와류유량계(Vortex & Swirl)의 원리와 응용

Vortex Flow meter

와류유량계(Vortex & Swirl)는 산업용 유량측정 기술에 있어서 확고하게 중요한 위치를 차지하고 있다. 본고에서는 와류유량계의 일종인 Vortex와 Swirl 유량계의 원리를 비교하고 그 차이점을 알아봄으로서 와류유량계의 응용 및 설치조건 등에 관해 이해를 돕고자 한다.

와류유량계는 STEAM, GAS 및 상대적으로 낮은 점도를 갖는 유체들의 유량측정을 위한 범용 유량계로서 최근에 주목받고 있으며, 이전에 차압식 유량계(ORIFICE)를 이용하여 유량을 측정하던 많은 측정위치에 이 와류유량계가 대체되어 사용되고 있는 경향이다.

(1) 와류 유량계의 대표적인 장점들은 아래와 같다.

① 기계적인 가동부가 필요없다.
② 견고하고 간단한 구조.
③ 높은 정확도(1% of rate)와 재현성(0.2% of rate)
④ 광범위한 측정 유체의 범위가 넓다.
- STEAM, GAS, LIQUIDS.
⑤ 압력, 온도, 밀도 및 점도 등으로부터의 영향이 적다.
⑥ 압력손실이 작다.
⑦ 측정 유량범위가 넓다(1:10 or 1:40)
⑧ 유지 및 보수와 관련된 비용이 적다.
⑨ 유량계의 설치 및 시운전이 쉽다.

Vortex 유량계의 측정 원리

Vortex 유량계의 동작은 Karman 원리(Karman Vortex Street)에 기초를 두고 있다. 이 원리는 유명한 물리학자인 Theodor von Karman의 이름에서 유래하였으며, 그는 금세기 초에 소용돌이 흐름(vortex street)의 발생 및 형성에 대한 연구를 시작하였던 인물이다.

소용돌이들은 유체의 흐름에 직각으로 위치하는 SHEDDER(소용돌이 발생체)로부터 발생된다.

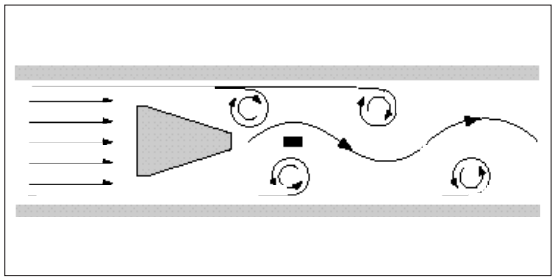

그림 1. Karman Vortex Street

소용돌이 주파수 (f)는 유체의 유속 (v)에 비례하고 shedder의 폭 (d)에 반비례한다.

$$f = v/d \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

Shedder의 기하학적 형상과 유속의 관계는 비례상수 St에 의하여 다음과 같이 정의된다.

$$f = St.\ D/v \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

비례상수 St.는 무차원상수로 와류 유량측정의 성능을 결정하는데 있어서 중요한 역할을 한다.

그림 1에서 알 수 있듯이 SHEDDER가 적절하게 설계되었을 경우 St.는 광범위한 Re.수들의 범위 안에서 일정한 값을 갖는다.

$$Re. = v \times D/v \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

v = kinematic viscosity

D = meter inside diameter

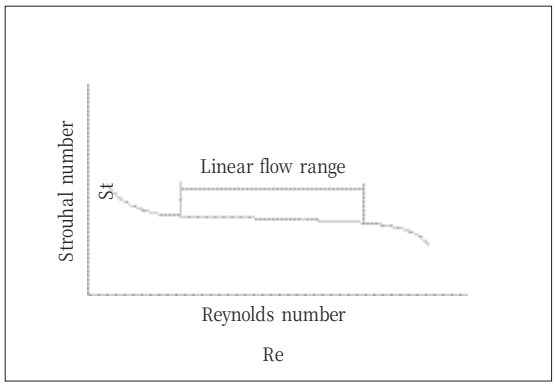

그림 2. Strouhal no. versus Reynolds no.

상기에서 알 수 있듯이 St.수는 단순히 유속에만 영향을 받는 유속의 함수로 표시할 수 있으며 측정유체의 점도나 밀도로부터 영향을 받지 않는다. 즉, 소용돌이 발생 주파수는 유속과 비례관계가 성립한다.

SHEDDER로부터 와류가 분리되는 주기(주파수)와 주파수 변화의 검출방법은 각 제작사 고유의 SHEDDER 형상 및 그 크기에 따라 다르다.

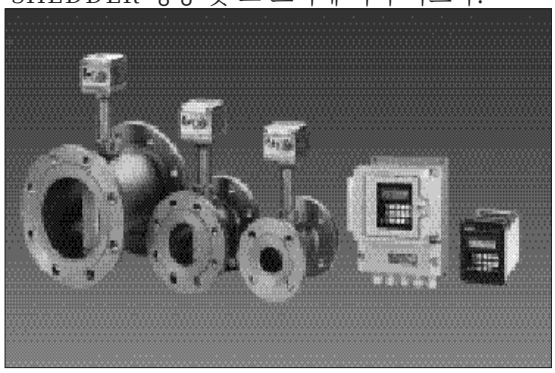

그림 3. VORTEX - V FLOWMETERS

그림 3의 ABB F&P에서 생산되는 Vortex 유량계에 사용되는 와류 발생체의 형상은 역삼각형(Delta Shaped Shedder) 모양으로 측정관(Body)에 완전히 용접되도록 설계되어 있으며, Shedder로부터 발생되는 와류의 주파수는 Shedder의 후단에 설치된 Piezo-sensor에 의해 검출되며 전기적인 Signal로 변환된다.

이 Piezi-sensor는 유체의 흐름으로부터 간섭을 받지 않도록(유체에 비 접촉) 설치되어 있어 측정유체의 온도에 대한 내구성이 우수하다. 또한 STEAM의 유량측정에서 자주 나타나는 WATER HAMMER와 같은 기계적인 충격에 영향을 거의 받지 않는다.

Signal을 Sensor로 전송하는데 있어서 작은 홈이나 틈새가 필요 없음으로 융착유체로부터의 퇴적물로 인한 Signal 발생에 전혀 영향을 주지 않는다.

그럼으로 Polyurethane(210 'C)과 같은 Critical Fluid의 유량측정에서 주기적인 유량계의 세정은 필요치 않다. 사실상 고형물질을 함유한 유체나 응축된 STEAM은 측정에 영향을 미치지 않는다.

Liquid Metering

Vortex 유량계는 측정원리에 있어서 물리적인 요인으로 인하여 단지 저 점도의 유체(Low Viscosity Liquids)만이 측정 가능하다. Vortex 유량계는 동적인 유량계이다. 즉, 최소유속이나 더욱 엄격한 최소 Re.수가 요구되며 점도의 증가와 함께 Re.수는 감소된다. 10 mm^2/s(cSt)이상의 동점도를 갖는 유체의 유량 측정은 불가능하다. 선형성과 이로인한 정밀한 측정은 Re. 20,000에서 7,000,000의 범위내에서 가능하며 Re. 20,000 이하 5,000의 범위에서의 유량측정의 정도는 최소를 나타낸다. 또한 Re. 5000 이하의 유체는 유량측정에 대한 재현성 및 신뢰성을 확보할 수 없다.

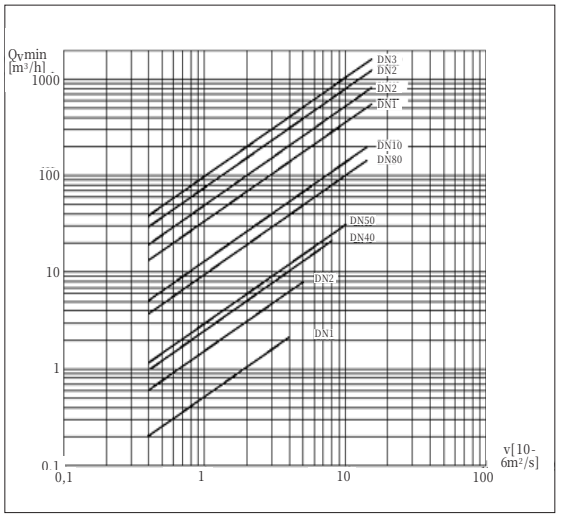

그림 4. Minimum liquid flow rates versus kinematic viscosity

유량측정에 있어서 최대유량은 유속에 제한을 받으며 이는 약 9 m/sec의 유속이다. 이보다 빠른 유속을 갖는 유체의 유량을 측정할 경우 Cavitation 현상이 시작하며 이는 와류의 형성에 영향을 미치게 된다. 이 Cavitation 현상을 방지하기 위해서는 유량계의 하류에 Static Overpressure가 요구되며 이는 다음의 공식으로 예측할 수 있다.

P2 >= 1.3 x Pvapor + 2.6 x Δp '

P2 = Downstream static positive pressure [mbar]

Pvapor = Liquid vapor pressure at operating temperature [mbar]

Δp ' = Pressure drop, operating liquid [mbar]

Gas and Steam Metering

Gas 또는 Steam의 유량 측정에 있어서 Viscosity는 Liquid에서의 그것과는 달리 2차적인 역할만을 담당한다. Gas나 Steam의 유량 측정에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 유체의 밀도(Density)다. Gas나 Steam과 같이 높은 밀도를 갖는 유체는 Piezo Sensor에 강한 신호를 줄 수 있고 이로 인하여 Liquid에 비하여 작은 유량의 측정도 가능하다.

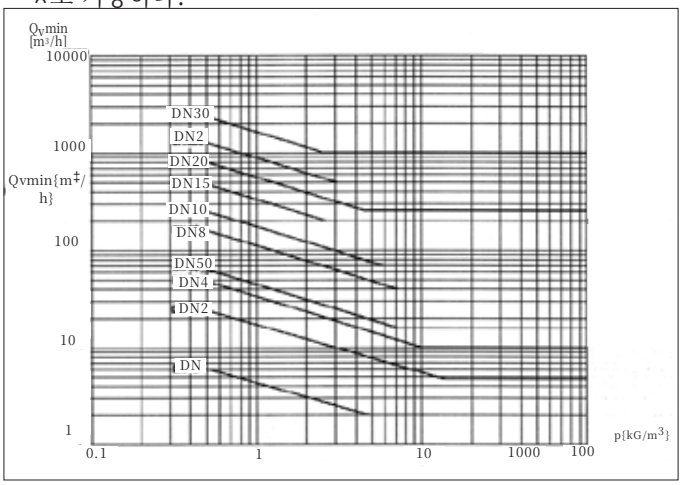

그림 5. Minimum Floe\w Rate, Gases/Superheated Steam versus Medium Density, DIN

Gas/Steam는 유량측정에 있어서 유체의 온도나 압력의 변화로부터 민감한 반응을 보임으로 필요에 따라서는 별도의 Flow Computer나 특정한 기능을 갖는 변환기에 의하여 온압보정을 하여야 한다. 이

러한 온압보정의 기능은 운전조건의 온도나 압력에서의 체적유량을 Normal Unit(1.013 bar, 0C) 상태의 유량으로 변환할 수 있음을 나타내며, 이와 비슷한 관점에서 Steam의 경우 측정한 체적유량을 질량유량으로 변환할 수 있다.

ABB에서 생산되는 50VM1000 변환기의 경우 별도의 Flow Computer가 필요없이 변환기만으로 이러한 온압보정이 가능하다. 부수적으로 필요한 압력 및 온도 신호는 변환기에서 직접 수신하여 이 기능을 수행하며 압력/온도 전송기를 위한 별도의 전력은 필요치 않다.

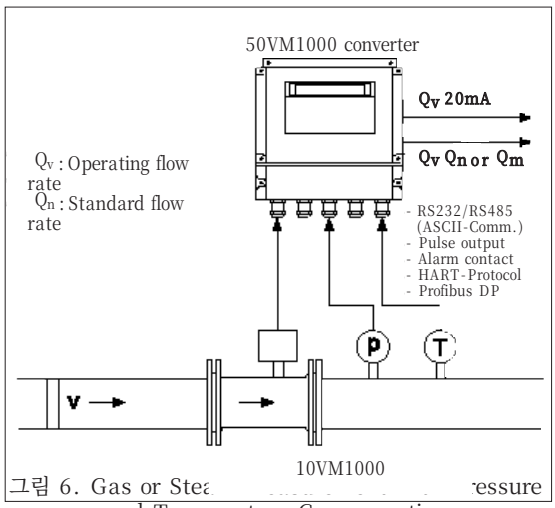

그림 6. Gas or Stea essure and Temperature Compensation

Selection

유량계를 선정하는데 있어서 가장 먼저 중요하게 고려되어야할 사항은 물론 어떤 유량계를 사용할 것인가를 결정하는데 있을 것이다.

그러나 이에 못지 않게 경제적인 측면에서 그리고 정확한 유량의 측정이라는 점에서 중요하게 검토되어야 할 사항은 바로 유량계의 크기 선정이다.

유량계의 크기를 결정하는데 있어 가장 먼저 고려하여야할 변수는 역시 운전조건 하에서 예상되는 최대유량 값이라 할 수 있다.

즉, 운전 조건하의 최대 유량은 정확하고 적절한 유량계의 크기(SIZE)를 결정하는데 있어서 가장 필수적이고도 중요한 변수 값으로 우선적으로 검토되어져야할 PROCESS의 조건이다.

최대유량에 대한 검토 다음으로 고려되어야할 것은 유량의 측정으로 인한 압력 손실(PRESSURE LOSS)이다. 만약 예상되는 압력손실이 공정에서 허용되는 압력손실보다 크다고 판단될 경우 압력손실을 줄이기 위하여 다음 단계의 유량계로 검토가 이어져야만 한다.

만약 유량 측정의 조건이 특정한 조건(NORMAL CONDITION : 1.013 bar, 0℃)이나 질량유량의 단위로 선정되었다면 유량계의 크기 선정시 운전조건 기준의 체적유량 단위에서의 검토가 이루어져야만 한다. 또한 유량계의 크기가 선정된 후 마지막으로 검토하여야 할 사항은 선정된 크기의 유량계가 측정할 수 있는 최소 유량의 범위가 검토되어야 한다.

일반적으로 유량계 제조업체에서는 유량계의 크기를 선정할 수 있는 유량계 SIZE 검토용 PROGRAM을 보유하고 있음으로 필요시 이러한 DATA를 요청하여 PROCESS의 여러 가지 조건을 종합적으로 검토하여 적절한 유량계의 크기를 선정하는 것이 바람직하다.

Installation Requirements

Vortex 유량계는 다양한 현장 배관 조건에도 불구하고 어떠한 조건 하에서도 유량의 측정이 가능하지만 정확하고 안정된 유량의 측정을 위해서는 최소한 다음의 사항은 검토되어야 한다.

(1) 유량계 전, 후단의 직관거리

유량계로부터 정확하고 재현성이 좋은 SIGNAL을 확보하기 위해서는 안정적인 유속의 흐름을 갖도록 하는 것이 필요하다.

이러한 안정적인 유속의 흐름을 갖는 유체의 흐

름을 만들기 위해서는 유량계의 전단 및 후단에 적절한 직관거리의 확보가 필수적이며, 이러한 직관거리는 각 생산업체에 따라 다소 상이하기는 하나 일반적으로 요구되는 최소한의 요구사항은 다음 그림과 같다.

(2) 유량계의 내경

유량의 안정적인 흐름을 확보하기 위해서는 유량계 전, 후단의 직관거리 뿐만 아니라 유량계의 내경 및 배관의 내경이 또한 검토되어져야 한다. 즉, 배관의 내경과 유량계의 내경은 일치하여야 한다.

이들의 불일치로 인한 EDGE로부터 발생되는 유량의 불안전한 흐름을 방해하는 요인을 제거하여야 하며, 이러한 EDGE와 같은 불안정한 유량을 야기하는 요인들은 유량 측정에 있어서 오차의 원인이 되기도 한다. 만약 DIN, JIS 또는 ANSI 플랜지를 사용하는 경우 ABB에서는 플랜지의 사양(DIMENSION)뿐만 아니라 각각의 규격에 따른 배관의 내경을 함께 검토함으로써 이러한 오차의 원인을 계기의 선정단계에서부터 제거하고 있다.

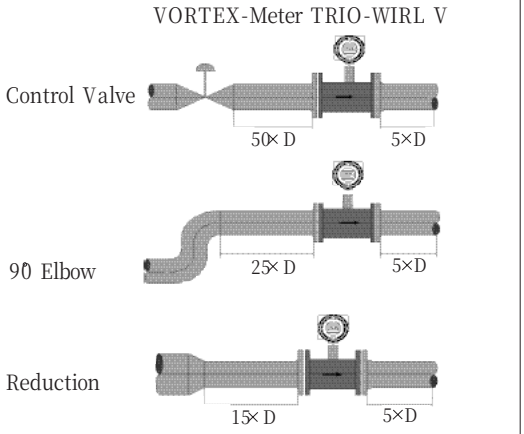

그림 7. Inlet and Outlet Straight Pipe Section

상기에서 언급한 것 이외에 고려되어야할 사항들은 유량계 전단에 설치되는 PISTON 펌프나 압축기 등에 의한 맥동현상이다. 이러한 맥동은 배관에 적절한 맥동 방지를 위한 기기(DAMPING DEVICE)를 설치함으로서 완화될 수 있다.

또한 유체의 경우 배관의 만관(COMPLETE FILLED)은 필수적인 사항으로 유량계가 만관의 상태에서 동작할 수 있는 설치위치를 선정하는 것 또한 중요한 사항이다.

Converter

Vortex 유량계 변환기의 구성을 살펴보면 다음과 같다.

소용돌이 검출소자(PRIMARY ELEMENT)에서 검출하여 변환기로 보내는 신호에 부합되어 있는 NOISE 제거회로와 이 신호를 증폭하는 증폭기, 그리고 이 신호를 펄스(SQUARE WAVE PULSE)로 변환하는 변환기와 같이 크게 3가지의 구성요소로 되어 있다.

변환기에서는 검출소자에서 발생하는 신호(SENSOR SIGNAL)를 유량계의 설계과정에서 교정된 소용돌이 검출소자의 고유한 계기상수에 의하여 보상되어 유량에 비례하는 신호들로(ANALOGUE & PULSE) 변환되어진다.

이러한 변환은 ANALOG 또는 MICROPROCESSOR 방식의 CONVERTER에 의하여 변환되며 대부분의 변환기들은 2-WIRE 방식을 적용함으로서 유량계의 설치에 따른 비용을 줄일 수 있다.

SWIRL 유량계

Vortex 유량계와 유사한 상관 관계를 갖는 유량계의 하나로 SWIRL 유량계를 들 수 있다. 이 유량계는 측정원리에서 Vortex 유량계와 동일하다고 할 수 있으나 유량계의 구성에 있어서 다소 다른 형식을 적용함으로서 그 특성 및 응용에 있어서 Vortex 유량계와 구분하고 있으며 SWIRL 유량계

의 사용에 따른 장점들은 다음과 같다.

① 높은 정확도(0.5% of rate)
② 유체의 흐름형상으로부터 독립
③ 광범위한 유량 범위
④ 고점도 유체의 유량 측정 (up to 70 mPas)
⑤ 저유량의 측정 (유량계의 Size에 비하여)

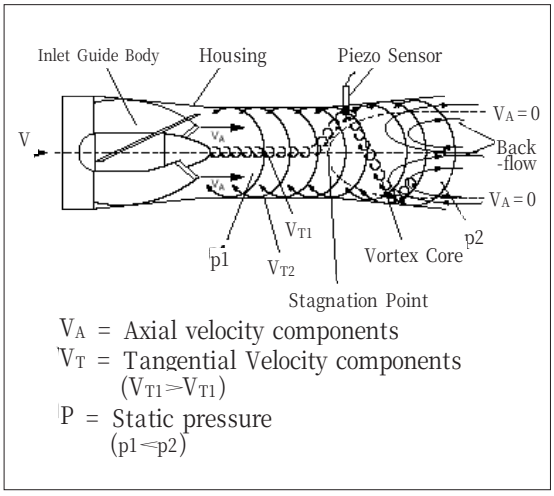

그림 8. Principle of OperationSwirl

유량계는 유량계의 입구에 축이 고정된 TURBINE 형태의 GUIDE BODY가 있다. 이 GUIDE BODY는 유체의 흐름 형태를 축 방향의 흐름에서 회전 형태의 유체흐름으로 변환시키는 역할을 한다.

이러한 유체 흐름의 변화로부터 발생하는 역류 현상은 회전하는 유체의 중심에 2차적인 와류(VORTEX CORE)를 형성하게 되고 이 2차 와류현상은 일정한 타원의 형태로 유량계를 지나게 된다. 유량계의 구조가 이상적인 형태를 가질 경우 2차 와류의 주파수는 광범위한 범위의 유량에 있어서 선형적으로 유량에 비례하게 되며 이 원리를 이용하여 유량을 측정하게 된다. 2차 와류의 주파수는 Vortex 유량계와 마찬가지로 PIEZO SENSOR에 의하여 검출하게 된다.

Swirl 유량계의 가장 큰 장점은 와류를 생성하는 고유의 특수한 형태에서 기인된다. 즉, 유량계와 일체형으로 구성되는 GUIDE BODY에서 고유의 유체흐름을 생성하는 이유로 인하여 유량계의 전단 직관의 길이가 유량계의 정도에 영향을 주지 못한다.

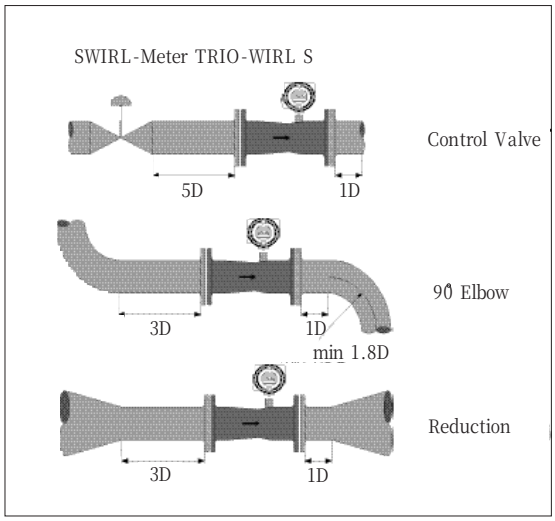

그림 9. Inlet and Outlet Straight Pipe Section

이러한 관점에서 대다수의 유량계가 상당히 긴 직관거리를 필요로 하지만 SWIRL 유량계는 그림 9에서 보듯이 상대적으로 짧은 직관거리가 요구된다.

SWIRL 유량계를 사용하는데 있어서 다만 주의하여야할 사항은 유체의 역류를 이용하는데서 기인하며 2차 와류형성에 영향을 미치는 유량계 후단에서의 배관을 크게 줄이지 못한다는 것이다.

Swirl 유량계의 사용은 직관부 확보에 어려움을 겪는 조건에 적합하며, Vortex 유량계에 비하여 다소 유량계의 비용이 비싸지만 이러한 비용의 추가는 배관을 새로하여야 하는 등의 비용은 충분히 보상받을 수 있어 상대적으로 경제적이다.

문의 (061)685- 1225