

자동조절 밸브 배관 진동 사례

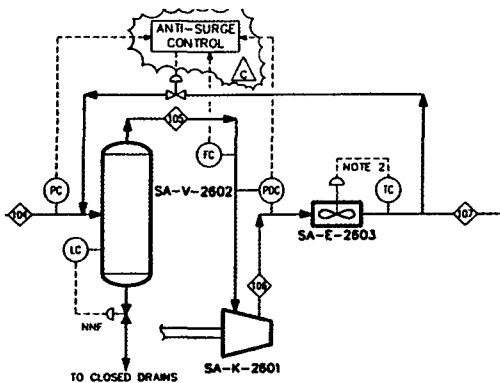


김 두 원

원심 압축기의 서지(surge)를 방지하기 위해서 설치된 서지 방지 자동조절 밸브 배관의 진동 사례를 통하여 배관 진동의 원인과 대책에 대해서 살펴본다.

개요

원심 압축기의 서지를 방지하기 위해서는 흡입배관으로 항상 100%의 유량이 흡입되도록 하여야 한다. 이러한 공정 조건을 만족시키고자 토출배관에서 분지되어 흡입배관으로 연결되는 배관에 서지방지 자동조절 밸브 배관이 설치되어 부족한 흡입량을 토출배관에서 우회시키어 흡입배관으로 공급하는 역할을 한다.



〈그림 1〉 배관 계통도

공장의 정상 운전 상태에서는 흡입 배관으로 100%의 유량이 흡입되어 서지방지 자동조절 밸브는 거의 폐쇄된 상태일 것이나, 시운전 중

에는 0%에서 100%의 유량이 조건에 따라서 흘러갈 수 있는 상태이다.

이러한 서지방지 자동조절 밸브 배관에서 시운전 과정 중에 심각한 소음과 함께 과도한 진동이 발생하였다.

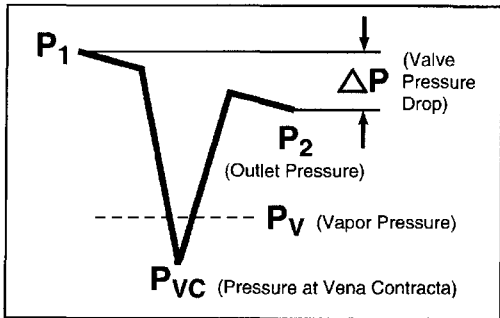
상정 가능 원인

일반적으로 자동조절 밸브 배관에서 발생한 진동의 원인으로는 서지방지 자동조절 밸브 자체에서 발생하는 압력맥동(pressure pulsation), Tee 분지부에서 발생하는 와류현상(vortex shedding), 고속유체에 의한 유동난류(flow turbulence), 부적절한 배관 지지계(piping support system)를 들 수 있다.

서지방지 자동조절 밸브

압력을 감압시키는 자동조절 밸브에서는 압력 조절 과정에서 고압에서 저압으로 압력이 선형적으로 변화되지 않고 압력이 급격히 강해되었다가 반동으로 급격히 상승되었다가 하는 과정을 거쳐서 압력이 조절되게 된다. 이 경우에 발생하는 압력맥동은 중주파수 또는 고주파수의 높은 음향 에너지(acoustic energy)를 갖게 되며 결과적으로 과도한 진동 및 소음을 유발하게 된다.

김 두 원 삼성엔지니어링(주) 배관팀 부장(kimdwon@samsung.co.kr)



〈그림 2〉 자동조절 밸브에서의 압력 변화도

와류현상(Vortex Shedding)

와류의 발생은 유체가 유동 저항체를 향하여 흐를 때 일어나는 현상으로, 저항체(flow restriction)의 표면에 접한 전단력층의 흐름은 저항체에서 멀리 떨어져 흐름의 구속을 받지 않는 유동(free stream)에 접한 가장 바깥쪽의 전단력층 보다 훨씬 느리기 때문에, 전단력층들은 돌돌 말리면서 불연속적인 소용돌이 와류(swirling vortices)를 형성하게 되고 높고 낮은 압력과 즉 압력맥동을 발생시킨다.

이러한 와류의 발생은 특정 주파수역(frequency bands)의 압력맥동을 일으키며, 특성 주파수는 다음의 공식으로 구할 수 있다.

$$F = S V / D$$

여기서, F=와류 주파수(vortex shedding frequency)

S=strouhl number(일반적으로 0.2 ~ 0.5 사이)

V=유속(M/S)

D=관경(M)

유동난류(flow turbulence)

배관 내에서의 유체의 흐름은 여러 형태의 fitting과 component를 거치면서 난류성 흐름을 갖게 되며 진동의 심각한 정도는 배관계의 구

조적 특성과 유량의 많고 적음에 영향을 많이 받는다.

배관 지지계(piping support system)

자동조절 밸브 배관은 상류측과 하류측의 압력차, 자동조절 밸브 자체에서 발생하는 압력맥동과 기타 요인에 의한 진동원을 갖고 있는 배관계이다. 당사에서는 자동조절 밸브 배관에 가능한 한 anchor를 설치하도록 하며, 열응력으로 인하여 문제가 되는 경우에는 최소한 directional stop과 guide를 조합하여 설치하는 것을 설계기준으로 하고 있다.

◆ 분석 결과

서지방지 자동조절 밸브

자동조절 밸브에서 저소음, 저진동을 달성시키는 가장 기본적인 방법은 유로(flow stream)를 여러개로 나누어(multi path) 팽창시키어 음향에너지(acoustic energy)의 발생을 최소화하는 것이며, 공정 조건이 매우 심각한 경우에는 multi path 만으로는 목적하는 수준의 저소음, 저진동을 달성시킬 수 없으므로 여러 단계로 나누어 팽창시키는 것(multi expansion)을 병행하는 것이 일반적이다.

5 개의 자동조절 밸브 중에서 3 개는 감압비가 50 % 이하로 자동조절 밸브 하류측의 유속이 음속(sonic velocity)에 도달하는 매우 심각한 조건이므로 multi-hole double expansion 형식이 사용되었고, 2개는 감압비가 60~70% 정도로 다소 덜 심각한 조건이므로 multi-hole 형식이 사용되었다.

일견 보기에 설계 상의 무리가 없는 것으로 보이나, 일반적인 자동조절 밸브가 정상 운전 조건에서 약간의 여유치를 가진 최소, 최대 조건 범주에서 운전되는 것에 반하여, 서지방지 자동조절 밸브는 원심 압축기가 인입되는 부하에 관계없이 100% 부하로 서지 없이 운전되어

야 하는 조건을 만족시켜 주어야 하므로, 특정한 정상 운전 조건이 없이 0~100% 부하 사이에서 운전되어야 하는 특성을 가지고 있다. 특히 시운전 시에는 운전 조건이 불안정하므로 더욱 심각하다 하겠다.

자동조절 밸브는 자신의 특성에 맞는 성능곡선을 갖고 있어서, 최적의 성능을 발휘하는 영역이 있으며, 다른 영역에서는 성능이 떨어지는 현상을 갖고 있다. 압축기 제작자가 기준한 유량 조건에서는 별다른 무리가 없을 수 있으나, 다른 유량 조건에서는 예상과 전혀 다른 결과를 얻을 수도 있다.

공정 조건이 매우 심각하여 multi-hole double expansion 형식이 사용된 3개의 자동조절 밸브 배관은 진동 및 소음이 상대적으로 적으나, multi-hole 형식이 사용된 2개의 자동조절 밸브 배관은 공정 조건이 덜 심각한대도 실제 발생하는 진동 및 소음은 상대적으로 더 크다. 특히 50% 정도의 유량이 흘러가는 상태에서 115dBA의 소음이 발생되며 최고의 진동레벨을 나타내고 있다.

따라서 압축기 제작자가 서지방지 자동조절 밸브의 공정적 특성을 충분히 이해하지 못하여 부적절한 형식의 자동조절 밸브를 선정한 것으로 판단되며, 이로 인한 압력맥동이 적정 수준을 초과하여 자동조절 밸브 배관에서 심각한 수준의 진동을 발생시킨 주요 원인으로 작용하고 있다.

와류현상(vortex shedding)

배관계에서 발생하는 와류는 특정 주파수역의 압력맥동을 일으키며, 와류에 의한 맥동주파수가 배관의 기계적 고유진동수나 음향 주파수와 일치하는 경우에는 배관계에 심각한 진동을 일으킨다.

자동조절 밸브 배관에서 Tee 부위를 통과하는 가스의 유속이 40M/S, 배관경이 6"이며, strouhl number가 0.2~0.5 범주에 있으므로 특성

주파수는 50~130 Hz 범주에 놓이게 된다. 일반적으로 배관계의 기계적 고유진동수는 0~30 Hz 범주에 있으며, 음향주파수 보다 훨씬 낮은 범주에 있으므로 공진 발생 가능성은 없다.

유동난류(flow turbulence)

유동난류는 어느 특정 가진 주파수로 정의할 수 없으며 0에서 30 Hz에 이르는 광역 주파수 특성을 가지고 있다. 따라서 대부분의 배관계의 고유 진동수가 0~30 Hz 범주에 있으므로 모든 배관이 유동난류로 인한 진동을 격을 수 있는 가능성은 있지만, 현재의 진동 양상은 배관 고유진동수와 일치하여 공진이 일어나는 경우가 아니므로, 유동난류에 의한 배관 진동은 문제 될 만한 수준이 되지 못한다.

배관 지지계(piping support system)

BOP EL.600 으로 설치된 자동조절 밸브 배관을 지지하기 위하여, 미리 제작된 콘크리트 기초를 매설하여 배관을 지지하였으나 침하현상이 발생하여 콘크리트 기초에 배관 지지물이 들떠 있거나 선접촉 상태로 지지되어 진동을 방지 또는 저감하는 배관 지지물로서의 기능을 상실하였다.

또한 당사의 설계 기준을 준수하지 않음으로 인하여(anchor 설치, 최소한 directional stop 및 guide 설치) 진동에 매우 취약한 기계적 특성을 갖게 되었다.

◆ 대책

서지방지 자동조절 밸브

공장의 운전 부하에 따라서는 50%의 유량 조건에서도 장기간 운전될 수 있으므로, 115 dBA의 소음도는 85 dBA의 기준치를 초과하므로 소음제어 측면에서도 문제가 된다. 또한 과도한 진동원은 저감시키는 것이 진동 제어의 기본이므로 자동조절 밸브의 형식을 multi-hole

형식에서 multi-hole double expansion 형식으로 변경한다.

와류현상(vortex shedding)

일반적으로 Tee 부위에서 발생하는 와류현상으로 인하여 과도한 진동이나 소음이 유발되지는 않으나 압력이 100kg/cm 정도의 고압배관에서는 자동조절 밸브의 하류측에서의 유동이 정온하게 유지될 수 있도록 배관의 직선 구간을 충분히 보유시킨 후에 Tee를 연결하는 형태로 배관을 구성하는 것이 가장 바람직하겠다.

유동난류(flow turbulence)

유동난류에 의한 영향은 무시할 만한 수준이며 특별한 조치는 필요하지 않다.

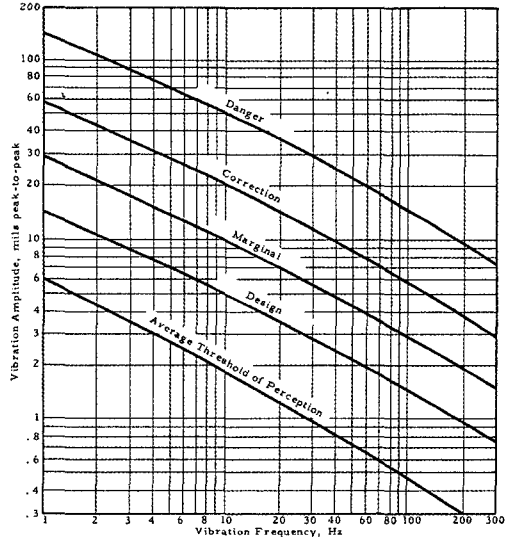
배관 지지계(piping support system)

공진 영역으로부터 배관의 고유진동수를 멀리 이격 시켜서 진동을 저감시키는 방법을 택하여, 당사의 설계 기준과 같이 자동조절 밸브 배관에 directional stop 및 guide support를 추가 설치한다.

또한 미리 제작된 매설 콘크리트 기초가 기능을 회복하도록 shim plate를 삽입한다. 지반과의 고착성을 높이기 위하여 자동조절 밸브 배관의 상류 측에 콘크리트를 타설하여 지반에 의한 감쇄효과를 높이는 방법도 병행한다.

진동 측정 및 평가

자동조절 밸브의 형식을 multi-hole 형식에서 multi-hole double expansion 형식으로 변경하는 것은 장기간의 납기를 필요로 하므로, 배관 형태를 재구성하여 Tee 부위의 위치를 변경하는 것은 기대 효과에 비하여 대규모의 재시공 및 재시험을 필요로 하며 또한 공장의 시운전 일정상 불가능하므로, 배관 지지계에 대한 수정 작업을 하고 진동레벨을 측정하였다.



〈그림 3〉 Wachel Chart

평가 기준으로는 세계적으로 널리 사용되는 wachel chart를 이용하였으며, correction 작업이 필요한 진동레벨을 허용 기준으로 사용하였다.

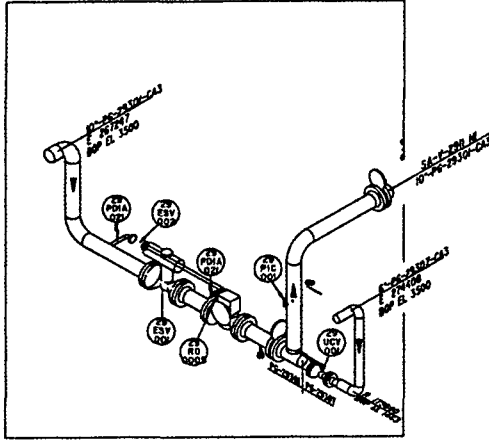
측정

2000년 5월 8일 rion vibration analyzer VA-10을 사용하여 5개의 서지 방지 자동조절 밸브 배관 각각에 대하여 지면의 수평배관 부위에서 4개소와 수직배관 부위에서 지면으로부터 2m 높이에서 2개소를 측정하였다.

multi-hole double expansion 형식의 자동조절 밸브가 사용된 3개의 배관에서는 2~10Hz의 저주파 진동이 측정되었고, multi-hole 형식의 자동조절 밸브가 사용된 2개의 배관에서는 30Hz 범주의 비교적 고주파 진동이 측정되었다.

평가 결과

공정조건이 매우 심각하여 multi-hole double expansion 형식이 사용된 3개의 자동조절 밸브 배관은 최대 진동레벨이 41%로 나타나며, multi-hole 형식이 사용된 2개의 자동조절 밸브



〈그림 4〉 서지방지 자동조절 밸브 배관

배관은 공정조건이 덜 심각한 대도 실제 발생하는 최대 진동레벨은 69%로 상대적으로 더 크다.

현재의 진동레벨은 허용치에 대비하여 충분히 안전한 수준으로 나타나며 공장이 정상 운전 상태로 돌입하면 더 낮은 수준으로 떨어질 것으로 판단되므로 추가적인 조치는 취하지 않는 것으로 한다.

◆ 결론

배관 지지계에 대한 수정 작업만으로 배관 진동레벨은 안전한 수준으로 낮추어졌으나 자

동조절 밸브에서 발생하는 압력맥동은 주요 진동원으로 남아 있으며, 50%의 부하로 공장을 장기간 운전하는 경우에는 115 dBA의 소음으로 인한 청력 손실도 우려된다.

따라서 장기적으로 보다 정온한 공장의 운전을 위해서는 압력맥동을 저감 시키기 위한 자동조절 밸브의 형식 변경과 와류현상을 완화시킬 수 있는 Tee 부위의 위치 변경이 대책에서와 같이 권고된다.

재발을 방지하기 위한 업무절차 개선으로는 다음과 같은 사항이 필요하다.

원심 압축기에 설치되는 서지방지 자동조절 밸브의 설계 검토 시에 특정 운전 조건에서만 아니라 0~100% 사이의 모든 운전 조건에서 정온한 운전이 보장되는 저소음, 저진동 자동조절 밸브가 선정되어야 한다.

와류현상에 의한 진동을 제어하기 위해서는 공정 조건에 따라서 자동조절 밸브의 형태 및 인입배관에 연결하는 방법에 대한 특별한 요구 사항이 공정 계통도(P&Id)에 표기되어야 한다.

미리 제작된 콘크리트를 매설하여 배관 지지를 위한 기초로 사용하는 것은 피해야 하며, 현장 여건상 불가피한 경우에는 최소한 바닥에 버림(Lean) 콘크리트를 타설하여 미리 제작된 콘크리트 기초가 지반에 견고히 부착되도록 하여야 한다. ☹