

유체온도를 고려한 충전노즐의 응력강도한계 평가

Evaluation of Stress Intensity Limit for Inlet Nozzle to Determine Allowable Fluid Temperature

**김종욱¹, 이규만¹, 김태완¹, 김종인¹, 박근배¹

#*J. W. Kim¹(kjwook@kaeri.re.kr), G. M. Lee¹, T. W. Kim¹, J. I. Kim¹, K. B. Park¹

¹ 한국원자력연구원(Korea Atomic Energy Research Institute)

Key words : makeup & purification system, inlet nozzle

1. 서론

충전 및 정화계통(makeup & purification system)은 원자로 가열 및 냉각운전 중 원자로냉각재의 재고량을 조절하며, 필요한 경우 원자로냉각재의 부족분을 보충하여 적절한 재고량을 유지할 수 있도록 하는 기능을 수행한다. 또한 충전 및 정화계통은 원자로 정상운전 중 공정방사능감시기를 통하여 원자로냉각재의 방사능준위를 연속적으로 감시한다. 이때의 유로는 원자로건물 내에 설치되어 있으며, 충전 및 정화계통 유출노즐(outlet nozzle), 재생열교환기, 방사능감시열교환기, 공정방사능감시기, 재생열교환기, 충전노즐(inlet nozzle)의 순서로 이루어진다. 공정방사능감시기 전·후에서의 원자로냉각재의 온도는 공정방사능감시기의 운전요건으로 인해 낮게 유지되어야 하며, 충전노즐을 통하여 원자로냉각재가 원자로 내로 주입되기 전에 재생열교환기를 통과하면서 일정 온도 이상으로 높여줌으로써 충전노즐의 열충격을 완화시켜 노즐의 구조적 건전성을 보장하여야 한다.

본 연구는 원자로의 덮개에 위치한 충전 및 정화계통 충전노즐을 통하여 원자로냉각재가 원자로용기 내로 유입되는 경우 노즐의 건전성이 유지될 수 있는 유입유체의 최소허용온도를 평가하기 위한 것이다.

2. 해석조건

해석대상인 충전노즐 단면의 기하학적 형상은 Fig. 1과 같으며, 원자로냉각재에 노출되는 충전노즐의 내부표면 부식방지를 위해 부착된 피복재는 KEPIC MNB의 요건에 따라 해석대상에 포함하였다. 정상운전 시 충전 및 정화계통 충전노즐을 통한 유체의 유입에 따른 열하중 영향을 알아보기 위해 노즐외측의 온도는 설계온도인 350℃, 노즐내측을 흐르는 유체의 온도는 각각 50, 100, 150, 200 및 250℃로 설정하였다. 해석을 위해 사용된 입력 자료는 Table 1과 같다.

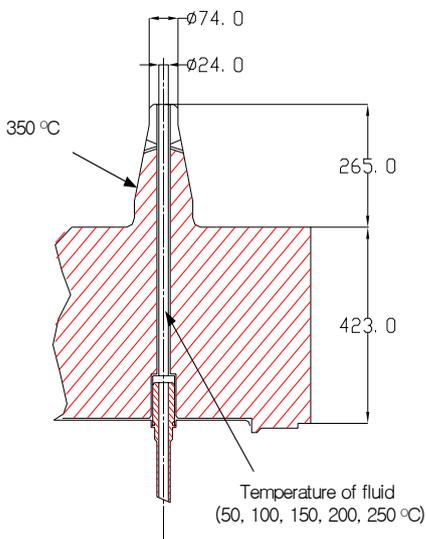


Fig. 1 Geometry of inlet nozzle

Table 1 Input data for design analysis

| 설계변수 | 값 |
|--------|---------------------|
| 설계압력 | 17.0 MPa |
| 운전압력 | 14.7 MPa |
| 설계온도 | 350.0℃ |
| 피복재 두께 | 5.0mm |
| 노즐의 재질 | MDF A508 등급 3 클래스 1 |

3. 유한요소 해석모델

평가대상인 충전노즐에 대한 유한요소 모델은 I-DEAS 프로그램을 사용하여 작성하였으며, 대칭성을 고려하여 1/4만 모델링하였다. 구현된 모델을 이용하여 내압이 작용할 때 구조불연속부의 응력분포와 허용한계를 검토하였다. 운전조건에 따른 온도를 정의하기 위해 열전달해석을 수행하였으며, 열전달해석으로부터 구한 각 요소 내 절점에서의 온도를 이용하여 열응력해석을 수행하였다. Fig. 2는 구현된 3차원 유한요소 모델을 나타낸 것이다.

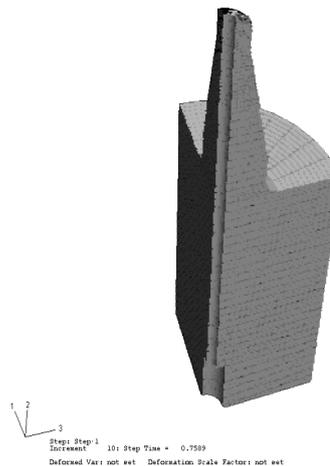


Fig. 2 3-D finite element mesh

4. 해석결과

본 연구에서는 I-DEAS 프로그램을 활용하여 열전달해석을 수행한 후 그 온도분포를 포함한 열응력해석 입력 자료를 구성하여 최종적으로 ABAQUS 프로그램을 이용하여 각 위치에서의 열응력을 계산하고 응력선형화를 수행하였다. Fig. 3은 유입유체의 온도가 50℃인 경우에 대한 열전달해석 결과를 나타낸 것이며, Fig. 4는 응력선형화 계산을 위한 각 위치를 나타낸 것이다.

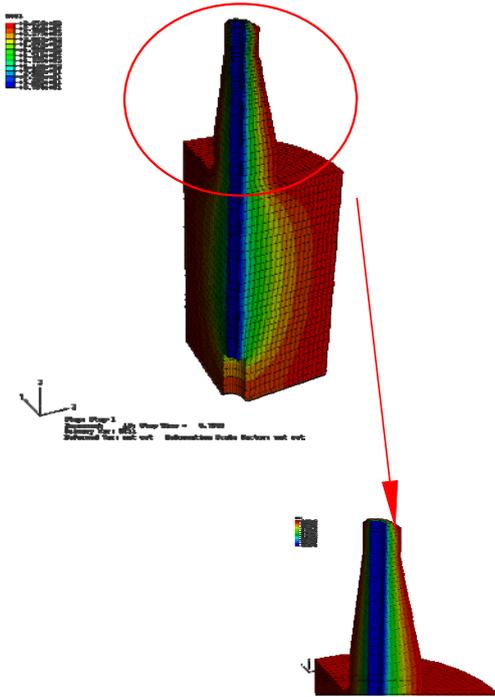


Fig. 3 Temperature distribution along by nozzle wall (for fluid temp. 50°C)

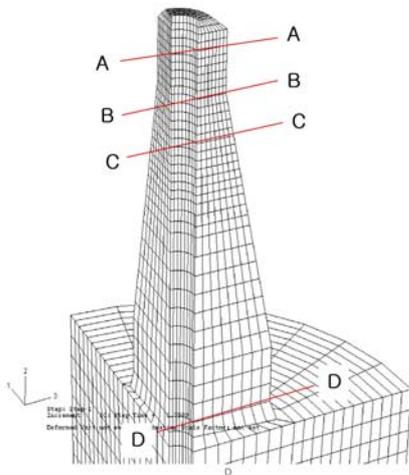


Fig. 4 Location for stress linearization

전체구조불연속부에서 내압에 대한 해석 결과는 Table 2와 같다. 1차국부막응력 P_L 이 가장 크게 나타난 위치는 노즐 끝단 근방인 A-A이며, 가장 작게 나타난 위치는 D-D이다.

KEPIC MNB 그림 3221 설계요건에 대한 응력범주 및 응력강도 한계에 따라 검토하면 다음과 같이 허용응력강도 요건을 만족하는 것으로 평가되었다.

$$P_L < 1.5 S_m$$

$$15.09 < 1.5 \times 184$$

Table 3은 유입유체의 온도에 따른 열응력해석결과를 정리한 것이다. KEPIC MNB 3222 A급 및 B급 운전한계에 대한 응력범주와 응력강도한계는 Table 4와 같다.

Table 2 Result of stress linearization for internal pressure condition

| 위치 | P_L (MPa) | $P_L + Q$ (MPa) |
|-----|-------------|-----------------|
| A-A | 15.09 | 29.20 |
| B-B | 14.64 | 28.30 |
| C-C | 11.97 | 24.89 |
| D-D | 5.89 | 15.17 |

Table 3 Result of stress linearization for fluid temperature condition

| Stress 위치 | Q (MPa) | | | | |
|--------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | 50°C | 100°C | 150°C | 200°C | 250°C |
| A-A | 422.7 | 357.7 | 288.4 | 191.7 | 146.8 |
| B-B | 515.9 | 434.5 | 351.6 | 265.7 | 178.6 |
| C-C | 492.8 | 416.8 | 336.4 | 254.8 | 171.3 |
| D-D | 520.1 | 449.1 | 357.2 | 272.6 | 182.9 |

Table 4 Result of stress intensity limit for level A and level B service limits

| Stress 위치 | $P_L + P_b + P_e + Q < 3S_m$ (MPa) | | | | |
|--------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 50°C | 100°C | 150°C | 200°C | 250°C |
| A-A | 451.9 | 386.9 | 317.5 | 220.9 | 175.9 |
| B-B | 544.2 | 462.8 | 379.9 | 294.0 | 206.9 |
| C-C | 517.7 | 441.7 | 466.6 | 279.7 | 196.2 |
| D-D | 535.3 | 464.2 | 372.4 | 287.8 | 198.1 |

해석결과 충전 및 정화계통 노즐을 통한 유입유체의 온도는 KEPIC MNB 설계요건과 배관을 통한 외부하중과 모멘트를 고려하여 200°C 이상이 적절한 것으로 계산되었다.

5. 결론

본 연구에서는 원자로의 출력운전시 원자로덮개에 위치한 충전 및 정화계통 충전노즐을 통하여 유입되는 원자로냉각재의 온도에 따른 노즐의 건전성을 평가하였다. 계산결과 충전 및 정화계통 충전노즐의 건전성을 유지하기 위한 유입유체의 온도 하한치는 KEPIC 그림 MNB 3222 A급 및 B급 운전한계에 대한 응력범주와 응력강도한계를 고려하여 200°C 이상이 되어야 한다.

후기

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. KEPIC MNB, 1등급 기기, 2005년판, 대한전기협회.
2. KEPIC MDP, 허용응력, 2005년판, 대한전기협회.
3. I-DEAS NX Series, Ver.12, 2006, UGS PLM Solution Inc.
4. ABAQUS Ver. 6.4, 2004, Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc.