2002 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

국내 원전 2차계통 배관감육 경향분석

Wall Thinning Trend Analyses for Secondary Side Piping of Domestic NPPs

황경모, 박순삼, 진태은

한국전력기술주식회사
경기도 용인시 구성읍 마북리 360-9

이성호

한국전력공사, 전력연구원
대전시 유성구 문지동 103-16

전수철

한국전력공사
서울시 강남구 삼성동 167

요 약

본 고에서는 국내 모든 발전소에 공통적으로 적용이 가능한 감육배관 관리 표준기술체계 개발을 위하여 '원전 2차계통 배관 데이터베이스 구축 및 감육해석 연구'에서 수행한 방법과 해석결과 및 감육경향을 분석하였다. 배관감육 해석에는 현재 전세계적으로 가장 널리 사용되며 신뢰성이 입증된 CHECWORKS 코드를 활용하였다. 본 코드를 이용하여 해석한 결과의 검증을 위하여 국내 2개 원전의 2차계통 배관을 대상으로 측정한 실측 데이터와 비교하였다. 해석결과는 국내 원전 2차계통 배관의 감육경향을 확인하고 효율적인 감육배관 관리를 위하여 호기별, 계통별 및 수처리방식별로 비교/분석하였다.

ABSTRACT

This paper represents the wall thinning analysis methodology, analysis results, and wall thinning trend analyses for secondary side piping of domestic nuclear power plants based on the DB establishment and FAC analysis study for NPP secondary system piping. CHECWORKS code utilized in this study has been applied world widely to wall thinning analyses for secondary side piping and its reliability has also been proved. The predicted wear rates of several piping systems are compared with the measured wear rates for reliability of the wear rate analyses. The analysis results were compared by reactor types, systems, and water treatment methods to identify the wall thinning trend and facilitate the FAC management.

1. 서 론

원전 2차측 배관의 감육(Wall Thinning)으로 인한 손상 및 사고사례는 국내외를 망라하여 1980년 대 이후 상당수 보고되고 있으며, 원전 수명증가에 비례하여 발생횟수도 점차 증가하고 있는 추세이다. 이러한 경향에 따라 국내 원전 현장에서는 발전소별로 자체 관리기준에 따라 감육배관에 대한 관리를 하고 있으나 검사주기, 검사대상 배관부위 선정방법, 감육배관 측정, 평가 등에 있어서 일관된 기준이 적용되지 않고 있는 실정이다. 이에 따라 국내 모든 발전소에 공통적으로 적용이 가능한 감육배관 관리 표준기술체계 개발의 일환으로 '국내 원전 2차계통 배관 데이터베이스 구축 및 감육해석' 연구를 수행하였다. 본 고는 상기

연구결과 중에서 국내 4개 호기를 대상으로 데이터베이스를 구축하고 감육해석을 수행한 결과를 소개하고 감육경향을 분석하는데 중점을 두었다. 감육해석은 CHECWORKS 코드를 활용하였다.

감육경향 분석은 국내 전체 원전 중 4개의 대표적인 원전을 대상으로 감육해석을 수행한 결과를 호기별, 계통별 및 수처리방식별로 비교하였다. 이는 국내 원전 2차계통 배관의 감육률을 중심으로 검토함으로써 배관감육에 취약한 원전과 계통 및 주요부위를 도출하여 감육배관 관리표준 수립에 반영하고 장기적인 안목에서 보다 나은 배관의 운전환경을 채택하는데 도움을 주기 위함이다.

2. CHECWORKS 전산코드 주요기능

EPRI에서 개발한 CHECWORKS 전산코드는 원전 2차측 배관의 온도, 압력, 엔탈피, Steam Quality, pH, 유속, 배관형상 등의 운전 조건을 반영하여 검사대상 배관 우선순위 결정에 필요한 배관 컴포넌트별 감육률 예측, 배관 교체여부 판정, 검사주기 설정을 위한 잔여수명 예측 등에 이용될 수 있으며, 발전소 배관 데이터베이스의 기능과 배관설계 기술 개선 등에도 활용할 수 있다.

CHECWORKS 전산코드는 크게 해석(Analysis) 기능과 지원(Support) 기능으로 구분할 수 있다. 해석기능에는 WCA(Water Chemistry Analysis), NFA(Network Flow Analysis), WRA(Wear Rate Analysis), UT Analysis, CAE (Component Acceptance Evaluation)가 있으며, 지원기능에는 Plant Data Management, Isometric Viewer, HBD(Heat Balance Diagram), FACTRAK, Import Utility가 있다[1]. 이들 각각의 주요 기능은 표 1과 같다.

표 1. CHECWORKS 전산코드의 주요기능

구 분		주요 기능
해석	WCA	2차계통 배관 라인의 아민, 용존산소, pH 등 수화학 분포 해석
	NFA	배관 내부의 압력변화와 열수력 조건 변화 해석
	WRA	데이터베이스로 구축된 배관 컴포넌트별 감육률 해석
	UT Analysis	UT 데이터 분석, 평가 및 손상여부 확인
	CAE	ASME Code Case N-480에 따른 컴포넌트 건전성 평가
지원	Plant Data Management	해당 발전소의 글로벌/컴포넌트 데이터베이스 및 라이브러리 구축과 편집
	Isometric Viewer	데이터베이스 내 컴포넌트 배열을 그래픽으로 표현
	HBD Editor	발전소 증기사이클에 대한 HBD 구성 및 편집 ▶HBD : 수화학 분석에 사용, FAC DB로 접근 지원
	FACTRAK	정비기간 중에 수행할 두께검사 목록작성 및 관리에 활용
	Import Utility	CHECMATE와 CHEC-NDE 파일을 FAC DB로 변환

CHECWORKS 전산코드를 이용하여 원전 2차측 배관의 감육해석을 수행하기 위해서는 크게 세 가지 단계, 즉 배관을 체계적으로 분류하는 기초작업(Basic Work)과 배관 개개의 정보를 DB화하는 작업, 그리고 구축된 DB를 기초로 감육해석을 수행하는 세 단계를 거쳐야 한다. 실제 현장에서 관리되고 있는 원전 2차측 배관은 10여 개 계통 정도이지만 이를 코드에 입력해야 하는 개개의 배관 컴포넌트로 구분할 경우에는 원전 출력에 따라 4,000~6,000개에 달하므로 이를 체계적으로 분류하여 각 컴포넌트명이 중복되지 않도록 해야 한다. 그리고 2차측의 열평형도(Heat Balance Diagram)를 작성하여 배관 라인의 위치를 열평형도에 지정해 줌으로써 조건에 맞는 데이터를 코드에서 인식하여 배관감육 해석에 반영할 수 있도록 해야 한다. 이러한 작업이 완료되면 설계압력, 설계온도, 사용재료, 치수 등의 개별 배관정보와 실제 운전시점부터 현재까지의 수처리 이력, 운전이력 등을 DB화하여 배관감육 해석에 반영될 수 있도록 해야 한다.

배관의 기초정보가 CHECWORKS 전산코드에 DB로 구축되면 2차계통 주요 배관부위에

서 취득된 수화학 데이터를 이용하여 개별 배관의 감육해석에 운전환경이 반영될 수 있도록 수화학 해석을 수행한다. 배관감육 현상에 영향을 미치는 수화학 변수는 pH와 용존산소농도로서 2차계통에 주입되는 pH 조절용 아민(암모니아, 에탄올아민, 몰포린 등)과 하이드라진(N_2H_4), 용존산소, 철 등의 상호 화학반응 메카니즘은 다음과 같다.

○ 하이드라진 산화/환원 반응

$$N_2H_4 + O_2 \leftrightarrows 2H_2O + N_2 \quad (1)$$

$$2N_2H_4 \leftrightarrows 2NH_3 + H_2 + N_2 \quad (2)$$

○ 철 용해반응

$$Fe + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + H_2 \quad (3)$$

$$3Fe(OH)_2 \rightarrow Fe_3O_4 + H_2 + 2H_2O \quad (4)$$

상기와 같은 반응조건은 운전온도에 밀접한 연관성이 있기 때문에 수화학 해석에서는 개별 컴포넌트에서의 Hot pH, 암모니아, 하이드라진 농도 등이 계산된다.

수화학 해석이 완료되면 배관라인 입출구 사이에서 압력과 엔탈피의 변화가 크게 나타날 수 있고 2상(Two Phase) 유체가 흐를 가능성이 있는 추기계통 라인 및 습분분리기 배수/배기 라인과 1, 2단 재열기 배수/배기 라인 등에서 입구측과 출구측의 알고 있는 유량, 엔탈피, 압력 등을 이용하여 네트웍 해석(Network Flow Analysis)을 수행한다. 네트워크 해석을 수행하지 않더라도 CHECWORKS 전산코드에서는 수동으로 입력된 데이터를 이용하여 감육해석을 수행할 수도 있지만 이는 보다 정확한 해석결과를 얻기 위함이다. 네트워크 해석 결과는 컴포넌트별 Steam Quility, 압력, 온도, 엔탈피, 손실계수(Loss Coefficient) 등이며, 이는 배관감육 해석시 CHECWORKS 전산코드 내에서 자동적으로 반영된다.

수화학 해석과 네트워크 해석이 완료되면 최종적으로 배관 컴포넌트의 감육해석을 수행한다. 감육해석에는 지금까지 입력된 모든 설계정보 및 운전이력과 수화학 해석, 네트워크 해석 결과가 반영되어 개별 컴포넌트별 평균 감육률, 현재 감육률, 현재두께, 최소요구두께, 최소요구두께까지의 잔여수명 등이 계산된다. CHECWORKS 전산코드 내에서 감육해석을 수행하는 기초이론은 아래에 제시한 Chexal-Horowitz Erosion-Corrosion 모델이다.

$$W = F_1(T) * F_2(AC) * F_3(MT) * F_4(O_2) * F_5(pH) * F_6(G) * F_7(\alpha) * F_8(N_2H_4) \quad (5)$$

여기서, W : Wear Rate
$F_1(T)$: Factor for Temperature Effect
$F_2(AC)$: Factor for Alloy Content Effect
$F_3(MT)$: Factor for Mass Transfer Effect
$F_4(O_2)$: Factor for Dissolved Oxygen Effect
$F_5(pH)$: Factor for pH Effect
$F_6(G)$: Factor for Geometry Effect
$F_7(\alpha)$: Factor for Void Fraction Effect
$F_8(N_2H_4)$: Factor for Hydrazine Effect

감육률에 영향을 미치는 상기 인자들 대부분은 많은 실험과 운전경험 데이터에 근거하여 각 인자들 간의 상관관계가 결정되고 보정되었으며, 이러한 상관관계가 Chexal-Horowitz 모델에 반영되었다. 상기 인자들 중 단상 및 2상 유체 감육률에 모두 영향을 미치는 인자는 물질전달 인자로서 물질전달계수(Mass Transfer Coefficient : K)는 수력학 조건에 의존하며, 이는 식 (6)과 같이 무차원 Sh수(Sherwood Number)로 표현된다. Sh수는 일반적으로 식 (7)의 Re수(Reynolds Number)와 식 (8)의 Sc수(Schmidt Number)의 상관 관계식으로 나타낼 수 있다. 따라서 물질전달계수는 식 (9)와 같은 형태로 CHECWORKS 코드에 반영된다. 상수 a, b, c는 실험실이나 실제 운전 데이터로부터 구할 수 있다.

$$Sh = \frac{K\,d}{D} \tag{6}$$

$$Re = \frac{V\,d}{\nu} \tag{7}$$

$$Sc = \frac{\nu}{D} \tag{8}$$

$$Sh = a\,Re^{b}\,Sc^{c} \tag{9}$$

여기서, d는 배관 직경, D는 유체 속 철이온의 확산계수(Diffusion Coefficient), V는 액상 유속, υ는 동점도를 각각 나타낸다. 2상 유체인 경우 Re수는 유체 흐름 중에 포함된 액상의 유속에 의존한다. 식 (10)은 2상 유체에서 액상의 유속을 나타낸 것이다.

$$V = \frac{W(1 - x)}{A\,\rho_f(1 - \alpha)} \tag{10}$$

여기서, W는 전체 질량유속, A는 배관 단면적, x는 건도(Steam Quality), ρ_f 는 액상 밀도, α는 공극률(Void Fraction)을 나타낸다.

3. CHECWORKS 코드 신뢰성 검증

CHECWORKS 코드로 해석한 결과의 신뢰성 검증을 위하여 코드에서 계산된 배관 감육률을 국내 가압경수로형 및 가압중수로형 원전의 실측기준 감육률과 비교하였다. 그림 1은 가압경수로형 원전에서 확보한 3개 계통 66개 컴포넌트의 실측기준 감육률과 코드예측 감육률을 비교한 것이다. 그림 2는 가압중수로형 원전에서 확보한 5개계통 86개 컴포넌트의 실측기준 감육률과 코드예측 감육률을 비교한 것이다. 그림에서 +50% 선과 -50% 선은 EPRI에서 제시한 코드 해석결과의 유효범위를 제시한 것으로서 EPRI에서 많은 실험과 실제 데이터를 코드해석 결과와 비교해 본 결과 대부분 상기 ±50% 범위 내에 포함된다는 것을 의미한다. 비교 결과는 가압경수로형 및 가압중수로형 원전 모두 코드 예측값이 약간 위쪽으로 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 이는 CHECWORKS 코드해석 결과가 전반적으로 보수적임을 의미한다. 그림 3과 4는 비교 결과를 감육률 순위에 따라 재정렬하여 도시한 것이다. 이는 CHECWORKS 코드를 이용한 감육해석 결과가 최종적으로는 현장의 감육배관 관리에 반영되기 때문에 본 결과를 이용하여 정립할 감육배관 관리체계가 적절한지의 여부를 확인해 보기 위함이었다. 그림에서 볼 수 있듯이 코드예측 결과는 몇 개 부위를 제외하고는 대부분 실측결과 보다 약간 보수적으로 계산되었으며, 배관라인 부위별 감육률도 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 여기서 예측치와 현저한 차이를 보이는 부위는 UT 측정에러, 제작공차, 다른 손상원인에 의한 두께감육 등으로 인한 오차인 것으로 추정된다.

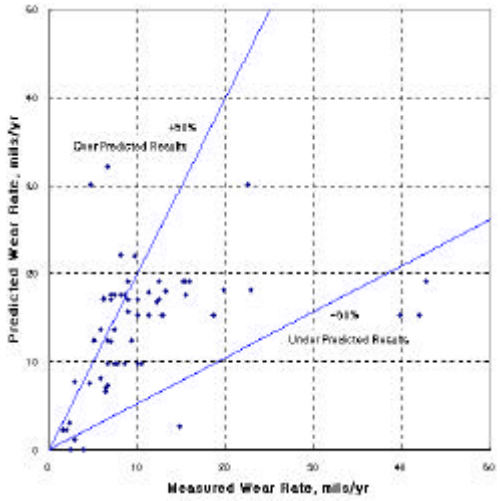

그림 1. 가압경수로형 원전 실측 및 예측기준 감육률 비교

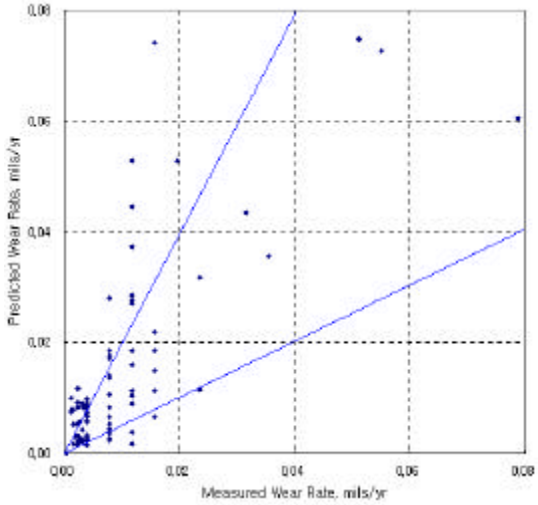

그림 2. 가압중수로형 원전 실측 및 예측기준 감육률 비교

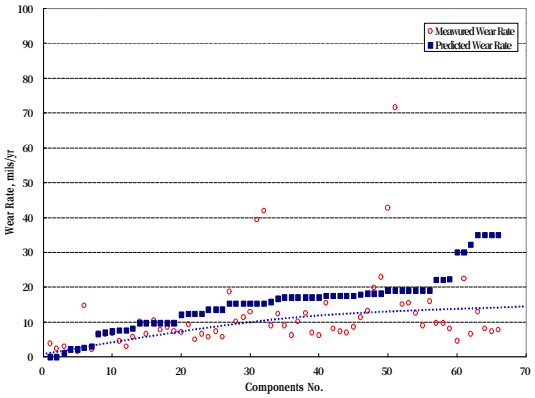

그림 3. 가압경수로형 원전 감육률 비교(재정렬)

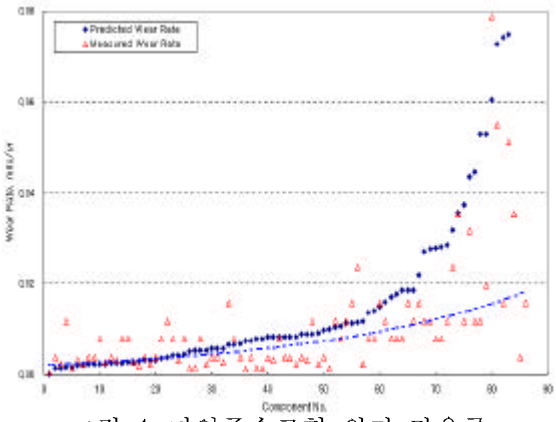

그림 4. 가압중수로형 원전 감육률 비교(재정렬)

4. 배관 감육해석 및 결과분석

4.1 배관 감육해석

배관 감육해석은 국내 전체 호기를 대상으로 수행하였다. 감육해석을 수행한 전체 원전 중 본 고에서는 설계유형이 유사한 원전을 제외한 4개 원전(K-2, W-1, Y-1, U-3)을 대상으로 감육해석 결과를 제시하였다. 본 고에서는 편의상 각 원전의 약어를 사용하였다.

K-2 원전은 가압경수로형(PWR)이고 2차계통 배관 설계사는 Gilbert이다. 감육해석은 100% 전출력(650MW) 상태에서의 열평형도를 기준으로 하였다. 해석기간은 상업운전 시작 시점인 1983년 4월부터 제15차 계획예방정비 시작 시점인 2000년 5월까지이다. 감육해석은 복수계통을 포함한 12개 계통의 251개 배관라인을 대상으로 수행하였다. W-1 원전은 가압중수로형(PHWR)으로서 2차계통 배관 설계사는 AECL(ACRES CANATOM 공급)이다. 감육해석은 100% 전출력(679MW) 상태에서의 열평형도를 기준으로 하였다. 해석기간은 시운전 시작 시점인 1982년 12월부터 제15차 계획예방정비 종료 시점인 2001년 11월까지이다. 감육해석은 13개 계통의 336개 배관라인을 대상으로 수행하였다. Y-1 원전은 가압경수로형이고 2차계통 배관 설계사는 Bechtel과 KOPEC이다. 감육해석은 100% 전출력(995MW) 상태에서의 열평형도를 기준으로 하였다. 해석기간은 시운전 시작 시점인 1986년 3월부터 제13차 계획예방정비 종료 시점인 2002년 3월까지이다. 감육해석은 7개 계통의 357개 배관라인을 대상으로 수행하였다. U-3 원전은 한국표준형 원전이고 2차계통 배관 설계사는 KOPEC과 S&L이다. 감육해석은 100% 전출력(1,051MW) 상태에서의 열평형도를 기준으로 하였다. 해석기간은 상업운전 시작 시점인 1998년 1월부터 제3차 계획예방정비 시작 시점인 2001년 6월까지이다. 감육해석은 8개 계통의 326개 배관라인을 대상으로 수행하였다.

4.2 호기별 감육경향

호기별 감육경향을 분석하기 위하여 노형 및 출력이 동일하게 설계된 원전을 하나의 그룹으로 분류하고 그룹별로 하나의 원전을 대표적으로 선정하여 결과를 비교하였다. 본 고에서는 대표 원전 중 4개 원전(K-2, W-1, Y-1, U-3)을 대상으로 감육경향을 분석하였다. 비교 방식은 각 원전의 열평형도에서 명확하게 운전 데이터를 확인할 수 있는 5개 주계통(Main System : Condensate, Main Feedwater, Main Steam, Extraction, Drain System)에서 감육률이 크게 계산된 상위 200개의 배관 컴포넌트를 선정하고 감육률 크기에 따라 재분류하여 비교하는 방식을 채택하였다. 감육률이 작은 배관라인의 경우에는 감육경향을 명확히 분별할 수 없기 때문에 5개의 주계통 중 감육률이 큰 상위 200개 컴포넌트 비교만으로도 해당 원전의 감육경향은 충분히 판단할 수 있다. 여기서 보조계통과 부속 배관라인은 운전시간이 명확하지 않고 해석에 필요한 데이터 또한 실제 운전 데이터와 동일한 값이 아닌 배관들이 많이 포함되어 있기 때문에 비교 대상에서 제외하였다. 그림 5부터 8까지는 4개 대표 원전의 5개 계통에 대한 감육률을 비교한 것이다. 감육률을 분석한 결과 K-2 원전은 주기계통에서 감육률이 가장 크게 계산된 배관이 존재하였으나 전반적으로는 주급수계통의 배

관에서 감육률이 큰 것으로 계산되었다. W-1 원전은 전반적으로 타호기에 비해 감육률이 적게 계산되었으며 5개 주계통 중에서는 주급수계통이 비교적 감육률이 크게 계산되었다. Y-1과 U-3 원전은 복수계통에서 감육이 심한 것으로 계산되었다.

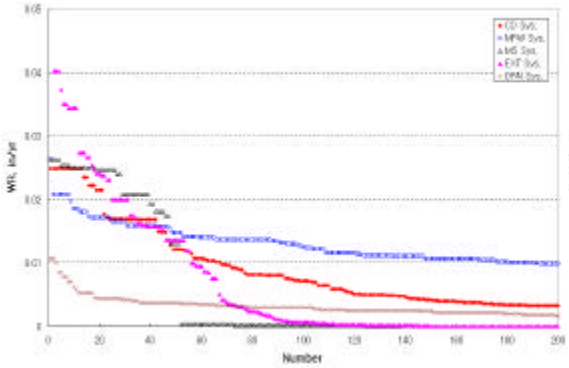

그림 5. K-2 원전 감육경향

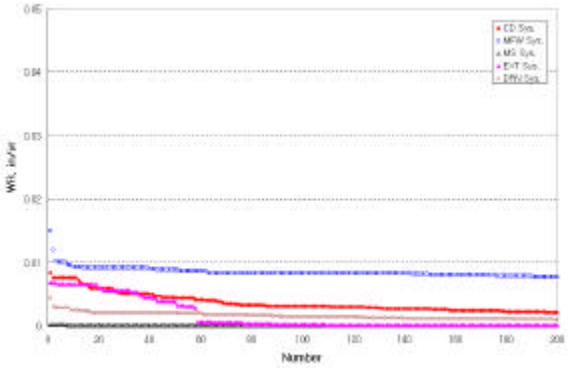

그림 6. W-1 원전 감육경향

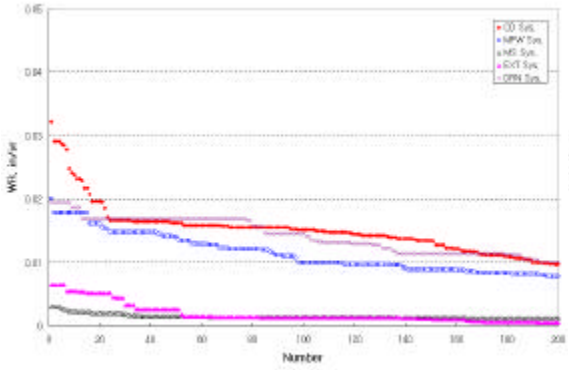

그림 7. Y-1 원전 감육경향

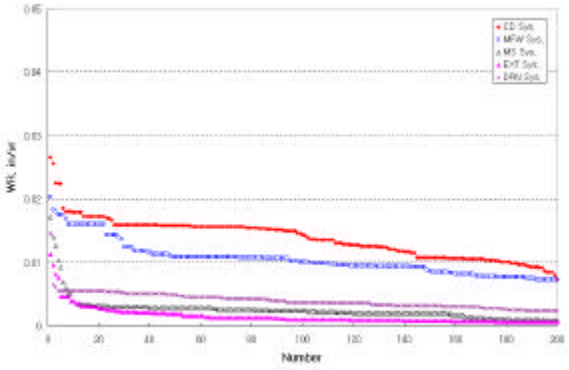

그림 8. U-3 원전 감육경향

4.3 계통별 감육경향

계통별 감육경향 분석은 호기별 감육경향 분석 방법과 같이 감육률이 크게 계산된 상위 200개의 컴포넌트를 선정하고 감육률 크기에 따라 재분류하여 4개 대표 원전의 동일 계통만을 따로 분리하여 비교하였다. 상호 비교한 계통은 복수, 주급수, 주증기, 추기 및 드레인계통이다. 이는 동일한 계통에서 어떤 노형의 원전이 가장 배관감육에 민감한지를 비교해 보기 위함이다. 그림 9부터 13까지는 복수, 주급수, 주증기, 추기 및 드레인계통의 감육경향을 비교/분석한 것이다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 복수계통은 Y-1과 U-3 원전에서 전반적으로 감육률이 크게 계산되었으며, W-1은 상대적으로 작게 계산되었다. 그림 10의 주급수계통에서는 K-2 원전이 타호기에 비해 감육률이 크고 W-1 원전에서는 작게 계산되었다. 그림 11의 주증기계통에서는 U-3, Y-1, K-2, W-1 원전 순으로 감육률이 큰 것으로 계산되었고 그림 12의 추기계통에서는 K-2, W-1, Y-1, U-3 원전 순으로 감육률이 크게 계산되었다. 마지막으로 드레인계통에서는 Y-1 원전의 감육률이 타호기에 비해 감육이 심한 것으로 계산되었고 W-1 원전은 가장 작은 감육률을 보이고 있다. 여기서 중수로형 원전인 W-1 원전은 5개 계통 모두에서 감육률이 타호기에 비해 작게 계산되었다.

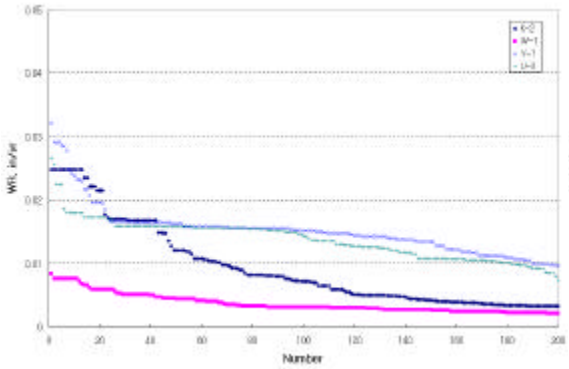

그림 9. 복수계통 감육경향

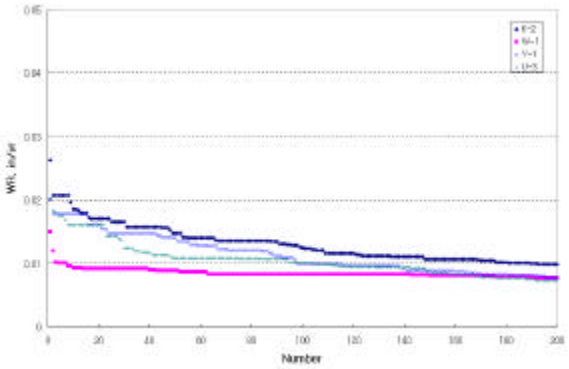

그림 10. 주급수계통 감육경향

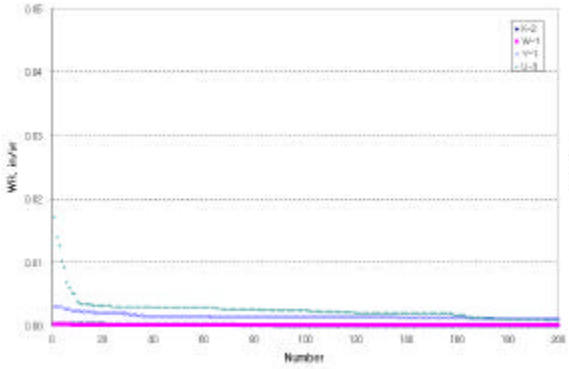

그림 11. 주증기계통 감육경향

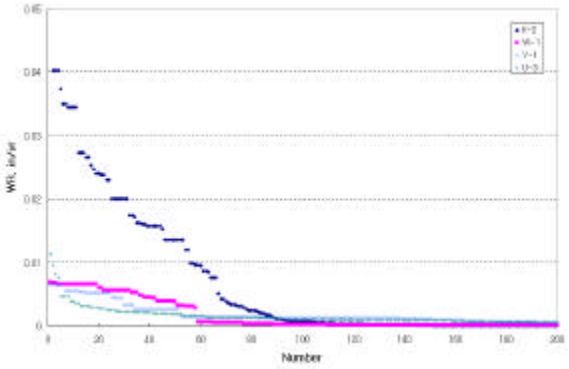

그림 12. 추기계통 감육경향

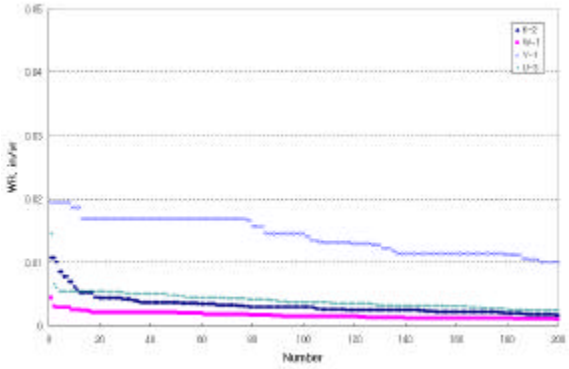

그림 13. 드레인계통 감육경향

4.4 수처리방식별 감육경향

수처리방식에 따른 감육경향을 분석하기 위하여 K-1과 W-1 원전의 감육해석 결과를 선정하였다. K-1 원전은 제17차 계획예방정비 이후 수처리아민을 암모니아에서 에탄올아민으로 변경하였기 때문에 17차 계획예방정비 이전과 이후로 나누어 해석을 수행하고 각각의 아민에 대한 감육경향을 비교하였다. 여기서 수처리아민 이외의 모든 변수는 동일하게 설정하였다. W-1 원전은 몰포린 수처리방식을 채택하고 있기 때문에 암모니아와 에탄올아민 수처리방식과의 감육경향 비교를 위하여 선정하였다. W-1은 K-1 원전과 노형, 배관설계 등 모든 면에서 차이가 있기 때문에 배관 컴포넌트나 라인별 일대일 비교는 의미가 없을 수도 있지만 수처리방식에 따른 전반적인 감육경향은 비교해 볼 수 있다. 수처리방식별 비교 역시 각 원전 동일계통의 감육률이 큰 상위 200개 컴포넌트를 재배열하여 비교하는 방식을 채택하였다. 그림 14부터 18까지는 복수, 주급수, 주증기, 추기 및 드레인계통의 수처리방식별

감육률을 비교한 것이다. 그림 14와 15에서 볼 수 있듯이 K-1 원전은 복수계통 및 주급수계통의 단상(Single Phase) 배관에서는 암모니아 수처리방식이 에탄올아민 방식보다 감육률이 적고 주증기계통, 추기계통 및 드레인계통의 2상 배관에서는 에탄올아민 방식이 암모니아 방식보다 감육률이 적게 계산된 것을 알 수 있다. 이는 CHECWORKS 전산코드에서 계산되는 감육률이 pH 값과 밀접한 연관성이 있기 때문이다. 즉 pH가 낮을 때는 감육정도가 심해지고 높을 경우에는 반대로 감육정도가 낮아진다. K-1 원전의 두 가지 수처리방식에 따른 해석결과를 비교해 본 결과 단상에서는 암모니아 수처리방식이 에탄올아민 방식에 비해 pH가 높게 계산되었다. 반면 2상에서는 그와 반대로 계산되었다.

W-1의 중수로형 원전은 5개 주계통 모두 K-1 원전보다 감육률이 적은 것을 알 수 있다. 수화학해석 결과, 중수로형 원전 모든 위치에서의 pH가 K-1 원전보다 높게 계산되었기 때문에 이 또한 수처리방식에 밀접한 연관성이 있는 것을 확인하였다.

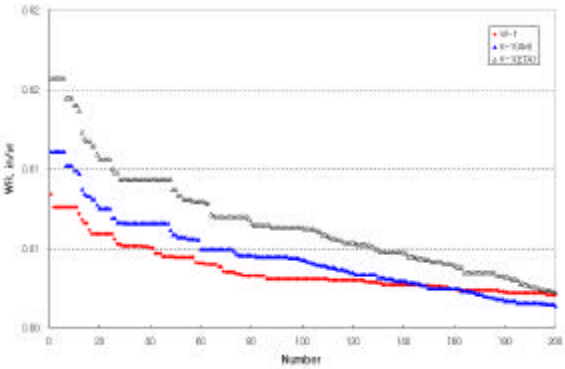

그림 14. 복수계통 수처리방식별 감육경향

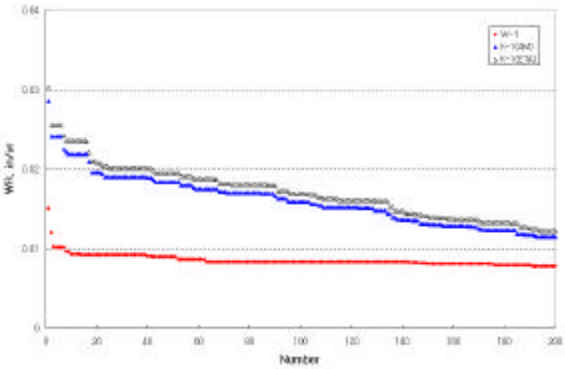

그림 15. 주급수계통 수처리방식별 감육경향

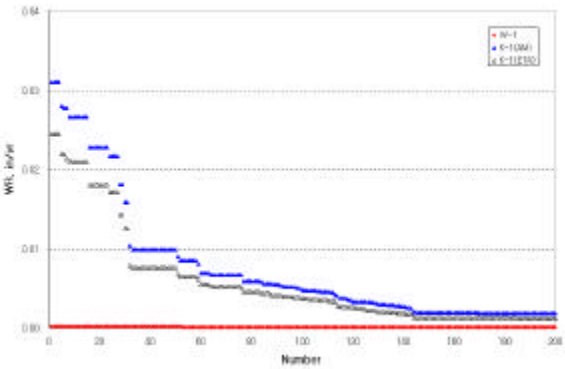

그림 16. 주증기계통 수처리방식별 감육경향

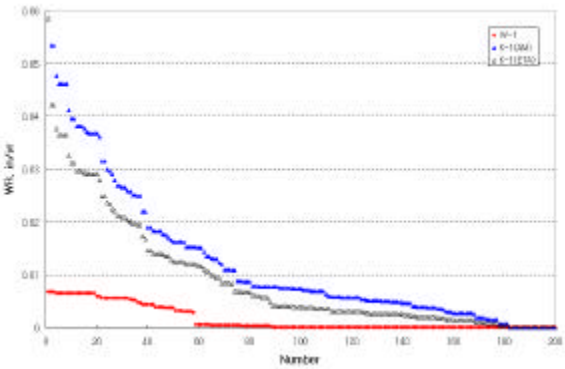

그림 17. 추기계통 수처리방식별 감육경향

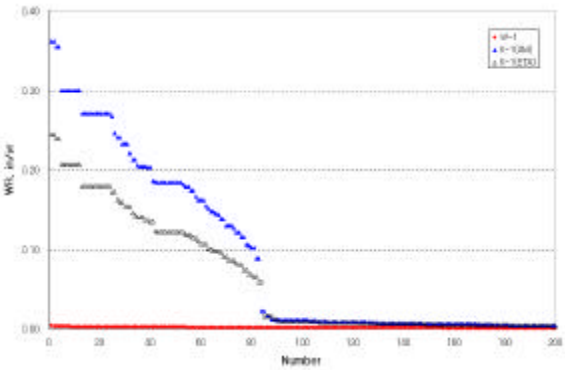

그림 18. 드레인계통 수처리방식별 감육경향

5. 결론

국내 전체 원전 중 본 고에서는 4개의 대표적인 원전을 대상으로 감육해석을 수행한 결과를 호기별, 계통별 및 수처리방식별로 비교하였다. 이는 2차계통 배관의 감육률을 중심으로 검토함으로써 국내 원전 중 배관감육에 취약한 원전과 계통 및 주요부위를 도출하여 감육배관 관리표준 수립에 반영하고 장기적인 안목에서 보다 나은 배관의 운전환경을 채택하는데 도움을 주기 위함이다. 표 2는 원전 및 계통별로 감육경향을 분석한 결과로서 각 원전의 계통별로 감육에 가장 민감한 부위를 제시한 것이다. 그 중에서도 가장 민감한 부위에 대해서는 음영으로 표시하였다. 해당 원전 사업소에서 배관을 관리할 때 표 2에 제시된 부위에 대해서는 많은 관심을 가져야 할 것으로 판단된다.

수처리방식별 비교는 K-1의 암모니아 수처리 및 에탄올아민 수처리 시점의 해석결과와 W-1의 몰포린 수처리방식의 해석 결과를 비교하였다. 비교결과 전반적으로 중수로형 원전인 W-1의 감육률이 K-1에 비하여 낮게 계산되었다. 그리고 K-1을 대상으로 암모니아와 에탄올아민 수처리방식을 비교한 결과 단상 배관에서는 암모니아 수처리방식이 에탄올아민 방식보다 감육률이 적고 2상 배관에서는 에탄올아민 방식이 암모니아 방식보다 감육률이 적게 계산되었다. 일반적으로 배관감육은 pH가 낮을 경우에 심하게 나타난다.

결론적으로 본 연구를 통하여 구축한 데이터베이스와 감육해석 결과는 현장에서 체계적으로 배관을 관리할 수 있도록 지원하는 기초 Tool로 활용할 수 있다. 본 결과물을 활용하여 배관을 관리할 경우 개별적으로 보관해야 하는 자료의 양을 최소화할 수 있으며, 감육해석, UT 해석, 보고서화(Reporting)도 쉽게 수행할 수 있기 때문에 많은 시간과 업무비용을 절감할 수 있다. 이외에 현장 배관관리 실무자의 노력이 수반될 경우 CHECWORKS 전산코드의 활용성을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

표 2. 감육해석 결과비교

원전	복수계통	주급수계통	주증기계통	추기계통	드레인계통
K-2	HTR 2 ~ HTR 3	HTR 5&6 Inlet Line	HP TBN ~ MSR	HP TBN ~ HTR 5	HTR 5 ~ DAST
W-1	HTR 3 ~ Deaerator	SG Feedwater Inlet Line	MS HDR ~ STM Chest	HP TBN ~ HTR 6	RDT ~ RDP Suction HDR
Y-1	SJAE Outlet Line	HTR 5 ~ HTR 6	2nd RHTR Heating Steam	LP TBN ~ HTR 2	HDP Discharge Line
U-3	HTR 3 ~ Deaerator	BFP ~ MFWP	MS HDR ~ Heating Steam	LP TBN ~ HTR 1&2	2nd RHDT ~ HTR 7

참고문헌

1. B. Chexal, 1998, CHECWORKS Application Manager, Version 1.0D, TR- 103198-P3.