

# 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.

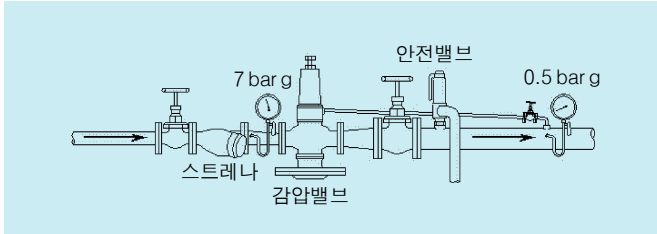


그림 1. 감압밸브 스테이션 예

- 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<sub>PW</sub>) = 4.1868 kJ/kg °C (= 1 kcal/kg °C)
- 물의 양(m<sub>w</sub>) = 560 kg/h
- 함수율 13.5%인 밀가루의 비열(C<sub>PP</sub>) = 1.59 kJ/kg °C
- 밀가루의 양(m<sub>P</sub>) = 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<sub>w</sub>C<sub>PW</sub> + m<sub>P</sub>C<sub>PP</sub>)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 m<sup>3</sup>/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.

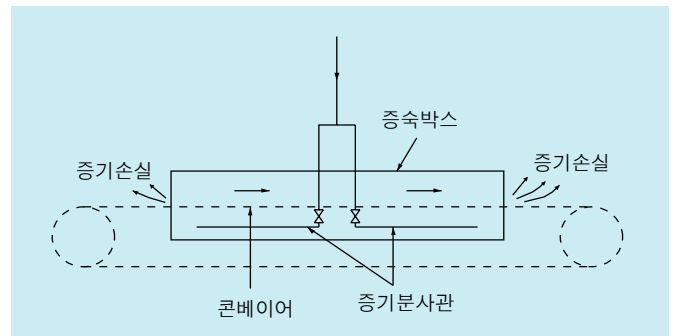


그림 2. 증숙기내 증기 공급 배관

### 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.