

서모웰 계산

에머슨은 서모웰 계산틀을 온라인을 통해 무료로 제공합니다.

ASME PTC 19.3 TW에 기반하는 무료 온라인 도구는 Rosemount.com/ThermowellCalc에서 이용할 수 있습니다. 직접 이용해 보시고, 새로운 표준에 대한 설명 동영상도 살펴 보시기 바랍니다.



Dirk Bauschke

엔지니어링 관리자

David Wiklund

수석 책임 연구원

Andrew Dierker

기계 프로젝트 연구원

Alex Cecchini

수석 마케팅 연구원

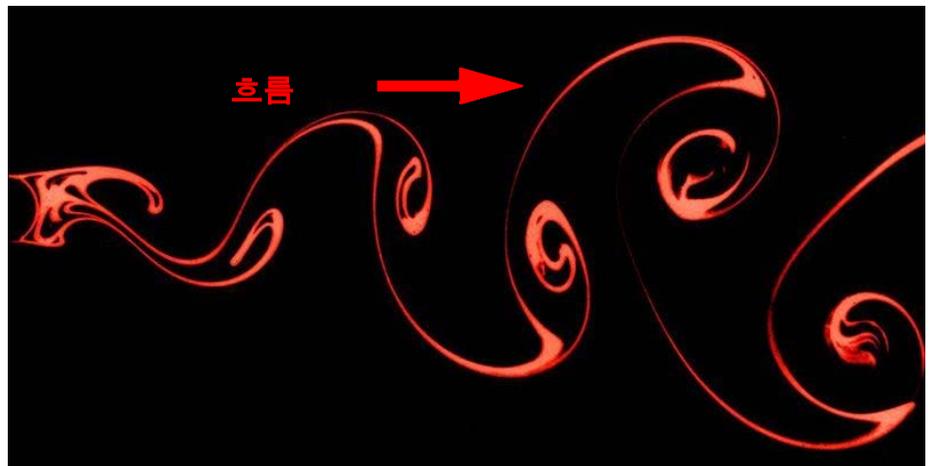
목차

서모웰 계산

서론	1-1
ASME PTC 19.3의 간단한 연혁.....	1-1
ASME PTC 19.3-1974 방법론	1-2
와류 방출 이론	1-3
힘 과 압력 응력	1-8
설치 변형요소	1-14
고정간 거리에 대한 정의	1-17
벨로시티 칼라	1-18
평균 속도 vs 속도 프로파일	1-19
서모웰 구성 요구 사항	1-20

서론

서모웰(Thermowell)은 캔틸레버(cantilever)처럼 공정 배관에 설치된 원형 실린더입니다. 서모웰은 공정 조건을 보호하고 온도 센서에 대한 프로세스 씸(process seal)을 제공합니다. 공정 유체가 서모웰 주변을 지나므로 층류(laminar flow), 난류(turbulent flow) 및 천이류(transitional flow)의 다운스트림에 저압 와류(vortex)가 생성됩니다. 유체 흐름의 정적 인라인 항력(drag force)과 교차하는 와류 발산(vortex shedding)에 의해 생성되는 동적 횡방향 양력(lift force)에 의해 발생하는 복합 응력으로 인해 서모웰에 피로 유발로 인한 기계 고장을 일으킬 수 있습니다. 배관 설계자는 다양한 도구를 사용하여 자신들의 시스템에서 서모웰 고장을 예측하여 피할 수 있으나 ASME PTC 19.3-1974가 대다수 서모웰에 대한 설계 표준이 되었습니다.



층류 흐름에서 Karman 와류(von Karman Vortex Street)를 보여주는 색상을 강화한 연기 흔적⁽¹⁾

ASME PTC 19.3의 의
간단한 연혁



미국 기계 학회(American Society of Mechanical Engineers, ASME)에서 표준지표에 온도 및 응력의 영향이 포함되지 않아 1930년대의 온도 측정에 대한 보완이 미흡했다고 결정한 1957년까지 거슬러올라갑니다.

ASME는 보일러 및 압력 용기 위원회(Boiler and Pressure Vessel Committee)에 문서 작성을 요구했으나 범위를 벗어난 것으로 간주되었습니다. 그 후 독립된 실행 위원회에서 하나의 분과로 서모웰 설계에 의한 모든 온도 측정을 담당하였습니다. ASME PTC

19.3-1974에 대한 근거는 J.W. Murdock가 저술한 논문(1959)에 나와 있습니다.⁽²⁾

미해군 대학원(Naval Post Graduate School, NPS)의 John Brock은 1974년 Murdock이 추측하거나 무시한 몇 가지 항목에 대한 연구를 계속 수행하였습니다. Brock은 서모웰 자연 주파수의 근사값으로 설치 계수(installation factor)를 적용하고 0.8의 주파수 비율 제한 값을 검토하여

Thermowell

자연 주파수 계산의 불확실성을 설명하면서 고정 스트롤 넘버(fixed Strouhal Number)가 아닌 가변 스트롤 넘버(variable Strouhal Number)를 사용할 것을 제안하였습니다.⁽³⁾ 이 중 일부는 ASME PTC 19.3-1974를 향상시킬 수 있음을 입증하였습니다.

- (1) Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Vortex_induced_vibration as of 5/20/2011
- (2) Murdock, J.W., "Power Test Code Thermometer Wells" *Journal of Engineering for Power* (1959).
- (3) Brock, John E., "Stress Analysis of Thermowells," *Naval Postgraduate School, Monterey CA* (1974).

ASME PTC 19.3-1974는 모든 설치에 대해 설명하지 않는 듯했습니다. 사람들의 관심을 이끈 치명적인 서모웰 피로로 인한 파괴는 1995년 액체 나트륨 냉각 장치의 누설로 인해 Monju(일본) 고속 증식로가 정지되었을 때 발생했습니다. 조사 결과 서모웰이 ASME PTC 19.3-1974에 따라 설계되었으나 직렬 공진(in-line resonance)으로 인해 표준으로 여겨지지 않는 고장 모드였음이 밝혀졌습니다. 그 결과 JSME S012라 부르는 표준에 대한 일본 버전이 개발되었습니다.⁽¹⁾ 증식로는 수년 간의 조사와 법적 분쟁 후 마침내 2010년 5월 조업을 재개했습니다.

대다수 경우, ASME PTC 19.3-1974는 증기 및 증기를 사용하지 않는 어플리케이션 모두에서 성공적으로 사용됩니다. 몇 가지 핵심적인 요소로 인해 ASME는 1999년에 위원회를 새로 구성하여 서모웰 동작에 대한 지식의 발전, 수많은 돌발적인 고장(Monju 포함)과 응력 모델링에 필요한 유한 요소 분석(Finite Element Analysis)의 사용 증가 등 표준을 완전히 다시 작성하였습니다. 이들 요소가 결합될 경우 산업상의 많은 부분이 ASME PTC 19.3-1974에서 제시하는 초보적인 방법과 간소화된 테이블에서 벗어나 서모웰 자연 주파수를 예측하고 강제 주파수를 계산하는 보다 발전된 방법으로 진행하였습니다.

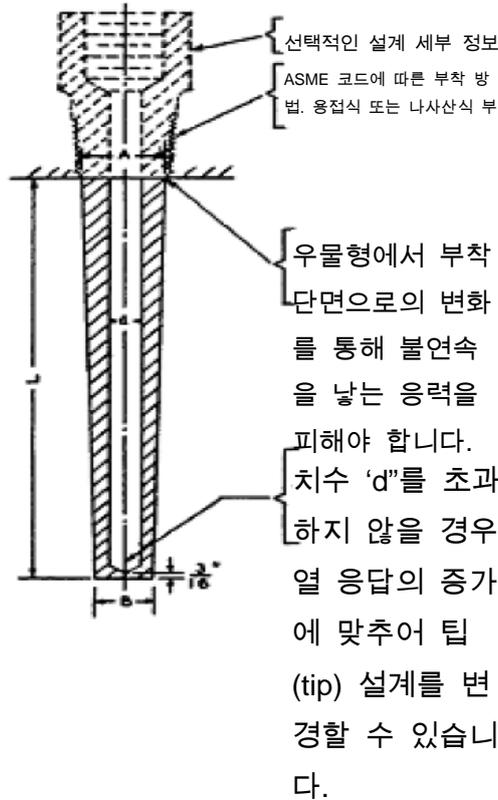
위원회는 ASME PTC 19.3-1974의 기존 버전을 간단히 업데이트하기 보다 노력을 통한 의미 있는 변화를 통한 새로운 표준을 발표하기로 결심했습니다. ASME PTC 19.3-1974는 4페이지를 할애하면서 서모웰 계산에 대해 다루었습니다. 이에 비교하여 ASME PTC 19.3 TW-2010(서모웰의 경우 "TW")으로 알려진 새 표준에서는 이론에 대한 설명과 공정의 복잡성으로 인해 40페이지 이상을 차지합니다.

ASME PTC 19.3 TW-2010은 2010년 7월 발표되었습니다.

Thermowell

ASME PTC 19.3-1974

방법론



앞서 설명했듯이 1974 표준은 매우 간단합니다. 1974 표준은 몇 가지 스템 프로필(stem profile)이 가능하며 간단한 방정식을 사용하여 자연 주파수 계산용 서모웰을 모델링합니다. ASME Boiler 및 Pressure Vessel의 Piping Codes에서 승인한 부착 방법이 가능하지만 방정식이 플랜지식, 나사산식 및 소켓 용접 등의 일반적인 장착 방법 변동 사이에서 구별되지 않으며 직선식, 테이퍼식 및 계단식 등 여러 가지 스템 프로필(stem profile)의 영향을 무시합니다. 테이블에 포함되지 않은 구멍 치수는 설명되지 않으므로 1/4 인치 및 6 mm

직경 센서에 대한 구멍은 방정식에서 동일한 상수를 공유하며 3 mm 직경의 센서 구멍에 대한 상수는 제공하지 않습니다.

모든 결절에도 불구하고 ASME PTC 19.3-1974는 업계에서 널리 용인되고 있으며 서모웰 평가를 위한 과정이 간단합니다: 그 과정은 공정 데이터와 서모웰 재질 정보를 취합하고 자연 주파수와 스트롤(Strouhal) 주파수를 계산하며 0.8 이라는 계수와 비율을 비교하고 힘 압력을 계산, 공정 압력에 대한 최대 압력을 비교하고 원하는 길이에 대한 최대 길이를 확인합니다.

(1) Odahara, Sanoru, et al. "Fatigue Failure by In-line Flow-induced Vibration and Fatigue Life Evaluation," *JSME International Journal, Series A*, Vol. 48, No. 2 (2005).

공정 데이터 및 재질 정보의 수집은 일부 데이터를 더 이상 쉽게 사용할 수 없다는 점을 제외하고 간단한 방법입니다. “공정 온도에서의 주파수와 70 °F에서의 주파수 간의 비율” 은 쉽게 발견되지 않습니다.

간단한 방정식을 사용하여 서모웰 자연 주파수를 계산하지만 K_f 등의 일부 용어는 잘 정의되지 않습니다. 서모웰의 U 길이가 테이블에서 제시하는 데이터와 일치하지 않을 경우 설계자는 서모웰보다 길이에 대한 데이터를 신중하게 사용해야 합니다. 허용되는 서모웰 설계의 경우 스트를 주파수와 자연 주파수 비율이 0.8을 “초과하지 않아야” 합니다.

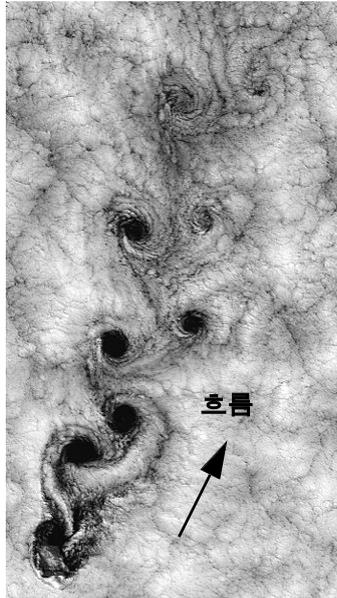
최종 단계에서 평형 상태 응력에 근거하여 서모웰 길이를 평가합니다. 평가를 통해 구부러지는 응력(bending stress)에 맞춰 서모웰의 가능한 최대 길이를 결정합니다. 이 길이를 원하는 길이와 비교하여 허용가능한지 또는 줄여야 하는지 결정합니다.

**와류 발산 이론
(ASME PTC 19.3 TW-2010의 근거)**

**VORTEX SHEDDING THEORY
(basis for ASME PTC 19.3 TW-2010)**

유체가 둔탁한 물체 주변을 흐르는 경우, 물체의 아래에 와류가 형성됩니다. 이 와류를 일반적으로 와류 발산(vortex shedding, Von Karman Vortex Street 또는 flow vortices) 이라고 부릅니다. 와류는 번갈아 발생하는 패턴으로 다운스트림을 생성하여 발생하는 저압 셀입니다. 번갈아 발생하는 와류로 인한 차동 압력에 의해 물체에 교차하는 힘이 생성됩니다. 이 결과 물체에 교차하는 힘이 비껴가면서 물체에 교차하는 응력이 발생합니다. 이 현상은 교각의 해류 다운스트림에 발생하는 소용돌이, 산 봉우리의 구름 아래쪽에 위치하는 소용돌이 또는 바람이 유틸리티 라인 주변을 지나면서 들리는 이올리언 음(Aeolian tone)처럼 자연에서 관찰됩니다. 와류 발산이 공정 흐름 측정에 유용하지만 서모웰 설계자는 고장 가능성이 있으므로 와류 발산을 피해야 합니다.

Thermowell



(1) NASA Earth Observatory Website
"[http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=3328.](http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=3328)"

Juan Fernandez 섬 주변의 칠레 해안
에서 떨어진 구름의 와류 현상에 대한
Landsat 7 위성 영상(1999년 9월 15
일) ⁽¹⁾

서모웰 고장의 주요 원인은 공명으로 인한 피로이므로 설계자는 와류 발산의 영향을 피하고 와류 발산 빈도를 예측하기 위해 와류 발산에 대해 이해해야 합니다. 와류 발산은 50 Hz와 1500 Hz 사이의 주파수에서 발생하므로 서모웰은 짧은 시간에 많은 사이클을 경험할 수 있습니다.



와류 유도 진동으로 인한 서모웰 고장의 예¹⁾

와류 발산 주파수 또는 스트롤 주파수가 서모웰 자연 주파수에 접근하면서 팁의 변위와 응력이 크게 확대되고 서모웰에서 흡수해야 하는 많은 양의 에너지로 인해 서모웰에 고장이 발생할 수 있습니다. 따라서, 설계자는 압력, 온도, 부식과 같은 공정 조건 이외에 어플리케이션에서의 전체 적합성에 필요한 고주기 피로 강도를 고려해야 합니다.

**최소 속도
Minimum Velocity**

저속으로 흐르는 공정 유체의 경우, 공정 유체에서 서모웰로 전달되어 피로 파괴를 유발하는 에너지가 충분하지 않습니다. 다음과 같은 조건의 경우 서모웰 고장 위험을 무시할 수 있으므로 주파수 한계를 계산할 필요가 없습니다.

1. 공정 유체 속도(V) < 0.64 m/s (2.1 ft./sec)
2. 벽 두께($A - d$) \geq 9.55 mm(0.376 in)
3. 고정간 거리(L) \leq 0.61 m(24 in)
4. 루트 및 팁 직경(A 및 B) \geq 12.7 mm(0.5 in)
5. 최소 허용 응력(S) \geq 69 Mpa(10 ksi)
6. 피로 내구 한계(S_f) \geq 21 Mpa(3 ksi)

이런 경우에서도 저속에 의해 직렬 공진이 여전히 야기될 수 있으며 공진에 존재하는 높은 진동수로 인해 센서 고장이 발생할 수 있습니다. 이러한 기준을 만족시키지 않거나 유체 상호 작용(피로 내구에 변화를 유발)으로 인해 응력 부식 또는 재질 취성에 변화가 있는 경우 설계자는 서모웰 설계를 충분히 평가해야 합니다.

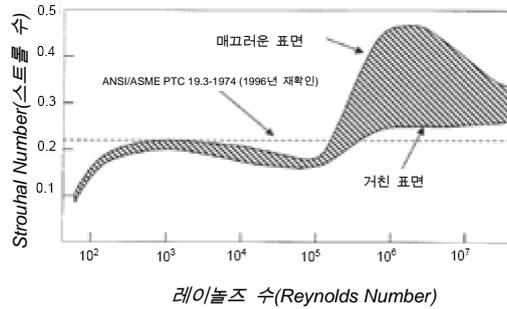
**스트롤 넘버
Strouhal Number**

고정 또는 가변 스트롤 넘버의 사용에 관한 많은 논쟁이 있었습니다. ASME PTC 19.3-1974는 0.22의 고정 스트롤 넘버를 사용하는 반면 Brock은 레이놀즈 넘버(Reynolds Number)에 따라 스트롤 넘버의 사용을

Thermowell

권장했습니다. 많은 업체에서 가변 스트롤 넘버를 ASME PTC 19.3-1974 체계 내의 와류 발산 주파수 방정식에 통합하면서 “Brock 방법” 또는 유사하게 부르기 시작했습니다.

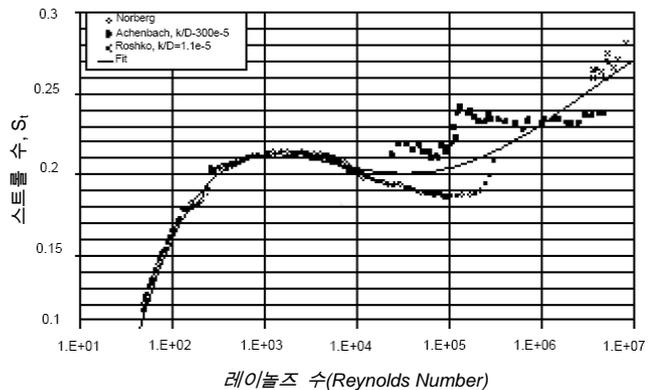
(1) *Energy Institute, “Guidelines for the Avoidance of Vibration Induced Fatigue in Process Pipework” 2nd Edition, (2008), Publication Number 978-0-85293-463-0.*



스트루할 넘버를 레이놀즈 넘버의 함수로 보여주는 일반 도표

ASME PTC 19.3-1974 위원회는 가변 스트루할 넘버의 사용 방법을 결정하기 전에 뒤에 이어진 실험을 검토했습니다. JSME International Journal에서 2001년에 발표한 논문은 형태상 서모웰과 유사한 가공된 직선형 및 테이퍼형 실린더에 대한 재미있는 시험 결과를 보여줍니다. 실린더를 유체 흐름에 담긴 상태에서 힘과 진동 진폭을 측정했습니다. 이전 실험에서는 높은 스트루할 넘버의 증거는 서모웰에 대한 실제 힘이 아닌 와류 발산의 측정에 근거한다는 결론을 내렸습니다.^{(1) (2)}

실험에서 128 Ra를 초과하는 측정되는 것을 “거친” 표면으로 정의하였습니다. 공정 산업의 어떤 서모웰도 32 Ra를 초과하는 표면 처리를 하지 않으며 32 Ra보다 거친 표면 처리의 경우 ASME PTC 19.3-1974의 응력 한계와 계산도 유효하지 않습니다.



레이놀즈 넘버의 함수로서 거친 실린더의 스트루할 넘버에 대한 실제 데이터.⁽³⁾

ASME PTC 19.3 TW-2010 위원회는 이 데이터에 근거하여 위의 거친 실린더 곡선에 따라 정의되는 가변하는 스트루할 넘버를 통합하기로 결정했습니다. 또한 계산을 단순화하기 위해 설계자는 스트루할 넘버를 0.22로 신중하게 어림잡을 수 있도록 했습니다. 이 방법은 설계자가 동적 또는 이동하는 유체 점성을 확인하여 레이놀즈 넘버를 결정할 수 없는 경우에 특히 유용합니다.

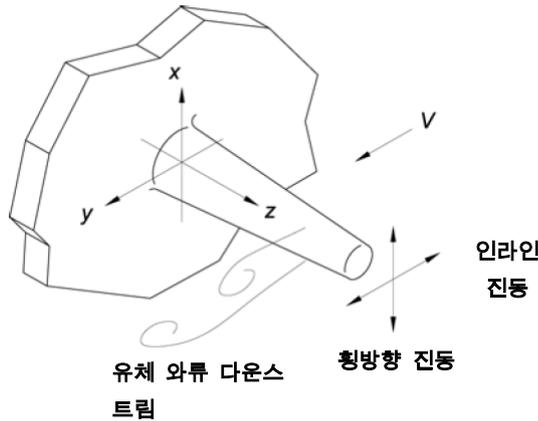
Thermowell

- (1) Sakai, T., Iwata, K., Morishita, M., and Kitamura, S., "Vortex-Induced Vibration of a Circular Cylinder in Super-Critical Reynolds Number Flow and Its Suppression by Structure Damping," *JSME Int. J. Ser. B.* 44, 712-720 (2001).
- (2) Iwata, K., Sakai, T., Morishita, M., and Kitamura, S., "Evaluation of Turbulence-Induced Vibration of a Circular Cylinder in Super-Critical Reynolds Number Flow and Its Suppression by Structure Damping," *JSME Int. J. Ser. B.* 44, 721-728 (2001).
- (3) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW (draft 7).

레이놀즈 넘버
Reynolds Number

완전히 침수된 상태의 유량에서 기본 매개 변수는 레이놀즈 넘버입니다. 유체 역학에서 레이놀즈 넘버는 관성에 의한 힘(inertial force)과 점성에 의한 힘(viscous force)의 비율입니다. 와류 발산 요소의 경우, 레이놀즈 넘버에 대한 길이 입력을 shedding 요소(shedding element)의 폭으로 입력합니다. 서모웰의 경우, 팁 직경입니다.

서모웰 자연 주파수
Thermowell Natural Frequency



서모웰 응력의 계산을 위한 유동성을 유발하는 힘과 축의 지장⁽¹⁾

ASME PTC 19.3 TW-2013은 서모웰을 단순한 캔틸레버 빔(1점 지지 보)으로 모델링하며 액체 질량 추가, 센서 질량 추가, 프로파일 빔의 불균일성과 설치 준수성 등을 포함하여 이상적 빔에 대한 차이를 감안하기 위한 일련의 교정 계수를 적용합니다. 계단식 스템 서모웰의 경우, 형상과 응력 집중점으로

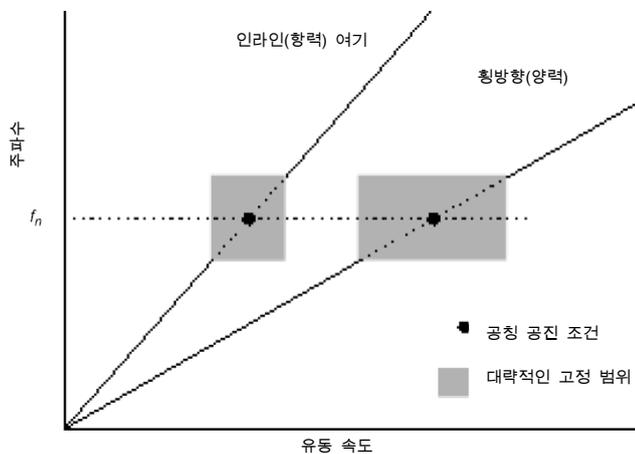
인해 대다수의 모든 상관 관계와 계산은 더욱 복잡합니다.

이에 따라 ASME PTC 19.3 TW-2010은 표준의 범위 내에서 고려되는 계단형 스템 서모웰의 치수 변경을 제한합니다.

모든 교정 계수를 적용한 후, "현장" 또는 설치된 자연 주파수(f_n)는 나머지 주파수 분석을 위해 계산하여 사용합니다.

임계 속도
Critical Velocities

설계자는 서모웰 자연 주파수를 설정한 후 자연 주파수와 스트롤 주파수 사이의 안전 마진을 설정할 필요가 있습니다.



Thermowell

"고장" 범위를 보여주는 인라인 및 횡방향 여기 구조도.⁽¹⁾

(1) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.

실제로 두 가지 모드로 서모웰이 자극되는 것이 있습니다. 횡방향 항력은 서모웰을 흐름에 수직으로 진동시키며 인라인 양력은 서모웰을 흐름과 평행으로 진동시킵니다. 인라인 진동은 횡방향 주파수의 거의 두 배입니다. 인라인 “임계 속도”(스트롤 주파수가 자연 주파수와 같은 경우)는 횡방향 속도의 거의 절반입니다. ASME PTC 19.3-1974는 인라인 진동은 다루지 않고 평형 상태 굽힘 응력만 다룹니다.⁽¹⁾

발산 주파수의 변화는 유동 속도에 비례하지만 서모웰은 공진 주파수에 매우 쉽게 고정시킵니다. 또한 서모웰이 자연 주파수에서 발산하는 와류 밖으로 나가기 위해 속도가 상당히 많이 변할 수도 있습니다. 일반 서모웰에서의 감쇠는 매우 적으므로 공진 주파수를 벗어나는 것이 필수적입니다. 공진시 힘과 변위가 크게 확대됩니다.

$$f_s < 0.8 f_n^c$$

20% 보호 대역에서는 다음 사항이 가변성의 상당한 원인이 됩니다.

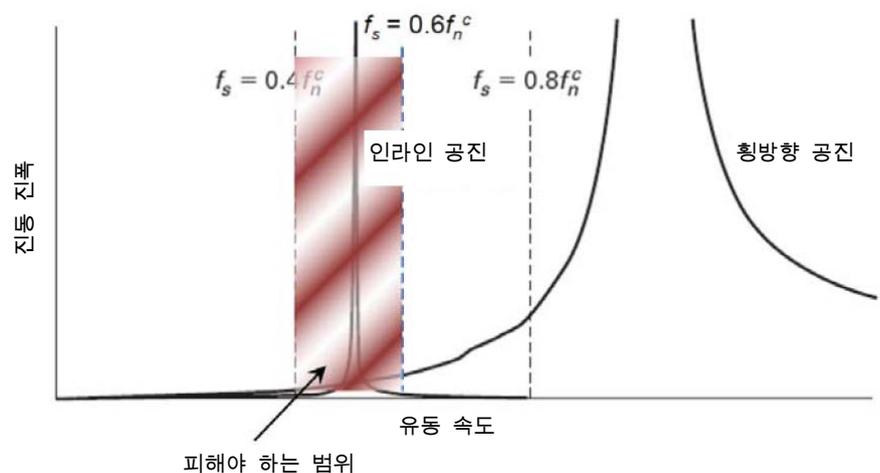
- 서모웰 탄성 반응의 비선형성
- 서모웰의 제작 허용 오차
- 유효 숫자 3자리로 설정된 재질 특성 정보
- 프로세스에서 사소하면서 일상적인 유속, 온도, 밀도 또는 점성의 변동

인라인 진동은 횡방향의 거의 절반 속도(주파수의 경우 두 배)로 발생하므로 액체의 경우 제한 사항이 추가됩니다.

$$2f_s < 0.8 f_n^c$$

서모웰이 허용되는 데 한해 조금 더 넓은 범위로 관찰 할 수 있습니다.

$$f_s (\text{평형 상태}) < 0.4 f_n^c \quad \text{또는} \quad 0.6 f_n^c < f_s (\text{평형 상태}) < 0.8 f_n^c$$



Thermowell

유동상을 유발하는 힘에서 서모웰의 진폭 반응을 보여주는 그래프 ⁽²⁾

(1) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3-1974 (Reaffirmed 1998).

(2) Adapted from ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.

또한 ASME PTC 19.3 TW-2010은 서모웰이 자연 주파수 이상에서 작동하는 경우 "초임계"(super critical) 작동에 대한 조항을 포함합니다. 에머슨은 서모웰을 이 범위에서 작동하도록 강력하게 권장합니다.

**스크루톤 넘버
Scruton Number**

이론에서 새로운 점은 서모웰의 고유 감쇠를 나타내는 스크루톤 넘버(Scruton Number)를 사용한다는 점입니다. ASME PTC 19.3 TW-2010은 매우 신중한 입장을 취하여 따로 정해지지 않는 한 감쇠 계수를 0.0005로 설정합니다.

스크루톤 넘버는 2.5 미만인 경우 고유 감쇠가 없으며 횡방향 공진 주파수를 피하여 인라인 공진 주파수에서 서모웰을 평가해야 합니다. 스크루톤 넘버가 증가하면 편향 및 이에 따른 응력을 감소시키는 고유 감쇠가 증가합니다. 허용되는 감쇠 수준에서 서모웰은 인라인에서 작동할 수 있으며 횡방향 공진 주파수에서조차 작동할 수 있습니다.

서모웰이 자연 주파수 이상에서 작동하는 조건의 경우 고차 공진(higher order resonance)을 고려해야 하지만 ASME PTC 19.3 TW-2010은 이에 대한 지침을 제공하지 않는데, 에머슨은 이 범위에서 서모웰을 작동하도록 강력하게 권장합니다.

**힘 과 압력 응력(ASME
PTC 19.3 TW-2010에
의한)**

**BENDING AND
PRESSURE STRESS
(as used in ASME PTC
19.3 TW-2010)**

와류 발산 이론과 응용에 많은 주의를 기울인 것으로 보이지만, 서모웰과 인가된 힘 내에서 응력도 특정한 공정 어플리케이션에 대한 적합성을 판단하는 중요한 요소입니다. 1974 버전의 간단한 방법과 대조적으로 ASME PTC 19.3 TW-2010은 서모웰에 대한 주파수와 응력 모두에서 면밀하게 검토합니다. 이를 통해 오늘날 업계에서 사용 가능한 제품을 반영하는 다양한 장착 스타일, 프로파일 및 구멍 크기가 가능합니다.

전체적으로 ASME PTC 19.3 TW-2010은 서모웰에 대해 특정한 공정 조건에서 4가지 양적 기준을 허용합니다.

1. **주파수 제한:** 서모웰의 공진 주파수가 충분히 높아서 유체 흐름에 의해 파괴적인 진동이 여기되지 않아야 합니다.
2. **동적 응력 제한:** 기본 동적 응력의 최대값이 응력 한계의 허용 수치를 초과하지 않아야 합니다. 설계에서 서모웰이 작동 조건에 도달하기 위해 인라인 공진을 통과하도록 요구하는 경우 공진 주파수에서 피로 검토를 추가로 수행합니다.
3. **정적 응력 제한:** 서모웰에서 평형 상태 응력의 최대값이 폰 미세스 기준(Von Mises criteria)에서 정하는 허용 응력을 초과하지 않아야

합니다.

4. **수압 제한:** 외부 압력이 서모웰 팁(tip), 생크(shank), 플랜지(flange) 또는 나사산(thread)의 압력 등급을 초과하지 않아야 합니다.

또한 공정 환경에 대한 서모웰 재료의 적합성도 고려해야 합니다. 즉, 설계자는 부식 및 침식이 서모웰에 미치는 영향과 공정에서 노출시 재료 특성에 미치는 영향에 대해 평가해야 합니다.

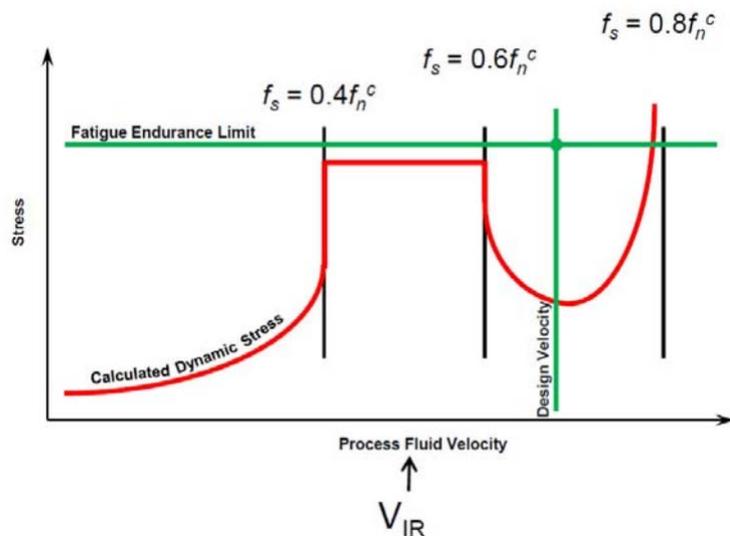
**주파수 제한
Frequency Limit**

주파수 제한은 와류 발산 이론 단락에서는 스트롤 주파수 계산에 필요한 ASME PTC 19.3 TW-2010 방법입니다. 스트롤 주파수가 임계 주파수 고정(lock-in) 대역과 횡방향 임계 주파수 고정(lock-in) 대역 사이에 있고 스크루톤 넘버 평가에서 감쇠의 부족을 나타내면 다음 조건이 모두 만족되지 않는 한 서모웰 설계를 수정해야 합니다.

1. 공정 유체가 가스이며,
2. 서모웰이 시동 또는 종료하는 동안에만 인라인 공진을 통과하고 작동하는 동안에는 드물게 통과하며,
3. 공진시 피크 응력이 재질의 피로 한계보다 작고,
4. 공정 유체에 의해 재질 특성이 변하지 않으며(특히 피로 저항),
5. 서모웰 고장이 허용 가능한 경우가 아니면 설계를 수정해야 합니다.

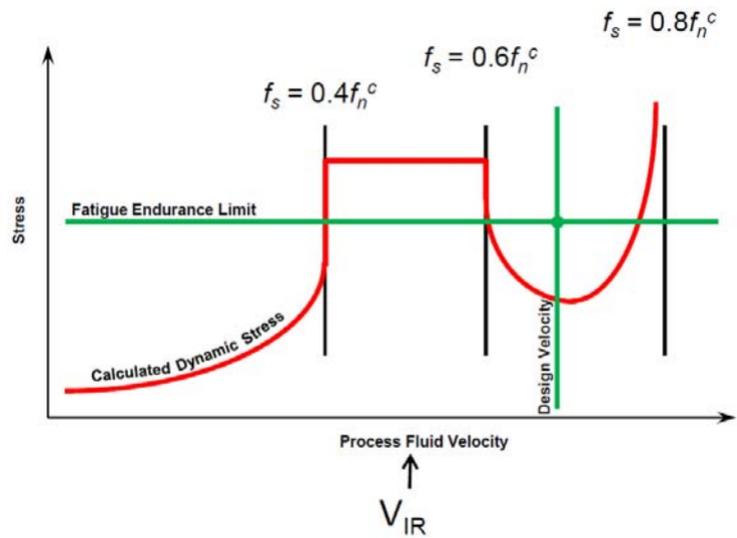
**인라인 공진 통과하기
Passing Through In-line Resonance**

서모웰 피크 굽힘 진동 응력이 인라인 임계 속도에서 피로 내구 한계보다 낮은 경우, 서모웰은 인라인 공진 고정 범위를 통과하여 평형 상태 설계 속도로 진행할 수 있습니다. 서모웰에 부여되는 피로 주기가 큰 값을 가지며 센서 손상 가능성이 증가하므로 인라인 공진 고정 범위 내에서 평형 상태 속도는 허용되지 않습니다.



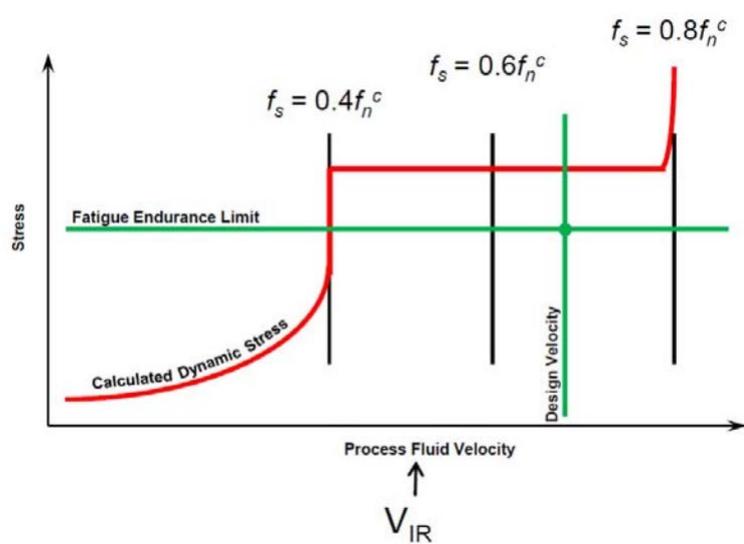
인라인 공진 평가를 통과하는 서모웰 설계를 보여주는 예제 도표

Thermowell



인라인 공진 평가를 통과하지 못하는 서모웰 설계를 보여주는 예제 도표 이 설계는 ASME PTC 19.3 TW-2010에 따라서 허용될 수 있습니다.

서모웰 피크 진동 굽힘 응력이 인라인 임계 속도에서 피로 내구 한계보다 크면 서모웰이 인라인 임계 속도 이상에서 작동할 수 있는지 여부가 명확하지 않습니다. 이론상으로, 서모웰이 인라인 공진 고정 범위를 빠르게 통과하고 있으면 $0.6f_n^c$ 과 $0.8f_n^c$ 사이에서 작동될 수 있습니다. 피로 주기 카운트는 서모웰 수명 동안 누적되므로 서모웰이 공진 상태에 얼마나 오래 있는지 아는 것이 중요합니다. 피로 수명은 여러 요소에 따라 다르므로 서모웰이 공진 상태에서 오래 작동할수록 수명이 짧아집니다.



기술자료 - Thermowell Calculations

00840-0215-2654, Rev AB

2012년 1월

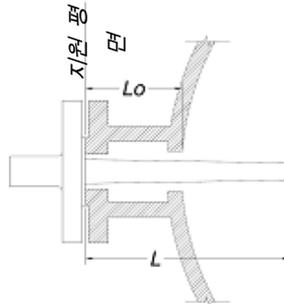
Thermowell

*에머슨의 인라인 공진 상태 평가에 대한 해석을 보여주는
예제 도표. 에머슨은 이 설계를 허용하지 않을 것입니다.*

Thermowell

계장 제공 업체에서 램프업 속도에 대한 세부 상세 정보를 밝히지 않으므로 피크 진동 굽힘 응력 평가를 통과하지 못하고 인라인 임계 속도 이상에서 작동하는 서모웰은 에머슨에서 허용 불가로 통보합니다.

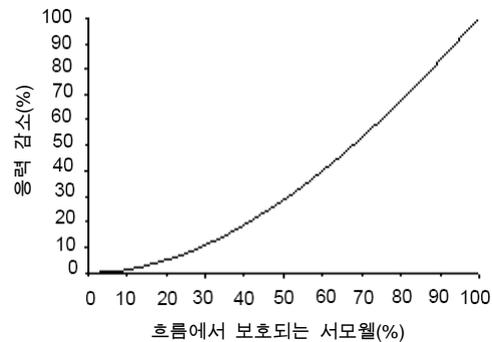
흐름으로부터 부분적으로 보호되는 서모웰 Thermowells Partially Shielded from the Flow



흐름에서 부분적으로 보호되는 테이퍼식 서모웰

대다수 서모웰 설비는 흐름으로부터 부분적으로 보호됩니다. 흐름에 노출되는 서모웰 구간은 일부 구간이 보호되며 굽힘 모멘트(bending moment)와 굽힘 응력(bending stress) 사이의 방정식을 조정해야 합니다.

테이퍼식 서모웰에 대한 보호 효과는 쉽게 알 수 있으나 계단식 스템 서모웰에 대한 보호 효과는 노출되는 표면이 일정한 모양으로 변하지 않으며 불연속 데이터가 많으므로 예측하거나 모델링하기 매우 어렵습니다. 그 결과, 유체 흐름과 관련된 계단 위치에 기반하여 계단식으로 보호되는 스템 서모웰의 경우 두 가지 형태의 평가를 수행합니다. 또한 응력도 두 번 계산하여 서모웰 루트(root)와 단계(step)에서 응력을 결정해야 합니다.



테이퍼식 서모웰에 대한 보호 효과

설비 및 공정 조건을 이해하고 스트를 주파수가 공정 도메인에 표시되면 서모웰에 적용되는 실제 응력을 분석할 수 있습니다. 앞서 설명한대로 인라인 임계 속도 이상에서 서모웰을 작동하려 계획하는 경우 설계 속도에 도달하는 도중에 해당 범위를 통과하므로 인라인 공진에서 주기적인 응력을 고려해야 합니다. 또한 설계 속도에서 동적 응력과 평형 상태로 평가해야 합니다.

주기적인 인라인 응력에

서모웰 표면에서 인라인 및 횡방향으로 작용하는 힘에 의해 발생하는 주기적인 응력의 원인에 집중합니다. 공진 조건을 설명하려면 공진 임계

대한 평가
Evaluation of In-line
Cyclical Stress

속도에서 계산하여 공진시 피크 굽힘 응력이 재질의 피로 내구 한계보다 작은지 확인해야 합니다. 이 분석은 인라인 임계점에서 수행하므로, 인라인 공진으로 인한 확대가 양력(lift force)을 압도하여 계산을 단순화하기 위해 양력을 무시할 수 있습니다. 이 평가는 공정 조건에서 요구한다고 스크루톤 넘버에 대한 평가에서 나타나는 경우에만 수행합니다.

인라인 임계 속도를 사용하여 서모웰에 인가되는 적용 면적당 힘을 계산합니다. 공정 유체 속도는 속도 프로파일 대신 평균 속도로 제공되므로 단위 면적은 서모웰에서 노출된 전체 길이로 가정하고 계산합니다. 서모웰의 일부 구간이 흐름에서 부분적으로 보호되면(스탠드오프 파이프의 경우), 이점도 고려해야 합니다. 계단식 스템 서모웰의 경우, 피크 응력 위치(계단식 스템의 베이스 및 루트) 모두에서 분석해야 합니다.

신중하게 계산하기 위해 고유 감쇠 계수를 0.0005로 설정합니다. 계단식 생크(shank) 서모웰은 두 지점에서 평가하여 둘 중 높은 응력을 확인해야 합니다.

ASME PTC 19.3 TW-2010의 주요 변경 사항 중 하나는 테이블을 사용하여 피로 응력 허용 한계를 지정한다는 점입니다. 테이블에서 재질을 재질 등급으로 함께 분류하고 설치 방법을 교차 참조하여 응력 한계를 결정합니다.

부분 용입 용접(penetration weld)은 완전 용입 용접보다 피로 저항이 적으며 이 테이블에서 작은 수로 제공된다는 점에 유의하십시오. 자세한 정보는 아래의 서모웰 구조 요구 사항을 참조하십시오.

설계 속도에서 평형 상태
응력에 대한 평가
Evaluation of Steady
State Stress at Design
Velocity

또한 공정 환경의 요구를 만족시키는지 확인하기 위해 설계 속도에서 서모웰을 평가해야 합니다.. 평형 상태의 응력은 공정에서의 외부 압력과 항력(drag force)의 조합입니다. 또한 최대 응력의 위치에 대해서도 계산하여 서모웰이 부분적으로 보호되거나 계단식 스템인 경우 이들 설치 고려 사항을 포함하여 계산해야 합니다.

최대 응력을 계산하면 계산된 응력을 사용하여 폰 미세스 기준(Von Mises Criteria)을 결정할 수 있습니다. 폰 미세스 기준은 구체와 원형 실린더에서 전단 및 압력 응력 조건을 평가하기 위해 사용합니다. 이 평가는 재질의 소성 항복 조건(plastic yielding condition)을 예측합니다.⁽¹⁾ 이 평가의 통과는 평형 상태 응력이 재질 피로 강도를 초과하지 않으며 원하는 설계 속도에서 서모웰을 사용할 수 있다는 것을 의미합니다.

설계 속도에서 동적

서모웰의 동적 응력은 진동 양력(횡방향)과 항력(인라인)에 속합니다. 증대

Thermowell

응력에 대한 평가

Evaluation of Dynamic Stress at Design Velocity

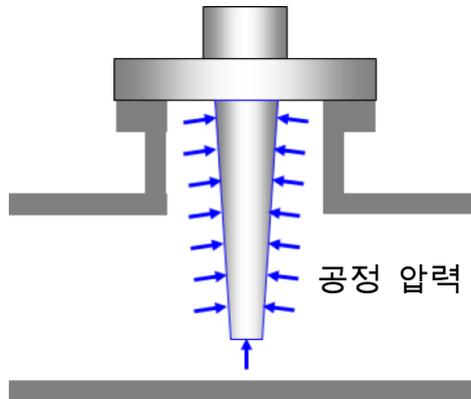
배율은 인라인 임계 속도처럼 서모웰 자연 주파수 부근의 스트를 주파수처럼 힘이 지수적으로 증가하는 특성을 나타냅니다. 스트를 주파수가 인라인 또는 횡방향 자연 주파수 고정 대역이 되지 않을 경우 증대 배율을 계산하여 주기적인 응력 방정식에 적용합니다. 주기적인 항력과 양력은 주기적인 인라인 응력 방정식을 수행하는 동일한 방식으로 설계 속도에서 계산해야 합니다. 앞서 수행한 주기적인 인라인 응력 방정식과 달리 양력(lift force)은 소거되지 않습니다.

설계 속도가 인라인 임계 속도보다 큰 경우 서모웰이 인라인 공진 응력 수준에서 무기한으로 작동하는 것처럼 처리할 수 있습니다. 인라인 공진 통과하기에서 위의 단락을 참조하십시오.

서모웰 설계에 대해 수많은 평가를 수행할 수 있으나 설계자는 인라인 임계 속도, 평형 상태, 동적 응력 판정을 사용하여 서모웰이 주파수 도메인에서 작동하는 위치 및 피로 한계에서 어떻게 작동을 종료하는지에 대한 자세한 이미지를 얻을 수 있습니다. 설계자는 이 정보를 사용하여 자신의 공정에서 유지할 안전 계수를 결정할 수 있습니다.

(1) Brock, John E., "Stress Analysis of Thermowells," Naval Postgraduate School, Monterey CA (1974).

압력 응력 평가
Pressure Stress
Evaluation



압력 응력 평가는 서모웰 설계가 어플리케이션에 허용되는지 보기 위한 최종 확인입니다. 압력 응력은 설계 적합성이 원인이 아닌 것처럼 간과하는 경우가 자주 있으나 그럼에도 불구하고 중요합니다. 압력 응력 확인은 생크와 팁에 대해 따로따로 수행해야 합니다.

적합성 확인을 위해 생크(shank)에 대한 압력을 계산하는 경우 공정 압력에 따라 2가지 방법을 제공합니다. 103 MPa(15 ksi) 보다 작은 공정 압력의 경우, ASME PTC 19.3 TW-2010은 ASME Boiler Pressure Vessel Code(BPVC) VIII절 UG-28항을 사용하여 외부 허용 압력을 계산하도록 권장합니다. 대다수 서모웰의 경우 ASME B31.1 또는 ASME B31.3에 의거하여 설계되므로 BPVC의 VIII절에서 제시하는 온도 제한 사항은 적용하지 않습니다.

대신 응력의 최대 허용 값은 두 표준 중 하나를 취해야 합니다. BPVC에서의 계산을 ASME PTC 19.3 TW-2010에서 참조하는 이유는 해당 방정식의 사용에 성공한 내역이 있고 업계에서 비교적 알려져 있기 때문입니다.

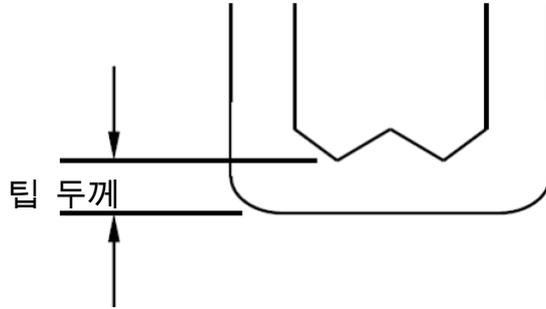
원하는 서모웰 재질이 BPVC가 아니거나 간단한 방법을 원할 경우 ASME PTC 19.3 TW-2010은 대신 간단한 방법을 제공하는데, 이 방법의 단점은 설정한 생크 압력이 특정 온도에서 일부 재질에 대해 US-28 방법으로 계산한 값보다 17%만큼 작을 수 있다는 점입니다. 장점은 계산이 덜 복잡하고 안전 마진이 추가로 발생합니다.

고압 어플리케이션(> 103 MPa(15 ksi)의 경우 ASME PTC 19.3 TW-2010은 계산을 위해 ASME BPVC VIII절 Division 3 또는 ASME B31.3의 IX장의 내용을 주의합니다. 이 고압값(ASME B16.5의 #2500 플랜지에 대한 압력 한계를 초과)은 주의 깊게 평가해야 하며 자동화 도구를 통해 수행하지 않아야 합니다.

팁 두께는 바깥쪽 팁에서 드릴의 가장 먼 지점까지 가장 얇은 치수입니다. 대다수 서모웰은 건 드릴(gun drill)을 사용하여 제작하므로 사용하는 팁 두께가 가장 얇은 점의 실제 측정값이어야 합니다. 피크 치수는 피크가 "밸리"가 아닌 센서와 접촉하므로 센서 길이 계산에 사용됩니다. 건 드릴이 날카로운 경우, 밸리는 0.060"[1.5 mm] 더 깊으며(얕음) 드릴이 마모되면서

Thermowell

두꺼워집니다.



서모웰 팁 두께 세부 정보

서모웰이 견딜 수 있는 최대 압력은 생크 또는 팁 압력 한계 중 작은 값입니다.



중요 사항

ASME PTC 19.3을 참조하든 ASME PTC 19.3 TW-2010을 참조하든, 압력 응력 평가는 나사산 또는 플랜지가 견딜 수 있는 응력이 아닌 서모웰 스템(또는 생크)과 팁이 견딜 수 있는 응력만 참조합니다. 와류 유발 진동에 대한 서모웰 설계를 평가하기 전에 공정 연결을 선택하고 압력 등급을 평가해야 합니다.

재질 정보

Materials Information

재질 정보에 대한 최상의 엔지니어링 관례는 가능한 신뢰할 수 있으며 표준화된 정보를 사용하는 것입니다. 에머슨은 ASME Boiler and Pressure Vessel Code와 ASME B31.1/B31.3 같은 개방형 소스 표준에서 제공하는 재질 정보만 사용합니다. 일반적으로 이 정보는 업계에서 신중하게 용인되고 있습니다. 이론상으로 에머슨은 협력 업체 정보를 사용하여 에머슨의 재질 데이터베이스를 입력할 수 있습니다. 그러나 에머슨은 특정 재질을 사용한 특정한 서모웰이 개개의 보고서에 적합하다고 확신하기 어렵기 때문에, 이 방법은 서모웰 성능을 최적화하는 실용적이긴 하나 신뢰할 수 있는 방법은 아닙니다.

설치 변형

INSTALLATION VARIATIONS

한 공정에서 서모웰을 설치하는 방법은 서모웰 응력 계산과 와류 발산에 상당한 영향을 미칠 수 있습니다. 여기에서 논의하는 설치의 플랜지식, 나사산식 및 용접식 서모웰 또는 서모웰의 부분적인 보호와 같은 "표준" 설치를 제외한 내용입니다.

엘보우 설치

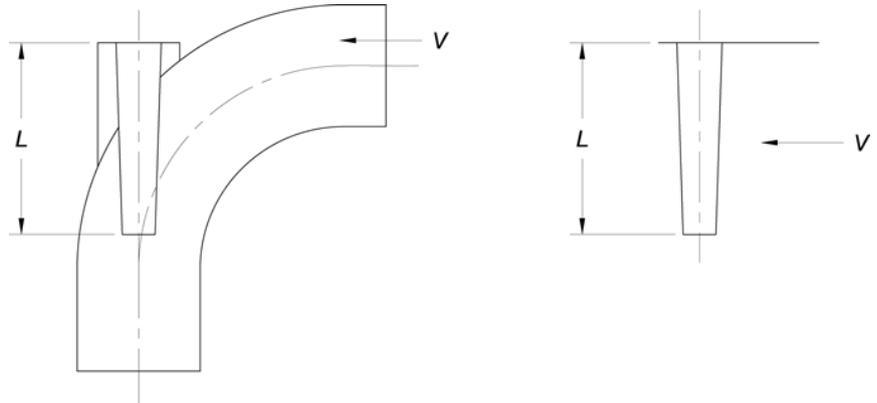
Elbow Installations

ASME PTC 19.3 TW-2010은 서모웰의 엘보우식 설치에 관해 의미 있는 지침을 제공하지 않습니다. 엘보우 방식으로 흐름을 모델링하는 방법은 난류와 복잡성으로 인해 매우 어렵습니다. ASME PTC 19.3 TW-2010은

신중하게 설치하도록 제안합니다. 서모웰 측에 수직(즉, “법선”)으로 작용하는 힘을 가진 유량의 흐름에 노출됨에도 다른 요소에 의해 보호받거나 지지되지 않는 전체 길이를 고려합니다. 그러나 이 것은 여러 가지 면에서 고려하기 힘든 사항입니다.

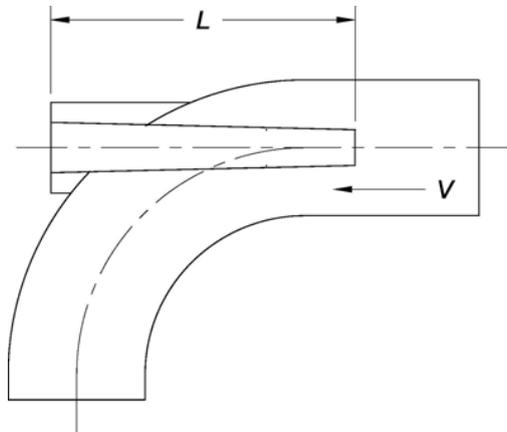
ASME PTC 19.3 TW-2010과 위원회 논의 중 일부에서 이러한 지나치게 신중한 입장에 대한 대안을 제시합니다. 팁이 엘보우에서 다운스트림 또는 업스트림이 되기에 충분해서 팁에서 유체 흐름이 서모웰에 평행인 경우, 팁을 가로지르는 흐름을 무시할 수 있으므로 스트롤 넘버가 매우 작습니다. ASME PTC 19.3 TW-2010은 이 방식은 표준의 범위가 아니라고 설명하지만 업계의 다른 사람들은 자연 주파수에 너무 근접한 서모웰 설계의 경우 이런 형태의 설치가 간단한 솔루션이라는 입장을 유지하고 있습니다.

Thermowell



엘보우의 다운스트림을 향하는 팁을 사용하여 설치한 서모웰⁽¹⁾

ASME PTC 19.3 TW-2010은 유동 흐름의 위치와 양이 보다 작은 모멘트 암(moment arm)에 적용되고 서모웰에 작용하는 힘과 팁에서의 유량 흐름에 더 많은 층이 형성되기 때문에 업스트림 방향으로 가리키는 서모웰이 더 나은 설치 방법이라고 제안합니다. 팁이 다운스트림을 가리키는 경우, 서모웰 주변을 통과한 후 발생하는 흐름의 와류가 일부 크로스 팁 구성 요소를 가질 수 있으나 이 것의 모델링은 매우 어렵습니다. 아래의 앵글형 설치와 마찬가지로 모멘트 암 계산이 복잡해지므로 힘, 모멘트 암, 응력의 변화를 쉽게 예측할 수 없습니다.



엘보우의 업스트림을 향하는 팁을 사용하여 설치한 서모웰⁽²⁾

에머슨은 이러한 솔루션의 장점에 대한 정당성을 제공하기 위해 이러한 설치 방법에 대한 더 많은 연구를 고려하고 있습니다.

앵글형 설치 Angled Installations

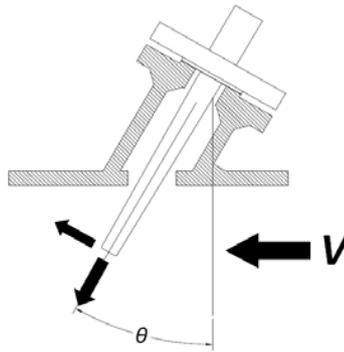
고객이 서모웰에 작용하는 힘을 줄이거나 작은 라인 크기에서 흐름에 노출을 증가시켜 온도를 정확하게 측정하기 위해 흐름에 비스듬하게 서모웰을 설치하는 경우가 많습니다. 팁 속도에 대한 “요각”(yaw angle) 효과는 간단한 삼각법의 문제가 아닙니다. 또한 서모웰에 작용하는 응력과

힘의 예측도 복잡합니다.

- (1) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.
- (2) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.

설치 각이 변하면서 팁을 통과하는 속도가 감소합니다.

$$V_{\text{cross axial}} = V_{\text{flow}} \cdot \text{COS}(\theta) \quad \text{최대 } 30^\circ \theta \text{의 경우 } ^{(1)}$$



앵글형 설치의 속도 벡터

각도가 0°에 접근하면 팁을 통과하는 속도는 흐름 속도의 100%에 접근합니다. 응력으로 인해 설치가 제한되는 경우가 아니라면 이 경우는 스트롤 주파수의 감소에 도움이 될 수 있습니다.

서모웰에 작용하는 힘의 경우 동일한 논리가 적용되지는 않습니다. 각도가 변하면 표면적이 증가하고 서모웰 길이가 증가하므로 마찰력이 증가합니다. 서모웰

주변의 유체 흐름이 점점 복잡해져서 모델링 할 수 없으며 그 결과 힘, 모멘트 압 및 응력의 변화를 쉽게 예측할 수 없습니다. ASME PTC 19.3 TW-2010에서는 이 상황이 표준의 범위를 넘어선다고 설명하지만 에머슨은 이 솔루션의 장점에 대한 정당성을 제공하기 위해 더 많은 연구를 고려하고 있습니다. 이 방법이 유일한 설치 방법이 되는 경우에는 설치가 어려워 질 수 있습니다.

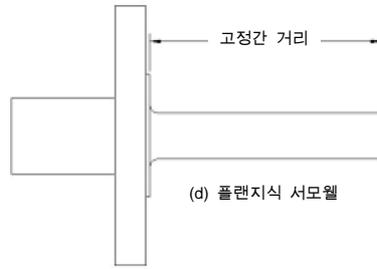
**사각형 덕트 대 원형 파이프
Square Ducts vs. Round Pipes**

새 표준에서는 평균 속도를 사용하므로 사각형 덕트의 흐름 단면 및 원형 파이프와의 차이에 대해 알거나 이해할 필요가 없습니다. 설계자는 단지 평균 속도 계산에 필요한 단면적, 밀도 및 질량 유속에 대해서만 알 필요가 있습니다. 이에 대한 자세한 논의는 평균 속도 단락을 참조하십시오.

**고정간 거리 정의
UNSUPPORTED LENGTH DEFINITION**

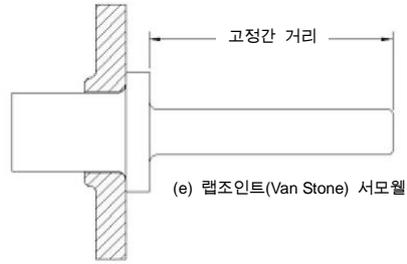
ASME PTC 19.3 TW-2010가 발표되면서 고정간 거리(unsupported length)에 대한 정의가 바뀌었습니다. ASME PTC 19.3 TW-2010에서 사용하는 빔 이론 모델은 고정간 거리에서의 변화에 매우 민감하므로 일관성 있고 명확하게 정의할 필요가 있습니다.

플랜지식 서모웰의 경우(Lap Flange와 Van Stone 포함), 삽입 길이(immersion length)는 고정간 거리(unsupported length)와 같습니다.

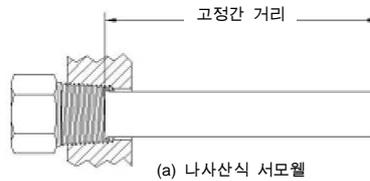


플랜지식 서모웰⁽²⁾

- (1) S. E. Ramberg, "The Effects of Yaw and Finite Length upon the Vortex Wakes of Stationary and Vibrating Cylinders," *Journal of Fluid Mechanics* 128, 81-107 (1983).
- (2) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.



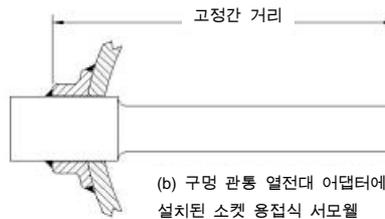
Lap Flange / Van Stone 서모웰⁽¹⁾



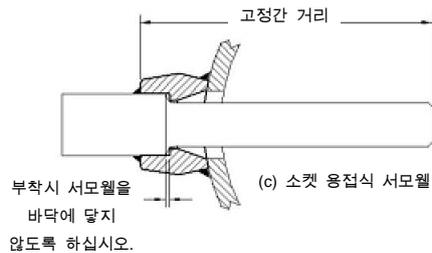
나사산식 서모웰⁽¹⁾

나사산식 서모웰의 경우 삽입 길이(immersion length)가 고정간 거리(unsupported length)와 같으나 실험 결과는 고정간 거리가 나사산 부분의 약 2 ~ 3개 나사산에서 시작함을 보여줍니다. 이 내용은 나사산식 서모웰에 대한 교정 계수 적용을 통해 ASME PTC 19.3 TW-2010에서 설명합니다.

가장 큰 변화는 용접식 서모웰에서 나타납니다. 삽입 길이를 잘못 사용하면 고정간 길이가 짧아지고 서모웰의 자연 주파수가 증가합니다.



스루 홀(thru hole) 용접식 서모웰⁽¹⁾



기술자료 - Thermowell Calculations

00840-0215-2654, Rev AB

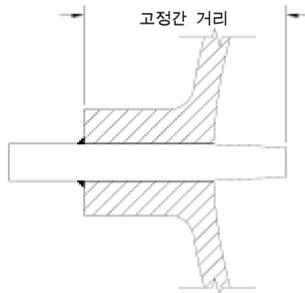
2012년 1월

Thermowell

소켓 용접식 서모웰⁽¹⁾

(1) ASME Standard, Performance Test Codes 19.3TW-2010.

고정간 거리는 용접 지점부터 계산하지만 에머슨에서 용접 지점을 정확히 할 수 없으므로 계산에 필요한 용접 지점을 추정하거나 서모웰의 전체 길이를 사용해야 합니다. 이 문제는 서모웰 설치 방법과 관계가 없으며 안전하고 신중한 계산을 제공합니다.



DIN 43772에 따른
용접식 서모웰

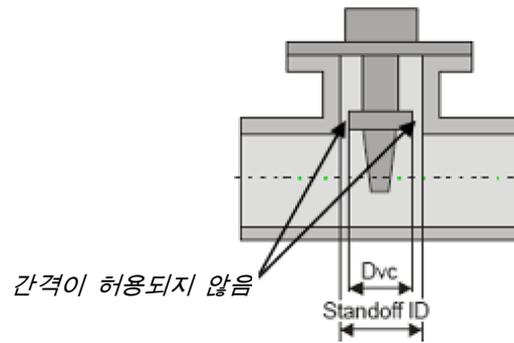
다른 방법은 서모웰에 선을 그어서 계산을 위해 정확하게 또는 신중하게 용접할 장소를 알리는 방법입니다. 이 방법은 고려할 점이 많아지고 소켓 치수에 대한 지식이 요구됩니다.

DIN 43772에 따라 설치된 용접식 서모웰의 경우 고정간 거리를 명확하게 해야 하는 특수한 경우입니다. 여기에서는 파이프에 구멍을 뚫은 허용 오차가 엄격한 홀 또는 허용

오차를 엄격하게 적용하여 가공된 바스톡 서모웰을 사용하여 설계합니다. 억지끼워맞춤(interference fit *끼워맞춤방식) 방법은 보장될 수 없는데 설계 허용 오차가 있으므로 고정간 거리가 이동될 수 있기 때문입니다. 다른 정보가 없을 경우 이 설치에 필요한 고정간 거리는 표준 규격 세부 사항에 따라 정의합니다.

벨로시티 칼라 VELOCITY COLLARS

ASME PTC 19.3 TW-2010에서 벨로시티 칼라 (VELOCITY COLLARS) 의 사용에 대해서도 설명합니다. 표준에 따르면 고정간 거리를 짧게 하기 위한 목적으로 단단한 지지대로써의 칼라의 사용을 권장하지 않습니다. 고정간 거리는 억지 끼워맞춤을 사용해서만 줄일 수 있습니다. 그 이유는 일반적으로 서모웰 팁 변위가 매우 작고(0.5 mm 미만)⁽¹⁾⁽²⁾ 칼라와 스탠드오프 파이프 내경 사이 간격에 의해 칼라가 고정간 거리를 효과적으로 줄이는데 효과가 없기 때문입니다. 또한 금속 표면을 반복해서 두드리는 망치처럼 서모웰 또는 파이프가 계속 변형되어 아무 것도 닿지 않을 때까지 간격이 계속 넓어집니다. 이 결과 압흔에 의해 서모웰에 응력 상승 홀(stress riser)이 발생하거나 칼라 주변의 용접이 부서질 수 있습니다. 칼라는 억지끼워맞춤으로 맞춰져야 하는데 에머슨은 최종끼워맞춤을 보장할 수 없으므로 칼라를 사용하기 보다 기하학적 구조 또는 설치 변경을 통해 공정 조건을 만족시키도록 권장합니다.



칼라와 파이프 스탠드오프 ID 사이의 간격을 허용하지 않습니다.

- (1) Finch, P., Hamblin, M., and Constable, D., "In-situ Measurement of Thermowell Vibration during Production Train Pressurisation," Woodside Energy Ltd. Report (date unknown – post 2001 and pre 2010).
- (2) Haslinger, K.H., Westinghouse Electric Company, "Flow-induced vibration testing of replacement thermowell designs," Journal of Fluids and Structures (2003).

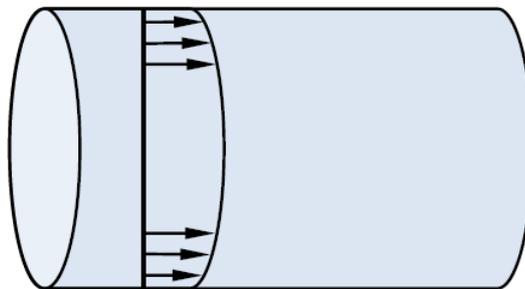
Thermowell

에머슨은 고객의 사양에 맞추어 벨로시티 칼라를 갖춘 서모웰을 계속 제공하지만 벨로시티 칼라의 크기 조절에 대한 의견을 제공하지 않으며 벨로시티 칼라를 사용하는 설치에 필요한 계산 보고서도 제공하지 않습니다. 다른 수단을 통해 해당 방법에 대한 승인 형식을 제공할 수 있습니다. 또한 DIN 43772 용접식 서모웰 및 유사한 목적의 다른 설비도 벨로시티 칼라와 같은 방식으로 처리합니다.

평균 속도 대 속도 프로파일 AVERAGE VELOCITY VS. VELOCITY PROFILE

유한 요소 분석(Finite Element Analysis)을 통해 세밀하고 정밀한 실제 양을 얻는 방법이 서모웰에 미치는 영향을 계산하는 최상의 방법이라고 할 수 있습니다. 그러나 FEA 방법을 사용할 경우 입력 매개 변수가 계속 변하여 정밀 계산이 쓸모가 없어지는 경우가 빈번하게 발생하므로 사용하기 어렵습니다.

ASME PTC 19.3-1974와 ASME PTC 19.3 TW-2010 표준 모두 평균 속도를 사용하여 계산합니다. 일반적으로 설계자는 질량 유속에 대해 알고 있으나 파이프에서의 유량 분포에 대해서는 거의 알지 못할 거라는 논리가 밀바탕에 깔려있습니다. 설계자는 간단하게 단면적, 밀도 및 질량 유속을 사용하여 평균 속도를 계산합니다. 또한 평균 속도를 사용하면 계산을 간단하게 유지하기 때문에 사용자는 전체적으로 수용하게 됩니다.



파이프에서 완전히 전개되는 난류 분포의 예

서모웰 구성 요구 사항 THERMOWELL CONSTRUCTION REQUIREMENTS

현장에서 자연 주파수를 계산할 때 ASME PTC 19.3 TW-2010은 간단한 빔 모델을 사용하기 위해 서모웰이 단단한 바스톡(barstock)으로 제작되었다고 가정합니다. 서모웰은 단조하거나 롤형태로 형성된 재질을 사용할 수 있으나 파이프나 배관 재질로 만들 수는 없습니다. 이 제한 사항은 3조각으로 용접된 구조를 가지거나 뚜껑을 용접한 상태에서 틱을 통해 드릴로 구멍을 뚫어 제작한 서모웰에는 ASME PTC 19.3 TW-2010이 적용되지 않습니다.

플랜지식 서모웰의 경우 완전 용입 용접을 사용하여 최상의 피로 강도 등급을 얻도록 권장합니다(ASME PTC 19.3 TW-2010의 Allowable Fatigue

Stress Amplitude Limits(피로 허용 응력 진폭 한계) 참조). 단조식 서모웰은 용접 없이 동일한 목적을 달성하지만 비용이 많이 듭니다. Van Stone 형식의 서모웰은 비용이 적게 들지만 이 형식의 서모웰을 사용하는 고객이 적습니다.

구조와 관련된 다른 문제는 서모웰의 제조 허용 오차에 대한 문제입니다. 허용 오차가 너무 느슨할 경우 빔 방정식이 부정확해지며 방정식을 통해 형성된 모든 안전 마진의 효용이 없어지게 됩니다. 그러나 허용 오차가 너무 엄격하면 서모웰 제작 비용이 증가합니다. 치수의 경우 부식 공차도 고려해야 합니다.

Thermowell

Rosemount와 Rosemount 로고는 Rosemount Inc.의 등록상표입니다.

PlantWeb은 에머슨 프로세스 매니지먼트 그룹의 등록상표입니다.

다른 모든 상표는 해당 소유자의 자산입니다.

Emerson Process Management

Rosemount Measurement

8200 Market Boulevard
Chanhassen MN 55317 USA

Tel (미국) +1 800 999 9307

Tel (미국 이외 국가) +1 952 906 8888

Fax +1 952 906 8889

Emerson Process Management Korea Ltd

경기도 성남시 중원구 상대원동 513-14

시콕스타워 12층

우편번호 462-806

전화 +82 2 3438-4600

팩스 +82 2 556-2365

Email : RMD.Korea@Emerson.com

www.emersonprocess.co.kr

© 2012 Rosemount Inc. All rights reserved.