

고체입자 충돌침식으로 인한 배관 재질 손상의 예측이론 Prediction Theory of Damage for Pipe Material by Solid Particle Erosion

*유태욱¹, 조연수², #김경훈³

*T. U. You¹, Y. S. Jo², #K. H. Kim(kimkh@khu.ac.kr)³,

¹경희대학교 기계공학과, ²경희대학교 대학원 기계공학과, ³경희대학교 공과대학 기계공학과

Key words : SPE (Solid Particle Erosion), Blasting Nozzle, Damage, Particle Content, Erosion Rate

1. 서론

대부분 탄소강으로 이루어진 원자력 및 화력플랜트의 배관계통에서는 시간 경과에 따라 배관의 두께가 감소하는 배관 감육 현상이 일어난다. 이로 인해 배관의 파손이 일어나며 플랜트의 가동의 정지를 야기시킨다. 이번 논문에서는 배관 감육을 일으키는 여러 요인 중에서 유체에 섞인 입자나 불순물들이 배관표면에 충돌하는 것으로 발생하는 충격력에 의해 손상을 입는 현상인 고체입자 충돌침식(SPE : Solid Particle Erosion)에 대해서 다루고, 본 연구의 최종적인 목적은 고체입자 충돌침식에 의한 감육 발생 형태를 정량적으로 예측하고, 실제 플랜트에 적용이 가능한 평가도구를 구축하는 데에 있다.⁽¹⁾

2. 실험장치

고체입자 충돌침식의 경우는 시편의 재질, 입자 농도, 유속, 충돌각도와 관계한다. 장치의 기본설계는 본 연구의 독창성을 생각하여 특허 출원을 해 놓은 상태이다. 실험장치는 블라스팅 노즐(blasting nozzle)과 웨스코 펌프를 활용하여 구성되었다. 실험 장치의 설계도를 Fig. 1에 나타내었다. 장치를 크게 나누면 노즐부, 시편 제어부 그리고 입자투입부이다. 노즐은 블라스팅 노즐로써 입자투입기로부터 제공되는 고체입자와 펌프로부터 공급되는 물을 혼합하여 분사시키는 형태이다. 시편 제어부는 충돌각도를 조절할 수 있도록 설계 및 제작되었으며, 마지막으로 입자 투입부의 경우에는 스크류를 이용해 입자의 농도에 대한 조절실험이 가능하도록 제작하였다.⁽²⁾

Table 1 According to the velocity of water and particle flux

Velocity [m/s]	Frequency [Hz]	Water flux [g/hour]	Particle flux [g/hour]
8.89	50	644400	43
9.72	50	644400	43
11.26	60	748800	53

3. 실험

본 실험에서 대상이 되는 시편의 재질은 A106B (High carbon steel), SS400(Low carbon steel), A6061(Aluminum)을 선택하여 세 가지 경우로 실험이 진행되며, 유속은 8.89 m/s, 9.72 m/s, 11.26 m/s를 선택하여 세 가지 경우로 실험을 진행하였다. 실험에서의 경우에 따른 물의 유량 및 고체입자의 투입량을 Table 1에서 나타내었다. 투입되는 고체입자의 크기는 250 μm를 선택하였다.

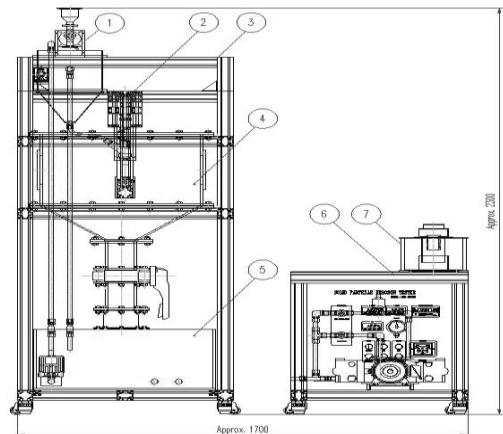


Fig. 1 Sketch of apparatus

4. 실험결과

실험은 시간 경과에 따른 시편 표면 변화와 무게 변화 그리고 경도 변화에 주목하여 진행되었다. 실험에 따른 시편 표면의 변화를 육안으로 확인하기 위한 방법으로 캠코더(cam-corder) 촬영을 수행하였고, 시편 표면의 조직적 변화를 관찰하기 위하여 광학현미경(optical microscope)으로 촬영하였으며, 무게측정은 침식량이 미소하다는 것을 고려하여, 측정범위가 10⁻⁴급인 디지털저울을 이용하여 실시하였고, 또한 비커스 경도계(vickers hardness tester)를 이용하여 실험 후 시편의 경도를 측정하였다.

먼저 표면변화는 유체와 직접적으로 충돌하는 중심부가 가장 많은 침식이 발생하였으며, 중심부 주위에 고체입자 침식의 결과로 보이는 기공이 관찰되었다.

다음으로 무게에 따른 변화는 A6061이 가장 큰 무게 감소량을 보였으며, A106B가 가장 적은 무게 감소량을 나타냈다. 유속에 따른 무게 변화의 관찰 결과에서는 유속과 침식량의 변화가 비례하는 것으로 나타났다.

경도변화에 따른 관찰 결과는 침식이 발생하지 않는 후면의 변화는 변화가 없는 것으로 보아 경도의 변화는 침식으로 변화와 비례한다고 할 수 있다. A6061은 경도 변화가 미비하였으며, A106B, SS400의 순서로 경도 변화가 심한 것으로 나타났다.

Fig. 2 를 참고해 도출해낸 침식률과 유속간의 관계는 다음과 같다. 여기서 ER 은 침식률,

$$A106B : ER = 0.0055V^{3.1389} \quad (1)$$

$$SS400 : ER = 0.0327V^{1.8187} \quad (2)$$

$$A6061 : ER = 0.00004V^{4.2746} \quad (3)$$

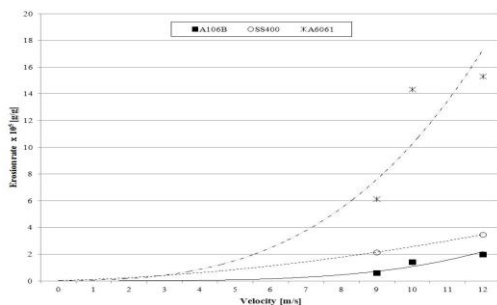


Fig. 2 Erosion rate according to velocity

V는 충돌 속도를 나타낸다.

5. 결론

본 연구에서는 고체입자 충돌침식으로 인한 배관 손상현상에 대하여 융통성이 있는 대책을 마련하기 위하여 예측이론을 개발하고, 이에 따른 예측관리 기술을 확보하는 것에 목적이 있으며 재질, 입자농도 그리고 유속에 따른 침식량 변화를 살펴보고자 하였다.

A106B, SS400, A6061재질에 따른 세 가지 경우와 8.89 m/s, 9.72 m/s, 11.26 m/s의 속도 세 경우에 대한 실험을 통해서 재질에 따른 침식량 변화와 침식률 및 경도변화 등을 확인할 수 있었다. 실험결과를 살펴보면, A6061의 침식이 가장 심했으며, A106B의 침식이 가장 적게 나타났다. 실험은 현재 계속 진행되고 있으며, 계속되는 연구에서는 입자 농도 및 충돌 각도에 따른 고체입자 충돌침식의 상관관계를 통해서 침식률을 도식화할 예정이다. 이를 기반으로 각 인자에 따른 침식률을 확인하고, 이를 통해서 예측식을 제안할 것이다.

예측식의 확보는 원자력 및 화력플랜트의 배관계통에서 최근 나타나고 있는 고체입자 충돌침식으로 인한 손상에 대비할 수 있는 배관의 점검 또는 교체의 시기를 예측할 수 있는 근거가 될 것으로 예상된다. 따라서 본 연구의 결과를 통해서 배관 예측 관리시스템의 구축에 많은 도움이 될 것으로 기대한다.

후기

본 논문은 2011년도 한국연구재단 일반연구 자지원사업(20111508)의 연구비지원에 의하여 연구되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Ilmar Kleis, Priit Kulu, "Solid Particle Erosion; Occurrence, Prediction and Control", Springer, p.14~15, 2008
2. K. H. Kim et al, "Apparatus of testing SPE(Solid Particle Erosion) induced by water and solid particle mixture flow ", Korean Patent , 2011.12.21