한국압력기기공학회 논문집
제7권 제2호 2011년 6월 pp. 14－20

월성1호기 계속운전 관련 결함연료위치탐지계통 배관의 열화관리평가

송명호† · 김홍기* · 이영호**

Assessment on Aging Management of Delayed Neutron Monitoring System Tubing for Continued Operation of Wolsong Unit 1

Myung Ho Song†, Hong Key Kim* and Young Ho Lee**

(Received 9 MAR 2011, Accepted 7 MAY 2011)

ABSTRACT

The end of design lifetime for Wolsong unit 1 will be reached on 20th November in 2012. So the license renewal documents for the continuous operation of Wolsong unit 1 is under reviewing now. Major components of primary system such as pressure tubes, feeder pipes including delayed neutron monitoring system tubing are being replaced and many components of secondary system are also being repaired. In this paper, the assessment on the wear degradation of delayed neutron monitoring system tubing(on the other hand, DN tube was called) was performed for the ageing management of the same component. The wear defects of this component was one of causes that resulted in heavy water leakage accidents. Therefore design specifications of Wolsong uint 1 and heavy water leakage accidents of pressurized heavy water reactors were reviewed and causes of wear defect for DN tubes were analyzed. Wear propagation equations based on the heavy water leakage history were made and the proper repairing time was possible to be expected if the continued operation was considered. Finally design change items of DN tubes that were conducted for the long term operation of Wolsong unit 1 are introduced.

Key Words : Aging Management(열화관리), Wear(마모), Delayed Neutron Monitoring System Tubing(결함연료위치 탐지계통 배관), Continued Operation(계속운전), Wolsong Unit 1(월성1호기)

1. 서 론

월성1호기는 680 MWe급의 중수로형 원전으로서 1983년 4월 상업운전을 시작하여 오는 2012년 11월 20일에 30년(초임계기준) 설계수명에 도달할 예정이다. 현재 계속운전에 대한 인허가 갱신을 목적으로 계속운전 인허가신청 보고서가 심사 중에 있고, 계속운전에 대비한 압력관 교체작업을 비롯한 주요 기기의 교체 등 대규모 정비 작업이 진행 중에 있다. 월성1호기 결함연료 위치탐지계통 배관(이하 DN 튜브)은 스테인리스강으로 된 직경이 1/4" 또는 3/8"이고 두께가 공히 1.244mm의 소구경 튜브이며 가동 중 인접 튜브와의 접촉으로 인한 마모손상이 발생하여 중수가 누설되는 사고를 다수 경험한 바 있다. 1986년부터 1990년까지 총 4차례의 누설사고가 발생한 것으로 기록되고 있으며 1988년 대규모의 정비를 통해 DN(Delayed Neutron) 튜브를 보수한 이후 마모손상은 감소되어 가는 경향을 나타내고 있다. 주된 원인으로 정기검사 중에 DN 튜브에 대한 철저한 육안점검을 통해 초기 마모 징후를 보인 튜브들을 전량

† 책임저자, 회원, 한국원자력안전기술원
E-mail : k084smh@kins.re.kr
TEL : (042)868-0191 FAX : (042)868-0168
* 한국원자력안전기술원
** 한국원자력연구원

보수해 왔기 때문이다.

월성1호기는 2009년 4월부터 시행된 원자로압력관 교체작업의 일환으로 380개 DN 튜브에 대해 전량교체가 완료되었으며 동시에 마모손상 억제를 위한 설계개선 사항들이 반영되었다.

본 연구에서는 월성1호기 계속운전을 위한 결함연료위치탐지계통 배관의 건전성을 평가하기 위해, DN 튜브의 누설 및 정비이력을 살펴보고, 마모결함 발생원인을 분석하며 스테인리스강 재질의 DN 튜브 마모성장식을 도출하여 적정 보수시기를 예측하였다. 또한 교체 DN 튜브에 적용된 설계개선 사항을 소개하였다.

2. 월성1호기 DN 튜브 설계사양 및 운전환경

2.1 설계 사양

월성1호기 결함연료위치탐지계통 중 시료채취배관(DN Tube)은 공급자관에서 분기되어 결함연료위치탐지계통으로 냉각재 시료를 이송하는 배관으로 총 380개가 설치되어 있다. 이 DN 튜브들은 Table 1에서와 같이 ASME Sec. III 등급 1의 기준에 따라 설계, 제작 및 설치되었으며 304L 스테인리스강으로 된 튜브이다.[1)]

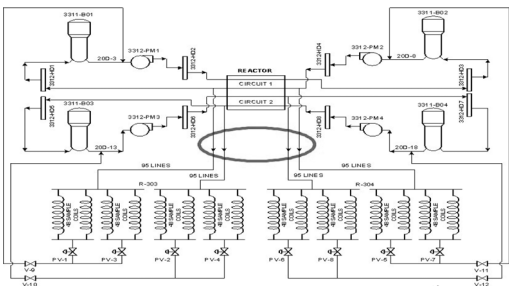


Fig. 1 The location of delayed neutron tubes at Wolsong unit 1

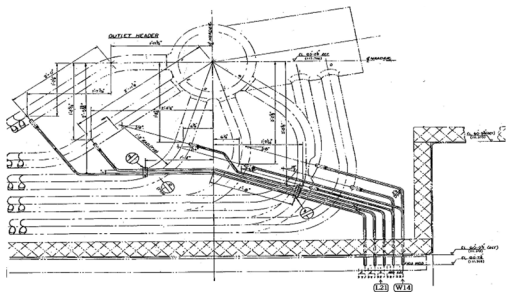


Fig. 2 Delayed neutron tubes branched from feeder pipes at Wolsong unit 1

2.2 운전 환경

월성1호기 DN 튜브는 튜브의 안쪽으로 1차측 냉각재와 동일한 온도 및 압력을 받게 되며, 바깥쪽으로는 Fig. 1 및 2와 같이 냉각재 공급자관과 분기관이 연결되어 좁은 공간에서 복잡한 형상으로 설치되어 있다. 튜브 주위는 원자로건물 내의 냉방 및 환기를 위하여 튜브다발 하부에 설치되어 있는 지역냉방기에서 8m/sec의 속도로 고속공기가 흐르고 있다.[1)]

3. 중수로 원전 DN 튜브 마모손상 평가 및 예측

3.1 DN 튜브 마모손상 발생이력

월성1호기의 주기적안전성평가보고서에 따르면 결함연료위치탐지계통 중 시료채취배관인 DN 튜브의 마모손상으로 인한 누설사고는 현재까지 4회인 것으로 보고되고 있으나[2)] 실제 기록으로 확인된 것은 1986년과 1988년도의 사고였으며, 이들은 모두 인접 배관과의 접촉마모에 의한 손상이 원인이었다. 해당 손상 튜브에 대해서는 스웨지락 피팅 연결로 보강작업을 수행하였고 특히 1988년에는 간이보수기간 중 마모에 의한 손상튜브 보강작업을 포함한 전체 DN 튜브들을 재점검하여 50개소에 튜브 고정대를 재설치하고 석면포로 보강하였다. 이후 누설사고는 더 이상 발생하지 않고 있다.[3,4,5)] 월성2,3,4호기도 역시 각 1회씩 누설사고를 기록한 바 있다.

DN 튜브의 누설이력을 Table 2에 요약하였다. 누설이 발생하기 까지 걸린 시간은 3.5년에서 약 8년까지 다양함을 알 수 있고 표에서와 같이 모든 DN 튜브는 마모 발생 시 결함깊이가 관두께의 50%에 도달하면 정비하게 된다.

Table 1 Design specifications of delayed neutron tube for Wolsong unit 1

계통명	설계 및 제작 기준	배관재질	유체	설계압력	설계온도
결함연료위치탐지계통 (DN Tube)	ASME Sec. III, Class 1	SA213/450 TP304L	냉각재	10.69MPa	279℃

Table 2 Histories of wear defect occurrence on DN tubes at all Wolsong units

구분	호기	발생 일시	결함 정도	상업운전 일시	발생기간 (Yr)
누설 사고	월성 2	2004. 6. 18	100% 관통 (두께 1.244mm)	1977. 7. 1	6.96
	월성 3	2004. 5. 25	100% 관통 (두께 1.244mm)	1998. 7. 1	5.92
	월성 1	1986. 10. 1	100%	1983. 4. 22	3.53
		1988. 8. 13	100%		5.32
	월성 4	2007. 9. 3	100% 관통 (두께 1.244mm)	1999. 10. 1	7.92
마모 측정	월성 2	2004. 9. 10	24%~38% 마모 (0.3~0.47mm)	1997. 7. 1	7.17

Note : 배관정비기준 (마모깊이 : ≥관두께의 50% 또는 0.622mm 이상)

3.2 마모원인 분석

월성1호기를 비롯한 중수로 원전들의 결함연료탐지계통 중 DN 튜브에 발생한 마모손상의 원인을 규명하기 위하여 2004년에 월성2호기와 3호기로부터 인출된 손상튜브를 원자력연구원에서 금속학적으로 분석하였다. Fig. 3은 월성2호기 DN 튜브에서 발생한 마모로 인한 누설공을 보여준다.[6)]

분석결과 아래와 같은 마모손상 원인들이 규명되었다.

- 월성 2호기 DN 튜브의 누설은 0.3×0.7mm 크기의 작은 타원형의 누설공(pin hole)이었으며, 마모생성기구는 연삭마모와 흡착마모가 혼합되어 일어난 것이다. 하부 상대 튜브의 손상 깊이는 무시할 정도였으며 이는 손상이 튜브 길이 방향으로 넓게 퍼져 있었을 뿐만 아니라 하부에 위치하였기 때문이다.
- 월성3호기 DN 튜브의 누설은 직경 0.4mm 정도의 원형에 가까운 누설공에 의한 것이었으며, 마모생성기구는 연삭마모였다. 마모깊이가 3단계로 계단형태의 손상면이 관측되었으며 마모 위치의 이동원인은 시료 채취 시 배관 내부에 흐르는 고온의 냉각수에 의한 열팽창과 배관 자체의 진동에 기인한 것으로 추정된다.
- DN 튜브의 접촉 원인은 월성 2호기의 경우 열팽창이 일어날 때, 피더 캐비넷 자체가 하강하는 경우 배관들의 접촉이 발생하는 것으로 나타났고, 월성 3호기는 원자로 기동 후 200℃ 정도의 온도가 상승하면서 배관의 열팽창 때문에 배관들이 휘어지며 서로 접촉하게 되어 발생한 것으로 해석되었다.
- DN 튜브의 진동원인은 원자로 기동 시 시동되는 PHT 펌프에 의하여 기인한 것으로 판단된다. PHT 펌프 운전 시 임펠러 회전에 의한 주 가진원이 전체 원자로 시스템의 진동을 유발하고 이러한 진동이 DN 튜브에 직접 전달되어 진동을 크게 야기하였다. 한편 DN 튜브의 마모손상을 야기한 진동원인에 냉각공기의 흐름과 배관 내에 흐르는 유체는 영향을 주지 않은 것으로 나타났다.

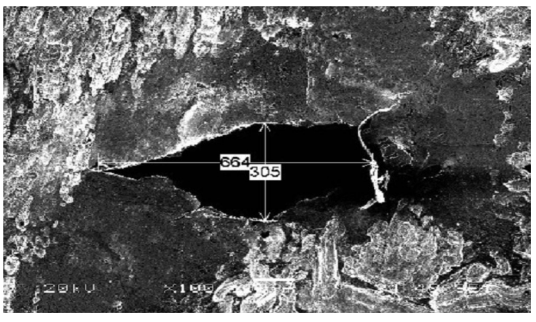


Fig. 3 The pin hole area occurred on a delayed neutron tube of Wolsong unit 2

3.3 마모결함 성장 예측식

DN 튜브의 마모 발생과 관련하여 마모성장을 표현하는 일반식인 Archard식을 구하려고 하였으나, 접촉응력과 접촉하는 두 물체 사이의 왕복미끄럼 거리 등에 대한 자료를 구할 수가 없어 Table 2에서와 같이 현장누설사고 보고서에 근거하여 관통이 발생할 때까지의 걸린 시간을 이용하여 마모식을 산출하였다.[7)]

이때의 중요한 가정은 마모는 한쪽 배관에서만 발생한다는 것이다. 실제로는 양쪽 배관의 접촉면에서 모두 발생하나 이를 고려할 경우 단순한 계산보다는 적용코드를 작성해야 한다. 이러한 가정을 적용할 경우, 누설사고보고서의 다섯 가지의 경우 중에서 평균 혹은 최대 시간을 적용해도 보수성을 충분히 가질 것으로 판단하였다.

기본적은 Archard식의 모양은 마모 부피(V)는 접촉하중(F) 및 거리(S)에 비례하는 식이다. 즉, $V = K \cdot F \cdot S$, 여기서 K는 응력의 역수 단위를 가지거나 경도를 고려하면 무차원 변수가 된다. 그러나 마모형태가 한정되어 있고 적용범위도 명확하므로 다음과 같이 변형하여 적용이 가능하다.

V=K·F·Am·t 여기서 Am은 왕복거리, t는 시간임

특히 접촉하중과 변위를 알지 못하는 상태에서는 기존 Archard식의 마모계수와 하중 및 변위는 동일하거나 유사한 조건이므로 시료채취배관의 단일 마모계수로 취급이 가능하다.

즉, $V=K_{dn}\cdot t$; K_{dn}은 마모계수

DN 튜브에 마모가 발생할 수 있는 3가지 경우는 배관-배관, C ring(웨어링)-C ring 및 C ring-배관이고, 이들이 90°로 접촉할 때 마모부피 및 깊이에 대한 상관식을 단순 3D 코드로 계산하면 다음과 같이 간략하게 표기가 가능하다.

- TT : $V[mm^3]=15\times d^2-0.8\times d^3$ 또는 $14\times d^2$
- CT : $V[mm^3]=15.7\times d^2-0.7769\times d^3$ 또는 $15\times d^2$
- CC : $V[mm^3]=16.55\times d^2-0.8039\times d^3$ 또는 $15.5\times d^2$

여기서 TT는 배관-배관(tube-tube), CC는 C ring-C ring, CT는 C ring-배관(C ring on tube)이고, d는 마모깊이임.

2차 함수의 단순화는 배관 두께인 1.24mm 혹은 1.24+0.5mm 경계 내에서 잘 만족한다. 마모계수를 계산하기 위해 Table 2에 근거하여 가장 보수적인 3.53 년과 비 보수적인 7.92년, 그리고 평균값인 5.73 년을 적용하여 K_{dn}을 구해보면 Table 3과 같다.

3.4 마모손상 대비 적정 정비시기 예측

Table 3에 나와 있는 단일 마모계수(K_{dn})를 이용하여 마모진행 시간 및 마모깊이의 관계를 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같다. 한 예로서 TT의 경우, $15\times d^2-0.8\times d^3=Kdn * t$ 식에 Table 3의 K_{dn} 값을 대입하여 시간에 따른 마모깊이를 추정하여 도식화한 것이다. 이 중 Fig. 4(a)는 월성1호기의 누설사고보고서에 근거하여 산출된 가장 보수적인 마모성장율을 나타낸 그림이고, Fig. 4(b)는 월성4호기의 누설사고보고서에 근거하여 산출된 가장 느리게 진행된 마모성장율을 나타낸 그림이다. 따라서 중수로형 원전의 DN 튜브의 마모성장율을 나타내는 대표적인 그림은 이 값들의 산술 평균을 나타낸 Fig. 4(c)가 될 수 있다. 상기 식에 근거하여 배관-배관, C ring-배관, C ring-C ring의 세 경우가 고려된 마모성장식을 Fig. 5와 같이 DTWAES(DN Tube Wear Analysis Evaluation System)

Table 3 Wear coefficient(K_{dn}) values of DN tube for Wolsong unit 1

Year	TT	CT	CC
3.53	6.189mm^3/yr	6.459mm^3/yr	13.051mm^3/yr
5.73	3.782mm^3/yr	3.979mm^3/yr	8.040mm^3/yr
7.92	2.736mm^3/yr	2.879mm^3/yr	5.817mm^3/yr

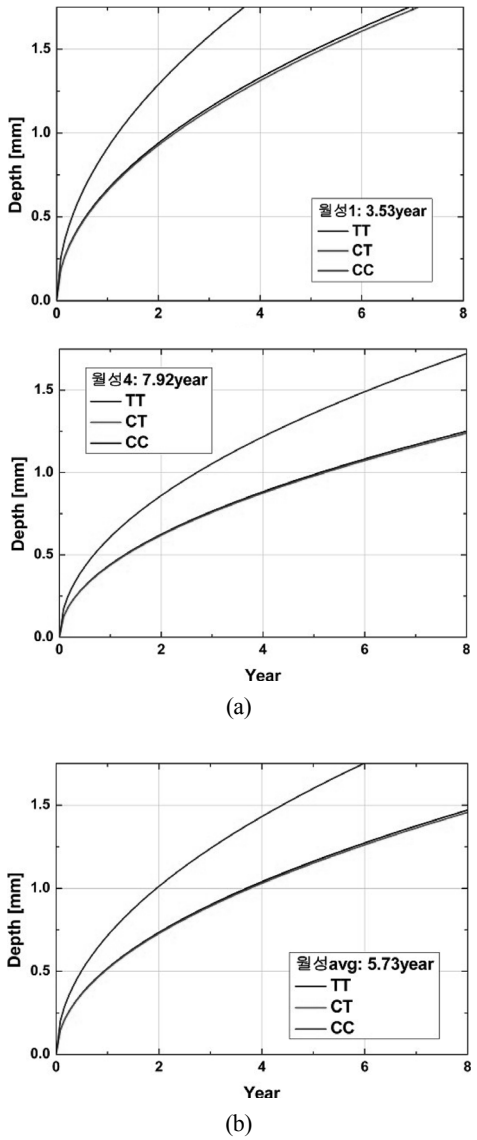


Fig. 4 Wear growth rates of contact types of delayed neutron tubes for Wolsong unit 1

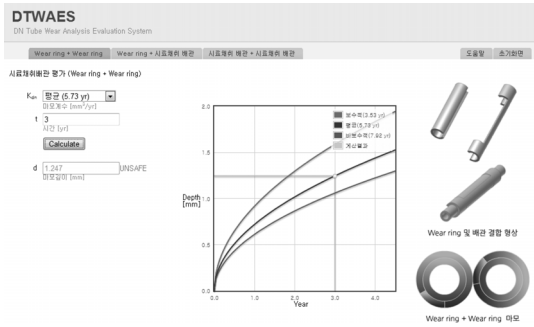


Fig. 5 Initial screen of wear evaluation for wear ring-wear ring type

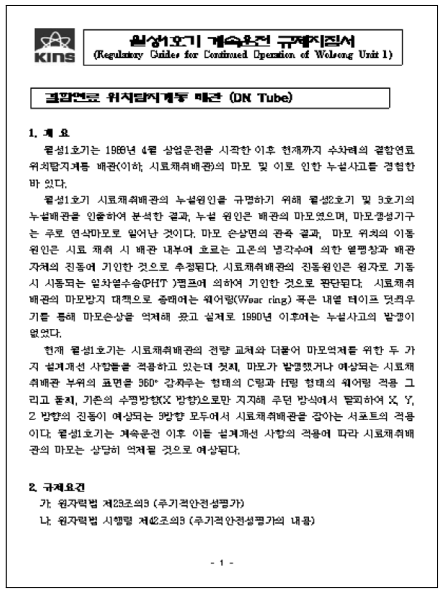
라는 이름의 마모해석검증 프로그램화하였으며 이를 사용하면 향후 계속운전 시 DN 튜브에서의 마모성장속도에 근거한 C ring에서의 마모깊이를 추정하여 적절한 정비시기를 예측할 수 있다.

Fig. 5에서 화면 상단에는 접촉조건에 따른 평가창으로 이동할 수 있는 탭이 활성화되어 있다. 초기화면은 CC 조건 평가 창을 겸하고 있으며, 좌측에서 K_{dn} 고려 방법 및 시간을 입력하면 마모깊이 및 안정성 여부를 출력하도록 구성되었다. 화면 우측에서 시간에 따른 마모깊이 그래프가 도시되어 있으며, 그래프를 통해서도 평가 결과를 볼 수 있다.

4. 계속운전을 위한 DN 튜브 규제지침서 개발

월성1호기 DN 튜브의 계속운전 전 및 계속운전 시 체계적이고 효율적인 규제를 위해 규제지침서를 개발하였다.

이 규제지침은 규제요건 조사, DN 튜브 검사/정비 이력조사, DN 튜브 관리자료 분석, 현장조사 및 해외사례조사 등을 통해 작성되었으며 지침 내용은 개요, 규제요건, 계속운전전 확인 사항, 계속운전 중 확인사항 및 참고문헌으로 구성되어 있다. 규제요건으로는 교과부 고시 및 CANDU 원전을 위한 CSA/CAN 코드가 인용되었고, 계속운전 전 확인사항으로 열화관리프로그램의 수립, 설계변경사항에 대한 설치검사, 사용전검사 및 방사선감시설비 점검이 이행되어야 하며, 계속운전 중 확인사항으로 열화관리프로그램 이행여부, 주기적 육안검사 수행 및 정비기술개발에 대해 기술하였다. Fig. 6은 작성된 DN 튜브의 규제지침서를 보여준다.


KINS

월성1호기 계속운전 규제지침서
(Regulatory Guides for Continued Operation of Wolsong Unit 1)

결합연료 위치탐지계통 배관 (DN Tube)

1. 개 요

월성1호기는 1998년 4월 상업운전을 시작한 이후 현재까지 수차례의 결합연료 위치탐지계통 배관(이하, 시료채취배관)의 마모 및 이로 인한 누설사고를 경험한 바 있다.

월성1호기 시료채취배관의 누설원인을 규명하기 위해 월성2호기 및 3호기의 누설배관을 인출하여 분석한 결과, 누설 원인은 배관의 마모였으며, 마모생성기구는 주로 연삭마모로 일어난 것이다. 마모 손상면의 관측 결과, 마모 위치의 이동원인은 시료 채취 시 배관 내부에 흐르는 고온의 냉각수에 의한 열팽창과 배관 자체의 진동에 기인한 것으로 추정된다. 시료채취배관의 진동원인은 원자로 기동 시 사용되는 일차열수송(PHT)펌프에 의하여 기인한 것으로 판단된다. 시료채취배관의 마모방지 대책으로 종래에는 웨어링(Wear ring) 혹은 내열 테이프 덧씌우기를 통해 마모손상을 억제해 왔고 실제로 1990년 이후에는 누설사고의 발생이 없었다.

현재 월성1호기는 시료채취배관의 전량 교체와 더불어 마모억제를 위한 두 가지 설계개선 사항들을 적용하고 있는데 첫째, 마모가 발생했거나 예상되는 시료채취배관 부위의 표면을 360° 감싸주는 형태의 C형과 H형 형태의 웨어링 적용 그리고 둘째, 기존의 수평방향(X 방향)으로만 지지해 주던 방식에서 탈피하여 X, Y, Z 방향의 진동이 예상되는 3방향 모두에서 시료채취배관을 잡아는 서포트의 적용이다. 월성1호기는 계속운전 이후 이들 설계개선 사항의 적용에 따라 시료채취배관의 마모는 상당히 억제될 것으로 예상된다.

2. 규제요건

가. 원자력법 제23조의3 (주기적안전성평가)

나. 원자력법 시행령 제42조의3 (주기적안전성평가의 내용)

- 1 -

Fig. 6 Regulatory guides of DN tubes for continued operation of Wolsong unit 1

5. 월성1호기의 DN 튜브를 위한 설계변경사항들

월성1호기는 2009년 4월부터 압력관 전량교체와 더불어 냉각재 공급자관 및 DN 튜브를 전량 교체하여 왔으며 2011년초 현재 설치공사가 완료된 상태이다. DN 튜브의 신규시공에 적용된 마모 방지를 위한 두 가지 설계개선사항은 다음과 같다.[8,9,10]

- 마모가 발생가능한 전체 부위에 써모락스 70 도포 및 웨어링 설치
  - 마모 가능성이 있는 모든 부위가 대상이 됨.
  - Fig. 7과 같이 기존의 C-형 웨어링에 튜브를 완전히 감쌀 수 있는 H-형 웨어링을 함께 사용 함.

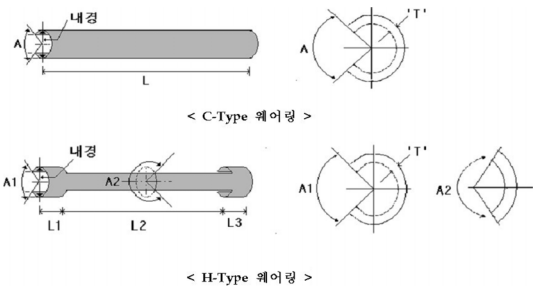


Fig. 7 Various wear ring types for the protec- tion of wear of delayed neutron tubes

Table 4 Functions of various types of new supports for replaced DN tubes at Wolsong unit 1

Type	Support No		Rows Lower/Upper	Function
	R-107	R-108		
Type A	PH-1	PH-14	Upper rows	1-way restraint(Y)
			Lower rows	3-way restraint(X,Y,Z)
Type C	PH-2	PH-15	Upper rows	2-way restraint(Y,Z)
			Lower rows	2-way restraint(Y,Z)
Type C	PH-3	PH-16	Upper rows	2-way restraint(Y,Z)
			Lower rows	2-way restraint(Y,Z)
Type D	PH-4	PH-17	Upper rows	미지지 9개 라인 (그냥 통과만 함)
			Lower rows	3-way restraint(X,Y,Z)
Type C	PH-5	PH-18	Upper rows	2-way restraint(Y,Z)
			Lower rows	2-way restraint(Y,Z)
Type E	PH-6	PH-19	Upper rows	2-way restraint(Y,Z)
			Lower rows	2-way restraint(Y,Z)
Type C	PH-7	PH-20	Upper rows	2-way restraint(Y,Z)
			Lower rows	2-way restraint(Y,Z)
Type C	PH-8	PH-21	Upper rows	2-way restraint(Y,Z)
			Lower rows	2-way restraint(Y,Z)
Type C	PH-9	PH-22	Upper rows	2-way restraint(Y,Z)
			Lower rows	2-way restraint(Y,Z)
Type C	PH-10	PH-23	Upper rows	2-way restraint(Y,Z)
			Lower rows	2-way restraint(Y,Z)
Type C	PH-11	PH-24	Upper rows	2-way restraint(Y,Z)
			Lower rows	2-way restraint(Y,Z)
Type B	PH-12	PH-25	Upper rows	1-way restraint(Y)
			Lower rows	1-way restraint(Y)
Type C	PH-13	PH-26	Upper rows	2-way restraint(Y,Z)
			Lower rows	2-way restraint(Y,Z)

Note : X(길이방향 제한), Y(세로방향 제한), Z(가로방향 제한)

• DN 튜브 서포트의 새로운 설계 적용
  - 기존의 한 가지 형태의 서포트를 Table 4에서와 같이 5가지 형태로 세분화하여 적용함.
  - 기존 서포트는 수직방향의 움직임을 제한하는 가로지지 바(bar)만 있었으나, 수평움직임을 제한하는 세로 나눔 바를 추가함.
  - 세 가지 형태의 서포트의 경우(Type A, D, E), 격자 사이에 가스켓을 사용하여 길이방향 움직임도 제한함.

6. 결 론

본 연구에서는 월성1호기 결함연료위치탐지계통 중 DN 튜브(시료채취배관)의 설계사양 및 운전환경을 검토하였고, 마모손상 평가와 예측을 수행하였으며, 계속운전을 위한 DN 튜브의 규제지침서를 개발하였다. 그리고 월성1호기 DN 튜브의 전량 교체와 더불어 시행된 설계변경 사항들에 대해 논하였다.

1) 월성1호기 DN 튜브의 마모형태는 연삭마모이며, 마모의 원인은 튜브의 열팽창에 의한 접촉과 PHT 펌프의 가동에 의한 튜브의 진동이다.

2) 월성1호기 DN 튜브의 마모손상 이력에 근거하여 마모성장식이 도출되었으며, 가동시간에 따른 마모깊이를 산출해주는 프로그램이 개발되어 향후 계속운전 시의 적정 정비시간 예측이 가능하다.

3) 월성1호기의 계속운전을 위한 DN 튜브 규제지침서가 개발되어 원전의 안전성 증진에 기여할 수 있다.

4) 월성1호기의 DN 튜브 전량 교체와 동시에 적용된 설계변경 사항들이 소개되었다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부 원자력 연구개발사업의 “월성1호기 계속운전 경년열화관리계획 및 시간제한수명평가 규제기술개발”의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Song, M. H., Kim, H .K, 2010, “A Study on the Reliability Evaluation of Faulted Fuel Location System Pipe (DN Tube) for the Continued Operation of Wolsong Unit 1”, KINS/RR-797, Korea Institute of Nuclear Safety.
2. Korea Hydro & Nuclear Power Co. Ltd., 2010, “The Continued Operation Report for Wolsong Unit 1 - Periodic Safety Review Report -”, KHNP Co. & KEPCO E&C.
3. Wolsong Nuclear Power Generation, 1986, “The Working Report on the Plant Shutdown and Midterm Maintenance due to the Heavy Water Leakage”, KHNP Co.

4. Wolsong Nuclear Power Generation, 1988, “The Working Report on the Plant Shutdown and Midterm Maintenance due to the Heavy Water Leakage in the Sampling Line of Faulted Fuel Location System”, 88-SER-3, KHNP Co.
5. Korea Atomic Energy Research Institute, 1988, “Wolsong 1 Periodic Inspection Report”, KAERI/NSC-317/88, KAERI
6. Ryu, W. S., Koo, K. H., etc., 2004, “Pin-hole Failure Causes of DN Tube in Wolsong Unit 2&3”, KAERI/CR-191/2004, KHNP Co. & KAERI
7. Lee, Y. H., 2010, “of Wear Equation of the DN Tube for Wolsong Units”. KINS Internal Consulting Report, KAERI
8. Wolsong Nuclear Power Generation, 2010, “The Inspection and Reinforcement of the DN Tube & the cables inside the Feeder Cabinet”, Procedure Document No. I&C 0-4-107, Rev. 6, KHNP Co.
9. Wolsong Nuclear Power Generation, 2010, “Improvement Items Related to DN Tube During the Replacement of Pressure Tubes for Wolsong Unit 1”, KHNP Internal Report, KHNP Co.
10. Technical Specifications, 2007, “Installation of the Delayed Neutron monitoring System Tubing”, AECL.