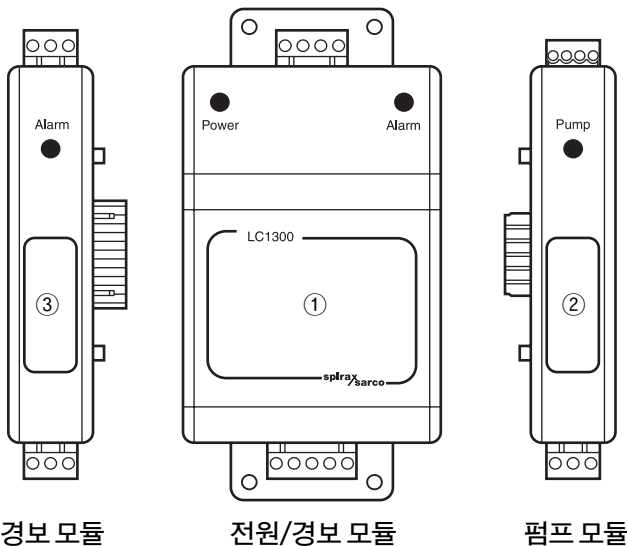




LC1300 모듈타입 on/off 수위 컨트롤러

보일러 전용 수위 제어 및 경보를 위한 모듈타입의 컨트롤러로서 사용자의 운전조건에 따라 최적의 비용으로 필요한 기능만을 선택하여 수위제어 또는 경보 시스템을 구성할 수 있는 최신의 모듈타입 컨트롤러입니다.

- 전원/경보 모듈-컨트롤러 전원공급 및 경보 1개 출력
- 펌프 모듈-급수펌프 on/off 제어
- 경보 모듈-경보 1개 출력



경보 모듈

전원/경보 모듈

펌프 모듈

LC1300 수위 컨트롤러

LC1300 모듈타입 컨트롤러의 특징

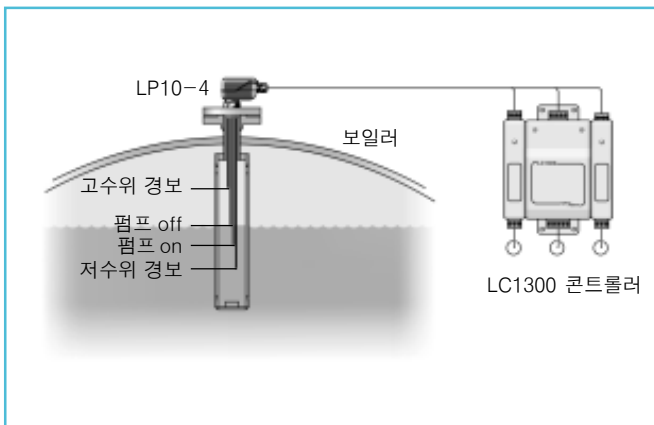
- 사용전압 : 98 V~264 V
- 거의 모든 물에서 콘트롤 가능
(최소 전기전도율 : $1 \mu S/cm@25^\circ C$)
- 모든 조건에서 안정된 제어를 할 수 있도록 자동 필터장치 내장
- 컨트롤러 내부 설정이 불필요함
- DIN RAIL 또는 벽면 설치형

LC1300 컨트롤러 사용조건

- 주변온도 : 0~55 °C
- 최대전선길이(컨트롤러 ↔ 센서) : 100 m

LC1300 수위제어 시스템 구성

- 컨트롤러 : LC1300
 - 수위센서 : LP10-4
- (응용방법)
- 경보 1개(HA or LA) : ①
 - 경보 1개+펌프(밸브) on/off : ① + ②
 - 경보 2개+펌프(밸브) on/off : ① + ② + ③
 - 경보 2개(HA & LA) : ① + ③



보일러 on/off 수위제어 시스템 적용 예

증기사용장치의 설계에 대한 고찰

증기를 직접 분사하는 공정설비의 경우

우리 주변에는 다양한 공정에서 증기를 직접 분사하여 제품을 가공하고 있다. 예를 들어 식품공정의 경우 만두, 라면, 스낵 제조공정의 증숙기 또는 증연기, 오크밥, 짜장 등의 레트르트 제품, 섬유의 세팅기와 염색의 증숙기, 목재 건조실, 주정의 증자실 등등에 이르기까지 그 사용처가 다양하다. 그리고 이들 공정은 크게 증기를 대기압 상태의 설비에 공급하는 경우와 밀폐된 탱크나 레토르트로 공급하는 경우로 분류할 수 있다. 이들 2가지의 경우 모두 증기 사용량, 증기 배관 구경 및 증기 압력과 관계에 따라 설계를 적절하게 하지 못하면 공정에서 요구하는 설계 압력보다 높은 압력의 증기를 공급하여야만 생산이 가능한 경우가 많다. 특히 대기중으로 개방된 설비의 경우 대기중으로 다량의 증기가 벤트되어 문제가 되는 경우가 많고 밀폐식 설비의 경우 증기압력이 높은 경우 외에도 설비 내 압력을 유지하면서 일정량의 증기를 연속적으로 벤트해야 원하는 품질의 제품을 생산할 수 있는 경우도 있다. 따라서 금번 호에서는 증기를 대기압 상태의 설비에 공급하는 경우에 대한 실제 설계사례를 가지고 보다 효율적인 운전 조건과 증기 배관시스템에 대해서 알아보기로 한다.

증기 압력의 선택

증기 시스템을 진단한 과거의 경험에 의하면 만두 공정, 라면공정의 증숙기의 입구측과 출구측에서 다량의 증기가 벤트되는 경우가 많아 확인해 보면 대부분 실제로 공정에서 요구하는 증기의 압력보다는 높은 압력으로 증기를 공급하고 있는데, 현장의 생산 담당자에게 물어보면 대부분 증기 압력이 낮아지면 제대로 가열이 안되고 시간이 많이 걸리기 때문이라고 답변하였다.

실제로 각 식품 공정별로 요구하는 공정온도를 보면 투입된 제품이 콘베이어에 의해 약 10~20m 길이의 증숙 터널을 통과하면서 증숙기 내의 증기에 의해 가열되어 제품의 중심온도가 약 95~100℃가 되면 된다. 그리고 이 증숙기의 입구측과 출구측은 콘베이어와 제품이 진입하여 진출해야 하는 공간 때문에 밀폐시킬 수가 없어 증숙기 내부는 압력이 대기압으로 작용하게 되나 실제 중간 부분의 압력은 약간 높게 걸려 증숙기 내부의 증기 온도는 약 100℃~102℃ 정도가 된다고 보며 이때 압력은 0~0.05 bar가 된다.

이 압력은 증숙기 내부로 공급하는 증기의 압력이 1 bar, 5 bar 또는 10 bar에 관계없이 거의 비슷하게 걸리게 되므로 결국 증숙기에 공급하는 증기의 압력을 구태여 높게 할 필요가 없음을 알 수 있다.

분사 증기 압력이 높은 경우 문제점

증숙기 내부로 분사하는 분사관에서 증기 압력이 너무 높

게 되면 몇가지 문제가 발생한다. 첫번째로 증숙기 내부에 공급된 증기가 과열증기가 되어 제품이 국부적으로 마를 수 있다. 즉, 분사관 내 압력이 1.0 bar g이며 건도가 99%인 포화증기(전열=2,685 kJ/kg)가 0 bar g의 상태로 분사되면 증기의 온도는 100℃가 아니라 약 104℃의 과열증기가 된다. 그러나 만약 1.5 bar g이며 건도가 99%인 포화증기(전열=2,695 kJ/kg)가 분사된 경우에는 온도가 약 109℃까지 상승한다. 그러나 증기압력이 0.5 bar g, 99% 건도의 증기의 경우에는 100℃가 된다.

만약 과열증기가 공급되면 밀가루의 수분이 미처 익기 전에 먼저 반죽 속의 수분이 건조되면서 제품 불량 발생한다.

표 1. 포화증기표

압력 bar g	온도 ℃	현열		잠열		전열	
		kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg
0.00	100.0	419.0	100.09	2257.0	539.08	2676.0	639.15
0.05	101.4	424.9	101.49	2253.3	538.19	2678.2	639.68
0.10	102.7	430.2	102.75	2250.2	537.45	2680.4	640.20
0.40	109.6	459.7	109.80	2231.3	532.94	2691.0	642.73
0.50	111.6	468.3	111.85	2225.6	531.58	2693.9	643.43

두번째로 증숙기 내부로 유입되는 증기의 속도가 너무 빠르게 되어 증숙기 내부에 난류가 형성된다. 그에 따라 전열효과가 좋아진다고 생각할 수 있으나 저속으로 이동하고 있는 제품에 너무 빠른 속도로 증기가 접촉하면서 오히려 과열되거나 너무 많이 익을수도 있다. 따라서 증숙기 내부의 증기는 응축되는 증기만 계속 공급될 정도의 속도가 되도록 하는 것이 좋다.

셋째로 압력이 높으면 증숙기 내부에 과잉된 양의 증기가 공급되고 그에 따라 증숙기 입구와 출구에서 벤트되는 증기의 양이 증가하게 된다.

따라서 증숙기에 공급되는 분사관 내의 증기의 압력은 약 0.4~0.5 bar 정도로 하는 것이 좋다. 그러나 높게 공급하던 증기 압력을 이와같이 낮추어 공급하려면 가장 먼저 배관구경을 다시 검토하여야 한다.

증기 압력을 충분히 낮게 유지하고 배관 구경을 키운다.

공정에서 요구하는 것은 공정에서 요구하는 적정 온도를 유지하면서 충분한 열량을 공급받는 것이다. 이때 공급하는 증기 압력은 공정에서 요구하는 온도보다 적정한 온도차로 높은 온도를 공급할 수 있는 압력이면 된다. 현장에서 일반적으로 압력이 높아야 충분한 열량이 공급된다고 말하는 것은 압력이 낮은 경우보다 동일한 배관 구경을 통해 공급되는 증기의 양이 상대적으로 많기 때문이다. 따라서 이와 같은 경우에는 낮은 압력에서도 공정에서 요구하는 열량을 공급하기 충분한 증기를 공급할 수 있는 배관구경을 설치하면 된다.

예를 들어 라면을 생산하는 공정에 대해 알아보자.

지금 분당 300개씩 라면을 생산하는 증숙기에서 20℃에 투입된 밀가루를 100℃까지 가열한 후 라면 1개당 무게가 120g 이라고 가정한다. 초기에 함수율이 13.5%인 밀가루에 밀가루 무게의 35%만큼 물을 추가하여 반죽을 하고 증숙기에서 증기로 가열하여 익히게 되는 데 발생한 응축수는 모두 바닥으로 흘러 버린다고 한다.

보일러에서 공급되는 증기 압력은 7 bar g이고 증숙기 앞에 감압밸브를 설치하여 0.5 bar g로 감압하여 증숙기에 공급할 때 감압밸브 1차측과 2차측의 배관 구경을 선정하기로 한다.

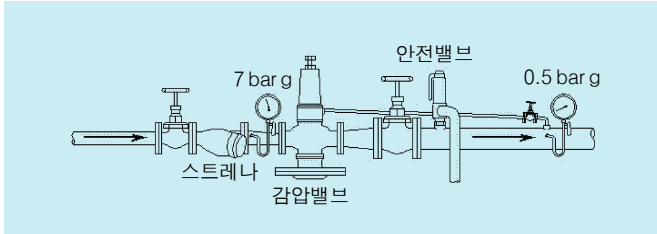


그림 1. 감압밸브 스테이션 예

- 총 생산량 = 120 g × 300 개/min × 60 min/h × 1 kg/1,000 g = 2,160 kg/h
- 함수율이 13.5%인 밀가루의 무게 = X
- 1.35X = 2,160 kg/h → X = 1,600 kg/h
- 추가되는 물의 양 = 1,600 kg/h × 0.35 = 560 kg/h
- 필요 열량을 계산하기 위한 조건은 다음과 같다.
- 물의 비열(C_{PW}) = 4.1868 kJ/kg °C (= 1 kcal/kg °C)
- 물의 양(m_w) = 560 kg/h
- 함수율 13.5%인 밀가루의 비열(C_{PP}) = 1.59 kJ/kg °C
- 밀가루의 양(m_P) = 1,600 kg/h
- 초기/최종 온도 = 20 °C/100 °C
- 설비의 방열손실은 필요 열량의 50%로 추정(콘베이어의 열손실 포함)
- 이제 제품을 생산하기 위하여 필요한 열량을 계산하여 보자.
- 제품 가열에 필요한 열량 = (m_wC_{PW} + m_PC_{PP})ΔT = (560 × 4.1868 + 1,600 × 1.59) × (100 - 20) kJ/h = 391,214 kJ/h (= 93,440 kcal/h)
- 방열 손실 = 391,214 kJ/h × 0.5 = 195,607 kJ/h (= 46,720 kcal/h)
- 총 필요열량 = 586,821 kJ/h (= 140,160 kcal/h)
- 0.05 bar g 증기의 잠열 = 2,253.3 kJ/kg (= 538.19 kcal/h)
- (분사관에서 압력은 0.5 bar g이지만 증숙기 내부의 실제 압력이 0.5 bar g보다 낮으므로 0.05 bar g로 계산한다.)
- 증기 필요량 = 586,821 / 2,253.3 kg/h = 260 kg/h
- 이제 배관 구경을 선정하면 압력이 7 bar의 경우 증기 속도 25 m/s 기준으로 배관 구경을 선정하면 배관구경은 32 mm 면 된다. 그러나 감압을 한 후에는 증기가 설비내로 유입되면서 아주 저속으로 공급되는 것이 좋다. 따라서 배관 내 압력은 0.5 bar이고 증기 속도는 15 m/s가 좋으므로 선정된 배관 구경은 80 mm 또는 100 mm가 되어야 한다.
- 배관 구경 선정은 압력 손실 등을 고려하여 선정하는 것이

바람직한 방법이나 간단하게 속도로 역산하여 보면 다음과 같은 공식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$Q(\text{kg/h}) = A(\text{단면적}) \times \text{속도}(\text{m/s}) \times 3,600(\text{비체적}(\text{m}^3/\text{kg}))$$

0.5 bar g 증기의 비체적이 1.149 m³/kg이고 증기의 속도를 15 m/s라고 하면 증기의 양이 260 kg/h이므로

$$260 = A \times 15 \times 3,600 / 1.149$$

$$A = 0.005532 \text{ m}^2, d = 0.0839 \text{ m} = 83.9 \text{ mm}$$

따라서 호칭경 100 mm 배관이 선정된다.

앞에서 지적한 증기의 압력이 높아야 하는 경우의 원인은 감압을 한 뒤의 2차측 배관 구경을 1차측 배관 구경과 동일하게 32 mm로 하는 경우에 주로 발생하여 압력을 다시 올려야 하는 경우이다. 따라서 감압밸브 후의 2차측 배관 구경을 충분히 크게 설치하는 것이 반드시 필요하다.

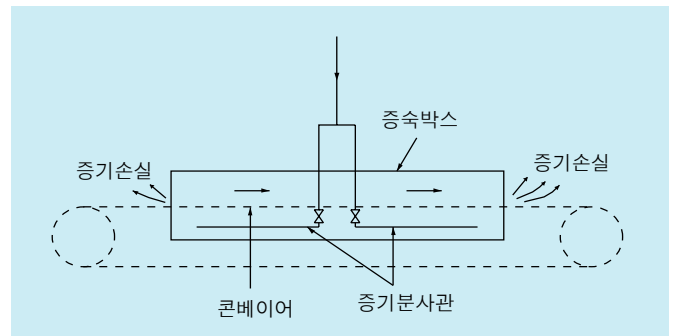


그림 2. 증숙기내 증기 공급 배관

증숙기의 효율적인 운영을 위한 고려사항

증숙기의 경우 위와 같은 증기압력과 배관 구경문제 외에도 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- 1) 증기 공간 내에서 공기를 신속하게 배출할 수 있도록 증숙기 상부에 에어벤트를 설치한다.
- 2) 일단 감압밸브 앞에는 기수분리기를 설치하여 가급적 건조한 증기가 유입되도록 한다.
- 3) 증숙기의 경우 길이가 10 m 이상이 되므로 증기가 전체 증숙기의 하부에서 골고루 공급되도록 분사관 및 분사 노즐을 배열한다. 또한 분사관의 배열시 입구측과 출구측 그리고 중앙부의 증기 사용량이 서로 다르므로 입구측은 많은 양이 출구측은 적은 양이 공급되도록 배열하는 것도 필요하다. (분사관의 배열에 대한 사항은 다음 호에 계속하여 설명할 예정이다.)
- 4) 제품에 따라 증숙기 내부의 증기 온도를 98~100 °C로 유지하기 위해서 온도조절밸브를 설치하는 것을 검토한다.
- 5) 증숙기 상부에서 결로가 발생하여 제품에 떨어지지 않도록 내부 천장을 경사지게 한다.
- 6) 증숙기 바닥에는 응축수가 잘 흘러내리도록 경사를 둔다.
- 7) 콘베이어 시스템의 경우 콘베이어 이동에 따른 증기의 이동이 적도록 한다.

이와는 별도로 증숙기 다음 공정인 튀김 공정의 열교환기에 공급된 증기가 응축하여 발생한 응축수에서 재증발 증기를 회수하여 증숙기에 공급하면 시스템의 에너지를 절약할 수 있다.

기타 상세한 자료는 한국스파이렉스사코(주) 기술지원팀에 문의하십시오.

증기 엔지니어링 기초

2 증기(Steam)란 무엇인가?

■ 기본적인 분자 구조

증기의 성질을 잘 이해하기 위해서는 일반적인 물질의 분자와 원자구조를 이해하고, 이 지식을 얼음, 물 그리고 증기에 이용해야 한다. 분자는 물질의 모든 화학적 성질을 가지고 있는 존재할 수 있는 성분의 가장 작은 양이다. 분자는 수소나 산소와 같은 기본적인 성분인 원자로 불리는 더 작은 입자로 구성되어 있다. 이들 원자 성분의 특수한 조합이 합성물을 형성한다. 물은 합성물의 하나로서, 두개의 수소 원자와 하나의 산소 원자로 구성되어 있다. 물이 지구상에 이렇게 풍부한 이유는 물론 수소와 산소가 우주에서 가장 풍부하기 때문이다. 탄소는 산소나 수소에 비해서는 풍부하지 않지만 산소 원자수의 20% 정도이며, 이를 제외한 다른 원소는 중요하지 않거나 불활성이다. 지구상에서 가장 일반적인 원소의 조합은 H₂O를 형성하는 수소와 산소로 구성되어 있으며, H₂O는 정상적인 대기 조건하에서 자연스럽게 물로 존재한다.

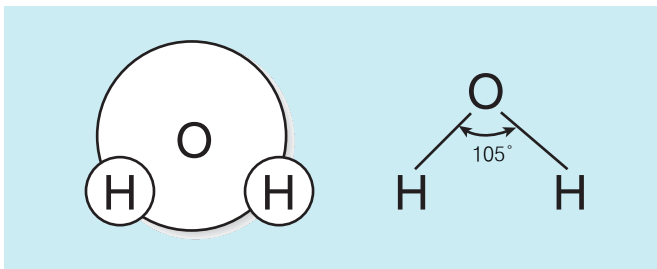


그림-1 물의 분자 구조

얼음, 물 그리고 증기의 분자구조는 아직 완벽하게 규명되지 않고 있다. 그러나, 수소결합으로 불리는 전기 전하(electrical charges)에 의해 함께 결합된 분자를 고려하는 것이 편리하다. 분자의 여기정도(degree of excitation)에 의해 물질의 물리적 상태가 결정된다. 대부분의 무기물질은 고체, 액체 또는 기체의 3가지 상태로 존재한다. 그리고 물의 경우 얼음, 물, 증기로 존재한다. 얼음의 경우 분자가 규칙적인 격자모양의 구조로 함께 고정되어 있기 때문에, 오직 진동운동만 할 수 있다. 물의 경우에는 구조는 없어지고, 대부분 분자가 + 전하와 -전하의 상호 인력에 의해 쌍을 지어 연결된다. 이 경우 진동운동 외에 약간의 회전운동 및 변환운동이 존재한다. 증기의 경우 단일 분자 사이에 상호 인력이 완벽하게 약해진다. 대부분의 에너지는 변환운동의 형태로 존재하고, 약간의 회전운동도 존재한다.

물 1kg을 끓이기 위한 에너지는 같은 무게의 대부분의 다른 액체에 비해 훨씬 많다. H₂O의 독특한 분자구조 때문에, 상대적으로 많은 양의 열을 흡수한다. 포화증기는 열 저장소로

서, 열을 한 곳에서 다른 곳으로 이송하는 그리고 마지막 목적지에 열을 전달하는 열매체로서 탁월한 능력을 갖고 있다.

■ 얼음에서 증기로

1) 고체가 녹아 액체가 되는 현상

고체상에서, 격자구조 내에서의 분자운동은 분자들이 분자 하나의 직경보다 작게 떨어져 있는 평균결합지점 근처에서의 진동운동이다. 열이 계속적으로 공급되면, 진동운동이 어느 한계까지 증가하여 일부 분자가 순간적으로 그들의 결합에서 떨어져 나와 액체 상태가 되기 시작한다.(대기압의 물은 항상 0 °C의 온도에서) 얼음의 온도를 상승시키지 않고 상만 변화하도록 하여 격자결합을 깨뜨리는 열을 용해열(enthalpy of melting)이라 한다. 이 상변화 현상은 가역적이고, 어느 현상은 같은 양의 열이 외기로 방출될 때 발생한다.

2) 액체 온도의 상승

액상에서, 분자들의 움직임은 자유롭다. 그러나 아직도 상호인력으로 인해 한 분자직경보다 더 떨어져 있지 않고, 충돌이 자주 발생한다. 더 많은 열이 공급되면, 분자 교반과 충돌이 증가하여, 액체의 온도를 끓는 온도까지 상승시킨다. 끓는 온도 이하의 물은 보통 불포화(sub-saturated) 상태라고 한다.

3) 비등, 증발 및 포화

온도가 상승하여 물이 비등조건에 도달하게 됨에 따라, 약간의 분자들이 액체로 되돌아 가지 않고 탈출할 수 있도록 하는 충분한 운동에너지를 얻는다. 더 많은 열이 공급되게 되면, 여기(excitation)상태가 좀 더 커지게 되고 액체를 떠나기에 충분한 에너지를 가진 분자들의 수가 증가한다. 액체표면을 떠나는 분자의 수가 다시 들어오는 것보다 많아질 때, 물은 자유롭게 증발하고 이를 포화점 또는 끓는점에 도달했다고 한다. 압력이 일정하게 유지되면, 물은 가열이 되어도 온도는 더 이상 상승하지 않고 포화증기가 된다. 동일한 시스템 내에서 끓고 있는 물과 포화증기의 온도는 동일하지만, 단위 질량당 열에너지는 증기가 더 크다.

얼음에서 물로 상(phase)이 변하는 것과 같이, 증발 과정 또한 가역적이다. 즉, 포화증기가 냉각되면, 증발시키는데 사용되었던 양과 동일한 열을 버리고 액체로 되돌아간다. 이 과정을 응축이라 하고, 증기가 낮은 온도에 있는 어떤 표면과 접촉할 때 이 현상은 일어난다. 응축하는 동안, 증기를 생산하기 위해 사용되었던 동일한 양의 열이 외기로 방출된다. 가열과정에서는 증기의 열량 증이 방출된 열을 이용하게 된다.

포화점에서 비등하는 물 1kg을 증발시키는데 필요한 에너지의 양(잠열)은 물을 끓는점까지 상승시키는데 필요한 양(현열)보다 상당히 크다. 증기를 이용한 열전달 계산에서, 증발 비엔탈피 또는 증발잠열이라고 하는 이 증기 kg당 ‘유용한’ 열을 고려하는 것이 필요하다.

■ 대기압에서 증기의 형성

보일러에서의 증기 생성을 가장 쉽게 설명할 수 있는 것이 주전자이다. 물이 끓는점까지 가열됨에 따라, 주전자 내에서 증기 방울이 형성되어, 수면을 통해 위로 올라간다. 물이 끓고 있는 동안, 수면 위의 공간은 순식간에 증기로 채워지게 된다. 현실적으로, 증기 방울이 수면을 통과하면서 깨짐에 따라, 난류가 발생하고 물이 튀어 나가기 때문에 증기 공간은 물방울과 증기가 혼합되어 있다. 주전자 및 증기 보일러에서 생산된 증기는 포화증기이다. 증기가 물 표면과 접촉하는 곳에서, 순수한 건증기가 얻어지는 것은 불가능하기 때문에 현실적으로 이와 같은 방식으로 생성된 포화증기는 일반적으로 질량으로 약 5%의 물을 포함하고 있다.

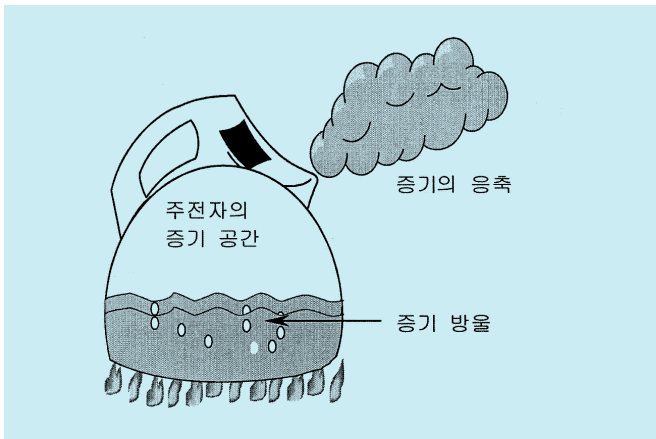


그림-2 대기압에서 증기의 생성

보일러에서 생성된 증기 양과 같은 비율로 증기가 모두 배출될 경우, 더 많은 열이 공급되면 증기의 생성량은 증가하게 된다. 보일러에서 생성된 증기의 배출을 억제하고 열유입량을 유지한다면, 보일러에 공급되는 에너지는 배출되는 에너지에 비해 더 클 것이다. 이 초과되는 에너지는 압력을 상승시키고, 따라서 포화증기의 온도가 그 압력에 따라 결정되기 때문에 포화온도가 상승하게 된다.

물의 온도를 끓는점까지 상승시키는데 공급된 열과 끓는 물을 증기로 증발시키는데 공급된 열은 별개로 간주된다.

■ 액체 엔탈피, 현열(h_f)

이것은 액체상태의 물을 끓는 온도까지 상승시키는 데 필요한 열이다. 물에 공급된 열은 온도 변화를 수반하기 때문에 현열이라고 불린다. 그러나, 요즘은 액체 엔탈피 또는 물의 엔탈피라 불린다. 이 자료에서는 ‘현열’이라고 부르기로 한다. 1kg의 물을 0℃에서 끓는 온도까지 상승시키는데 필요한 열량은 포화증기표에 나와 있다.

예를 들면, 대기압(0 bar g)에서 물은 100℃에서 끓고, 1kg의 물을 0℃에서 끓는 온도인 100℃까지 가열하는데 419kJ (=100kcal)의 에너지가 필요하다. 물의 비열(C_p)은 0℃에서 100℃ 사이에서 계산에 의하여 유도할 수 있다.

즉, $419 \text{ kJ/kg} (=100 \text{ kcal/kg}) / 100 \text{ }^\circ\text{C} = 4.19 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} (=1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C})$

■ 증발 엔탈피, 잠열(h_{fg})

이것은 물의 끓는 온도에서 온도변화없이 물을 증기로 상 변화시키기 위해 필요한 열량이다. 열이 공급될 때, 증기와 물의 혼합물 온도는 변화가 없고 모든 에너지는 액체(물)에서 기체(증기)로 상을 변화시키는데만 사용된다. 잠열이라는 오래된 용어의 의미는 열이 추가되지만 어떠한 온도변화도 없다는 사실에 기인한다. 요즘 사용되는 용어는 증발 엔탈피이지만 아직도 일반적으로 잠열(latent heat)이라는 말이 사용된다. 끓는 온도에서 물 1kg을 증발시키는데 필요한 열량 즉 증발잠열은 포화증기표에 나와 있다.

예를 들면, 대기압(0 bar g)에서 100℃의 물 1kg을 100℃의 증기로 증발시키는데 필요한 에너지는 2,257kJ (=539kcal)이다.

■ 전열(h_g)

이것은 증기의 전체 에너지이고 이것은 간단히 현열과 잠열의 합이다. 이에 관한 자세한 내용은 포화증기표에 나와 있다.

예를 들면, 대기압(0 bar g)에서 물은 100℃에서 끓고, 1kg의 물을 0℃에서 끓는 온도 100℃까지 가열하는데 419kJ (=100kcal)의 에너지가 필요하다. 여기에 추가로, 2,257kJ (=539kcal)의 에너지가 100℃의 물 1kg을 100℃의 증기로 증발시키는데 필요하다. 그러므로, 전열은 $419 \text{ kJ} (=100 \text{ kcal}) + 2,257 \text{ kJ} (=539 \text{ kcal}) = 2,676 \text{ kJ} (=639 \text{ kcal})$ 이다.

표 1. 포화증기표

계기압력 bar	MPa	포화온도 ℃	현열		잠열		전열		비용적 m ³ /kg
			kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kcal/kg	
0	0	100	419	100	2,257	539	2,676	639	1.673
1	0.1	120	506	120	2,201	526	2,707	646	0.881
2	0.2	134	562	133	2,163	517	2,725	651	0.603
3	0.3	144	605	143	2,133	517	2,725	651	0.603
4	0.4	152	636	151	2,108	504	2,749	656	0.374
5	0.5	159	662	158	2,086	498	2,757	658	0.315
6	0.6	165	697	164	2,066	494	2,763	660	0.272
7	0.7	170	721	170	2,048	489	2,769	661	0.240

■ 대기압 이상에서의 증기

증기가 공정에 열을 전달할 때, 먼저 동일한 온도에서 잠열을 전달하고 증기는 응축하여 물이 된다. 증발잠열은 증기가 열전달을 위해 사용되는 열이다.

대기압 상태의 증기는 사용에 제약이 있다. 대기압의 증기는 자신의 압력으로는 사용 지점까지 증기배관을 따라 수송될 수 없기 때문이다.

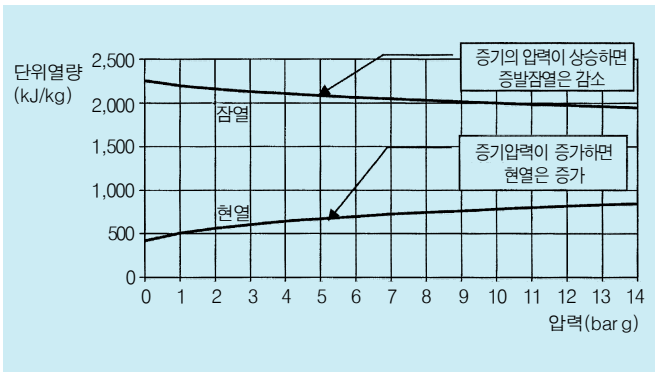


그림-3 건포화증기의 압력과 단위열량의 관계

그러므로 실질적인 증기의 응용에서, 증기는 보일러(증기 발생장치)에서 사용 목적에 맞는 압력보다 높은 압력으로 생산되어야 한다. 물이 대기압 이상의 압력으로 유지되면, 100 °C 이상으로 상승되어야 물이 끓을 수 있다.

예 :

7 bar g에서, 물의 끓는점은 170 °C이다. 이는 물이 대기압 상태에 있을 때 필요한 열량보다, 7 bar g(=0.7 MPa)에서 물의 온도를 끓는점까지 상승시키기 위해서는 더 많은 열량이 공급되어야 한다는 것을 의미한다. 포화증기표를 보면, 1 kg의 물을 0 °C에서 끓는 온도인 170 °C까지 상승시키는데 필요한 열량은 721 kJ(=172 kcal)이다. 그러나, 1 kg의 물을 완전히 증기로 상변화시키기 위해 7 bar g에서 필요한 증발잠열(2,048 kJ/h=489 kcal/h)은 대기압에서 물의 잠열(2,257 kJ/h=539 kcal/h)보다 작다. 포화증기표를 보면, 증기의 압력이 증가함에 따라, 잠열은 작아짐을 알 수 있다.

그림 2에서 압력이 증가함에 따라 잠열이 감소하는 것을 볼 수 있다. 우선 고압의 증기를 사용하면 좋지 않은 것처럼 보인다. 나머지 상세한 사항은 다음의 증기압력과 엔탈피 관계의 설명을 참고한다.

■ 증기의 압력/온도관계

포화증기표를 보고 압력에 따른 증기온도를 점으로 찍어보면, 그림 3과 같은 곡선이 얻어지며, 이 곡선을 포화증기곡선이라 한다. 물과 증기는 이 곡선 상의 어떤 온도에서도 공존할 수 있는데 포화온도곡선 상에서 증발온도에 상응하는 압력을 읽을 수 있다. 끓거나 응축하는 조건에 있는 물과 증기는 열에

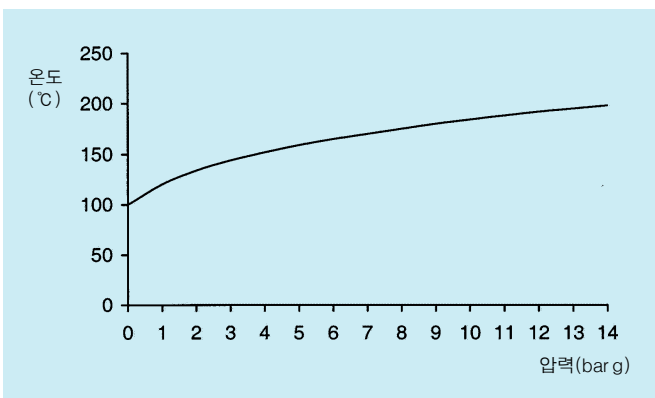


그림-4 포화증기의 압력과 온도 관계

너지에 의해 포화되어 있기 때문에 각각 포화수 및 포화증기라 불린다. 포화증기 내에 포화수가 존재하지 않는다면, 건포화증기라고 한다.

포화증기곡선보다 위에 있는 증기를 과열증기라고 하고, 포화온도 이상의 온도는 증기의 과열도라 불린다.(0 bar g, 120 °C에서 과열도는 20 °C)

포화증기곡선 하부의 물은 과냉수(undercooled water) 또는 불포화수(Subsaturated water)로 불린다. 실제로, 곡선 하부에서는 액체상태인 단순한 물이다.

■ 증기의 압력/부피 관계

밀도(ρ)는 물질의 단위 부피(V)당 질량(m)이고, 비용적(v)은 밀도의 역수로서 단위 질량당 부피이다. 밀도의 단위는 kg/m^3 이고 비용적의 단위는 m^3/kg 또는 dm^3/kg 이다. ($10^3 \text{ dm}^3/\text{kg}=1 \text{ m}^3/\text{kg}$) 그러므로

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{v}$$

액체와 증기의 분자구조를 비교해보면, 증기의 분자들이 더 멀리 떨어져 있기 때문에 증기의 밀도가 물의 밀도에 비해 작다는 것을 알 수 있다. 일반적인 대기 조건에서, 물과 증기의 밀도는 각기 $1,000 \text{ kg/m}^3$ 과 0.6 kg/m^3 로 약 1,700배의 차이가 있다. 주전자에 들어있는 물이 끓게 되면 순식간에 방 전체를 채워버릴 정도로 엄청난 차이가 있다. 증기의 압력이 상승함에 따라, 증기의 밀도 또한 증가하지만 비용적은 감소한다.

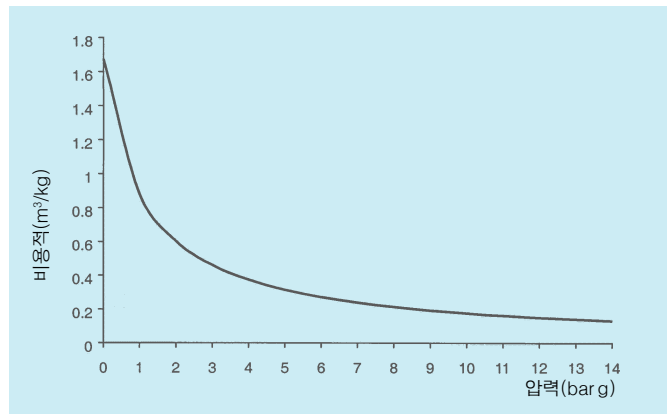


그림-5 증기의 압력/부피 관계

포화증기표를 참조하여 증기 압력에 대한 비용적의 점을 찍어보면, 위의 그래프를 얻을 수 있다. 이 그래프를 통해, 압력이 상승함에 따라 얼마나 부피가 줄어드는지, 증기의 압력이 높을수록 얼마나 밀도가 상승하는지를 알 수 있다. 6 bar g 이하의 압력에서 비용적은 급격하게 증가한다.

■ 증기압력/엔탈피 관계

표 1의 포화증기표를 보면, 증기의 압력이 상승함에 따라 증발잠열(kJ/kg 또는 kcal/kg)은 감소한다. 예를 들면, 2 bar g의 증기 1 kg은 2,133 kJ(=510 kcal)의 잠열을 갖지만, 14 bar g의 증기 1 kg은 1,947 kJ(=465 kcal)의 잠열을 가

저 약 14%의 열량이 부족하게 된다. 이는 높은 압력의 증기일수록 단위 질량당 열을 전달할 수 있는 잠열이 작다는 것을 의미한다. 그러나 압력이 상승함에 따라 증기밀도가 더 높아지고 더 많은 질량유량이 흐를 수 있도록 하여 배관을 통하여 더 많은 열량이 흐를 수 있기 때문에, 배관을 통해 열을 수송할 때 높은 압력의 증기가 더 유리하다.

예를 들어, 증기 1m³의 경우, 2 bar g에서 1.658 kg의 잠열은 3,587 kJ(=857 kcal)이고 14 barg에서 7.576 kg의 잠열은 14,750 kJ(=3,525 kcal)이다.

이 예에서, 동일 부피의 증기는 고압에서 4.57배 만큼 더 무겁고, 4.1배 만큼 잠열을 더 갖고 있다는 것을 나타낸다. 이 현상은 서로 다른 압력에서 열을 수송하는데 무슨 효과가 있을까?

■ 건도와 잠열

어떤 압력에 상응하는 끓는점에서 생성된 증기는 포화증기로 알려져 있다. 산업용 보일러에서 100% 건포화증기를 생산하는 것은 거의 불가능하여 증기에는 보통 물방울이 포함되어 있다.

증기 중의 물 함량이 무게로 10%라면, 증기는 90% 건조 또는 0.9의 건도를 가지고 있다고 말한다.

그러므로 증기의 실질적인 잠열은 포화증기표에 나오는 h_{fg}가 아니라, 건도 X와 h_{fg} 둘에 연관되어 있다. **습증기의 실질적인 잠열은 건도(X)와 포화증기표에 나오는 잠열(h_{fg})의 곱이다.**

■ 증기압력과 열 수송

증기배관의 궁극적인 목적은 배관의 한 곳에서 다른 지점으로 요구되는 수효를 만족시키기 위하여 열을 수송하는 것이다. 증기 배관은 적절한 속도와 적절한 압력강하 내에서 역할을 하도록 선정되어야 한다. 다음의 예는 고압에서 얼마나 많은 증기를 수송하는지를 보여준다.

예 1. 각기 같은 구경의 배관을 30 m/s의 속도로 통과하는 2 bar g와 6 bar g 압력의 증기에 대해 비교한다. 이 때 부피유량은 0.01 m³/s로 동일하다.

조 건	2 bar g 증기		6 bar g 증기	
부피유량 (V̇)	0.01	m ³ /s	0.01	m ³ /s
비용적 (v)	0.603	m ³ /kg	0.272	m ³ /kg
질량유량(초당) (ṁ)	V̇/v=0.01658	kg/s	V̇/v=0.03676	kg/s
질량유량(시간당) (ṁ)	0.01658×3,600=60	kg/h	0.03676×3,600=132	kg/h
속도 (C)	30	m/s	30	m/s
증발잠열 (h _{fg})	2,163	kJ/kg	2,066	kJ/kg
	517	kcal/kg	494	kcal/kg
부피당 증발잠열 (h _v)	h _{fg} ÷ v=3,587	kJ/m ³	h _{fg} ÷ v=7,597	kJ/m ³
	h _{fg} ÷ v=857	kcal/m ³	h _{fg} ÷ v=1,816	kcal/m ³
공급된 열량 (Q̇)	V̇×h _v =36	kW	V̇×h _v =76	kW
	V̇×h _v ×3,600=31	Mcal/h	V̇×h _v ×3,600=65	Mcal/h

결론 : 동일 구경의 배관을 통해, 높은 압력의 증기가 더 많은 에너지를 공급할 수 있다.

예 2. 호칭경 25 mm 배관(단면적=0.00049m²)을 통해 100 kW(=86 Mcal/h)의 부하를 공급하는 건포화증기가 있다. 하나는 2 bar g의 압력이고, 다른 하나는 6 bar g

압력의 증기일 때 서로를 비교하면 다음과 같다.

조 건	2 bar g 증기		6 bar g 증기	
공급된 열량 (Q̇)	100	kW	100	kW
	86	Mcal/h	86	Mcal/h
부피당 증발잠열 (h _v)	3,587	kJ/m ³	7,597	kJ/m ³
	857	kcal/m ³	1,816	kcal/m ³
부피유량 (V̇)	Q̇/h _v =0.02788	m ³ /s	Q̇/h _v =0.01316	m ³ /s
증발잠열 (h _{fg})	2,163	kJ/kg	2,066	kJ/kg
	517	kcal/kg	494	kcal/kg
질량유량(초당) (ṁ)	Q̇/h _{fg} =0.0462	kg/s	Q̇/h _{fg} =0.0484	kg/s
질량유량(시간당) (ṁ)	0.0462×3,600=166	kg/h	0.0484×3,600=174	kg/h
속도 (C)	V̇/단면적=57	m/s	V̇/단면적=27	m/s

결론 : 동일 구경의 배관을 통해, 높은 압력의 증기가 낮은 속도로도 같은 열량을 공급할 수 있다.

같은 열량 부하를 공급하는데 있어서, 6 bar g의 증기배관은 2 bar g에 비해 실제로는 다소 많은 질량유량의 증기를 공급한다는 것을 명심해야 한다. 그러나 압력이 높을수록 증기 밀도는 더 크고 부피유량이 상당히 작아진다. 결론적으로, 같은 구경의 배관을 통한 6 bar g 증기의 속도는 상대적으로 낮기 때문에, 27 m/s인 6 bar g의 증기가 57 m/s인 2 bar g의 증기에 비해 속도가 더 적합하다.

과거에는, 증기보일러 용량과 증기에 의해 공급된 열량 부하가 Btu/h의 단위보다는 lb/h의 단위를 쓰는 경향이 있었다. 근래의 보일러 용량과 증기 부하를 나타내는데 있어서, 아직도 kW(또는 kcal/h)보다는 kg/h를 사용하는 경향이 있다.

포화증기표가 질량의 형태인 kJ/kg(또는 kcal/kg)으로 열량을 나타내기 때문에, 질량유량으로 배관을 선정하는 것이 실용적이다. 다른 압력에서의 비용적과 적절한 속도를 고려하는 배관선정차트를 이용하는 것이 손쉬운 방법이다. 열량 부하가 kW(또는 kcal/h)로 나타나 있다면, 증기부하는 다음에 의해 쉽게 kg/h로 계산될 수 있다. :

$$\text{증기부하(kg/h)} = \text{kW} + 3,600/h_{fg}(\text{kW}, \text{증발잠열})$$

$$\text{증기부하(kg/h)} = \text{kcal}/h_{fg}(\text{kcal}, \text{증발잠열})$$

간략한 계산방법

배관을 통한 흐름에 대해

● 배관을 통한 증기의 질량유량(kg/h)

$$= \frac{0.002827 \times D^2 \times C}{v}$$

● 배관을 통한 증기의 열량(kW)

$$= \frac{h_{fg}(\text{kJ/kg}) \times D^2 \times C}{v \times 1.28 \times 10^6}$$

● 배관을 통한 증기의 열량(kcal/h)

$$= \frac{h_{fg}(\text{kcal/kg}) \times D^2 \times C \times 3,600}{v \times 1.28}$$

여기서,

D : 선정된 배관구경(mm)

C : 증기의 적정 속도(m/s)

v : 배관내의 압력에서 비용적(m³/kg)

h_{fg} : 배관내의 압력에서 증발잠열(kJ/kg)

위의 계산식은 “부피유량은 배관의 단면적과 유속의 함수” 라는 것에서 유도된 것이다.

부피유속 = 유속 × 단면적
 $\dot{V}(m^3/s) = C(m/w) \times \text{단면적}(m^2)$

■ 공정에서 증기압력과 열전달

열교환설비에서 열전달률은 다음식으로 계산된다.

$\dot{Q} = U \times A \times \Delta T_m / 1,000$ (열전달률을 kW로 나타낼 때)

$\dot{Q} = U \times A \times \Delta T_m$ (열전달률을 kcal/h로 나타낼 때)

여기서,

\dot{Q} : 열전달률(kW, kcal/h)

U : 전열계수(W/m² °C, kcal/m² h °C)

A : 전열면적(cm², m²)

ΔT_m^* : 1차측과 2차측 평균온도의 차(°C)

*(ΔT_m 는 대수평균온도차나 산술평균온도차로 나타낸다.)

일반적으로, 전자를 LMTD(Logarithmic Mean Temperature Difference) 그리고 후자를 AMTD(Arithmetic Mean Temperature Difference)라고 표시한다.)

위 식을 통해 보면, 열교환기의 증기측에서 액체측으로 전달된 열전달률은 3가지 요소에 의해 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

(a) U (b) A (c) ΔT_m

U와 A가 일정하다면, 열전달률(\dot{Q})을 키우려면 ΔT_m 이 커져야 한다. 이 경우 더 높은 증기온도가 필요하고, 따라서 더 높은 압력의 증기가 필요하다.

그러므로, 증기압력은 열전달에 영향을 준다. 공정에서 응

축되는 것만큼 증기는 공급되어야 하며, 필요한 온도 및 압력으로, 공기 및 비응축성 가스가 없이, 청결하고 건조한 상태의 증기가 공급되어야 한다.

공급적으로, 위 세가지 요소 중 적어도 하나 이상의 요소에 의해 증기를 사용하는 설비의 설계 및 기대치가 결정된다. 일반적으로, 열교환기의 운전압력이 높을수록 열교환기의 크기가 작아질 수 있으나, 가격적인 면에서는 그렇지 않다. 고압으로 운전되는 장치 및 연관된 장비는 더 높은 엄격한 설계등급 및 표준을 요구하기 때문에, 설치 및 정비에 드는 비용에 영향을 준다. 이 이유 때문에, 일반적으로 공정장비는 가능하면 낮은 압력에서 운전되는 것이 가격적인 면에서 더 유리하다. 모든 공정이 같은 압력으로 운전되도록 설계하는 것이 아니라, 사용처에서 감압하여 사용하면 경제적으로 장점이 있다. 즉, 고압으로 증기를 수송하고, 각각의 개별 사용처에서 감압하여 사용하는 것이 좋다.

가능한 한 낮은 압력으로 증기사용설비를 운전하는 추가적인 장점은 응축수회수 시스템에서 재증발증기의 발생량이 적어진다는 것이다. 이는 재증발증기 회수설비가 없는 시스템에서 응축수회수탱크를 통해 대기로 벤트되는 에너지 손실이 적어진다는 것을 의미한다. 또한, 응축수회수 배관에서 재증발증기에 의한 응축수 흐름을 방해하는 현상을 방지하여, 응축수회수 시스템을 더욱 효율적으로 운전할 수 있도록 한다.

결론적으로, 고압으로 증기를 이송하고 저압의 증기를 사용하는 것이 실용적이다.

박인순 사장 “절정경영” 출간



한국스파이렉스사코 대표이사인 박인순 사장이 성공경영 노하우를 공개했습니다. 입사에서부터 최고경영자 자리에 오르기까지의 과정속에서 그의 경영철학을 가장 뚜렷하게 보여주는 내용으로써 “절정경영이란 고객과 직원에게 매순간 절정을 맛보게 해주는 것”이라고 정의를 내리고 있습니다.

좀더 구체적으로 설명한다면 마라토너가 풀코스(42.195 km)를 완주할 때 35 km 지점을 통과할 때 쉼이면 고통의 순간이 극에 달하나 이를 극복하고 나면 이른바 “달리는 자의 절정(Runner's high)”의 순간을 맛보게 되는데 이러한 것들이 성공적인 기업경영원리와 닮았다고 책에서는 설명하고 있습니다.

26년 전 벤처라는 용어조차 그 의미가 지금의 그것과 사뭇 다르던 시절 영국으로부터 자본을 유치하여, 증기 및 유체 분야의 선도 기업으로 성장하기까지 고객, 직원들간에 있었던 실제 체험, 경영 원리 및 삶의 신조를 인생을 앞서간 선배로서 뿐만 아니라 회사의 운영을 책임지는 CEO로서의 고민과 환희의 순간들을 하나씩 풀어내고 있습니다.

출간이래 신문 및 각 매체에서 평가한 서평에 내용을 간

추려보면, 이 책은 목표를 향한 회사의 질주를 하나의 파티라고 생각하는 박인순 사장의, 파티를 즐겁게 하는 호스트의 역할, 즉 종업원과 고객에게 무한의 엔돌핀이 솟아날 수 있도록 만드는 리더의 역할을 한사코(한국스파이렉스사코의 줄임말)의 구체적인 경영 사례를 통해 제시하고 있습니다.

지난 26년간 경영일선에서 그간 겪었던 격동의 순간들을 그려낸 “절정경영”이라는 책을 출간(베스트셀러社)하면서 저자는 “변화의 거센 파도에 직면한 한국의 모든 기업들이 이 책을 통해 한사코와 같은 파티 분위기 속에서 서로를 이해하고 공동의 이익을 추구해나가기 바라는 마음 간절하다”라고 요약하고 있습니다.

전문 경영인으로서 느꼈던 삶의 체험 현장속으로 동시대를 함께 살아가는 여러분들을 초대, 안내할 수 있는 좋은 책이라고 확신합니다.



Q/A

스팀트랩 배관에 바이패스가 과연 필요한가요?

문

일반적으로 증기 공급 배관에 설치된 트랩에 바이패스 배관을 설치하는데 저회 회사에서는 바이패스 밸브의 누설로 인해 증기가 손실되는 일이 빈번히 발생하고 있어서 개선방안을 수립하고자 여러 생각 끝에 마련된 대책이 바이패스를 모두 철거해 버리자는 의견이 나왔습니다. 만약 스팀트랩의 바이패스를 철거하게 되면 발생하는 문제점이 있는지요. 그리고 또 바이패스를 설치하는 이유는 어떻게 되는지요? 그 밖에도 바이패스의 활용도에 대해 설명 부탁드립니다.

답

스팀트랩을 설치할 때 관례적으로 스팀트랩에 고장이 발생시에 정비를 하고 또 가동 초기의 예열부하를 처리하기 위한 목적으로 바이패스 밸브를 설치합니다. 그러나 질문하신 것과 같이 실제로는 운전 요원들이 상습적으로 바이패스 밸브를 열어두거나 밸브가 누출되는 경우가 많아 에너지 손실의 원인이 되는 경우가 많습니다.

일반적으로 이해하고 있는 바이패스 배관의 설치 목적은 설명 드린 바와 같이 1. 예열부하처리와 2. 정비시 연속 운전이 가능하도록 하기 위한 것입니다. 그러나 **이제는 바이패스 배관의 설치가 반드시 필요한 것으로 보지는 않습니다.** 그에 대한 이유를 알아보면 다음과 같습니다.

1) 예열 부하의 처리

과거에는 스팀트랩 배관에 수동 바이패스를 설치하는 것이 일반적으로, 초기 가동시 밸브를 열도록 하였습니다. 시동시 응축수 부하는 일반적으로 정상 운전부하의 2배 이상이기 때문에 스팀트랩에 안전율을 주어 용량을 선정하게 되었고 이제는 설치된 트랩의 대부분은 예열부하를 처리하기에 충분한 용량을 갖고 있습니다. 따라서 바이패스의 진정한 용도는 에어벤트의 기능을 담당하는 것으로 보입니다. 즉 바이패스를 열어 시스템 내의 공기를 신속하게 배출하여 응축수가 빨리 트랩에 도달하도록 하는 것입니다. 에어벤트 능력이 부족한 버켓트랩에 설치된 바이패스는 매우 유용한 역할을 담당할 수 있지만 이 경우에도 수동 바이패스 밸브 대신에 자동 에어벤트를 설치하면 효율적일 것입니다. 수동 바이패스 밸브를 열어둔 채 있어버리는 경우도 많고 밸브 누설시 증기 손실의 잠재 원인이 됩니다. 그리고 일부 스팀트랩은 자동 에어벤트를 내장하고 있고 별도의 자동 에어벤트를 바이패스에 설치할 필요는 없습니다.

2) 정비시 연속 운전 가능

만약 스팀트랩이 고장난 경우 정비를 하는 중에 중요한 공정 또는 24시간 연속 운전 공정에서는 연속적인 운전이 불가능하게 되며 이로 인하여 설비내에 응축수가 정체되어 설비는 효율적으로 운전될 수 없다는 것이 일반적인 생각입니다. 그러나 실제로 스팀트랩에 고장이 발생한 경우에 나타나는 현상은 2가지 입니다. 즉

응축수 배출이 안되어 설비에 응축수가 차올라 운전이 안되는 경우와 증기가 누출되어 공정의 운전에는 문제가 없으나 에너지 손실이 많은 경우입니다.

스팀트랩이 증기를 누출하는 경우에는 에너지 손실은 있지만 공정운전에는 문제가 없으므로 보통 방치하고 운전하는 경우가 많습니다. 그러나 만약 응축수 배출이 안되면 공정에 문제가 생기므로 일반 바이패스밸브를 열고 운전을 하면서 스팀트랩을 정비하게 됩니다. 그러나 경우에 따라서는 즉각적인 정비를 하지 못하고 장시간 바이패스 밸브를 열어 두고 운전함으로써 에너지 낭비를 가져오는 경우도 많습니다.

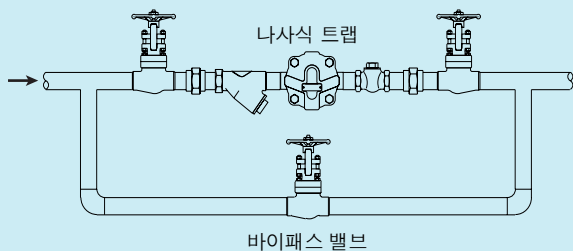
따라서 한국스파이렉스사코에서는 바이패스 배관 및 밸브를 설치하지 말고 트랩 입구측 밸브 앞에 드레인 밸브를 설치하고 트랩은 트랩의 교체가 신속하게 이루어지도록 일정한 면간거리를 가지는 플랜지 사이에 설치하도록 추천하고 있습니다.

즉, 응축수 배출이 안되면 드레인 밸브를 열어 배출하면 일단 정상 운전은 되는데 응축수가 대기중으로 드레인되고 있으므로 신속한 트랩 정비를 하게 됩니다. 또한 증기를 누출하고 있는 트랩의 경우에는 상황에 맞추어 정상 트랩으로 교체를 하는데 이때 신속한 교체가 필요합니다.

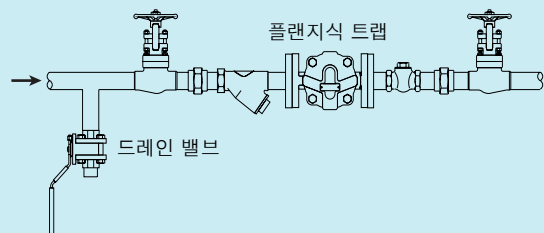
트랩의 교체를 신속하게 하기 위하여 동일한 면간거리의 플랜지 사이에 트랩을 설치하면 트랩 입구측의 드레인 밸브를 열어 둔 상태에서 플랜지만 풀러 교체하면 되므로 작업시 드레인 양도 최소한으로 줄일 수 있습니다.

물론 배치공정이나 연속 공정이라 하더라도 중요하지 않은 공정의 경우에는 미리 준비하였다가 공정운전을 중단하고 작업을 하면 되므로 역시 바이패스가 필요없게 됩니다. 게다가 드레인 밸브를 설치하면 만약 밸브가 누출하게 되면 장시간 방치하지 않고 신속하게 교체작업을 하게 됩니다.

따라서 원칙적으로 바이패스 배관은 꼭 필요한 것은 아니며 **보조용으로 트랩 입구측 밸브 앞에 드레인 밸브를 설치하면 충분합니다.** 또한 신속한 트랩 교체작업을 위하여 플랜지식 설치를 추천합니다.



전통적인 트랩 설치 배관



에너지 절감형 트랩 설치 배관

밀폐 순환식 수배관 시스템의 가압

일반적으로 밀폐 순환식 수배관 시스템에서 운전중에 발생하는 배관내 각 지점에서의 압력분포는 팽창탱크가 배관내 연결되는 위치와 콘트롤 밸브의 위치 그리고, 2차(Secondary System) 시스템에 설치된 순환펌프 위치에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 동일한 밀폐 순환식 수배관 시스템이라 할지라도 팽창탱크의 설치위치를 변경하면 기존의 수배관 시스템에서 발생하였던 것과는 전혀 다른 형태의 압력분포가 형성되고 이로 인해 시스템의 특성이 달라지고 많은 문제들을 초래할 수 있다. 이러한 현상은 단순히 밀도차에 의해 압력분포가 형성되는 증기 시스템과는 달리 수배관 시스템에서의 압력분포는 펌프에 의해 형성된 압력과 중력, 즉 수두차의 영향을 받기 때문이다.

여기서는 여러 회에 걸쳐 밀폐 순환식 수배관 시스템의 1차(Primary) 및 2차(Secondary) 배관에 형성되는 여러 가지 형태의 가압 및 압력분포에 대하여 알아볼 것이다. 설명을 쉽게 하기 위하여 수배관 시스템 다이어그램에는 설비의 기본적인 요소와 기기만을 표시할 예정이며 표고차에 의한 영향은 아주 심각한 경우를 제외하고는 무시하였다. 또한 공급 및 환수배관에서 발생하는 압력손실은 동일하다고 가정하였다. 실제 수배관 시스템에서는 물의 밀도와 점도가 온도에 따라 달라지므로 실제 적용되는 압력손실은 달라지나 온도차가 큰 고온수(HTW : High Temperature Water) 시스템에서 실제 발생하는 압력오차는 일반적으로 허용되는 오차 범위인 2~5%내에 들어간다.

■ 기저 압력을 적용하는 목적과 방법

기저 압력(Base Pressure)이란 수배관 시스템에서 유지해야 하는 최소압력으로, 시스템의 운전 및 정지에 관계없이 항상 이 압력은 유지되어야 하며 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 유체의 온도가 100℃ 미만으로 운전되는 모든 수배관 시스템에서 기저압력을 적용하는 것은 시스템에서 가장 높은 지점에서의 압력을 항상 대기압보다 높게 유지시키기 위한 것이다. 이 지점의 압력을 대기압보다 높게 유지하지 못할 경우, 물이 드레인되어 이 지점에 진공이 형성되면 공기가 배관 안으로 유입되거나 재증발 증기가 발생하여 배관을 채울 수 있기 때문이다.

둘째, 온도가 100℃ 이상으로 운전되는 시스템의 모든 지점에서의 압력은 그 지점에서의 증기압력보다 항상 높게 유지되어야 하기 때문이다. 그렇지 않을 경우 재증발 현상이 발생하여 물이 끓게 되기 때문이다.

셋째, 안전(Safety)에 대한 문제와 운전을 쉽게 하기 위해서는 수배관 시스템을 고압으로 하는 것이 요구된다. 즉, 동일한 밀폐회로에서 온수의 사용압력은 재증발증기에 의한 워터해머 뿐만 아니라 고압 시스템에서 배관 누출에 의한 피해를

최소화하기 위하여 가능한 높은 압력으로 사용하는 것이 안전하기 때문이다.(기타 자세한 사항은 스팀피플 56호 “증기 및 물 배관에서의 워터해머”를 참조할 것) 그러나, 반대로 투자비와 운전비용을 고려한다면 수배관 시스템이 기능을 발휘할 수 있는 가장 낮은 압력으로 설계되어져야 할 것이다. 따라서 최선의 수배관 시스템을 설계하기 위해서는 이들의 장단점을 잘 절충하여야 할 것이다.

■ 기저 압력 결정시 고려사항

기저압력을 선정할 경우에는 다음과 같이 3가지의 운전 조건을 신중히 고려하여 선정해야 한다.

1) 시스템의 정지, 즉 펌프가 정지된 상태

이때 발생하는 수배관 시스템의 압력분포는 단지 적용된 기저압력에서 각 지점에서의 수두차를 더하거나 빼 압력에 의해 결정된다. 이 압력은 정압분포(Static Pressure Distribution)을 형성할 것이다.

2) 시스템이 설계유량으로 운전중일 경우

이때 발생하는 시스템의 압력분포는 정압 분포에서 각 지점에서 사용하고 남은 펌프 양정, 즉 펌프 출구측으로부터 각 지점까지 유체를 이송하는 과정에서 발생한 압력손실을 펌프 양정에서 빼 값을 더하면 된다.

3) 시스템이 부분 부하로 운전중일 경우

이때의 시스템 압력분포는 유량의 변동에 따라 변화할 것이다. 또한 정속 펌프 시스템에서 부하 사용량이 최소인 상태, 즉 유량이 거의 흐르지 않는 상태에서 시스템의 저항은 실제로 “0”으로 감소하고 동시에 펌프양정이 상승하기 때문에 각 지점의 압력은 팽창탱크의 위치에 따라 기저 압력에서 아주 많이 증가하거나 감소하는 현상이 발생할 것이다.

이와같이 시스템의 운전조건을 정상적인 상태뿐만 아니라 최악의 운전조건에서 각 지점에서의 압력분포를 분석하여 기저압력을 결정해야 한다.

앞으로의 분석에서는 별도로 시스템의 조건을 규정하지 않는 한 정속펌프 시스템의 최악조건에서 발생하는 압력손실을 “0”, 펌프양정은 최대 10%가 더 상승하는 것으로 할 것이다. 또한 변속 펌프 시스템을 분석할 경우에는 항상 시스템의 요구조건이 허용하는 한 가장 낮은 속도로 펌프가 운전된다고 가정할 것이다. 최근의 밀폐 순환식 수배관 시스템은 대개 시스템내의 물이 열에 의해 팽창하고 수축하는 것을 흡수할 수 있도록 설계되고 있다. 열 팽창에 대한 보상 수단으로 외부에서 가해지는 압력은 일정하거나 특정 범위 내에서 변동되므로 반드시 이 압력 변화에 대한 영향을 고려해야 한다. 그러나 여기서는 외부(팽창탱크)에서 적용된 압력이 일정하다고 가정할 것이다. 또한 외부압력이 적용되는 지점에서의 시스템 압력은 펌프의 운전에 관계없이 독립적이어야 하고 항상

압력이 일정해야 한다. 결과적으로 시스템에서 압력이 고정될 수 있는 위치는 한 곳 뿐이므로 시스템에는 한 개의 팽창탱크만이 필요할 것이다.

앞으로 가압 시스템에 대한 검토는 3가지로 구분하여 살펴볼 것이다.

첫째, 1차 회로의 가압이다. 팽창탱크의 위치가 다른 경우, 펌프가 정지된 상태, 설계유량과 부분유량 모드에서 시스템 전체에 미치는 압력분포를 알아볼 것이다.

둘째, 열사용 설비를 1차회로에 직접 연결한 경우의 압력분포를 보다 상세하게 알아볼 것이다.

셋째, 1차 회로와 수력학적으로 분리되어 있지 않은 2차 회로의 압력분포에 대하여 알아볼 것이다. 즉, 2차 시스템 순환 펌프의 위치를 변경하였을 때의 영향에 대하여 살펴볼 것이다.

1차(Primary) 회로의 가압

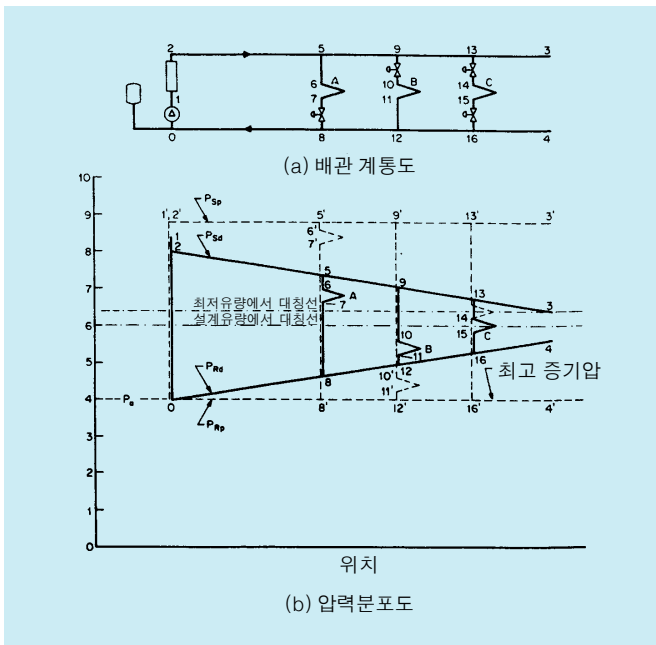


그림-1 펌프 흡입측에서 1차회로의 가압

1) 펌프 흡입측에서의 가압

그림 1은 순환펌프 흡입측에서 가압을 한 경우 발생하는 변유량 시스템의 압력분포를 보여주고 있다. 가열기나 냉동기는 실제의 시스템에서와 같이 펌프의 토출측에서 설치되어 있으며 시스템의 압력 분포는 가열기 또는 냉동기를 통과하면서 각 지점에서의 압력은 감소할 것이다. 또한 3개의 설비가 분배 시스템에 병렬로 설치되어 있는 것을 볼 수 있다. A설비는 콘트롤 밸브가 설비의 출구측에 설치되어 있고, B설비의 경우에는 콘트롤 밸브가 입구측에, C의 설비에서는 입구측과 출구측 양쪽에 콘트롤 밸브가 설치되어 동일한 압력손실로 운전이 되고 있다. 이 배열은 변유량 시스템에서 서로 다른 콘트롤 밸브의 설치 위치에 의한 시스템의 압력분포를 비교하고 있다.

그림 1 b)의 압력분포도를 보면 점 0의 압력은 기저압력 Pa(=4 bar g)이다. 설계유량조건에서 펌프는 점 1의 압력을 8.4 bar g까지 상승시킨다. 냉동기나 가열기를 통과한 후 점

2의 압력은 8 bar g로 감소한다. 따라서 분배 시스템에서 사용할 유효 순환 양정(점 0과 2사이의 압력차=8-4=4 bar)은 4 bar g이다.

시스템에서 펌프가 정지되었을 때, 시스템의 모든 압력은 기저압력 Pa가 된다. 냉수(CHW : Chilled Water) 및 저온수(LTW : Low Temperature Water) 시스템에서 Pa값은 시스템의 제일 높은 지점에서 적어도 물이 가득찬 상태에서 대기압보다 높게 유지되도록 선정해야 한다. 중온수(MTW : Medium Temperature Water)와 고온수(HTW : Hot Temperature Water) 시스템에서의 기저압력 Pa는 중온수와 고온수의 온도에 해당하는 증기압보다 높아야 한다. 그렇지 않으면 재증발이 발생하게 되고 이로 인해 워터해머가 발생할 수 있다. 그러므로 기저압력 Pa는 시스템의 최고 증기압력과 같거나 높아야 한다는 것을 알 수 있다.

압력 Psp는 최소유량 조건에서 발생하는 압력으로 펌프양정이 최대로 상승한 것을 알 수 있다.

실선 2-3의 압력 Psd는 정상적인 운전조건(설계조건)에서의 시스템 압력분포를 나타내고 있으며, 실선 4-0의 압력 Prd는 환수압력을 나타내고 있다. 최저유량 조건에서 펌프 토출측의 압력은 점 1에서 점 1'로 상승하고, 유량의 흐름이 거의 없어 압력손실이 발생하지 않기 때문에 2'와 3'는 점 1'와 동일한 압력이 된다. 부분부하 공급 압력선 Psp는 8.8 bar g까지 상승하고, 환수 압력선 Prp는 기저압력 Pa와 동일하다.

설비 A는 콘트롤 밸브가 환수관에 위치하고 있기 때문에 A의 압력은 공급압력에 따라 변화한다. 설계유량조건에서 이 압력은 선 6-7로 표시되며 압력 Psd 근처에 있게 된다. 콘트롤 밸브에 의한 압력손실은 실선 7-8로 표시된다.

최저유량 조건에서 콘트롤 밸브에 의한 압력강하선은 점선 7'-8'로 바뀌며 콘트롤 밸브에서 많은 압력손실이 발생함을 알 수 있다.

설비 B는 콘트롤 밸브가 설비의 공급측에 설치되어 있어 설비의 압력은 환수측 압력인 Prd에 따라 변동한다. 이 압력은 실선 10-11로 표시되며 압력 Prd선에 가까운 곳에 있다. 콘트롤 밸브에서 발생하는 압력강하는 실선 9-10이 된다. 최저유량 조건에서 이 선은 실질적으로 압력 Prd선으로 떨어지며 이 콘트롤 밸브는 다시 전체 펌프 양정에 대하여 동작해야 한다.

설비 C는 2개의 동일한 콘트롤 밸브가 설치되어 있어 공급 압력 Psd와 환수압력 Prd의 중간정도에서 압력이 형성되는 것을 볼 수 있다. 각 콘트롤 밸브는 압력손실을 반씩 담당하며 그 값은 실선 13-14와 실선 15-16이다. 그러므로 설비 C는 항상 대칭선을 따라 간다. 펌프가 정지하면 대칭선과 기저압력 Pa선이 동일하게 된다.

앞에서 살펴본 바와 같이 운전중 시스템의 압력은 절대로 압력 Pa이하로 떨어지지 않는다. 그러므로 적용된 압력이 올바르게 선정되고 펌프양정이 설계압력을 충분하게 고려하였다면 펌프 입구측에서의 가압은 시스템을 안전하고 안정되게 할 수 있다. 그러나 설계압력이 높다는 관점에서 보면 다른 시스템에 비해 경제성이 떨어질 것이다.(다음 호에 계속)

최근 스파이렉스사코에서는 ...

■ “제17회 설비설계인의 교류를 위한 신년모임” 개최

지난 1월 8일 서울 삼성동에 위치한 그랜드인터컨티넨탈 호텔 대연회장에서는 서울지역의 건축기계설비설계사의 대표 및 임원과 초청손님으로서 종합건설사 부사장, 2001년도 기술사를 포함하여 157개 회사에서 280여분이 참석한 가운데 “제17회 설비설계인의 교류를 위한 신년모임”이 성황리에 개최되었습니다. 참석자 여러분의 상호 교류에 이어 한국스파이렉스사코의 박인순 사장의 인사말로 시작한 공식행사에서는 대한설비공학회 이재현 회장과 한국설비기술협회 황원택 회장, 설비엔지니어링협회의 김문정 회장께서 축사를 해주셨습니다. 더불어 한국스파이렉스사코 박인순 사장이 쓰신 “박인순의 절정경영” 책자에 대한 출간소개를 통해 스파이렉스사코의 경영철학등에 대해 고객과 스파이렉스사코 상호간 이해를 더욱 돈독히 하는 시간을 갖기도 하였습니다. 올해도 스파이렉스사코는 절정경영을 통해 고객과 더욱 가까워지도록 열과 성을 다할 것을 다짐드리며 행사에 참여해 주신 고객 여러분께 다시한번 감사를 드립니다.



■ 박인순 시장 “절정경영” 출판기념회 개최

당사의 대표이사 박인순 사장께서 집필한 “절정경영”의 출판 기념식이 지난 1월 29일 서울 리츠칼튼호텔에서 개최되었습니다. 이 자리에는 김우식 연세대학교 총장, 장기형 대우

전자 사장 등 각계의 주요인사 및 고객 등 300여명의 하객이 참석하여 자리를 빛내 주었습니다.

최근 주요 일간지 및 시사 주간지 등에서 호평을 받고 있는 “절정경영”은 박인순 사장이 지난 20여년간 당사를 경영하면서 쌓아온 경영의 철학과 노하우를 마라톤의 절정에 비유하여 재미있고 정감있게 써내려간 경영서적입니다.

한편 이날 오후에는 교통방송에서 엄길청씨와 출간에 관한 인터뷰도 생방송으로 진행되었습니다.

■ 제65회 기술사 시험 최종합격을 축하드립니다.

한국산업인력공단에서 시행한 제65회 기술사 시험에 당사의 고객인 유원엔지니어링 고창현님과 휴먼텍코리아의 구윤모님, 진주문화방송의 이이길님, 한일 MEC의 조준범님께서 합격을 하셨습니다. 합격하신 고객분들께 다시한번 진심으로 축하를 드립니다.

■ 2002년도 증기실무연수교육(SUMC) 상반기 일정안내

아래와 같은 일정으로 증기실무연수교육을 실시하고자 하오니 원하시는 일정에 참석하시어 최신의 기술지식과 최신의 기술서비스를 제공 받으시기 바랍니다.

회 수	일 자	과 정 명	교육비 (VAT 별도)
SUMC 0201	03.14~15 1박 2일	정비 과정	130,000
SUMC 0202	04.11~12 1박 2일	일반A 과정	130,000
SUMC 0203	04.25~26 1박 2일	석유화학 과정	130,000
SUMC 0204	05.08~10 2박 3일	일반B 과정	210,000
SUMC 0205	05.16~17 1박 2일	정비 과정	130,000
SUMC 0206	06.12~14 2박 3일	전문가 과정	210,000
SUMC 0207	06.20~21 1박 2일	에너지관리자 과정	130,000

일반B 과정은 증기시스템 관련과정(일반A)에 수배관 시스템 관련 교육이 1일 추가된 2박 3일 과정입니다.

- (주) 1) 상기 일정은 당사 사정에 따라 변경될 수 있습니다. 참가전에 확인하시기 바랍니다.
2) 전국을 대상으로 개방되어 있으니 원하시는 일정에 신청하여 주시기 바랍니다.
3) 정규과정 이외에 고객의 요청에 따라 단위회사별로 별도로 기획하는 특별과정도 실시하오니 영업사원에게 문의하여 주시기 바랍니다.

■ 신청방법
참가신청서를 작성하여 FAX로 신청하여 주십시오.

증기 및 유체제어 전문가

spirax
sarco

- 보일러컨트롤시스템 ●밸브조절시스템 ●감 압 시스템
- 가 습 시스템 ●자동제어시스템 ●안 전 밸 브
- 스 팀 트 랙 핑 ●체 크 밸 브 ●유량측정시스템
- 온 도 조 절 시스템 ●후 레 쉬 베 셸 ●순간온수가열기
- 기 수 분 리 기 ●응축수회수시스템 ●에 어 벤 트
- 자동밸런싱밸브 ●차 압 밸 브 ●펌프컨트롤밸브

한국스파이렉스사코(주) <http://www.spiraxsarco.com/kr>

본사 : 서울 서초구 서초동 1552-8(정우빌딩 3층) TEL:(02)525-5755, FAX : 525-5766
공장 : 인천 남동구 고잔동 640-13 남동공업단지 71블록 14로트 TEL : (032)811-0494

- 대구영업소 : 대구광역시 북구 산격2동 1629 산업융재관 업무동 3층 TEL : (053)382-0771, FAX 384-1137
- 광주영업소 : 광주광역시 서구 능성동 415-24(청송빌딩 6층) TEL : (062)366-5755, FAX 367-8728
- 부산영업소 : 부산광역시 금정구 부곡2동 297-2(원진빌딩 5층) TEL : (051)517-5755, FAX 517-5766
- 울산영업소 : 울산광역시 남구 신정4동 803-15 TEL : (052)258-5744, FAX 274-3942
- 대전영업소 : 대전광역시 동구 가양동 426-4(대웅제약빌딩 6층) TEL : (042)636-4342, FAX 636-4344
- 전주영업소 : 전북 전주시 완산구 중화산동 2가 577-2(서림빌딩 1층) TEL : (063)226-1408, FAX 226-1409
- 창원영업소 : 경남 창원시 중앙동 97-6(캔버라오피스텔 1204호) TEL : (055)268-5755, FAX 268-5754
- 여수영업소 : 전남 여천시 신기동 12-9(호남계기 3층) TEL : (061)682-1208, FAX 681-2655
- 인천영업소 : 인천광역시 남동구 고잔동 640-13 남동공단 71B 14L TEL : (032)814-5755, FAX 814-3898
- 수원영업소 : 경기도 수원시 팔달구 인계동 1026-3(라성빌딩 406호) TEL : (031)238-5755, FAX 239-5548
- 청주영업소 : 충북 청주시 흥덕구 가경동 1046(오성빌딩 3층) TEL : (043)268-8040, FAX 268-8044