

# 손상원인분석 체계에 따른 소형배관 건전성 평가 및 확보 사례

박치용 · 부명환 · 박상규\*

한전전력연구원 · \*한국수력원자력(주)

## 1. 서 론

기계구조물에 있어서 주요기기가 손상될 경우, 일반적으로 손상원인은 여러 가지 요인이 복합적으로 작용하여 손상되는 경우가 많으며, 이를 분석하고 검토하기 위해서는 다양한 분야의 전문화된 기술이 필요하다. 손상원인 분석이 특정분야를 중심으로 이루어 질 경우, 편향된 분석결과를 유도할 가능성이 크며, 이에 대한 대책 수립에 있어서도 편향된 결과를 초래할 수 있다. 본 연구에서는 손상원인 분석에서 대체수립에 이르기까지 특정분야에 한정되지 않고 다방면의 분석을 통하여 종합적인 Multisciplinary Damage Analysis System(MDAS)을 통하여 손상원인을 분석하고 이에 대한 소형배관 건전성 평가 사례를 간단히 소개한다.

## 2. 다분야통합 손상원인분석 시스템(Multisciplinary Damage Analysis System, MADS)

### 2.1 MDAS의 개념

MDAS는 CAE(구조, 유동, 진동), 조직분석, 재료특성분석, 실험측정, 환경인자, 손상사례, 손상방지방안, 정비방안 등을 통합화한 손상감지기준(Damage Screening Criteria)를 갖는 다분야 통합 손상원인분석 시스템이다. 그림 1에 MDAS의 개념을 설명하였다. 손상원인분석순서는 손상이 발생할 경우 1차적으로 확보해야할 필요 Data를 제공 → 1차 Data 입력으로 손상발생순위결정(선행분석 순서 결정) → 2차 손상원인 분석 및 장기적 분석방안도출 → 손상발생 원인 상세 분석 → 최종원인분석 → 운전/정비방안제시 및 DB저장 등으로 구성되어 있다. MDAS 체계를 바탕으로 손상분석을 수행할 수 있다.

## 3. MDAS 적용 사례

### 3.1 적용 대상인 소형배관

본 연구에 적용된 배관은 외경 12.7mm(0.5")의 소형배관으로 그림 2와 같이 균열이 약 30° 기울어져 진전하고 있다.

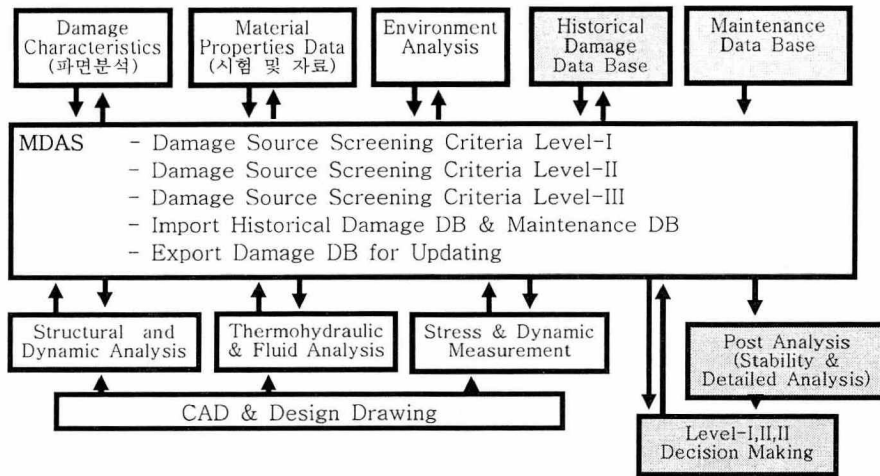
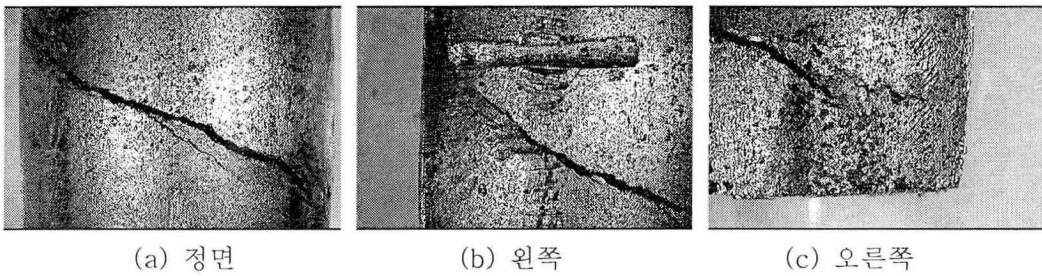


그림 1 MDAS의 기본개념도



(a) 정면

(b) 왼쪽

(c) 오른쪽

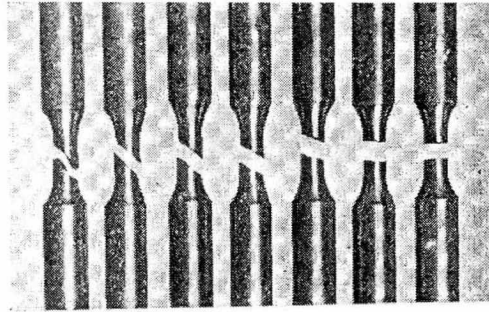
그림 2 소형배관의 손상

### 3.2 MQ S 체계에 따른 손상원인분석

계통 및 환경분석, 구조 및 진동해석, 손상면 관찰, 재료물성 DB, 손상사례 및 정비성 평가 등의 절차가 본 예제에 적용되었다. 이를 기술적 측면에서 간략히 언급하였다.

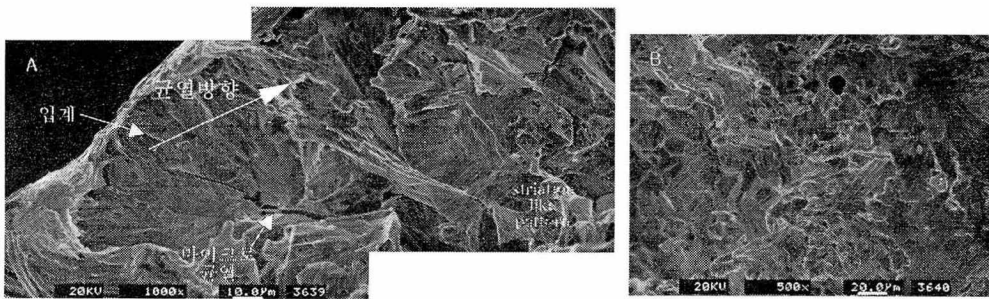
그림 3은 조합응력(굽힘과 비틀림)에 의해 손상된 일례를 나타낸 것이다. 순수비틀림이 받을 경우 시편은 45° 방향으로 파손되고 순수 굽힘을 받을 경우 시편은 직각방향으로 파손된다. 그림 2의 소형배관은 균열이 약 30°로 파손된 것으로 보아 굽힘과 비틀림이 동시에 받고 있음을 알 수 있다. 그림 4는 그림 2의 파면에 대한 전자현미경 관찰 사진으로 입내파괴의 일종인 벽개파괴가 나타나고 있다. 또한 river pattern이 우측상부에서 좌측하부로 형성되어 있는 것으로 보아 균열은 화살표 방향 즉 원주방향으로 진전한 것으로 판단된다. 그림 5는 ANSYS<sup>1)</sup>를 이용한 소형배관의 응력해석 결과를 나타낸 것이다. 정상가동시 배관에 가해지는 최대응력은 약 250MPa로 항복강도(295MPa)에 거의 접근하고 있으며, 위치는 보온재에서 조금 떨어진 곳으로 배관이 손상된 부분에서 발생하고 있다. 보온재에 의한 구속조건이 불확실한 점을 고려하여도 손상부위에 작용하는 굽힘응력은 정상가동에서도 상당한 응력을 받고 있음을 알 수 있다. EH한 고유진동 해석을 수행하여 펌프 진동과 고유진동수 일치 여부를 평가하여 영향을 살펴

보았다. 표 1은 소형배관의 손상에 미치는 외부요인과 영향력을 평가한 것이다. 본 배관이 가장 큰 영향을 미치는 요인은 펌프 가동에 따른 진동으로 파악되었다.



$\theta = 0^\circ \quad \theta = 15^\circ \quad \theta = 30^\circ \quad \theta = 45^\circ \quad \theta = 60^\circ \quad \theta = 75^\circ \quad \theta = 90^\circ$

그림 3 조합응력(굽힘과 비틀림)에 의한 피로파면(硬鋼)<sup>2)</sup>  $\tan\theta = \sigma/2\tau$



(a)

(b)

그림 4 소형배관 단면의 부분확대

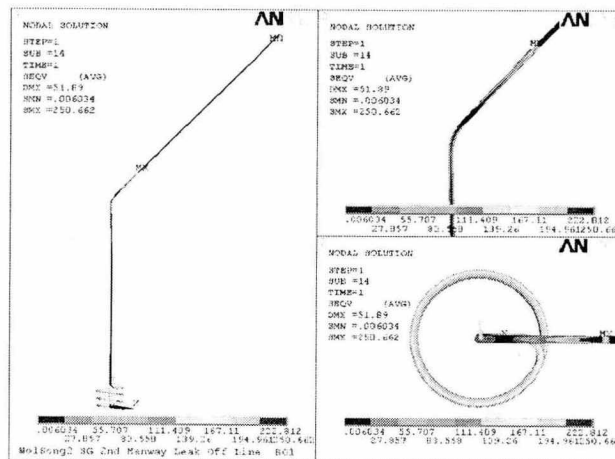


그림 5 열팽창 영향에 의한 von-Mises 응력분포

표 1 외부요인 및 영향력 (\*\*\*: 큼, \*\*: 중간, \*: 작음)

외부요인	원 인	전달 형태	영향력 평가
온도	온도 변화	배관 손상부 지지점 이동 변화	**
		손상부위의 온도구배로 배관길이 변화	**
		외벽에 대한 복사열	*
진동	Pump(1800rpm)	헬을 통한 진동	***
	내부유동	증기발생기 헬을 통한 진동	*

### 3.3 정비방안제시

소형배관의 손상원인 분석을 통하여 다음과 같은 정비방안을 제시할 수 있다. 손상부위의 강성을 높일 수 있도록 배관 직경을 크게하고 코일부분은 튜브보다 직경을 작게 하여 제작 설치한다. 또는 지지대를 설치하여 배관에 작용하는 고유진동수를 이동시킨다. 온도구배를 감소시켜 열응력 감소를 유도한다. 이와 함께 일정주기 검사를 수행하여 정비방안이 적절한지를 확인하도록 한다.

## 4. 결 론

MDAS를 기반으로 한 체계적인 손상분석시스템을 이용하여 소형배관의 손상원인을 분석하였으며, 이에 대한 손상방지 방안을 제시하였다. 배관의 손상은 굽힘과 비틀림 하중의 반복에 의한 파괴로 손상원인은 소형배관의 고유진동에 의한 것으로 파악되었다. 방지대책으로는 구조적 변경을 통한 강성을 높이고 지지대를 설치하여 고유진동수를 이동시키는 방법이 취해질 수 있다. 본 배관의 경우 손상원인이 비교적 특정분야에 국한되어 있어 MDAS 적용이 용이하였다. 대형기기 손상의 경우에는 2차 상세평가 및 3차 상세평가를 수행하는 등 각 기술평가 단계에서 다양한 기술 분야 및 과정을 통하여 종합적 적용이 이루어 질 수 있을 것으로 기대한다. 본 논문에서 제안된 MDAS는 단일기기 손상해석 뿐만 아니라 일정 조직내에서의 손상분석 업무체계 구축, 교량 및 건물등의 대형 구조물 손상사고에 대한 체계적인 분석 시스템으로 활용하기 위한 연구가 지속적으로 진행된다면 산업안전에 크게 기여할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. ANSYS Inc., 2004, Structural Analysis Guide, release 8.1
2. 금속과단면 사진집, 테크노아이출판부, 1985