

액체금속로 노심출구 냉각재온도 제한치 설계기술 개발

구경희, 이재한  
 한국원자력연구소  
 ghkoo@kaeri.re.kr

1. 연구동기 및 배경

경수로와 마찬가지로 액체금속로 설계에는 노심설계, 열유체설계, 안전해석, 그리고 기계구조설계 등이 요구된다. 실제로 액체금속로에 대한 독자노형을 개발하기 위해서는 앞서 언급한 여러 분야의 설계들이 주어진 설계절차에 따라서 독립적 또는 상호의존적으로 수행되어야 한다. 본 논문에서는 액체금속로의 개념설계 단계에서 발생할 수 있는 각 설계분야간에 복잡한 상호의존성을 최소화하고 각 분야에서의 독립적인 설계기술로 최적의 경제성과 안전성 그리고 핵확산 저항성을 갖는 액체금속로를 개발할 수 있도록 고온 구조설계 관점에서 제시하는 새로운 개념의 노심출구 냉각재온도(CECT: Core Exit Coolant Temperature) 제한치 설계기술에 대한 연구결과를 기술하고자 한다.

열적경계조건 설정, 2) 포괄 운전하중에 대한 예비 열응력 해석, 3) 최대 응력발생 부위 선정, 4) 노심출구온도별 정상운전상태를 가정한 상세 열응력해석, 5) 최대 발생응력에 대한 파단시간을 Minimum stress-to-rupture 곡선에서 결정, 6) 운전조건별 CECT 제한치 설정. Table 1은 단순 설계방법에 의한 결정된 KALIMER-150[1]에 대한 CECT 제한치 결정결과를 나타낸 것이다. 그러나 제시한 단순 설계방법은 고온 원자로 구조설계 관점에서 여러 가지 미비한 사항들을 내포하고 있다. 예를 들어 고온원자로 구조조건전성 평가에서 요구되는 전설계수명 동안에 발생할 수 있는 비탄성 변형, 크립-피로손상에 대한 고려, 천이하중 영향에 대한 고려, 그리고 각 운전하중 주기들에 대한 하중조합 영향 등에 대한 고려가 포함되어 있지 않기 때문에 CECT 제한치 결정을 위한 세부적인 상세설계기술이 요구된다.

2. 연구내용 및 결론

본 연구에서는 먼저 고온운전에서의 크립손상을 고려한 단순 고온구조 설계관점에서의 CECT 제한치를 결정하기 위한 방법으로 ASME-NH 설계코드에서 제공하는 Minimum stress-to rupture 곡선을 사용한 단순 설계기술을 제시하였다. 단순설계절차를 기술하면 다음과 같다; 1) 원자로

Table 1.  
Limits for  
150 by  
Method

CECT  
KALIMER-  
Simple

	Maximum Allowable Hold Time (Hours)	Temperature Limit (°C)
<b>Service Level A :</b>		
Bulk Temperature	280,000	535
UIS Bottom Striping Coolant Temperature Limit		130
<b>Service Level B :</b>		
Bulk Temperature	50,000	550
Bulk Temperature	3,000	580
Bulk Temperature	1,000	600
<b>Service Level C :</b>		
Bulk Temperature	30	650
<b>Service Level D :</b>		
Bulk Temperature	5	700
Bulk Temperature	1	760

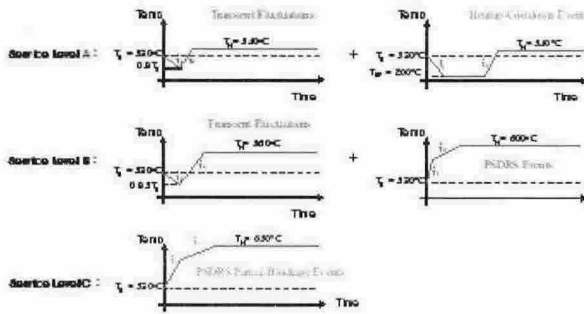


Fig.1 Enveloped Transient Curves for Each Service Levels

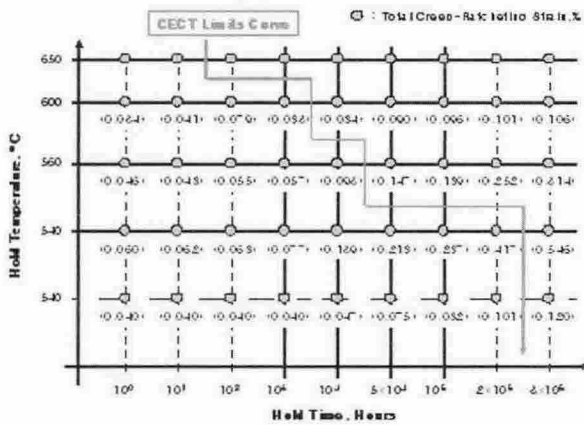


Fig.2 Calculated Inelastic Strain for CECT Limits Curve

Fig. 1은 CECT Limits 상세 설계기술을 적용하기 위해 설정된 운전조건별 포괄 천이 하중곡선을 나타낸 것이다. 열응력 해석은 응력집중이 가장 크게 발생하는 KALIMER-150 원자로의 고온풀 자유액면부위[2]에 대해 수행되었다. 설정된 하중주기에 대해 전설계 수명동안에 누적되는 비탄성 변형률과 크립-피로손상을 평가한 결과,

Reactor baffle과 Reactor vessel에서 각각  $0.75+\epsilon_c\%$ ,  $0.6+\epsilon_c\%$ 의 비탄성 변형률이 발생하는 것으로 평가되었으며 크립손상은 각각  $0.27+(D_c)_c$ ,  $0.04+(D_c)_c$  그리고 피로손상은 각각  $0.02+(D_f)_c$ ,  $0.02+(D_f)_c$ 로 평가되었다. 고온구조 손상 평가에는 본 연구에서 개발한 CHECK-ASME 고온구조건전성 자동평가 프로그램이 사용 되었다. 주어진 포괄 운전하중에 대한 크립-피로손상 건전성이 만족되었다고 가정할 때 최종적으로 CECT Limits에 대한 결정은 Fig. 2와 같은 고온 운전조건별 비탄성 누적변형률 계산결과 도표로부터 설계사양서 또는 타 설계분야와의 연계자료에 명시된 각 Event별 운전시간과 온도를 고려하여 적절한 CECT Limits를 결정할 수 있다.

결론적으로 본 연구에서 제시 한 CECT Limits에 대한 단순 설계 방법과 상세설계 방법은 보다 세부적인 검증 연구를 수행하여 향후 용량이 격상된 KALIMER-600 액체금속로의 개념설계에 적용할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구 개발사업의 일환 으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- (1) 한도희, 김영진, 구경희 등, "KALIMER 개념설계 보고서," KAERI/TR-2204/2002, 한국원자력연구소, 2002.
- (2) G.H. Koo and J.H. Lee, "Design of Reactor Structures of LMR in the Vicinity of Hot Pool Free Surface Regions Subjecting Elevated Moving Temperature Cycles," International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol.79, No. 3, pp.167-179, 2002.