

## CANDU형 원전 2차 배관의 침부식 감육 관리방법에 관한 연구

심상훈 · 송정수 · 윤기봉\* · 황경모\*\* · 진태은\*\* · 이성호\*\*\*

중앙대학교 대학원, \*중앙대학교 기계공학부, \*\*한국전력기술(주), \*\*\*전력연구원

### A Study on Managing of Metal Loss by Flow-Accelerated Corrosion in the Secondary Piping of CANDU Nuclear Plants

S.H. Shim, J.S. Song, K.B. Yoon\*, K.M. Hwang\*\*, T.E. Jin\*\* and S.H. Lee\*\*\*

Graduate School, Chung-Ang University,

\*Department of Mechanical Engineering, Chung-Ang University

\*\*Korea Power Engineering Company

\*\*\*Korea Electric Power Research Institute

#### 요 약

침부식(FAC, Flow-Accelerated Corrosion)에 의한 감육 문제는 원자력 발전소 배관관리에 있어서 매우 중요하다. 특히 FAC는 배관 내부 유체의 pH, 용존산소 농도, 유체 온도, 유속 및 습증기 분율 등과 배관의 형상 및 재료 등의 특정 조건에서만 발생하므로, FAC 문제를 관리하기 위해서는 체계적인 접근이 필요하다. 본 연구에서는 국내 특정 CANDU 원전의 2차계통 배관을 대상으로 관련 데이터베이스 구축, 구축된 데이터베이스를 이용한 FAC 감육율의 예측 및 배관 잔여수명의 평가 등을 수행하였다. 또한 FAC 발생기구 및 FAC에 영향을 주는 요인에 대해서도 조사하였다. 습분분리기와 플래시탱크 사이 배관 라인의 해석 예로부터 FAC 문제를 관리하는 방안을 제시하였다. 제시된 방안은 국내 다른 원자력발전소의 배관 관리에도 활용될 수 있을 것이다.

**Abstract** — One of the most serious concern in nuclear power plant piping maintenance is thickness reduction due to flow-accelerated corrosion (FAC). Since the FAC occurs under specific conditions of pH, dissolved oxygen, temperature, flow velocity, steam quality of the fluid and materials and geometry of the piping, a systematic approach is required for managing the FAC problem. In this study, construction of a secondary piping database, analyzing the FAC rate using the database and predicting the residual life was performed for a domestic CANDU nuclear power plant. Also FAC mechanism and factors affecting FAC were reviewed. By showing a case study on analysis for a pipe line between a separator and a flash tank, a procedure for managing FAC problem is suggested. The procedure proposed in this paper can be widely applied to the secondary piping of other domestic nuclear power plants.

#### 1. 서 론

원전 2차계통 배관의 침부식(FAC, Flow-Accelerated Corrosion)에 의한 감육 손상은 1980년대 이래 전세계적으로 광범위하게 보고되고 있다<sup>[1,2]</sup>. 특히 1986년 미국의 Surry 2호기 발전소 복수 계통의 주급수 펌프 흡입측 18인치 배관 엘보우가 파열된 사고로 인명피해와 경제적인 손실이 발생한 이후 FAC에 의한 배관감육 손상에 대한 관심이 더욱 집중되고 있다.

최근 국내 원전에서도 가동년수가 증가됨에 따라 배관감육으로 인한 손상사례가 다수 발견되어 왔으며<sup>[3]</sup>, 대표적인 배관감육 사례는 1998년 고리 2호기, 1999년 고리 3, 4호기, 영광 1, 2호기 외에 월성 2호기 등으로 국내 원전 전반에 걸쳐 발생되고 있다. 이러한 배관감육으로 인한 손상은 가동년수 증가에 따라 향후 점차 증가할 것으로 예상된다. 이렇듯 배관 감육에 의한 사고가 확산되고 있는 시점에서 원전 2차 계통 배관 설비의 감육관리 방안의 확보는 전력 에너지 공급의 안전성을

위해 중대한 사안임이 분명하다<sup>14)</sup>.

현재 국내에서는 원전 2차 계통 배관의 주요 파손 원인이 되고 있는 FAC 관리를 위해 16기 국내 원전의 2차 계통 감육배관 증장기 관리 방안의 수립을 위하여 호기별 운전이력, 수처리 조건과 감육배관에 대한 데이터 베이스를 구축하고, EPRI의 CHECWOKS 전산코드를 활용하여 감육율과 잔여수명을 예측하고 있다<sup>15)16)</sup>. 본 논문에서는 비교적 가동 년수가 오래된 CANDU형 원전 국내 대상 발전소 1기의 2차계통 배관에 대한 감육해석 수행 결과를 보고하였으며, 원전 2차 배관의 침부식 감육관리 방법에 대해 논하였다.

## 2. 원전 2차계통 배관의 FAC

FAC는 탄소강 재질로 만들어진 배관 및 압력용기 등에서 설비 내벽에 형성되는, 부착력이 약한 다공성 마그네타이트 피막에 액상의 유체가 흐름에 따라 가속되는 재질의 감육 현상으로 정의될 수 있다<sup>17)</sup>. 정체되어 있는 유체에 의해 발생하는 전반적인 부식의 확장된 형태로 볼 수 있으나, 마그네타이트 피막과 유체의 계면 사이에 유체 유동에 의해 감육이 가속된다는 것이 차이점이다. FAC 감육율은 몇 가지 단계의 반응에 의해 결정되며, 각 단계의 반응 속도는 금속재질의 조성, 유체의 pH, 용존산소, 온도, 유속, 압력, 습증기 분율(steam quality) 및 배관형상 등의 변수에 따라 결정된다.

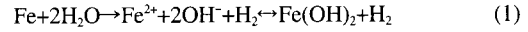
### 2-1. FAC 발생기구

FAC의 진행은 배관 표면에 다공성 마그네타이트 피막에서 발생하는 두 가지의 과정으로 설명될 수 있다. 그 진행과정은 Fig. 1에 개략적으로 나타낸 바와 같이 산화층-유체 계면 사이의 반응과정과 마그네타이트 내에서의 철 이온 확산 과정으로 나눌 수 있다.

산화층-유체 계면에서는 용해성 철 이온이 생성되며, 다음 세 가지의 과정이 동시에 발생한다.

첫째는 반응식 (1) 및 (2)에 의해 산소가 없는 유체

가 흐르는 철-마그네타이트 계면에서 금속의 산화가 발생한다.



둘째로는 철이 다공성 산화층을 통해 유체 쪽으로 흡수된다. 식(1)에 의해 철-산화층 계면에서 수소가 생성되며, 식(2)에 의해 금속과 산화성 기공을 통과하여 유체 속으로 확산된다. 여기까지의 과정은 일반적인 부식 현상과 유사하다. 셋째로는 산화층-유체 계면에 있는 마그네타이트 산화층이 수소로 인한 환원 반응에 의해 용해된다. 수소는 금속-산화층 계면으로부터 빠져 나오게 된다. 정상상태에서는 산화층의 두께와 잔여 기공이 일정하게 유지되며 산화층-유체 계면에서의 마그네타이트의 용해속도는 금속-산화층 계면에서의 마그네타이트 성장속도와 동일해야 한다. 이 반응 정도는 pH 값에 영향을 받게 된다.

마그네타이트 내에서는 철 이온이 확산 경계층을 통과하여 흐르는 유체 속으로 이동한다. 이 과정 동안에는 산화층-유체 계면에서 나온 철 이온과 금속-산화층 경계면에서 나온 철 이온이 확산경계층을 통과하여 매우 빠르게 유체 속으로 확산되는 것으로 추측되고 있다. 또한 흐르는 유체 내의 철이온 농도는 산화층-유체 계면의 철이온 농도보다 매우 낮은 것으로 알려져 있으며, 이러한 조건에서는 산화층-유체 계면을 지나는 유체의 속도가 증가한다면 부식속도도 따라서 증가하게 된다.

### 2-2. FAC에 영향을 미치는 요인

원자력 2차계통 배관의 FAC에 영향을 미치는 요인들은 액상 유동의 경우 수화학적 요인(금속 재질, 온도·pH·산소농도 등)과 수력학적 인자(유속·배관 형상 등)들이 상호 복합적으로 작용하여 영향을 미치게 된다.

#### (1) 습증기 분율

원전 2차계통 배관에서의 FAC는 습증기나 물을 운반하는 배관 계통에서 발생하고, 건증기를 운반하는 배관에서는 거의 발생하지 않는다. 일반적으로 모든 발전소에서 습증기 분율이 높은 계통의 배관은 감육율이 높은 것으로 나타난다. 물 및 증기의 2상 유동 배관의 경우 물의 단상유동에 비해 감육이 높게 나타나고 있으며 습증기 분율이 5% 이상인 배관에서는 습증기의 함량이 많을수록 감육율도 커지게 된다.

#### (2) 금속 재질 합금 성분

FAC는 탄소강 배관에서 주로 나타나고 있다. 그러나 탄소강에 Cr, Cu, Mo 등의 원소를 첨가하게 되면 FAC 억제에 상당한 효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다.

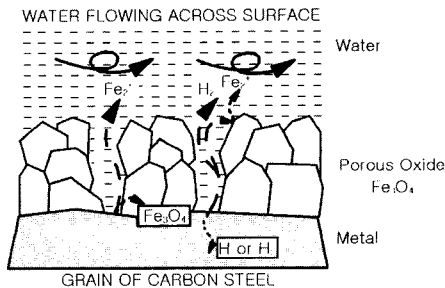


Fig. 1. Schematic drawing showing FAC mechanism<sup>17)</sup>.

기존 실험 결과에 의하면 Cr과 Mo 원소의 함량이 1% 이상일 때 상당한 FAC 억제효과가 있다. 특히 Cr의 영향은 매우 커서 0.5% 정도의 Cr 함량으로도 FAC는 무시할 수 있을 정도이다. 이는 아주 적은 Cr 함량으로도 산화피막층의 안정성이 매우 증가하기 때문으로 알려져 있다.

(3) pH 및 pH 조절용 아민의 종류

원전 배관에서는 일반적인 부식방지를 위해 pH를 부식속도가 낮은 약알칼리성으로 유지하게 되며, 이를 위하여 휘발성 아민으로 pH 값을 조절하게 된다. 일반적으로 pH 값을 9.3 이상으로 유지하면 부식이 현저히 감소한다. 본 연구의 대상 발전소에서는 pH 제어제로서 몰포린과 암모니아를 동시에 사용하여 pH 값을 9.4-10.0으로 조절하고 있다. Fig. 2에서는 문헌에 알려진 pH 값에 따른 감육율의 차이를 보여주었다. 또한 Fig. 3에서는 pH를 조절하기 위한 아민의 종류에 따른 감육율의 차이를 보여주었다<sup>[11]</sup>.

(4) 기타 요인

이밖에도 2차계통 배관의 FAC 감육율에 영향을 주는 요인들은 온도, 용존산소(DO, Dissolved Oxygen)의 농도, 배관의 형상 및 유속 등이 있다.

온도는 열역학적 조건 변화에 영향을 주게 되어 감육

율에 차이가 발생하며, 단상유동의 경우 150°C 부근에서, 2상유동의 경우 180°C 부근에서 감육이 가장 심하게 발생한다. 그리고 93°C 이하의 단상유동의 경우에는 확산반응이 거의 일어나지 않으므로 FAC가 발생하지 않는다. 본 연구에서도 이 경우는 감육 관리 대상에서는 제외하였다.

또한 용존산소의 영향을 보면, 용존산소량이 적을 경우에는 금속이 직접 FAC 환경에 노출됨으로써 감육이 가속되며, 용존산소가 20 ppb 이상이 되면 감육율이 급속히 줄어들게 된다. 본 연구의 대상 원전에서는 용존산소의 농도가 5 ppb 이하로서 비교적 적게 유지되고 있었다.

3. CHECWORKS 전산코드 개념

EPRI에서 개발한 CHECWORKS 전산코드는 전세계적으로 원전 2차계통 배관감육 예측에 가장 널리 사용되고 있다. 이 코드는 원전 2차측 배관의 온도, 압력, 엔탈피, 습증기 분율, pH, 유속 등의 운전 환경을 반영하여 배관 컴포넌트별 감육률과 잔여수명 예측, 발전소 데이터베이스 역할 등을 수행할 수 있으며, 이를 기초로 하여 검사대상 배관 우선순위 결정, 감육에 영향을 미치는 수화학 조건 및 재료 비교, 배관설계 기술 개선 등에도 활용할 수 있다.

CHECWORKS 전산코드는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 해석(Analysis) 기능과 지원(Support) 기능으로 구분할 수 있다. 해석기능에는 수화학 해석, 네트워크 유동 해석, 감육율 해석, UT 해석, CAE(Component Acceptance Evaluation) 등이 있으며, 지원기능에는 Plant Data Management, Isometric Viewer, HBD, FACTRAK, Import Utility가 있다. 이들 각각의 주요 기능은 Table 1과 같다.

CHECWORKS 전산코드를 활용하여 2차계통 배관의 감육해석을 수행하기 위해서는 설계자료, 열수력 조건, 발전소 운전이력, 수처리 이력 등이 기본적으로 반영되어야 한다. 이러한 인자들이 충분히 반영된 최적 배관

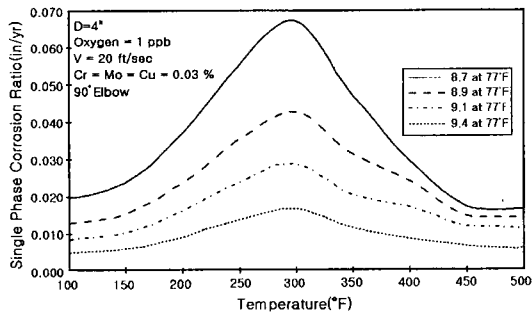


Fig. 2. Comparison of FAC rates for various pH conditions<sup>[11]</sup>.

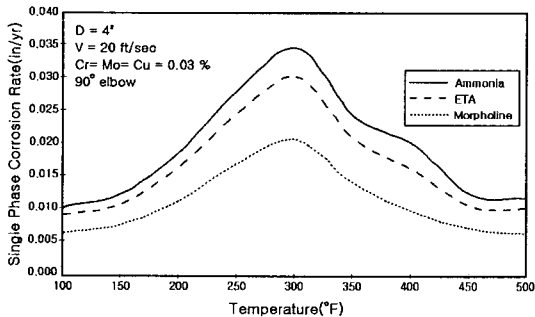


Fig. 3. Comparison of FAC rates for various amines<sup>[11]</sup>.

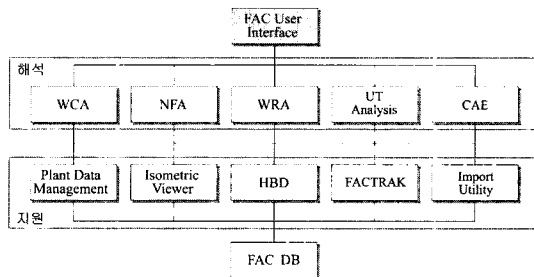


Fig. 4. CHECWORKS code overview.

**Table 1. Main functions of CHECWORKS code.**

구분	주요 기능	
해석	수화학 해석	2차계통 배관 라인의 아민, 용존산소, pH 등 수화학 분포 해석
	네트워크 유동 해석	배관 내부의 압력변화와 열수력 조건 변화 해석
	감육율 해석	데이터베이스로 구축된 배관 컴포넌트별 감육율 해석
	UT 해석	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
	FACTRAK	정비기간 중에 수행할 두께검사 목록작성 및 관리에 활용
	Import Utility	CHECMATE와 CHEC-NDE 파일을 FAC DB로 변환

감육 해석을 수행하기 위해서는 발전소 설계, 건설 및 시운전 시점부터 산출되는 모든 자료를 체계적으로 분석/정리하여 CHECWORKS 전산코드에 데이터베이스로 입력해야 한다. 입력된 대부분의 기초자료는 곧바로 전산코드에 입력되지만 일부는 네트워크 유동 해석 또는 감육율 해석을 수행하기 위한 입력변수로 사용되기도 한다.

CHECWORKS 전산코드를 활용하여 원전 2차계통 배관을 관리할 경우 많은 양의 배관관련 설계문서, 운전자료, 두께검사 데이터, 각종 보고서 등을 하나의 전산코드로 운영이 가능하며, 코드에 내재된 문서작성 프로그램을 활용하여 필요시 보고서로도 출력이 가능하여 관련 업무의 효율을 극대화할 수 있다. 또한 배관관리에 소요되는 불필요한 시간과 인력낭비를 방지함으로써 경제적인 발전소 운영이 가능하다.

#### 4. 평가를 위한 데이터베이스 구축

##### 4-1. FAC 해석 대상 배관 선정

원전 2차계통 배관은 수천 개의 배관요소들로 구성되어 있으나, 주기별 계획예방정비 기간 중 두께검사를 수행할 수 있는 배관부품 개수가 300~400개 정도이다. 따라서 전체 배관 구성 요소의 10% 이하의 소량만을 검사하여 전체 배관계통의 신뢰성을 확보하여야 한다. 감육해석에 있어서도 모든 배관의 감육을 해석하는 것은 비효율적이므로, FAC에 의한 배관감육이 무시할 정도로 작을 것으로 예상되는 배관 및 감육에 의한 파단 발생 시 그 영향이 미미할 것으로 예상되는 배관은 해석대상에서 제외하는 것이 효율적이다. 따라서 본 연구의 대상 원전 2차계통 배관 중에서 해석이 불필요한 배관을 먼저 분류하여 해석에서 제외하여야 하며 이러한 배관은 다음과 같다.

① 배관 재질이 스테인레스강이거나 C의 농도가 1.25% 이상인 탄소강 배관

- ② 93.3°C 이하의 액상유동인 배관
  - ③ 용존산소 농도가 높은 수처리 조건의 배관
  - ④ 습분을 동반하지 않은 과열증기 배관
  - ⑤ 해당 배관의 운전시간이 발전소 정상가동 시간의 2% 미만인 배관
  - ⑥ 정상 가동 중 출력에 영향을 미치지 않고 차단 및 보수가 가능한 배관
  - ⑦ 직경이 50 mm 이하인 배관
- 위의 배관 종류 중 ①~⑤ 항목의 배관은 EPRI NSAC-202L에 명시된 권고배관이며<sup>12)</sup>, ⑥과 ⑦ 항목의 배관은 대상 원전 관리팀의 판단으로 결정된 배관이다.

##### 4-2. 해석을 위한 배관의 데이터베이스 구축

FAC에 영향을 미치는 모든 요인들을 충분히 고려하여 해석을 수행하려면 설계자료, 운전자료 등을 수집하고 이를 체계화하여 해석을 위한 전산코드에 데이터베이스로 입력해야 한다. 데이터베이스 입력을 위해 필요한 자료들은 다음과 같다.

- P&ID
- Isometric Drawings
- 발전소 운전이력
- 화학절차서
- 수처리 보고서
- 배관 재료 사양서
- 피팅류(fitting)의 크기 및 사양에 대한 자료

이상의 자료들을 수집 정리한 후 각 배관요소의 데이터베이스 구축을 수행하였다. 대상 원전의 2차계통 주요 기기 및 배관 라인의 배열상황을 CHECWORKS<sup>13)</sup> 전산코드의 HBD(Heat Balance Diagram) Editor 기능을 활용하여 모델링하였다.

Fig. 5에 대상발전소 2차계통에 대하여 구성한 HBD를 나타내었다. Fig. 5에서 보듯이 본 연구대상 발전소는 5단의 가열기를 포함하는 Rankine Cycle로 구성되어 있으

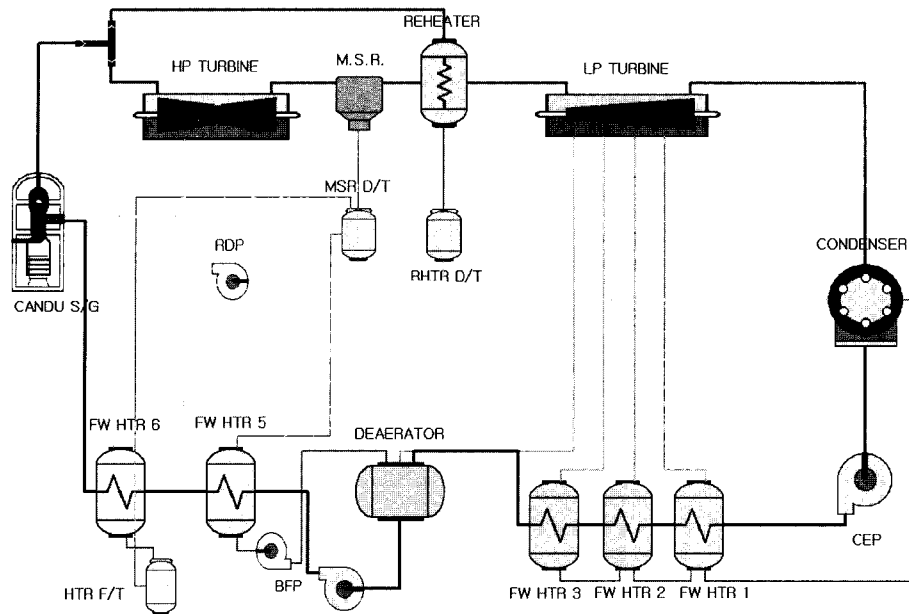


Fig. 5. Heat balance diagram of the studied nuclear power plant.

며, CEP는 복수펌프, FW HTR는 급수 가열기, MSR은 습분분리기 등을 표시하고 있다. 또한 발전소 운전주기를 “Operating(Cycle)” 및 “Maintenance(RFO)”의 두 가지 형태로 구분하여 각 주기마다 시작 종료일시, 운전시간 등을 입력하였다. 본 연구에서 대상으로 하는 원전은 1,565 시간의 시운전을 거쳐 현재까지 15주기 운전 중에 있었다.

FAC 해석에는 pH, 용존산소 농도, 아민의 종류 등의 수화학적 인자가 적용되어야 한다. 따라서 복수계통에서의 상온 pH 값 및 증기발생기 입구에서의 용존산소 농도값을 입력하였으며, 아민의 종류 및 그 농도를 입력하였다. 입력 중에 보다 정확한 결과를 얻기 위하여 전체 데이터와 주기별 데이터 값들을 적절히 고려하여 입력하였다.

대상 원전에서 확보가 가능한 7주기부터 14주기까지의 데이터를 분석한 결과, 각각의 평균값으로서 pH는 9.7, 아민으로 사용되는 몰포린은 11.98 ppm, 암모니아는 0.94 ppm, 그리고 용존산소 농도는 2.12 ppb이었다. 그밖에도 발전소의 라인 데이터를 입력하였다. 여기에는 라인명, 라인그룹, 라인 등급 분류, 대상 배관요소명, 대상 배관형상 코드, 외경, 두께, 단열재, 설계압력 및 온도 등이 포함되었다.

## 5. 평가 결과(FAC 모델 해석)

### 5-1. 수화학 해석

대상 원전의 2차계통 라인별 수화학 운전환경을 FAC

해석에 반영하기 위하여 CHECWORKS 전산코드를 사용하여 수화학해석(Water Chemistry Analysis)을 수행하였다. 데이터베이스 구축한 값들을 적용하여 HBD와 연계한 후 각 라인 및 주요 배관요소별 상온에서의 pH(cold pH), 고온에서의 pH(hot pH) 및 암모니아 농도 등의 결과를 얻었다. 해석결과를 Fig. 6에 나타내었으며 정상 운전 시 제14주기에서의 상태를 표시하였다.

### 5-2. 네트워크 유동 해석

전체 배관 중 일부의 배관요소에 대해서는 유량, 운전온도 및 압력, 엔탈피, 습증기 분율 등을 알지 못하는 경우가 있는데, 이때 알고 있는 배관요소 값으로부터 알지 못하는 부위의 정보를 평가하기 위해서 네트워크 유동해석(Network Flow Analysis)을 수행하게 된다. 즉, 배관라인 네트워크를 정의한 후 입구측과 출구측의 알고 있는 유량, 엔탈피 및 압력 등을 이용하여 네트워크 내의 다른 배관요소값을 계산하는 것이다. 이것은 주로 입구와 출구 사이에 압력 및 엔탈피의 변화가 상당히 큰 경우에 대해 수행하게 된다.

Fig. 7은 습분분리기(moisture separator)에서 플래시탱크(flash tank)까지의 배관 중에서 2개의 플래시탱크로 분기되기 직전까지 형상을 보여주고 있으며, Fig. 8은 이 배관라인에 대해 수행한 네트워크 유동해석의 결과이다. 이 결과로부터 유체가 각각의 배관요소를 지나면서 압력 및 습증기 분율이 변화하는 양상을 볼 수 있다.

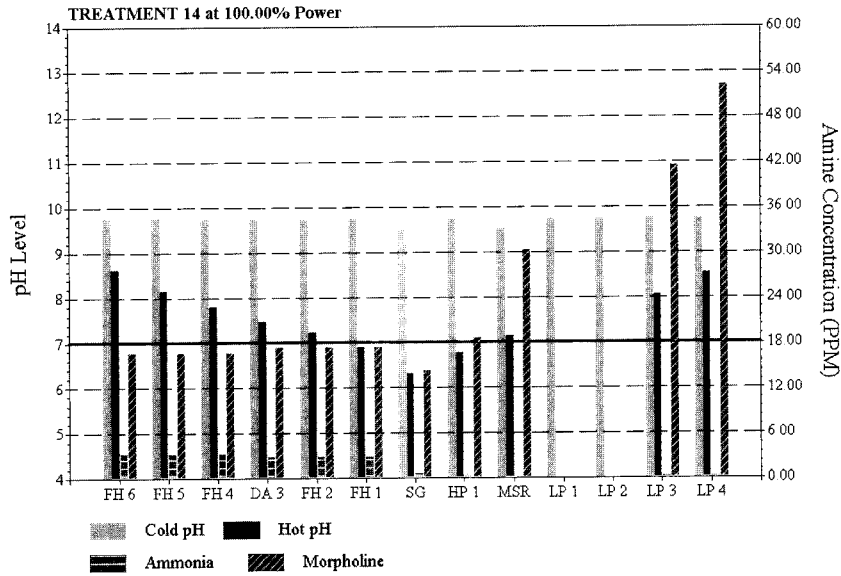


Fig. 6. Water chemistry analysis results for the studied power plant.

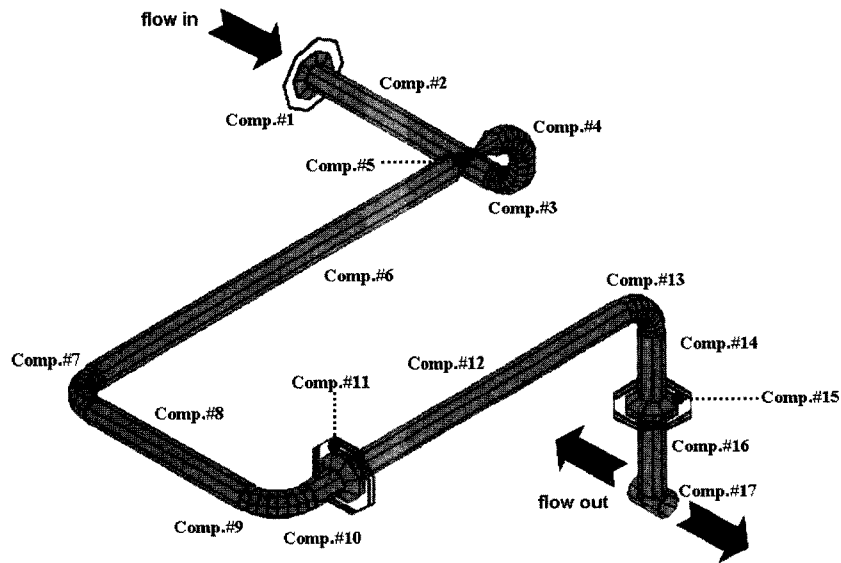


Fig. 7. Line components between a moisture separator and a branch of two flash tanks.

5-3. 감육율 해석

대상 발전소의 2차계통 배관계 중에서 배관라인 및 배관요소의 데이터베이스가 구축된 총 269개 배관라인(69개 라인그룹), 4,497개 배관요소에 대하여, 네트워크 유동 해석 결과 계산된 운전변수 데이터 및 수동으로 입력한 운전변수들을 반영하여 감육율 해석(Wear Rate Analysis)을 수행하였다. Fig. 7의 배관라인에 대하여 수행한 감

육율 해석결과를 Table 2에 나타내었다. Table 2의 해석 결과에는 배관요소의 명칭과 각각의 기하형상 분류코드(배관요소의 기하학적 형상과 유체의 흐름방향을 구분할 수 있도록 분류된 기호)<sup>14)</sup> 및 평균 감육율, 현재의 감육율, 초기두께, 예측두께, 최소요구두께 등을 명시하였다. 또한 최종적으로 최소요구두께까지의 잔여수명을 계산하였는데, 이는 EPRI의 NSAC 202L의 식<sup>12)</sup>을 적용

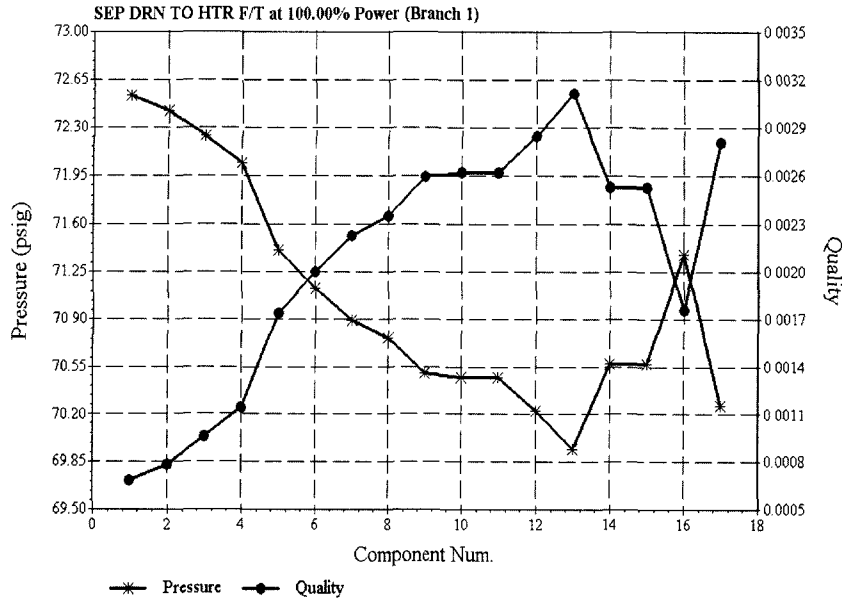


Fig. 8. Network flow analysis results of pipe components shown in Fig. 7.

Table 2. Wear rate analysis results of the line shown in Fig. 7.

Component name	Geometry code	Average wear rate (mils/year)	Current wear rate (mils/year)	Thickness (in)			Residual life (hrs)
				Initial	Predicted	Critical	
TC0071NA	31	1.570	1.417	0.375	0.353	0.085	1657263
TC0071PA	61	0.848	0.766	0.375	0.363	0.085	3184041
TC0071EA	2	1.165	1.051	0.375	0.358	0.085	2282050
TC0071EB	4	1.167	1.053	0.375	0.358	0.085	2277960
TC0071VA	25	1.585	1.431	0.375	0.352	0.091	1603042
TC0071PB	58	0.699	0.631	0.375	0.365	0.085	3893827
TC0071EC	2	1.178	1.063	0.375	0.358	0.085	2254000
TC0072PA	52	0.797	0.719	0.375	0.364	0.085	3398582
TC0072EA	2	1.182	1.067	0.375	0.358	0.085	2246038
TC0073PA	52	0.799	0.721	0.375	0.364	0.085	3389996
TC0073OA	6	1.598	1.442	0.375	0.352	0.085	1625599
TC0073PB	56	0.320	0.289	0.375	0.370	0.085	8664618
TC0073EA	2	1.188	1.072	0.375	0.358	0.085	2234782
TC0073PC	52	0.798	0.720	0.375	0.364	0.085	3392866
TC0073OB	6	1.597	1.441	0.375	0.352	0.085	1627036
TC0073PD	56	0.317	0.286	0.375	0.370	0.085	8752245
TC0073TA(U/S)	10	1.601	1.445	0.375	0.352	0.085	1622463
TC0073TA(D/S)	10	1.601	1.445	0.375	0.352	0.085	1622463
TC0073TA(BR.)	10	1.281	1.156	0.375	0.357	0.085	2062779

한 것이다. 전체적인 해석결과를 보면, 이 배관라인은 습 증기 분율이 상당히 높은 라인이라 그다지 감속율이 크지는 않았으며, 배관요소에 따른 감속율의 차이는 기하학적 형상의 영향에 의한 유동 변화로 인해 Tee 부위가 가장 빠른 것으로 나타났고, 그 다음으로 오리피스(orifice) 및 밸브, 그리고 곡관부의 순으로 감속율이 큰 것으로

나타났다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 원전 2차 배관의 침부식 감속관리 방법을 확립하기 위해 국내 원전 2차계통 배관에 대한 데

이터베이스 구축 및 감육해석을 수행하였다. 원전 배관의 FAC 발생기구 및 FAC에 영향을 주는 요인에 대해 검토하고, 국내 특정 CANDU 원전 2차계통 배관의 감육해석을 수행한 절차와 방법을 소개하였다. 사례로서 습분분리기에서 플래시탱크 직전까지의 배관라인을 대상으로 감육해석을 수행한 결과를 제시하였다.

본 논문에서는 2차계통 전체 배관 중 한 개의 라인을 대상으로 해석결과를 제시하였지만 본 연구에서 수행한 데이터베이스 구축 및 감육해석 방법은 현장에서 배관을 효율적으로 관리하는 방안으로 활용될 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 2000년도 원자력 기초연구사업인 “실측 데이터에 근거한 이론적 FAC 예측 모델 연구” 과제 및 전력연구원의 “원전 이차계통 감육배관 관리 표준기술체계 개발” 과제의 연구비 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Port, R.D.: “Flow Accelerated Corrosion”, NACE International Paper, No. 721 (1998).
2. Dooley, R.B. and Chexal, V.K.: “Flow Accelerated Corrosion”, NACE International Paper, No. 347 (1999).
3. 이성호, 제갈성, 정한섭, 조우진: “침부식에 의한 원전 배관 전전성 저해 해석 연구”, 전력연구원 보고서, TR.96NW01.J1999.346 (1999).
4. 최영환 등: “원전배관 감육평가 Workshop 발표논문집”, 한국원자력안전기술원, KINS/PR-012 (2000).
5. 이성호, 제갈성: “고리3호기 2차계통 배관 데이터베이스 구축 및 FAC 해석 보고서”, 전력연구원 보고서, TM.96NW01.R1998.554 (1998).
6. 이성호, 제갈성: “원전 2차계통 감육배관 관리기술 세미나”, 전력연구원자료, TC00NJ12.W2000.341 (2000).
7. 윤기봉, 심상훈, 송정수 등: “월성1호기 2차계통 배관 데이터베이스 구축 및 FAC 해석 보고서”, 2000-프랜티스-001, 한국전력기술 (2000).
8. 윤기봉, 심상훈, 송정수 등: “고리1호기 2차계통 배관 데이터베이스 구축 및 FAC 해석 보고서”, 2001-프랜티스-001, 한국전력기술 (2001).
9. 윤기봉, 심상훈, 송정수 등: “고리2호기 2차계통 배관 데이터베이스 구축 및 FAC 해석 보고서”, 2001-프랜티스-002, 한국전력기술 (2001).
10. 심상훈, 송정수, 윤기봉, 황경모, 진태은, 이성호, 김위수: “월성 원전 1호기 2차계통 배관 감육 해석을 위한 전산코드의 적용”, 대한기계학회 2000년도 제2차 압력기기 기술대회, pp.59-64 (2000).
11. Chexal, B. *et al.*: “Flow-Accelerated Corrosion in Power Plants”, EPRI TR-106611-R1, EPRI.
12. Chexal, V.K. *et al.*: “Recommendations for an Effective Flow-Accelerated Corrosion Program”, EPRI NSAC-202L (1993).
13. Chexal, B.: “CHECWORKS Application Manager”, EPRI, TR-103198-P3 Final Report (1998).
14. ACRES CANATOM: “Piping Materials Specification System Identification”, 59-70000-7701-TS (1980).