

원자력 발전소의 증기발생기에 대한 와전류 탐상검사

윤 호 택
한국전력공사

1985년 12월 17일 접수

Eddy Current Testing for Nuclear Power Plant Steam Generator Tubes

Ho Taek Yoon

1. 서 론

원자력 발전소 증기 발생기 튜브는 1차 핵증기 발생계통으로부터 2차 터빈 계통에 열을 전달하는 전열면으로서의 역할과 방사능 차단벽으로서의 기능을 동시에 가지고 있다. 따라서 발전소의 안전성 및 이용률은 증기발생기 튜브의 건전성에 직결되어 있다고 할 수 있으며 튜브의 건전성을 검사하는 방법으로서 신속하고도 신뢰도 수준이 높은 비파괴검사 방법이 요구되고 있다.

이러한 요구를 만족시키는 검사 방법으로서 와전류 탐상검사 방법이 개발되어 전 세계적으로 증기발생기 검사에 사용되고 있다. 본고에서는 현재까지 경험된 증기발생기 튜브 결함형태와 이에 대한 와전류 탐상 검사 방법을 검토하였다. 증기발생기의 구조와 주요 결함발생 부위를 대비하였으며 와전류 탐상검사 결함신호 해석에 영향을 미치는 요소를 검토하고 단일 주파수 검사장비와 다중 주파수 검사장비의 차이점을 비교하였다.

2. 증기발생기 전열관 검사경험

가. 증기발생기 전열관 검사방법

증기발생기 전열관 검사방법으로서는 와전류 탐상 검사방법이 주로 사용되고 있으며 이것은 ASME에 의해 증기발생기 전열관 검사방법으로 규정된 방법이기도 하다. 이외 헬륨 누설검사, 초음파 탐상검사와 육안검사(Fiber Optics) 등 비파괴 검사 방법도 사용된 예가 있다.

나. 증기발생기에 발생되는 결함

현재까지 경험된 증기발생기의 주요결함형태로서는 균열(Cracking), 핏팅(Fitting)과 웨스태지(Wastage) 등이 있다.

○ 균열—일반적으로 응력과 부식성 분위기가 복합적으로 작용하여 일어나는 입계부식균열(Intergranular Attack : IGA) 응력부식균열(Stress Corrosion Cracking : SCC) 등과 응력 집중 부위에서의 균열 및 피로균열 등이 있다.

○ 핏팅—슬러지(Sludge), 고착물(Deposit) 등이 튜브벽에 국부적인 부식현상을 일

으킨 것.

○ 웨스테지-2 차측 계통수의 침전물이 퇴적된 부분 또는 고착된 튜브의 관벽에 침전물의 성분중 인산염등과 같이 Inconnel에 공격적인 화학물질이 작용하여 튜브벽이 침식되는 결함 형태이다.

수질 처리방법으로서 인산염 처리를 실시하던 1970년 대 중반까지 세계적으로 웨스테지가 가장 심각한 문제이었으며 이 문제를 방지하기

위하여 전회발 처리방법 (AVT)이 채용되어1980년대에는 웨스테지 문제가 없어졌으나 대신 인산염 처리시에는 발생되지 않았던 Tubesheet 또는 Support Plate의 Crevice 부분의 SCC/IGA 문제가 대두되어 있으며 근년들어 곡률반경이 작은 U-bend 부분과 Tubesheet 확관 부위의 SCC문제점이 많이 발생되고 있다.

증기발생기 전열관 결함 발생위치와 알려진 발생원인은 표 1과 같다.

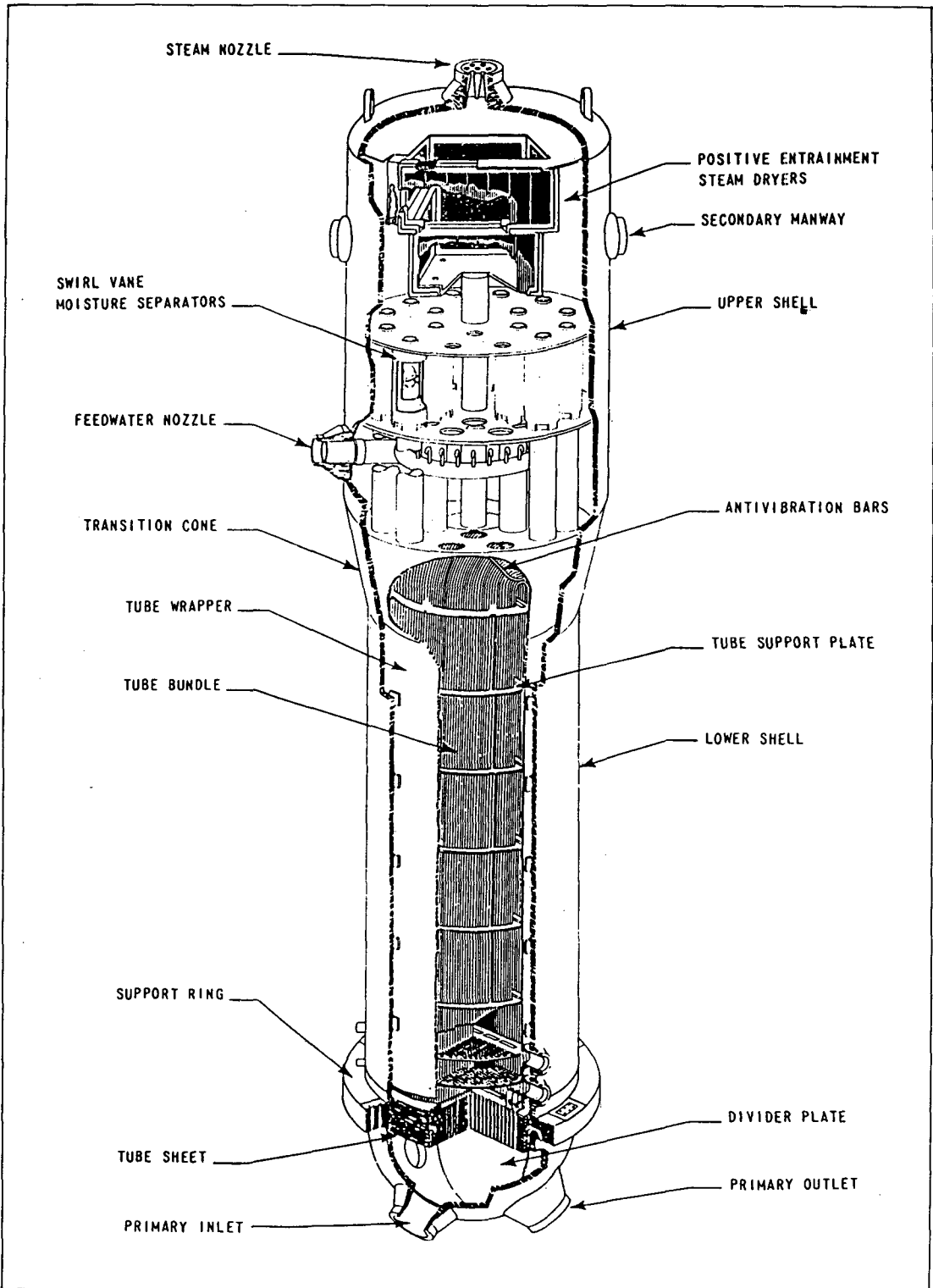
표 1. 증기발생기 전열관 결함

결 함	발 생 위 치	결함구분	주 요 원 인
1 차 SCC	반경이 작은 U-bend 전열관 배열관내 확관부위	ID ID	재료 역학적으로 취약 "
2 차 SCC/IGA	전열관 배열관 Crevice 전열관 지지판 Crevice 전열관 배열관 상부 Sludge 부위	OD OD OD	알카리 분위기 내에서 발생 (수처리 방식을 인산염 처리 방식에서 전회 발 처리 방식으로 전환한 증기 발생기에서 두드러짐)
핏 팅	전열관 배열관과 지지판 사이	OD	Sludge 또는 고착물(발전소 Shutdown 시에 주로 발생)
웨 스 테 지	전열관 배열관 상부 Sludge 전열관 지지판 부위 기타 침적물 고착부위	OD OD OD	인산염 분위기에서 발생
텐 팅	전열관 지지판 부위	OD	전열관 지지판과 튜브사이 침전물성장 전열관 지지판 재질(탄소강)
Fretting	급수 입구 진동 방지대 부위	OD OD	유체로 인한 진동 "
기 계 손 파 손	—	ID/OD	이물질, Loose Part
Thinning	전반적	ID/OD	산에 의한 부식

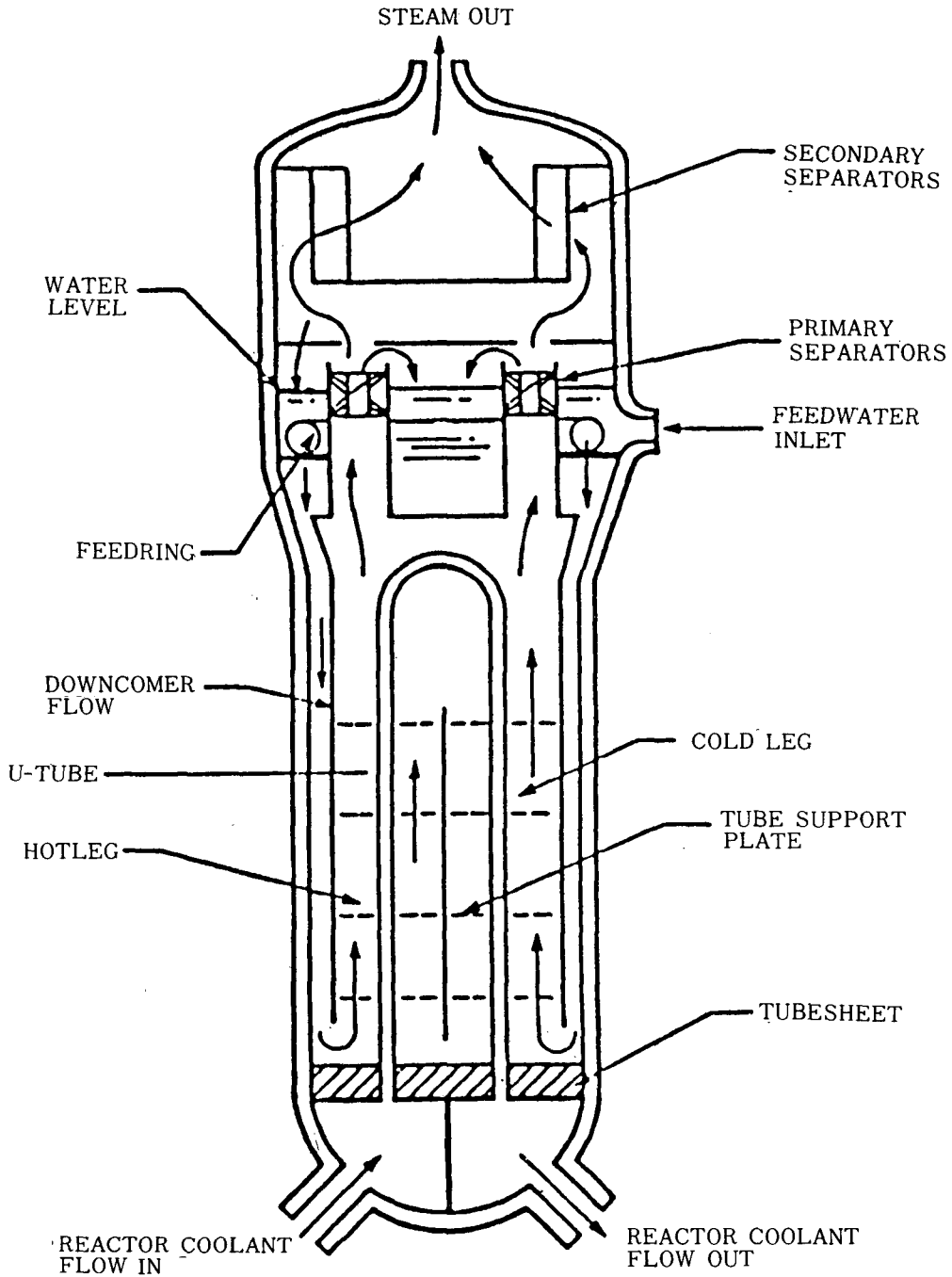
표 2. 증기발생기 전열관 결함 발생 현황

결 함	결함발생 발전소수	결함전열 관수	비 율 (%)
1 차 SCC	10	1755	54.5
2 차 SCC/IGA	14	331	10.3
핏 팅	1	376	11.7
웨 스 테 지	8	154	4.8
텐 팅	4	46	1.4
Fretting	7	119	3.7
기 계 적 파 손	8	84	2.6
Thinning	2	48	1.5
원 인 불 명	15	141	4.4
기 타	11	168	5.2

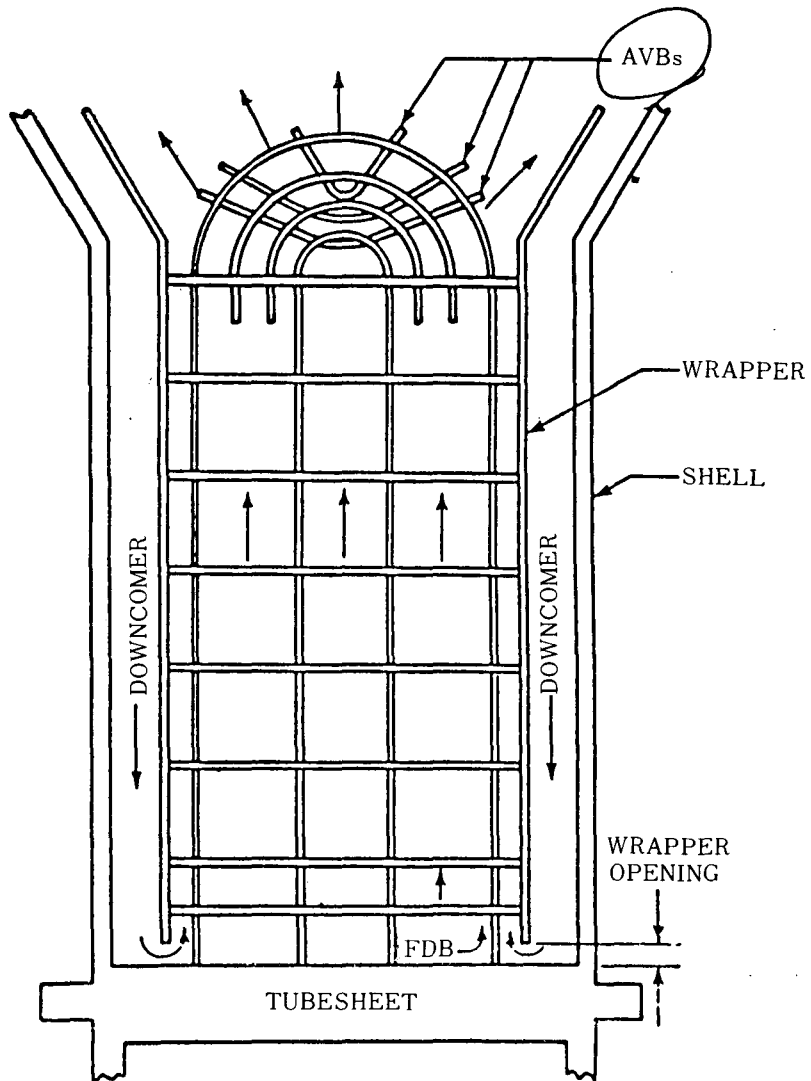
1982년도 캐나다 AE 자료



Westinghouse STEAM GENERATOR MB3593

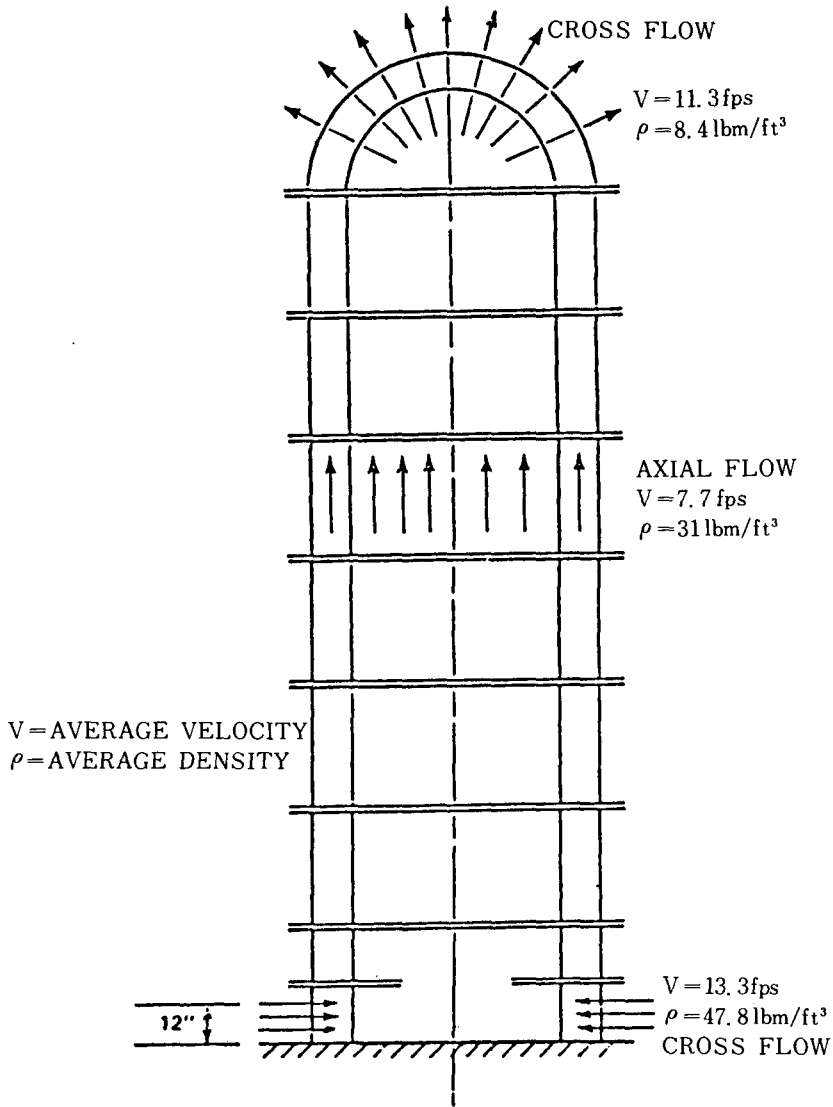


Schematic of a Feedring Steam Generator



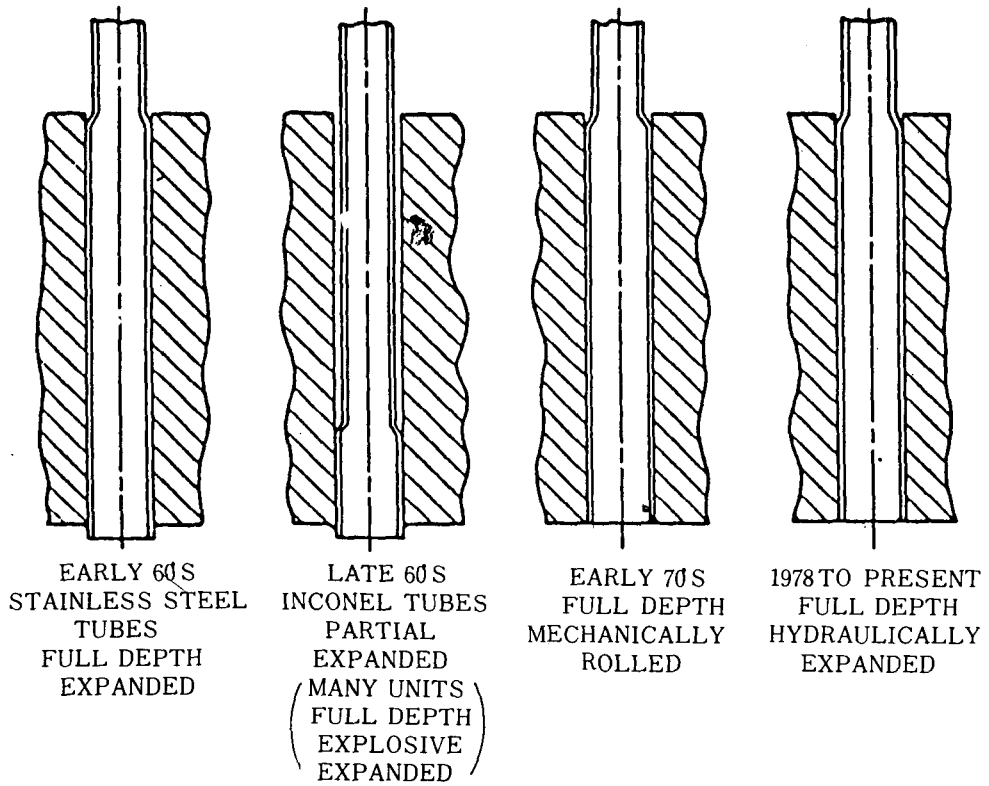
ADDITIONAL AVB's FURTHER LIMIT TUBE FLOW INDUCED VIBRATIONS.

AVB's ARE SQUARE IN CROSS-SECTION AND CHROME PLATED TO MINIMIZE WEAR.

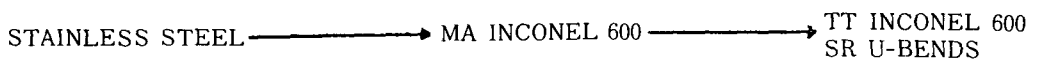


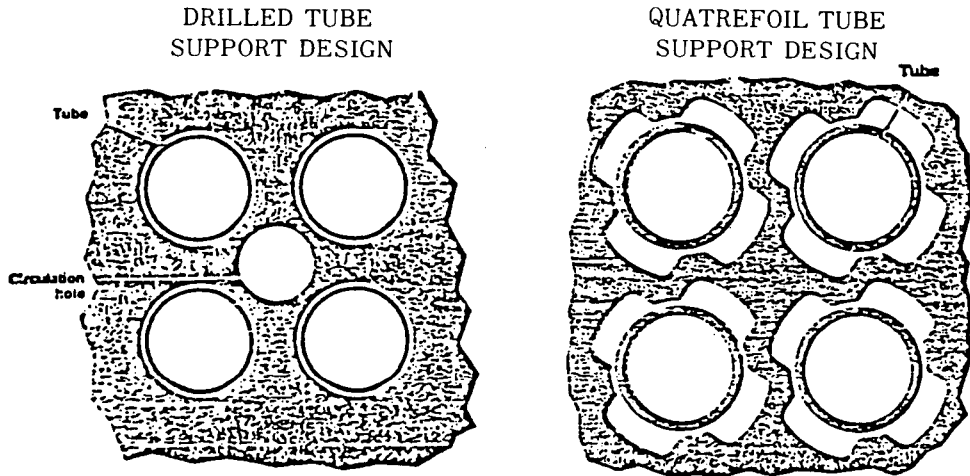
Velocities and Densities

HYDRAULIC EXPANSION TUBE-TO-TUBESHEET JOINT
CLOSE CREVICE BETWEEN TUBE AND TUBESHEET



TUBING EVOLUTION

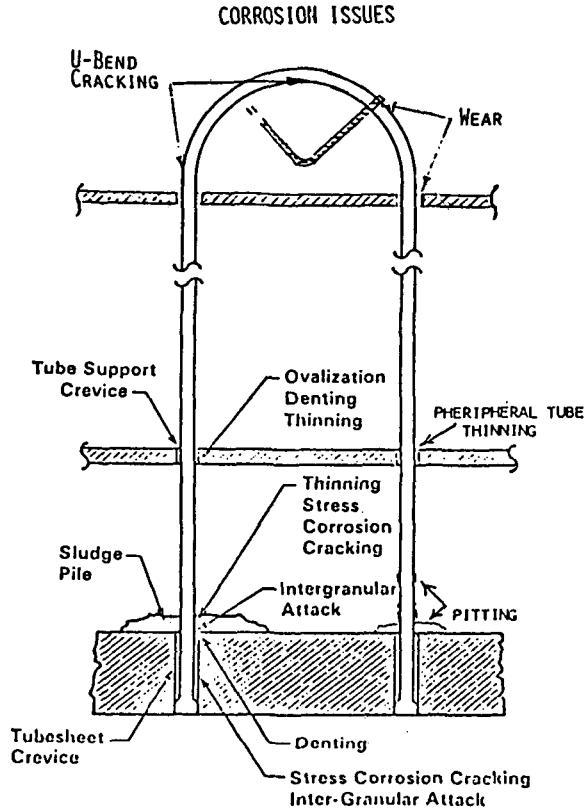




QUATREFOIL REDUCES HYDRAULIC LOSS COEFFICIENT ACROSS SUPPORT PLATE, THIS INCREASES BUNDLE CIRCULATION RATIO AND THUS REDUCES SIZE OF LOW VELOCITY REGION ABOVE TUBESHEET AND POTENTIAL FOR SLUDGE DEPOSITION.

CREVICE VOLUME SUSCEPTIBLE TO PARTICULATE DEPOSITION AND CHEMICAL CONCENTRATION IS REDUCED.

FLOW IS FORCED TO SWEEP (FLUSH) CREVICE.



3. 증기발생기 와전류 탐상 검사방법

가. 단 주파수 검사방법

원전 1호기 1~5차 가동중 검사, 2호기 가동전 및 1차 가동중, 3호기 가동전 및 1차 가동중 5, 6, 7, 8호기 가동전 검사등에 사용해진 검사방법으로서 전열관의 건전성 여부를 검사하는데 있어 검사부위 특성 및 검출하고자 하는 결함의 특성에 따라 미리 주파수를 선정하여 단일 주파수로 검사를 실시하는 방법이며 다음과 같이 동일 전열관에 대해 주파수를 바꿔가며 검사를 반복 실시한다.

○ 400KHz Normal 전열관 검사

전열관 내외경의 균열, 부식, 핏팅등에 대한 검사

○ 400KHz Low Gain 텐트 검사

전열관 Dent를 검출하기 위한 검사

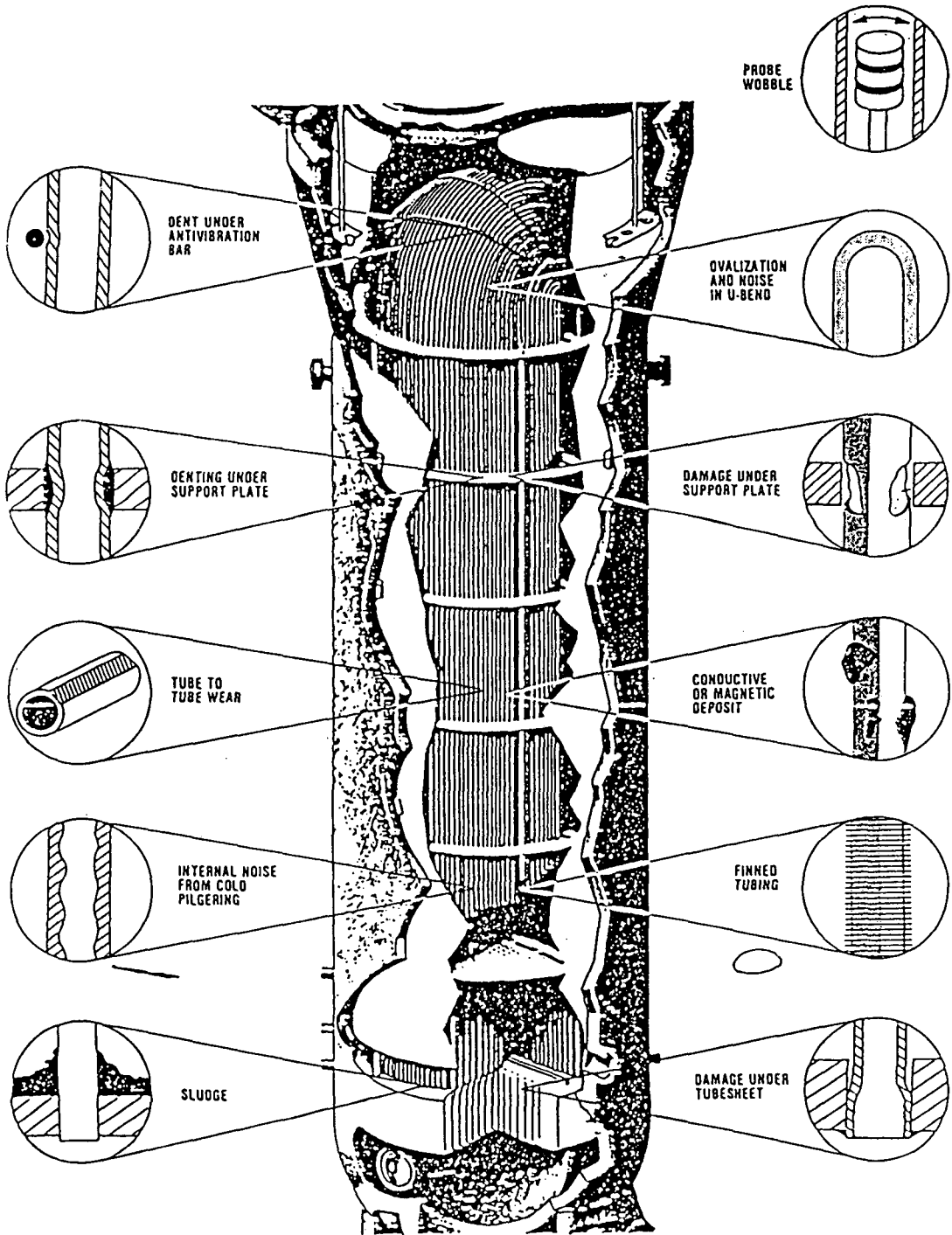
○ 7 KHz 전열관 지지판 검사

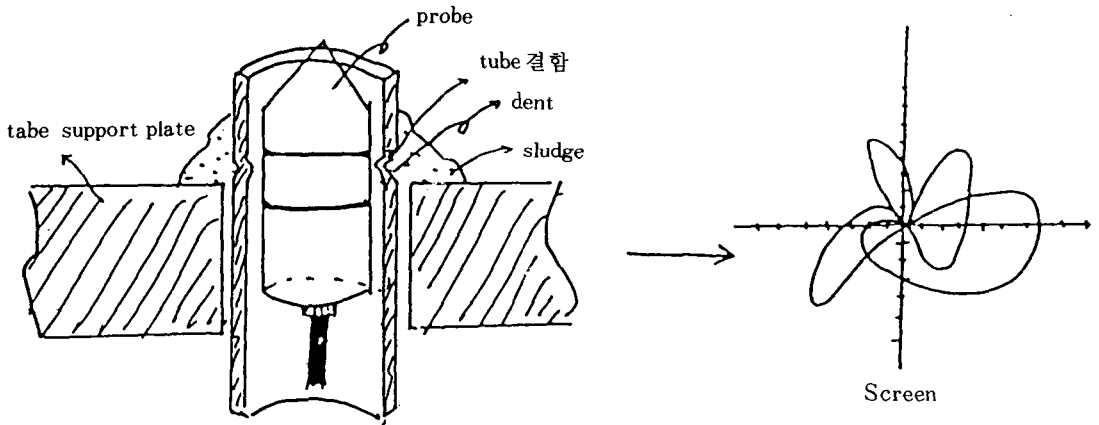
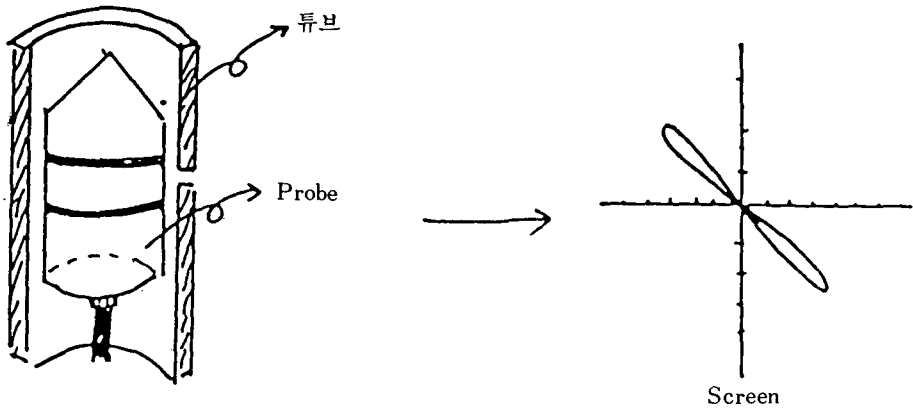
전열관 지지판 및 Tubesheet 내의 결함에 대한 검사

○ 100 KHz Tight U-Bend 검사

곡률 반경이 작은 1번 Row 또는 2번 Row의 U-bend 부위의 결함 검출을 위한 검사
단주파수 검사방법은 구조적으로 간단한 전열관 부위의 정상적인 검사시에는 만족할 만한 검출능력을 갖고 있으나 비정상적 조건 즉 전열관 지지판 전열관 배열판, 방열판, Sludge dent 등 복잡한 구조를 가진 부분의 검사나, 또는 탐촉자 진동, 투자율 변화등의 Irrelevant Indication이 결함 신호와 합성이 되어 나타날 때 판독이 불가능해지거나 오판독을 일으킬 가능성이 큰 단점을 가지고 있다.

결함 신호 해석에 영향을 미치는 요소





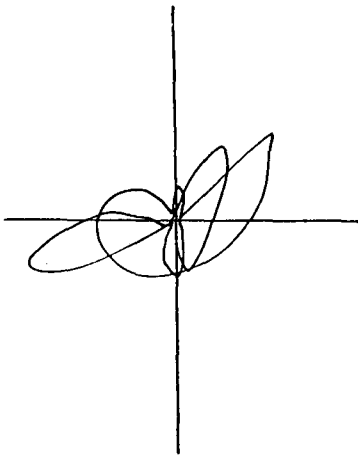
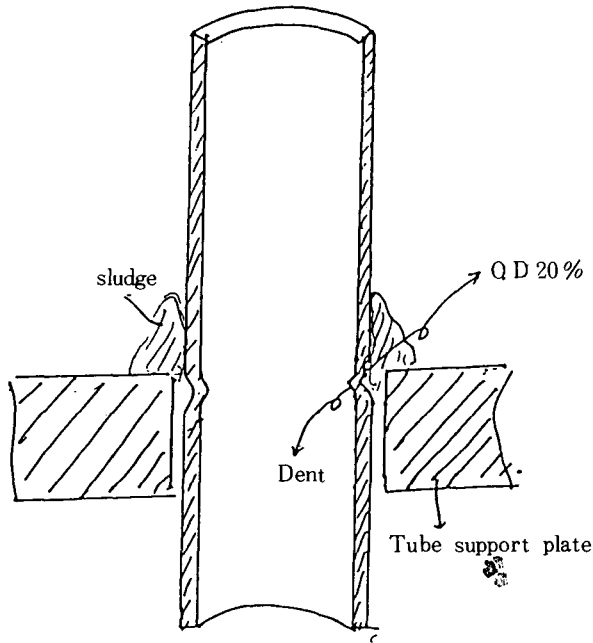
단주파수 검사 신호

나. 다중 주파수 검사방법

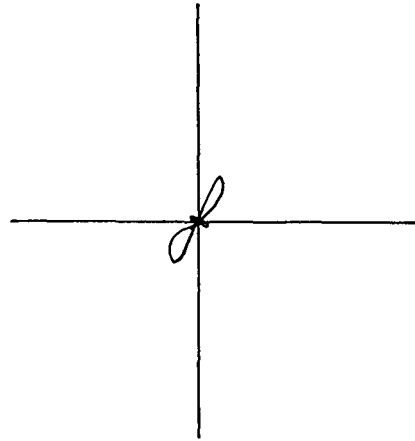
최근에 개발되어 원자력 1호기 6차 및 원자력 2호기 2차 가동중 검사에 사용된바 있는 검사방법으로서 검사대상, 예상결함의 특성 및 Irrelevant Indication의 검출에 적합한 4가지의 주파수를 선정하여 이를 동시에 검사 대상에 투입시켜 응답 신호를 분석, 필요한 신호만을 검

출하는 검사방법으로서 복잡한 구조 또는 탐촉자 진동등 결함 신호 해석에 영향을 미치는 요소가 있는 조건하에서도 신뢰성 있는 검사가 가능하다.

또한, 한번의 검사로서 여러가지 필요한 정보를 기록할 수 있어 검사에 소요되는 시간 및 방사선 피폭을 줄일수 있는 장점이 있다.



단주파수 와전류 탐상 검사



다중주파수 와전류 탐상 결과

4. 결 론

와전류 탐상검사 방법은 전자유도 현상을 이용한 간접적 검사방법으로서 고유의 비접촉 특성으로 인하여 자동화, 신속한 검사 및 악조건하에서의 검사가 가능한 장점을 가지고 있으나 검출하고자 하는 특성이외의 인자에 의한 신호 방

해가 심하며 또한 결함의 종류 및 형상의 판별이 어려운 단점을 가지고 있다.

서두에 설명한 바와같이 원자력발전소 증기발생기 전열관은 안전성 뿐만 아니라 발전 이용율에 미치는 영향이 지대하여 검사 결과의 신뢰성에 대한 요구가 증대되고 있는 실정이므로 앞으로 다음과 같은 분야의 연구가 활발히 추진되어

야 할 것이다.

가. 결합발생 예측 연구

증기발생기 운전이력 및 타 발전소 결합 발생 경험등을 토대로 한 결합 발생의 정확한 예측 연구 및 이에 적합한 주파수등 검사기법의 개발

나. Dent 크기의 정량적 측정

다. 전열관 단면 Profiling

라. 다중 주파수 검사 이용 확대

—단 주파수 검사의 Phase discrimination기법을 일반화하는 방법

—파라메타에 관한 정보를 가진 다수의 신호에 대한 해석적 접근으로 검출하고자 하는 대상에 관한 정보를 분리하는 방법

* 안 내 *

회원여러분의 옥고를 수시로 접수합니다.

종 류 : 비파괴 검사에 관한 연구논문, 기술자료, 기술정보, 기술해설, 기술전망, 신제품소개, 해외시찰기.

요 령 : 200자 원고지 50~100매 정도(논문 투고 규정 참조)

보내실곳 : 한국 비파괴검사 학회

서울시 강남구 서초동 산62-3 (우편번호 : 135)

전 화 : 583-7564