

냉·난방 배관재료의 영상처리에 의한 air-arrester의 성능연구

1. 연구배경

일반적으로 냉·난방 배관재료의 부식의 주된 원인은 배관수속에 존재하고 있는 공기(산소)와 배관재료와의 결합에 의한 화학작용으로 인한 산화현상이 가장 큰 원인이다.

따라서 근간의 냉·난방 배관 시스템 설계에서는 이러한 부식의 발생을 억제하기 위하여 밀폐식 배관시스템을 적용하고 있다. 또한, 배관수의 팽창수축을 흡수하기 위하여는 밀폐형 팽창탱크를 사용하여 배관외부로부터 공기의 침입을 차단하여 부식발생을 억제하고 있다. 그러나 배관내부에서 여러 가지 원인에 의하여 발생하는 배관내의 공기를 지속적으로 배관수와 분리, 제거를 하여야만 소기의 부식억제 목적을 달성할 수 있으며, 그 결과 설비 설계 및 시공자의 기술능력이 완벽하게 보장할 수 있다.

일반적으로 배관내의 체류공기의 문제점으로는 다음과 같은 내용이 언급될 수가 있다.

- 펌프 운전의 불안정 : 공기의 혼입에 따라 surging cavitation현상으로 인하여 펌프의 운전이 불안정하게 되며, cavitation부식으로 펌프의 임펠러가 단시간에 손상될 수 있음

- 소음 및 진동의 발생 : 물의 와류 또는 공기의 발해로 water-hammering이나 진동이 발생하고 공기가 차지하는 체적이 증가되어 체적유량의 증가로 유속이 상승되어 유체마찰 소음이 증가됨

- 배관내 부식의 촉진 : 공기중의 산소로 인한 부식의 발생으로 배관 및 부속기기의 수명을 단축시키고 부식생성물의 배관내 퇴적으로 인한 유로단면적의 축소 및 그로 인한 마찰저항 증가로 침식이 발생 한층 더 부식이 촉진됨

- 유량감소로 인한 열교환 능력저하 : 다량의 체류공기가 차지하는 체적만큼 유로가 감소되어

그만큼 유량이 저하됨. 심한 경우 배관수의 순환이 차단되어 유량부족 현상으로 냉·난방장비의 열교환 면적이 줄어 심각한 냉·난방 능력 부족 현상으로 초래 할 수 있음

이렇게 배관에 악 영향을 끼치는 공기는 배관수의 압력 및 온도 여러 가지 요인에 따라 배관속에 존재하게 되는데 배관내에 존재하고 있는 공기의 체류형태는 아래와 같이 세가지의 종류가 있다.

1) 온도가 높고, 압력이 낮아 기포가 크게 발달하거나 유속이 느린 경우 공기가 배관수의 흐름과 분리되어 일정한 장소에 체류한다.

2) 유속이 빠르거나 포화압력이 유지되면 공기는 물에 흡수되거나 물과 분리되지 않고 배관수와 함께 배관내를 순환한다.

3) 배관수 온도가 낮고 압력이 높으면 또한 유속이 극히 빠르면 공기가 물속에 용해되어 물과 분리되지 못하고 물과 함께 배관을 순환하며 육안으로 확인할 수 가 없다.

이렇게 배관에 여러 가지 형태로 체류하고 있는 공기들은 몇 가지의 원인에 따라 배관으로 유입 또는 자연적으로 발생하거나 잔류하게 된다. 이러한 공기침입 및 발생 원인은 다음과 같다.

1) 배관내의 압력분포가 나빠서 대기압 이하의 부분이 발생하고 그 부분에서 배관 이음이나 배관 부속 기기의 이음의 불량시공으로 인한 누적 때문에 공기가 침입한다.

2) 펌프운전중 흡입측의 배관이 대기압 이하로 되는 경우 흡입배관이나 펌프의 축봉 부위의 통

해 공기가 유입된다.

3) 배관계에 초기 배관수 충수시 완전한 공기 빼기가 되지 않은 경우이다.

4) 배관계에서 물을 드레인 시킨 후 보충수 유입시 보충수에 용존된 공기가 배관내에서 기포로 발생한다.

5) 개방형 팽창탱크를 사용할 경우 대기중의 산소가 팽창수조의 물속에 용존되어 배관수의 팽창수축에 따라 배관 전체로 확산하는 확산작용 및 팽창수조의 수면과 보급수의 토출구 사이에서 유입충격으로 공기를 수중으로 유인하는 경우이다.

6) 개방회로 유입구에서 와류를 일으켜 공기를 혼입하는 경우이다.

7) 보일러 화염이 접촉된 고온의 수관벽이나 열교환기 등의 피가열체측의 전열면 등에서 발생하는 초미립자기포가 배관수의 흐름을 타고 이동하는 경우이다.

8) 배관이나 장비 등의 미진동에 의한 미세 기포가 발생한 경우이다.

이러한 공기분리기 및 배출기의 설치효과는

- 배관의 부식이 현저하게 감소하며 공기로 인한 순환장애 현상이 없어짐
- 에어포켓이 예상되는 굴곡부 등에 에어벤트 처리를 하지 않아도 됨
- 기포제거로 인하여 펌프의 최고성능으로 유지시킬 수 있음
- 에어밴드, 팽창탱크의 불탑 등의 유지보수가 용이함

- 배관시스템의 압력을 일정하게 유지시키기 위한 온도의 난방수를 안정적으로 얻을 수 있음

한편 본 과제에서 연구대상으로 하고 있는 JACO AIR ARRESTER 공기분리기의 원리는 물에서 각종 가스들을 완벽하게 제거한다는 것을 기본으로 하고 있으며 독특한 구조와 SUPER SLIT FIN을 이용한 방법은 종래의 개념을 전환시켜 물 배관 계통에 이용한 것으로 알려져 있다.

체적당 높은 표면적을 가진 SLIT FIN은 충돌과 회전, 나선, 좁고 넓은 간극을 통해 순간적인 압력변화가 무작위로 발생되므로 배관수속에 용존되어 있던 공기가 물과 분리되어 각기 다른 방향으로 우회, 굴절되면서 SLIT FIN의 표면에 미세한 기포가 붙게 되고 결국에는 서로 뭉치어 큰 공기 방울을 형성하여 부력으로 인하여 떠올라 공기포집실에 모이게 된다.

공기 포집길에 모여있는 공기는 체적이 크게 설계된 자동공기 배출기(JACO AIR PARK)를 통해 순간적 배출이 이루어지며 기존의 제품들보다 압력손실은 극히 작고 기수분리능력은 강력하다고 알려져 있다.

이와 같은 air-arrester의 구조 및 역할은 다음과 같다.

1) HOUSING

- 닥타일 주철제 하우징에 입상관 상부에 엘보우나 티 등 부속을 사용하지 않고 직접 배관에 연결할 수 있는 획기적인 구조임
- 스트레이트 배관시 하부에는 이물질 제거할 수 있는 드레인밸브 부속이 가능함
- 넓은 공기포집실이 확보됨

2) SUPER SLIT FIN

- Cu나 Al FIN에 특수 코팅처리를 하여 영구히 부식을 방지함
- 물과 공기와의 분리효율을 높여주는 좁은 간격 설계
- 충돌 효과를 높여주는 동(Cu) 재질의 BAR
- 분리된 공기가 서로 뭉치어 큰 기포가 되도록 도와주는(흡착 효과) 특수 파형구조의 FIN

3) 차단밸브(AUTO SHUT OFF VALVE)

- 에어벤트 수리를 위하여 에어벤트 이탈시 별도의 차단밸브 없이도 배관수의 유출을 자동으로 차단하는 획기적인 기능을 제공
- 에어벤트만 설치하는 경우에도 에어벤트와 조합하여 간편하게 사용이 가능함
- 스프링 및 RUBBER SEAL 내장

4) AIR PARK (AUTO AIR VENT)

- 기존의 에어벤트가 가지고 있는 NEEDLE VALVE 구조가 아닌 특수 고무판 구조로 공기 배출능력의 극대화 및 불량률을 극소화함
- 분해가 용이함
- BRASS 재질의 비부식성 자재를 채택함

따라서, 이와 같이 개발된 air-arrester의 성능을 알아보기 위하여 체계적인 실험항목을 설정하여 제안된 장치의 공기제거 효과를 정량적으로 규명하고자 하는 것이 본 과제의 연구배경이다.

2 연구목적

다음과 같이 본 과제의 연구목적을 분류하여 요약한다.

1) 유동속도에 따른 제거효율 및 압력손실 Δp 의 계속

난방용 배관내 순환유체의 속도범위를 0.2 m/s - 1.5 m/s로 가정하여 이 범위에서 몇 단계의 속도를 설정하고 각 이송속도에서 기포제거효율을 알아보는 실험을 행하였다.

또한 이때의 air-arrester 전후의 압력을 측정하여 동반하는 유동압력손실을 측정함으로써 air-arrester의 배치에 따른 배관손실을 추정하고자 하였다.

2) 90도 엘보수형 air-arrester의 제거효율

air-arrester의 배치에 따라 직선형과 90도 엘보 유형으로 나눌 수 있으며 이 과제에서는 보다 제거효율이 좋은 것으로 예상되는 90도 엘보유형을 택하여 이것을 통과하는 기포함유 난방 순환유동에서의 기포제거 효율을 알아보하고자 하였다. 그리고 온도는 상온조건으로서 20°C 및 난방조건으로서 80°C의 두 종류를 택하여 온도차에 따른 성능해석을 검토하고자 하였다.

또한, 기존의 T자형 air-vent형 기포제거기를 동시에 장착하여 개선된 air-arrester와의 제거성능을 비교하고자 하였다.

3) 최적의 핀 간격 및 핀 내부의 통과속도 계속

air-arrester내부의 slit-fin이 기포제거에 중요한 역할을 할 것으로 예상하여 이들 핀의 배치에 따른 기포제거 효율의 차이를 알아보기 위하여 핀 간격 또는 거리등의 설계조건에 따른 내부 유동속도를 정량적으로 알아보하고자 하였다.

또한 이를 위하여 핀모델을 제작하여 최신 속도측정기법인 PIV(입자영상유속계)를 이용하여 순간 및 시간평균 속도벡터를 구하여 구체적인 유동패턴을 규명하고자 하였다.

4) 압력변화에 따른 제거효율(최대압력 범위 : 5kg/cm², 제작기술 및 경비고려)

air-arrester의 배치조건에 따라서 고압배관에 사용될 수도 있으며 이 경우의 제거효율을 알아보기 위하여 최대압력 5kg/cm²에 해당하는 고압 밀폐실험루프를 제작하여 기포제거효율을 알아보기로 하였다. 단, 이 경우에는 고압에 따른 실험장치의 제작상의 문제점 및 이에 대한 경비증가의 면을 고려하여 실제 실험여부를 검토하고자 하였다.

3 연구방법

1) 실험방법

이 과제는 실제 난방시설에 사용되는 기포제거기(air-arrester)를 이용한 실장실험이며 가능하면 실제 운전조건과 유사한 실험환경에서의 실험분위기를 요구하고 있다. 따라서 제반 측정조건이 설정이 매우 어려우며 따라서 신뢰성 있는 데이터의 확보 및 이의 검토에 각별한 주의를 요구하고 있다. 연구방법으로서 영상처리에 의한 기포제거효율 검토를 목적으로 하고 있으며, 특히 최근에 크게 각광을 받고 있는 전유동장 동시속도 측정기법인 PIV(Particle Image Velocimetry, 입자영상유속계)의 측정기술을 충분히 활용하여 지금까지 시도된 바가 없던 고속이동 다수기포의 동시 영상처리기법을 도입하였다.

구림1은 이 과제에서 채택한 실험배치도를 나타내며, 크게, 1) air-arrester의 유동조건을 제공하는 부분, 2) 이를 가시화(visualization)하여 영상을 획득하기 위한 부분, 3) 이렇게 얻어진 영상을 처리하여 기포의 제거효율을 계산하는 post-processing부분으로 나뉘어 진다.

가) air-arrester 유동장 발생

그림1의 1은 air-arrester 및 air-vent가 위치한 부분이며 90도 엘보우형 air-arrester는 하우징을 투명아크릴로 정밀제작하여 내부의 유동패턴을 알아볼 수 있도록 하였다. 그리고 대응하는 90도 air-vent는 기존의 타사제품을 그대로 취부하였다. 2는 디지털 유량계이며 0.4 l/min-35.0 l/min의 측정범위를 갖는 고정도 유량계이다.

이 과제에서는 세종류의 유속에 대하여 실험조건을 설정하였으므로 이에 대응하는 유량으로서 25 mm의 직경관에 대하여 15 l/min(0.51 m/s), 25 l/min(0.85 m/s) 그리고 35 l/min(1.19 m/s)의 세종류의 유량을 선택하였다. 3은 순환펌프를 나타내며 마그네트 펌프의 형식이다. 유량은 펌프 전후의 밸브로서 조절할 수 있으나 이 실험에서는 펌프출구밸브는 완전개방하고 입구밸브를 조절하도록 하였다.

이것은 일반적인 펌프구동방법과 다른 것이나,

본 실험에서는 특히 순환기포의 공급이 매우 실재로 매우 어려운 문제이었으며, 여러 가지의 방법을 시도하여 본 결과, 펌프입구밸브로서 유량을 조정함으로써 밸브내부에서의 캐비테이션 발생을 적극적으로 유도하여 다량의 균일한 기포를 제공할 수가 있었다.

예비실험기간중 많은 시간을 적절한 기포발생 기구의 검토에 할당하였으며, 일반적인 기액이상류(air-liquid two-phase flow)의 실험에서 봉착하는 동일한 문제를 겪었다. 예를 들면, 기포주입구를 펌프입구에 설치하여 기포펌프 또는 공기압축기로서 강제로 외부에서 주입한 경우에는 펌프입구에서 캐비테이션의 발생을 크게 조장하여 원활한 순환유동이 형성되지 못하였으며, 펌프출구에서 강제 주입시킨 경우에는 이 기포들이 서로 결합하여 다양한 형태의 큰 덩어리를 형성한 채로 air-arrester의 유입 계측단면에 들어감으로서 정확한 영상처리가 어렵도록 하였다.

이를 더욱 크게 증가시켜 토출시킴으로서 air-

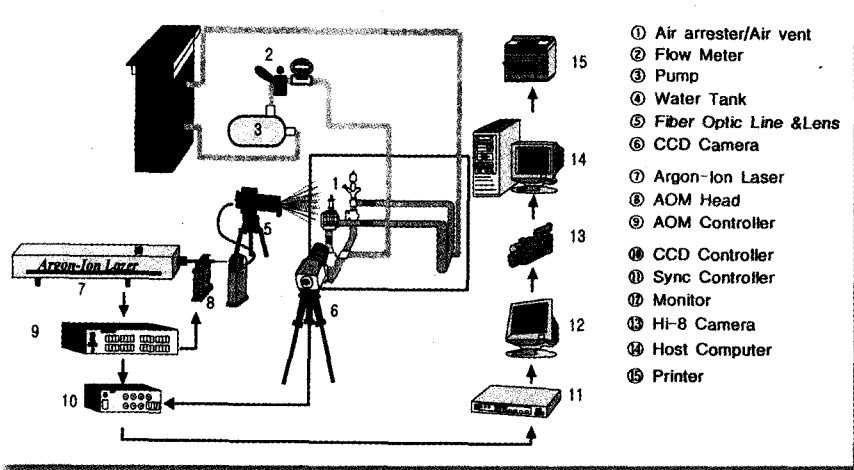


Fig.1 PIV계측 시스템 구성도

arrester의 입구단면에서 전형적인 discrete bubbly flow를 형성할 수가 있었다. 그리고, 기포주입방법을 개선하기 위하여 air-arrester 전후에 장방형 사각주 형태의 계측실을 제작하고 여기에 기포를 시판의 다공성산기관을 통하여 주입하여 보았다. 그러나 방출된 기포가 결합하여 불규칙한 형태로 air-arrester로 진입하였으며, 계측단면에서 독립된 다수의 구형기포를 획득하는데 실패하였다.

4는 수조이며 용량은 약 50 l이다. 이 과제에서는 특히, 80°C의 고온 난방순환유동을 대상으로 하고 있으며, 이를 위하여 3kW의 용량을 갖는 히터 및 thermostat 자동온도 조절장치를 부착한 온수제공 순환수조를 별도로 주문제작하여 사용하였다. 상온에서 80°C까지 가열하는 데는 약 1시간 정도가 소요되었다.

그림 2는 이때의 배관도 및 순환유동의 방향을 나타내고 있다. 1에서 나온 순환유체는 2의 펌프 및 유량계를 거쳐서 3번과 4번의 air-arrester 및 air-vent로 공급된다. 실험에서는 3번의 입

구밸브를 교대로 이용하여 한쪽만으로 흐름이 흐르게 하여 계측을 행하였다.

영상처리를 위한 계측단면은 air-arrester 및 air-vent의 입출구에 있는 투명아크릴 배관이며 사진 1, 사진 2 및 사진 3에서의 입출구부근에서의 검은 부분은 영상입력시 배경을 검게하여 레이저 조명을 받은 기포가 잘 나타나도록 하게 하여 부착한 계측단면에 부착한 비닐테이프를 나타낸다.

사진 4 및 slit-fin내부의 유동장의 속도를 계측하기 위하여 새롭게 제작된 실험루프의 단면을 보이고 있다. 이것은 제작된 slit-fin의 모델을 넣는 개방형 투명아크릴 수조이며 순환유체는 하부에서 유입하여 좌측의 출구로 나가도록 되어 있으며, 그림1에서 사용된 펌프 및 유량계가 그대로 사용되었다. 사진 5는 이때의 투명아크릴 slit-fin 모델을 보이고 있다. 이 모델핀은 매우 정교하게 제작되었으나 어느 정도의 강도를 유지하기 위하여 실제 fin 보다는 두께가 두꺼우며 직선의 형태를 가지고 있다.

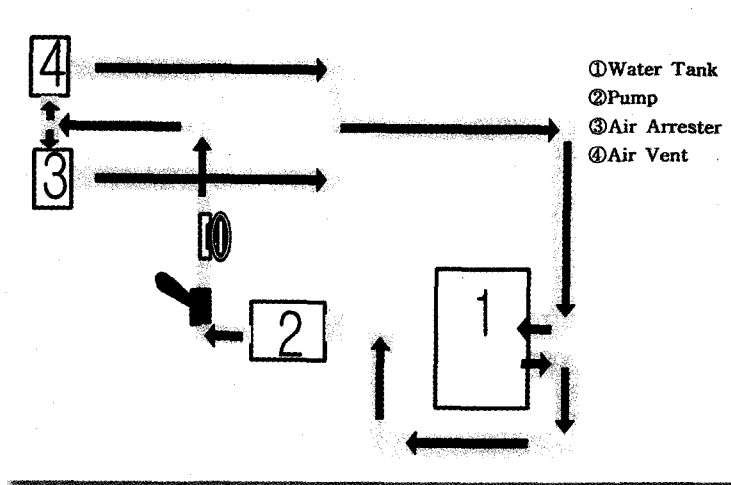


Fig.2 실험장치 배관도