

Am에 의한 헬륨방출이 SFR 금속연료 연소도에 미치는 영향 평가

이병운, 천진식, 김준환, 이찬복
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
 boleee@kaeri.re.kr

1. 서론

소듐냉각고속로 (SFR)의 핵연료는 U-Zr 금속연료 및 파이로프로세싱과 연계된 U-TRU-Zr 금속연료가 선정되어 개발되고 있다. U-Zr 금속연료는 Am(아메리슘)에 의한 He(헬륨) 생성 및 방출 영향을 고려하지 않지만, 파이로프로세싱과 연계된 U-TRU-Zr의 Am은 노내에서 He 기체를 생성하며, 생성된 He은 연료봉 내의 플레넘 공간으로 방출되므로, 이와 같은 He 방출은 금속연료봉의 건전성에 영향을 미칠 수 있다. 본 논문에서는 SFR용 U-TRU-Zr 금속연료에서 He 방출에 의한 연료봉 설계인자 영향 및 설계인자가 연소도에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 헬륨 방출이 SFR 금속연료 연소도에 미치는 영향 평가

2.1 개요

U-Zr 금속연료는 Am에 의한 He 생성 영향을 고려하지 않지만, SFR 연소로는 파이로프로세싱과 연계된 U-TRU-Zr이 사용되므로, He 생성 및 방출 영향이 고려되어야 한다. Am에 의한 헬륨방출이 SFR 금속연료 연소도에 미치는 영향을 평가하기 위하여, MACSIS 코드[1]내에 ²⁴¹Am 1g당 165일마다 약 50ml의 He을 방출한다는 가정[2]하에 MA 첨가에 의한 He방출을 모델링하고 부프로그램을 개발하였다[3]. 이러한 부프로그램을 이용, SFR 연소로 금속연료에 대하여 He 방출이 있는 경우와 방출이 없는 경우의 SFR 금속연료 연소도 영향을 평가하였으며 주요 설계인자별 연소도 영향을 평가하였다.

2.2 SFR 금속연료 설계인자

SFR 금속연료봉의 경우 연료봉과 피복관사이에는 연료심의 팽윤을 수용하기 위해 갭이 설치되며, 핵분열생성가스 수용을 위한 플레넘을 상부에 설치한다. 핵연료봉 주요 설계제한치는 연료봉 중심온도, 공용온도, 피복관 변형을 및 누적손상분율 기준 등이 있다. 본 논문에서는 누적손상분

율을 기준으로 설계인자를 평가하였으며, 표 1에 나타난 600MWe 연소로 설계변수[3]를 참조로 하여 민감도 분석을 수행하였다.

Table 1. Design Parameter

Fuel Slug Contents (wt%)	U-30TRU-15Zr
Am Contents (wt%)	1.5
Fuel Slug Diameter (mm)	4.90
Smear Density (%)	69.5
Cladding Material	Mod.HT9
Pin Outer Diameter (mm)	7
Cladding Thickness (mm)	0.56
Fuel Slug Length (mm)	890.7
Peak Linear Power (W/cm)	303
Coolant Outlet Temperature (°C)	545

2.3 He 방출효과 분석

그림 1은 U-TRU-Zr 연료에서 ²⁴¹Am에 의한 He이 방출될 때와 아닌 경우에 대하여 플레넘 길이가 1,580mm일 때 연소도에 따른 플레넘 압력을 비교한 것이다.

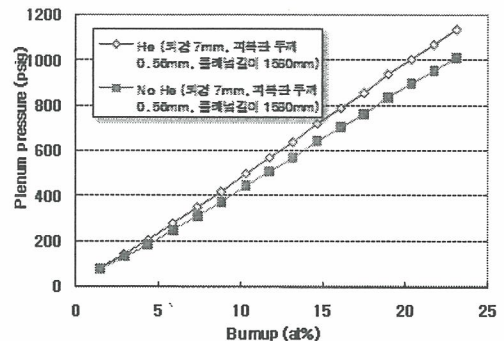


Fig. 1. Plenum Pressure according to He release

그림에 나타난 바와 같이 금속연료에 함유되어 있는 Am의 양은 TRU의 약 1/20이지만, He 방출에 의하여 플레넘에 미치는 압력은 약 1/10인 것으로 평가되었다. 이에 따라 함유되는 Am의 양이

증가할수록, 또한 Am이 아무리 적은 양이 함유되어 있더라도 계속적인 민감도 분석이 필요한 것으로 평가된다. 또한 플레넘 길이가 변경된다면 플레넘 길이에 따라 플레넘 압력이 변경되므로 이에 따른 민감도 분석도 필요하다.

2.4 He 방출에 의한 연소도 영향 평가

그림 2는 He 방출을 고려하였을 경우와 He 방출이 없다고 가정하였을 경우, 플레넘 길이에 따른 연소도 제한치를 나타낸다. 그림 2에 나타난 바와 같이, He 방출이 고려되었을 경우에는 Smear Density 69.5%, 봉외경 7mm인 경우 연소도 15at%를 위해서는 플레넘 길이가 1,250mm이상, 20at%를 위해서는 1,700mm이상이 필요한 것으로 나타난다.

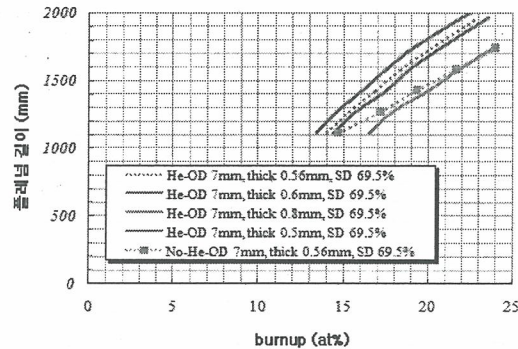


Fig. 2. Burnup Limits according to the Plenum Length and the Cladding Thickness

그러나 He 방출이 없을 경우에는 Smear Density 69.5%, 봉외경 7mm인 경우 연소도 15at%를 위해서는 플레넘 길이가 1,100mm이상, 20at%를 위해서는 1,500mm이상이 필요한 것으로 분석되었다.

이와같이 He 방출의 영향 때문에, 현재 개념설계되고 있는 플레넘 길이에서는 He 생성에 의한 피복관 변형을 수용하기 위해서는 플레넘 부피비 대 연료심 부피비가 약 2.5정도가 필요하며, 이는 상당히 길이가 긴 플레넘 길이가 될 수 있어 다른 설계인자 평가와 연계되어야 한다.

연료봉 설계인자중에서 플레넘 길이는 최소 피복관 두께와 연계될 수 있으므로, 피복관 두께가 0.56mm이외의 경우에 대한 민감도 분석이 필요하다.

그림 2에는 플레넘 길이 이외에도 주요한 설계인자인 피복관 두께를 0.5, 0.6 및 0.8로 변경시켰

을 경우의 연소도 영향이 나타나있다.

SD 69.5% 및 봉외경7mm인 경우, 20at%를 초과하기 위해서는 플레넘 길이가 1,580mm일 경우 약 0.68mm가 필요하며, 피복관 두께를 변경시키지 않고 0.56mm로 할 경우 약 1,735mm의 플레넘 길이가 필요하다.

He 방출에 의해 금속연료 연소도에 미치는 영향이 상대적으로 크기 때문에, 금속연료의 연소도 제한치를 증가시키기 위해서는 플레넘 길이 및 피복관 두께 증가가 필요하며 이들을 조합한 최적의 설계가 필요한 것으로 평가되었다.

3. 결론

파이로프로세싱과 연계된 U-TRU-Zr 금속연료는 Am에 의해 He이 생성되고 방출되는 영향을 고려하여야 한다. 이를 위하여 He 영향을 고려할 수 있도록 개발된 MACSIS 코드를 이용하여 U-TRU-Zr 금속연료에서 He 방출에 의한 연료봉 연소도 영향을 분석한 결과, 함유되어 있는 Am의 양은 상대적으로 적더라도 상세한 민감도 분석이 필요한 것으로 나타났다.

현재까지는 He 생성 및 방출영향에 대한 조사 시험 자료가 많지 않지만, He이 금속연료 연소도에 미치는 영향이 상대적으로 크기 때문에 향후 실험자료가 충분히 확보되면 더욱 상세한 민감도 분석을 통하여 연소도 영향을 평가할 예정이다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

[1] W. Hwang, et al., Nucl. Tech. Vol.123, Aug. 1998.
 [2] M.K. MEYER, et al., Nuclear Applications In The New Millenium, Reno, Nevada, Nov 2001.
 [3] B.O.Lee, et al., 2010 Spring KRS Conference, May. 2010.
 [4] H. Song, et al., SFR/CD120-IR-03/2009, April 2009.