircaloy-4 Fuel Cladding Exposed to High Temperature Steam and Hydrogen-steam mixture under PWR Accident Conditions," Nuclear Engineering and Design, 103(1987) 65
- [2] A. W. Lemmon, BMI-1154, Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio (1957)
- [3] L. Baker and L. C. Just, "Study of Metal-Water Reactions at High Temperature III, Experimental and Theoretical Studies of Zirconium-Water Reaction," ANL 6548 (1962)
- [4] J. Böhmert, M. Dietrich, and J.Linèk, "Comparison studies on high-temperature corrosion of ZrNb1 and Zircaloy-4", Nuclear Engineering and Design, North-Holland, 147 (1993) 53