

超音波를 이용한 流速測定

劉 永 鉦*

UT Flow Measurement

Young Ok You

1. 개 론

일반산업배관계통의 유속측정에 널리 사용되고 있는 여러장치중 초음파를 이용한 유속측정 방법은 가능한한 짧은 시간에 정확한 측정($\pm 5\%$)이 요구되는 원자력 배관계통을 위하여 개발되었다. 초음파를 이용한 유속측정은 계통이 운전되는 동안 설계된대로 유속이 유지되고 있는지를 감시하는데 그 목적이 있으며 또한 이러한 측정방법은 High Erosion 혹은 Corrosion Rate, 이물질의 가능성, 파이프 내에서의 불균일한 흐름, 누설이 의심될 때 역으로 흐르는지, 흐름이 정지되었는지, Cavitation or Water Hammer threshold와 같은 특수한 문제들을 해결하는데 이용된다. Flow Rate는 Manometer, Annubar와 precision orifice와 같은 Pressure Drop Sensing Device를 사용하여 $\pm 2\%$ 의 정확도로 측정될어질 수 있으나 이러한 장치의 설치하는 가끔 배관의 관통 또는 계통의 운전정지를 요구할 수 있으며 그에 따르는 계통이 보유해야할 압력의 Requalification을 요구할 수 있다. 이들 장치는 일반적으로 매년 재교정 하여야 하고 $\pm 2\%$ 이상 정확도를 유지해야 하는데 Flow Disturbing, 파이프 fitting 류로 부터의 거리, 유체의 청정도, 온도, 압력의 제한된 조건에서만 유효하다. 초음파를 이용한 유속측정 방법의 장점은 파이프벽을 관통하지 않고 단지 파이프의 외표면에 탐촉자를 위치함으로써 측정이 가능하며 다양한 재질의 배관 및 보유 운반 유체의 속도측정에 적용할 수 있다.

2. 측정 원리

초음파 유속측정의 기본원리는 알고있는 거리를 초음파가 진행하는 동안 걸리는 시간을 이용, 유속을 측정하게 되는데, 흐름이 정지된 상태와 진행되는 상태를 비교해 보면 유체 흐름의 역방향으로 초음파가 진행할 때는 초음파 속도는 감소하고 주어진 거리를 진행하는데 걸리는 시간은 증가하게 된다. 이것은 물이 흐르는 방향에 대해 보트가 강을 역으로 거슬러 올라가는 원리와 유사하며 따라서, 보트가 가려고하는 장소에 도달하기 위해서는 장시간이 걸리게 된다. 유체 흐름 방향으로 초음파가 진행할 때는 초음파의 속도는 증가하고 같은 거리를 진행하는데 걸리는 시간은 감소한다. 이것은 보트가 물이 흐르는 방향으로 노를 저어가는 것과 유사하며 이때 가려고 하는 장소에 도달하기 위해서는 짧은 시간이 걸린다. 이들 시간의 차가 유체의 속도를 결정하는데 이용되며, 파이프 단면을 통하여 흐르는 유속 측정의 값이 Fluid Flow Volumn Rate를 산출하는 필수 전제조건이 된다. 실제로, 파이프벽의 물리적 관통이 없이 유체 흐름의 방향에 직접적으로 초음파를 입사 시키기란 불가능하다. 그러므로 초음파는 유체 흐름의 방향에 각도를 가지고 입사하게 된다.

Fig. 1은 유속 측정에 사용될 탐촉자와 초음파 빔 행로의 대표적인 예를 보여주고 있다. 탐촉자는 파이프의 같은 방향에 부착되어 있고 초음파는 유체를 여러번 가로지름으로써 Time Distance와 유속 측정의 정확성을 증대시킨다.

*韓國電力技術(株) 品質保證部
接受: 1987年 9月 25日

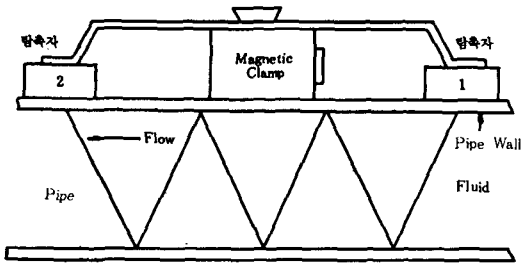


Fig. 1.

유속측정에 대해 초음파 System 을 적용하기 위해서 우선 이 과정을 규정하는 수학적 공식을 유도할 필요가 있다.

가. 시간

Fig. 2 는 유속측정에 따르는 초음파 빔 전달 행로의 예를 들었다. 흐름이 정지된 상태에서 탐촉자 1 을 떠난 초음파는 음향속도 V_w 를 가지고 플라스틱 Wedge 내의 거리 W 를 진행한다. 이 때 걸리는 시간은 $T_w = W/V_w$ 이다. 초음파 음향속도 V_p 로 파이프 벽 거리 P 를 진행할 때 걸리는 시간은 $T_p = P/V_p$ 이다. 초음파 음향속도 V_f 로 유체를 통한 거리 f 를 진행할 때 걸리는 시간은 $T_f = f/V_f$ 이다. 초음파는 그 때 파이프 내표면에서 유체를 향하여 각도를 가지고 입사하고 반사되며 다시 유체를 통한 거리 f 와 파이프 벽을 통한 거리 P 와 플라스틱 Wedge 를 통한 거리 W 를 진행하고 탐촉자에 도달한다. 이와같이 하여, 유체의 흐름이 정지된 상태에서 탐촉자 1 을 떠나 탐촉자 2 에 도달하기 까지 총 걸리는 시간 T_o 는 다음과 같이 주어진다.

$$T_o = 2 (T_w + T_p + T_f)$$

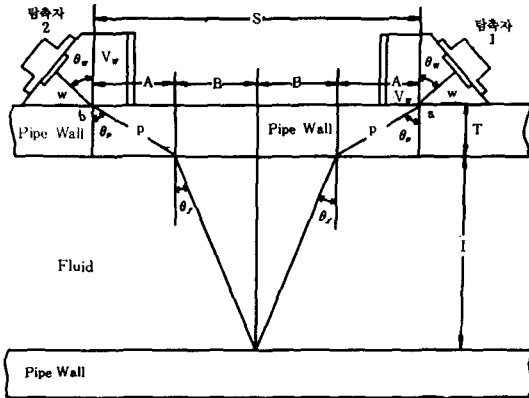


Fig. 2.

나. 거리

Fig. 2로부터 분리된 탐촉자간의 거리 $S = A+B+B+A = 2(A+B)$, $A =$ 파이프 표면거리 $B =$ 유체를 통한 표면거리, $A = T \tan \theta_f$, $B = l \tan \theta_w$ 이라 하여, Index Separation S 는 다음과 같이 주어진다. (단, 흐름 정지상태 하에서 임) $S = 2 (T \tan \theta_p + T \tan \theta_f)$ 이다.

다. 속도

Fig. 3 에 파이프 측에 평행으로 나열된 벡터 V_F 로서 유체속도의 예를 들었다. 벡터 V_{Ff} 는 V_F 에서 각도 θ_f 이고, 유체내에서 진행되는 초음파 빔 방향에 평행하여 나열되었다. 이것은

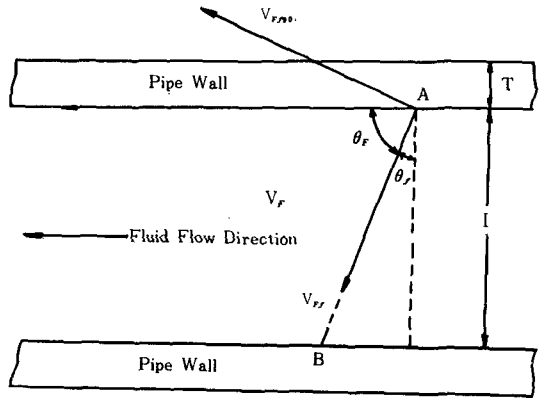


Fig. 3.

Fig. 3 의 A에서 B까지 초음파빔이 진행하는데 걸리는 시간은 영향을 끼칠 것이다. 탐촉자가 흐름이 정지된 상태에서 최대 신호를 얻기 위해 Fig. 2 의 a점과 b점에 놓여 있다고 가정해 보자. 이 때 걸리는 시간 $T_s = 2 (T_w + T_p + f/V_f)$ 일 것이며 흐름 상태에서 초음파가 흐름의 방향으로 진행할 때는 음향속도 V_f (흐름 정지상태) $= V_f + V_{Ff}$ 로 증가할 것이다. 이 때 a에서 b까지 도달하는데 걸리는 시간 $T_a = 2 (T_w + T_p + f/V_f + V_{Ff})$ 이다. $V_{Ff} = V_f \sin \theta_f$. 초음파가 1 Skip을 지나는 동안 흐름의 방향으로 진행할 때 (T_a)와 역 방향으로 진행할 때 (T_u) 걸리는 시간의 차는 다음과 같다.

$$T = T_u - T_a = 2 (T_w + T_p + f/V_f - V_{Ff}) - 2 (T_w + T_p + f/V_f + V_{Ff}), T = 4 f V_f \sin \theta_f / V_f^2.$$

$V_f = (T/4)(V_r/\sin\theta_r)(V_r/f)$. 이와같이 하여 유속은 결정되며 내경 I 의 파이프를 통하여 흐르는 Flow Volumn Rate는 Fluid Flow Velocity V_f 로부터 얻어진다. $Q = (\pi/4)I^2V_f$

3. 측정 방법

측정에 앞서 장비의 교정이 먼저 선행되어야 한다. 이 때 초음파장비의 수직 및 수평 직선성과 사용할 탐촉자의 입사각을 점검한다.

주파수의 선택은 측정할 파이프의 재질에 따라 결정되는데 일반적으로 주파수 2.25MHz, 입사각 60°, 횡파를 갖는 탐촉자를 사용하며 각 측정단계별 목적과 측정방법은 다음과 같다.

가. Flow 1

Flow 1에서는 파이프의 벽두께와 유체내에서의 초음파음향 진행속도를 측정한다. 탐촉자는 단일 종파가 쓰이며 Flow 1은 다음 과정 즉, Flow 2~5에 쓰일 자료 및 도표를 제공해준다.

나. Flow 2

Flow 2에서는 Flow 1에서 구해진 파이프벽 두께와 유체내에서 진행하는 초음파 음향속도를 이용하여 진행하며 시작탐촉자를 이용, 초음파를 송수신함으로써 파이프내에 흐르는 유속 및 유량을 측정하는 방법이다. (이때, Flow 2에서 Flow 1의 자료를 제공받으려면 파이프의 재질, 사이즈, 유체가 같은 종류이어야 한다)

다. Flow 3

Flow 2에서 측정한 유체의 종류, 파이프의 재질, 사용된 탐촉자는 같고, 파이프의 두께, 파이프의 사이즈가 다른 곳에서 신속한 측정을 하고자 할때 사용한다. 이때 Wedge time, Wedge angle 유체와 파이프 벽 두께내에서의 초음파 음향 진행속도는 Flow 2에서 얻은 값을 이용하여 파이프 벽 두께와 사이즈가 달라짐에 따른 새로운 유속과 유량을 구한다.

라. Flow 4

Flow 4는 파이프 제통에서 원래 요구한 유속과 유량의 값에 대해 변화를 주고자 할 때 이용되며 Flow 2 혹은 Flow 3에서 얻어진 Data 를 사용한다. 결국, 이러한 과정은 가끔 밸브를 조절하는 동안 파이프내를 통과하는 유량값을

신속히 조절하는데 이용된다. Flow 4는 Flow 2 혹은 Flow 3에서 얻은 T_u 와 T_a 값과 실제 측정시 얻어진 T_a 와 T_u 만의 변화치를 얻고자 함이며, Flow 2 혹은 Flow 3의 Wedge Time 에서부터 T_0 까지는 그대로이고 T_u 와 T_a 만의 변화만 본다.

마. Flow 5

이는 단순히 Flow 2, 3, 4 어느 하나의 측정 시점과 어느 시간이 경과한 후의 시점과의 측정치 비교로서 그 이전 측정치에 대한 증가 및 감소값을 알기 위함이며 이것의 목적은 밸브위치의 기능으로서 흐름의 증가 및 감소를 추적하는데 이용된다. 이때에도 T_u 와 T_a 비교치만의 증가 및 감소를 감시하게 된다.

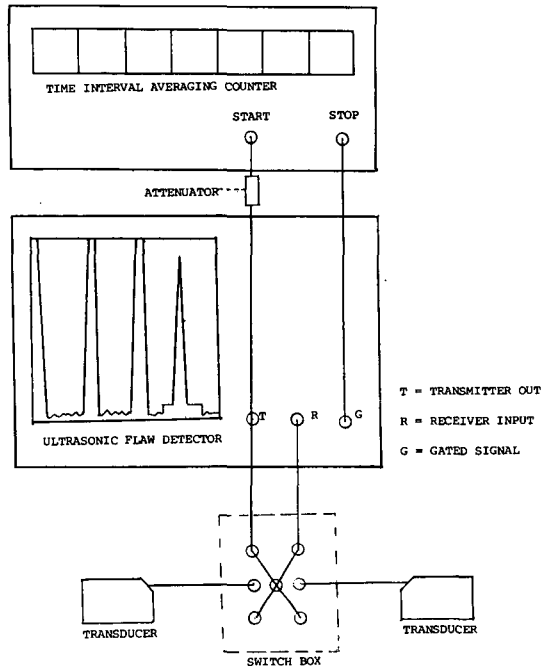


Fig. 4. Flow meter connections.

4. 결론

배관계통에 설치된 유속측정장치들이 정확성을 유지하기 위해 주기적인 교정과 감시를 필요로 하듯이, 초음파를 이용한 유속측정 System도 교정된 장비와 아울러 충분히 훈련되고 자격을 갖춘 검사원들에 의한 운영을 필요로 한다.

초음파를 이용한 유속측정에서 가장 이상적인 측정위치는 파이프 입구측과 출구측의 20D 거리이나 측정위치는 가끔 파이프 Fitting류들과 인접한 Short파이프 Run에서 해야될 경우가 발생한다. 이런 경우는, 측정위치와 Fluid Reynold Number 양자변화에 기인한 Fluid Velocity Profile 형태의 변화를 고려하여 그에 대한 보정을 해주어야 한다. 보정은 실험을 통한 Data를 이용하도록 한다. 앞으로, 이러한 유속 측정의 정확성을 향상시키기 위한 관점에서 국내의 경험을 토대로 사용될 장비, 검사원의 자질, 보정 계수 등에 대하여 종합적인 면밀한 검토 및 연구가 요망된다고 하겠으며 전술한

바와 같이 원자력산업분야 뿐 아니라 일반 산업 분야에도 적용이 다양할 것으로 생각된다.

5. 참고 문헌

- 가. Ultrasonic Transit Time Flow Metering, RPC Feb. 1982.
- 나. Flow Mesurement-A state of the Art Review, National Engineering Laboratory.
- 다. Flow Meter-ASME.
- 라. ASME CODE Sec. V.
- 마. A New Application of Ultrasonic Flowmeters in "Fluid Flow Measure - ment in Mid 1970". Vol. 2.