

탄소강 180° 곡관 내의 유동가속부식으로 인한 배관 파열사고 저감방안에 대한 연구

A Study on Reduction of Piping Rupture Accident by Flow Acceleration Corrosion inside Carbon Steel 180° bend Piping

*조연수¹, 김지훈², #김경훈³

*Y. S. Cho¹, J. H. Kim², #K. H. Kim(kimkh@khu.ac.kr)³

¹경희대학교 대학원 기계공학과, ^{2,3}경희대학교 공과대학 기계공학과

Key words : Wall thinning, Flow accelerate corrosion, Alkali metallic salt, 180° bend

1. 서론

탄소강으로 제작된 기기가 유체 흐름과 접촉할 경우에는 유동가속부식(Flow Accelerated Corrosion)이라는 손상을 받아 두께가 점차 얇아지는 감육(Wall thinning) 현상이 나타나고 결국에는 기기의 압력경계(Pressure boundary) 부분이 파열되는 사고가 발생할 수도 있다.¹⁾

유동가속부식은 고온에서 탄소강 표면에 형성되는 마그네사이트의 용해와 물질전달의 두 단계로 진행되는 것으로 알려져 있으며, 현재까지 발표된 유동가속부식 예측 모델은 대부분 유체중의 화학성분, 철 이온 농도 차, 배관개소(component)의 형태 등에 따라 배관전체에 대한 감육률을 계산할 수 있도록 제시되었으나 기존의 유동가속부식 예측 모델은 배관계에 존재하는 배관요소 중에서 감육에 민감한 우선순위와 배관 요소별로 하나의 감육률만을 산출하기 때문에, 실제 배관계에 존재하는 단일 배관요소 중에서도 특정 부위에서만 발생하고 있는 국부 감육률과 발생부위를 정확히 예측할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 실제 배관개소 내부에서의 국부감육을 직접적으로 분석하기 위하여 국부 감육에 연관된 편향 난류가 탄소강 180° 곡관 내에서의 유동형태를 검토하고자 알칼리 금속염 파이프를 사용하여 감육 유로가시화 실험을 실시하고 국부적인 유동을 예측하기 위하여 압력측정 실험을 수행하였다. 실험결과를 수치해석과 비교하여 수치해석의 타당성을 검증한 뒤, 수치해석 결과로 계산된 난류 매개변수와 실측데이터로 계산한 감육량과 비교하여 연관성을 확인하였다.

2. 배관 유동 실험 및 수치해석

실험에서는 본 연구의 관심대상이 되는 배관개소의 유동을 가시화하기 위하여 배관계를 아크릴 파이프로 제작하였으며, 직경은 40 mm이다. 또, 탄소강 배관개소 내의 감육 현상을 파악하기 위하여 산업 플랜트에서 대표적으로 사용되고 있는 5개의 배관개소(4종류의 티, 오리피스, 90° 엘보, 180° 곡관, 직관)를 대상으로 알칼리 금속염 배관 설치가 용이하도록 Fig 1과 같이 실험 장치를 제작하였다.

180° 곡관 내의 국부적인 유동을 예측하기 위하여 배관요소 전단의 전압과 180° 곡관의 위치별 정압을 디지털 차압계를 이용하여 측정하였다.

또, 탄소강 배관내의 유체 유동의 형태를 가시화하기 위하여 빠른 시간에 용해와 물질전달이 발생하는 재료인 수용성 알칼리 금속염을 사용하여 180° 곡관을 제작하고 감육 유로가시화 실험을 실시하였다.

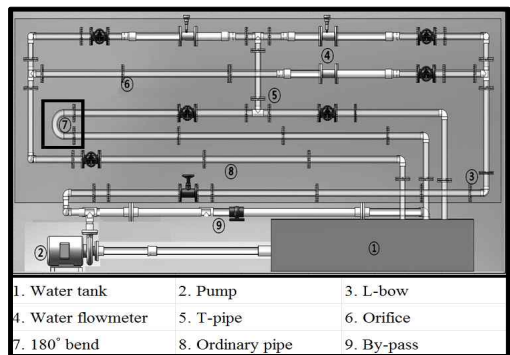


Fig. 1 Sketch of experimental system

Table 1 Boundary conditions

Items	Units	Values
Operating Fluid	-	Water
Density	kg/m ³	1,000
Viscosity	kg/m·s	0.001139
Temperature	°C	20
Inlet Velocity	m/s	2.5
		3.0

유동가시화 실험결과와 수치해석 결과가 일치하는지의 여부를 검토하기 위해 180° 곡관 개소에 대한 수치해석을 실시하였다. 수치해석은 상용 프로그램인 Fluent를 사용하였으며, 3차원 정상상태 조건에서 RSM(Reynolds Stress Model)점성모델을 적용하였다. 유속은 실험과 동일한 2.5, 3.0m/s로 설정하였으며 수치해석에 사용된 조건과 작동유체의 물성치는 Table 1에 나타내었다. 또한, 동체 모델 벽면의 직접적인 압력 측정은 수직 방향의 압력만 측정되는 것이 아니기 때문에, 동체의 중심으로부터 98% 지점에서의 수치해석 데이터를 사용하였다.

2. 편향 난류 매개변수와 국부감육의 상관관계

본 연구에서는 국부감육과 가장 밀접한 연관성이 있는 것으로 확인된 난류 매개변수인 반경방향 속도 Vr²과 감육률 WR 사이에는 어떠한 상관관계가 있는지를 분석하였다. 이를 위하여 실험을 통해 각 유속별 국부감육이 발생한 지점에서의 감육량 측정데이터와 수치해석의 Vr 데이터를 추출하였다. 감육률 WR은 감육량 측정 데이터를 각 유형에 대한 실험 시간으로 나누어 계산하며, 각 유속별 최대값과 최소값을 제거한 9개의 데이터를 통해 Vr과 감육률 WR의 상관관계를 확인하였다.

결과적으로 본 논문에서는 벽면을 수직으로 향

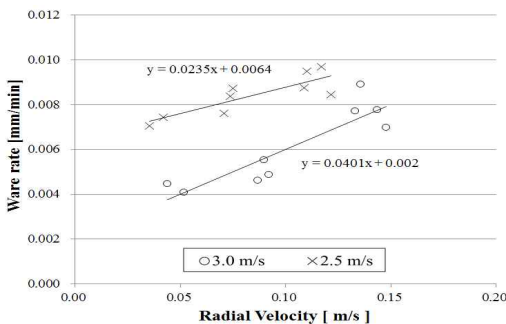


Fig. 2 Wear rate distribution by Vr

하는 Vr과 감육률 WR 사이에는 Fig 2과 같은 상관관계가 있는 것을 확인할 수 있다. 또, 데이터에 대한 해 방정식을 근사적으로 구하는 방법인 최소 제곱법을 사용하여 얻은 추세선을 표시하였다.

4. 결론

유동가속부식에 의한 국부감육은 산업 플랜트 및 원자력 발전소 2차 계통 탄소강 기기에서 빈번하게 발생하고 있으며 파손될 경우 막대한 손실을 초래할 수 있다.

본 연구에서는 실제적인 국부감육을 확인하기 위해 수용성 알칼리 금속염을 사용하여 감육 유동 가시화 실험을 수행하였다. 또한, 이를 검증하기 위하여 실험에 사용된 180° 곡관 형상과 경계조건을 동일하게 하여 수치해석을 수행하였다.

수치해석 결과와 감육량 측정 결과를 비교한 결과, 180° 곡관의 내호와 외호 위치에서 배관개소의 형태에 따라 유동이 배관 벽면에서 분리된 후 다시 벽면으로 향하거나 배관 벽면을 일정 각도로 직접 타격하는 편향 난류유동의 반경방향 속도 성분 Vr이 배관의 국부감육과 직접 연관성이 있는 것을 확인하였다. 최종적으로 수치해석 및 감육률이 비교된 전체 데이터 중, 신뢰성 있는 데이터를 추출하여 반경방향 속도 성분 Vr과 감육률과의 상관관계를 확인하였다.

이러한 연구결과는 현장의 초음파 두께측정 부위 및 범위 결정, 감육 원인규명, 설계개선 등에 활용할 수 있으며, 현장의 배관 파열 사고 저감에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 논문은 2011년도 한국연구재단 일반연구지원사업(20111508)의 연구비지원에 의하여 연구되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- H. Keller. 1978, "Corrosion and Erosion Problems in saturated-Steam Turbines", AIM Conf., Liege, Belgium, pp. 22-28.
- K. M. Hwang, T. E. Jin, K. H. Kim, 2009, "Identification of Relationship between Local Velocity Components and Local Wall Thinning inside Carbon Steel Pipe", J. of Nuclear Science and Technology, Vol. 46, No. 5, pp. 469-478.