

탄소강 배관 재질 손상 현상에 미치는 액적 충돌 침식의 거동 Behavior of Liquid Impingement Erosion on Loss of Carbon Steel Piping Material

*강덕원¹, 조연수², #김경훈³, 황경모⁴

*D. W. Kang¹, S. K. Lee², #K. H. Kim(kimkh@khu.ac.kr)³, K. M. Hwang⁴

^{1,2}경희대학교 기계공학과 대학원, ³경희대학교 기계공학과, ⁴한국전력기술(주)재료기술연구그룹

Key words : Liquid Impingement Erosion, Air-atomizing nozzle, Droplet content

1. 서론

원자력 및 화력플랜트의 배관계통에서는 시간 경과에 따라 배관의 두께가 감소하는 배관 감육 현상이 발생하는 경우가 있다. 발전플랜트에서 발생할 수 있는 배관 감육 현상 중의 하나로 고속 증기류 속에 섞인 액적이 배관표면에 충돌하는 것으로 발생하는 충격력에 의해 손상을 입는 현상인 액적 충돌 침식(LIE : Liquid Impingement Erosion)이 있다.¹⁾ 액적 충돌 침식의 모식도를 Fig. 1에 나타내었다. 액적 충돌 침식은 이제까지 많은 연구가 이루어지고 있지 않았기 때문에, 본 연구에서는 액적 충돌 침식에 대하여 연구를 진행하였다. 액적 충돌 침식은 고속의 유체흐름에 포함된 액적(Droplet)이나 제트 유체의 충격 때문에 금속이 손상되는 현상을 의미하며, 액적 충돌 침식과 관련된 연구는 터빈 블레이드나 빗방울과 관련되어 항공기에 대하여 주로 진행되어 왔지만, 발전소의 배관계에서 발생하는 액적 충돌 침식과 관련된 연구는 전 세계적으로 거의 수행된 바가 없다. 따라서 본 연구의 최종적인 목적은 액적 충돌 침식에 의한 감육 발생 장소를 정량적으로 예측하고, 실제 플랜트에 적용이 가능한 평가도구를 구축하는 것에 있다.

2. 실험

실험 장치설계와 제작은 현재 가장 널리 사용되고 있는 플랜트설비 배관의 재질과 내부에 흐르는 유체의 조건을 고려하여 이루어졌다. 본 연구에서는 여러 가지 액적 함량에 따른 실험수행을 위하여 이유체 노즐을 이용하여 실험 장치를 구성하였으며, 장치의 기본설계는 특허 출원하였다. 실험 장치는 물과 공기의 유량 및 압력의 조절이 용이하도록 설계하였으며, 시편과 노즐의 거리를 조절할 수

있도록 설계하여 여러 가지 조건의 실험을 구현할 수 있도록 하였다. 시편의 경우, 일반적으로 사용되는 배관의 일부를 절단하여 제작함으로써 현장의 조건과 유사하도록 설계 및 제작이 진행되었다. 장치 전체 구성도는 Fig. 2에 나타내었으며, 실험부는 이유체 노즐을 활용하여 액적 충돌 침식 장치를 구상하였다.

실험에 적용된 물성치는 Table 1에 나타내었으며 공기의 밀도는 공급되는 공기의 온도 15℃와 입구 공기의 게이지 압력 5.5 bar를 고려하여 절대압 6.5 bar의 물성치를 적용하였다. 또한 물의 경우는 공급되는 물의 온도 20℃와 입구에서의 물의 게이

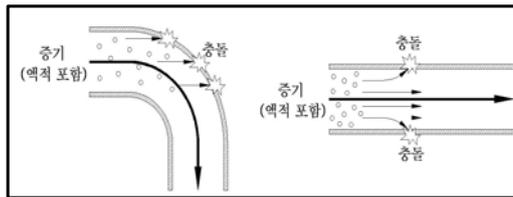


Fig. 1 Mimetic diagram of LIE

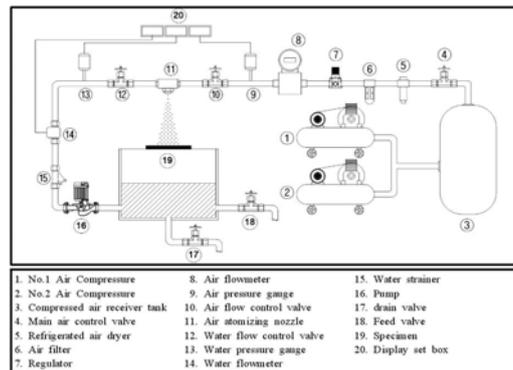


Fig. 2 Schematic of apparatus

Table 1 Value of fluids

Fluid	Temperature [°C]	Pressure [bar]	Density [kg/m ³]
Air	15	6.5	7.875
Water	20	1.4	1000

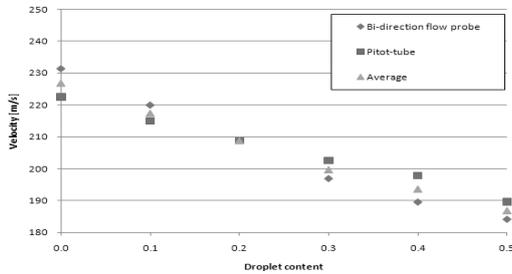


Fig. 3 Variation of velocity with droplet content

지 압력 0.4 bar를 고려하여 절대압력 1.4 bar의 물성치를 적용하였다. 실험은 액적함량 0.4와 0.5에서 수행되었다. 액적함량에 따른 유량비는 중량비를 이용한 다음의 식으로 계산하였다.

$$Droplet\ content = \frac{\gamma_{water} Q_{water}}{\gamma_{water} Q_{water} + \gamma_{air} Q_{air}} \quad (1)$$

이유체 노즐로부터 분사되는 유체의 속도는 Pitot-tube와 Bi-directional flow probe(양방향 유동 프로브)를 이용하여 측정하고 평균값을 이용하였다. 액적 함량 0.0에서 0.5까지 측정하여 속도를 확인하였으며 이를 Fig. 3에 나타내었다. 실험은 시간에 따른 시편 표면의 변화와 무게의 변화에 주목하여 진행되었으며, 실험에 따른 시편의 변화는 육안으로 판단하기에는 어려움이 있기 때문에 SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 표면을 관찰하였다. 총 실험시간은 Case 1(Droplet content : 0.4)의 경우 720시간, Case 2(Droplet content : 0.5)의 경우 3600시간이었다. SEM촬영은 실험시작 후 720시간 간격으로 수행하였으며, SEM촬영시에 무게도 측정하여 시편변화를 관찰하였다. SEM촬영 결과, 시편과 분사유체의 직접적인 접촉이 있는 부분에서 많은 침식량이 발생하는 것을 알 수 있었다. Case 1과 Case 2를 비교해 볼 때 Case 1에 비해 Case 2가 손상이 많이 된 것을 확인할 수 있다. 시편의 무게는 SEM촬영 주기와 같은 주기로 측정되었으며, 측정 범위는 10⁻⁴ g 으로 시편의 무게 변화정도를 고려하여 정확한 측정을 위한 범위를 선정하였다. 무게의 변화를 통해서

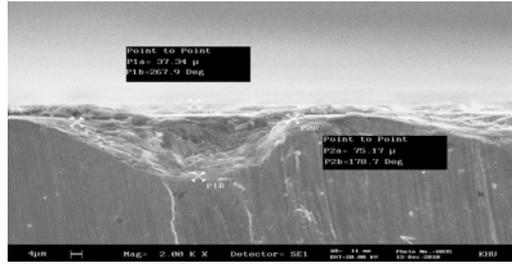


Fig. 4 View of cut specimen by SEM

시편의 두께 변화를 추측하기 위한 방법으로 mdd와 mpy사이의 관계를 이용하였다. 두 식은 침식 두께변화량을 알아보는 가장 대표적인 식이며, 현재 미국에서 많이 사용되고 있다.²⁾ 초기시편의 두께는 7 mm로 동일하였으며 두께변화율을 이용하여 실험 시간에 따른 두께변화를 살펴 본 결과 두께변화율은 증가하지만 시간이 지날수록 변화율의 기울기가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 실험이 완료된 시편을 절단하여 절단면을 살펴보았다. 절단된 면은 SEM을 이용하여 촬영되었으며, Fig. 4는 촬영된 모습을 나타내고 있다.

3. 결론

본 연구의 실험 결과로부터 액적 충돌 침식의 발달과정과 무게변화를 통한 시편의 두께변화를 확인할 수 있었으며, 액적함량의 증가에 따라 침식량이 증가하는 것을 확인하였다. 지속적인 연구에서는 속도 및 다양한 액적함량에 따른 액적 충돌 침식의 상관관계와 노즐거리 및 재질별 침식량을 살펴볼 예정이다. 이를 기반으로 각 인자에 따른 침식물을 확인하고, 이를 통해서 검증된 액적 충돌 침식에 관련된 예측식을 제안할 것이다. 따라서 본 연구의 결과를 통해서 배관의 예측 관리시스템의 구축에 많은 도움이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 모리타 료, 액적충격침식(Erosion)에 관한유동 특성의 해명(그 2), 전력중앙연구소 보고, L07016, 2008
2. TMars. G. Fontana, "Corrosion Engineering, 3rd Ed.", McGraw Hill, P 25, 70-71, 95-97, 485-487, 2008.