

향료용해가마의 온도조종체계실현에 대한 연구

구광명, 박상룡

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《우리는 새 세기 산업혁명을 힘있게 다그쳐 인민경제전반을 현대적기술로 개건하고 모든 부문을 첨단수준에 올려세워야 합니다.》

선행연구들[1, 2]에서는 온도조종체계를 간단히 PID조종으로 실현하였으며 국부적으로 있게 되는 파대한 온도변화를 고려하지 못하였다.

논문에서는 대상의 물리적특성을 고려하여 온도제한조건을 가진 PID조종알고리즘으로 향료용해가마의 온도조종체계를 실현하였으며 그 효과성을 검증하였다.

1. 향료용해가마의 온도조종체계를 위한 수학적해석

향료용해가마의 구조를 그림 1에 제시하였다.

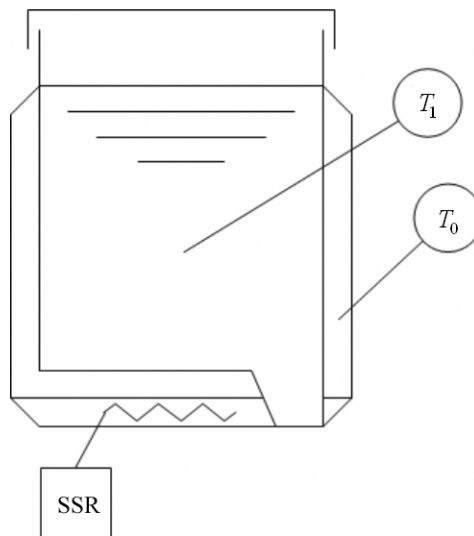


그림 1. 향료용해가마의 구조

그림 1에서 보는바와 같이 향료용해가마는 자켓부분의 도열유를 리용하여 간접가열이 진행되도록 되어있다. 도열유는 전열기를 리용하여 가열한다.

전열기는 고체계전기를 리용하여 PWM방식으로 전압을 가하여 조종할수 있게 하였다.

자켓의 바깥층에는 보온층이 있어 에네르기손실이 거의 없도록 하였다.

도열유에 가해지는 전기에네르기가 모두 열에네르기로 전환된다고 하면 에네르기보존의 법칙에 의하여 다음의 식이 성립한다.

$$\begin{cases} m_0 C_0 \frac{dT_0}{dt} = q_{\text{전}} - q_1 - q_{\text{손}} \\ q_{\text{전}} = UI \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $m_0 C_0$ 은 도열유의 열용량(m_0 : 도열유의 질량), $q_{\text{전}}$ 은 전열기의 전기적출력, T_0 은 도열유의 온도이다. 그리고 q_1 은 단위시간동안에 도열유에서 원료에 전달되는 열량, $q_{\text{전}}$ 은 단위시간동안에 도열유에 전달되는 전기에너지이며 $q_{\text{손}}$ 은 외부에로의 열손실로서 다음과 같이 표시된다.

$$q_{\text{손}} = \frac{T_0 - T_{\text{외}}}{R_{\text{외}}}$$

이다.

한편 원료의 열용량을 $m_1 C_1$ 이라고 하고 도열유와 원료사이의 열전달저항을 R_1 이라고 하면 에너지보존의 법칙으로부터 다음의 식이 성립되게 된다.

$$\begin{cases} m_1 C_1 \frac{dT_1}{dt} = q_1 \\ q_1 = \frac{T_0 - T_1}{R_1} \end{cases} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)를 정리하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{cases} m_0 C_0 \frac{dT_0}{dt} = UI - \frac{m_1 C_1 dT_1}{dt} - \frac{T_0 - T_{\text{외}}}{R_{\text{외}}} \\ T_0 = T_1 + \frac{R_1 m_1 C_1 dT_1}{dt} \end{cases} \quad (3)$$

$$R_1 m_0 C_0 m_1 C_1 \frac{d^2 T_0}{dt^2} + (m_0 C_0 + m_1 C_1) \frac{dT_1}{dt} = UI$$

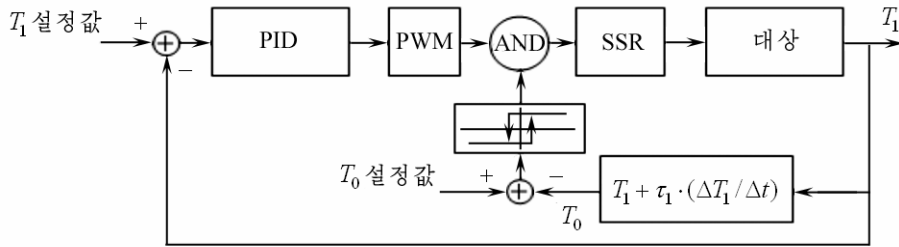
이제 $\tau_0 = R_1 m_0 C_0$ (도열유부분의 랭각시정수), $\tau_1 = R_1 m_1 C_1$ (원료부분의 가열시정수)라고 하면 웃식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{cases} \tau_0 \tau_1 \frac{d^2 T_1}{dt^2} + (\tau_0 + \tau_1) \frac{dT_1}{dt} = R_1 \cdot UI \\ T_0 = T_1 + \tau_1 \frac{dT_1}{dt} \end{cases} \quad (4)$$

2. 향료가마의 온도조종체계설계

원료로는 향료물질이 리용되므로 국부적인 과열상태를 허용하지 않는다. 또한 조작량의 정값조건으로부터 파조절량이 생기면 설정값으로의 회복이 길어지므로 조종체계를 구성함에 있어서 T_0 에 대하여 제한을 주어야 한다.

식 (4)로부터 알수 있는바와 같이 T_0 은 T_1 로부터 추정할수 있으므로 수감부를 리용하지 않고 그림 2와 같이 조종체계를 구성하여 제한을 주었다.


 그림 2. T_0 에 제한을 준 PID조종체제

일반적으로 전열기에 의한 온도조종체제를 구성하는 경우 대상에 가해지는 조작량은 정값만을 가지므로 반결합조종시 과조절량의 지속시간이 길어지게 되는 결함을 가지게 된다. 이런 경우에 T_0 에 대한 제한조종은 더우기 중요하게 제기된다.

따라서 PID조종알고리즘을 다음과 같이 실현한다.

- ① $e = \text{설정값} - \text{현재값}$
- ② $\Delta e = e - e_0$
- ③ $\Delta^2 e = \Delta e - \Delta e_0$
- ④ $\Delta u = K_P \cdot \Delta e_0 + K_I \cdot e + K_D \cdot \Delta^2 e$
- ⑤ $u = u_0 + \Delta u$: PID조종출구
- ⑥ $e_0 = e, \Delta e_0 = \Delta e, u_0 = u$

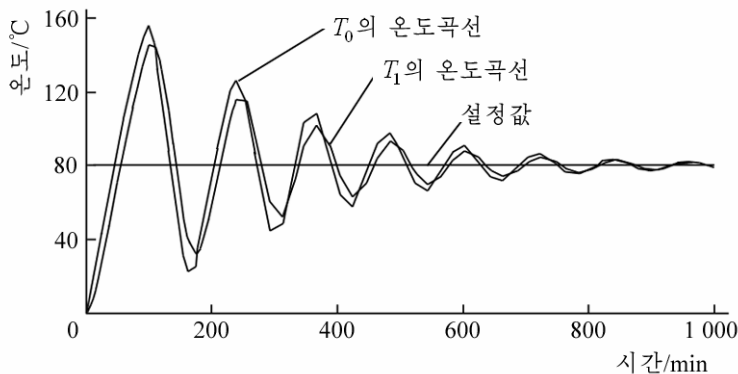
위의 알고리즘에서 Δu 에 대하여 제한연산을 줄수도 있다.

PWM부분에서는 조작량 u 에 해당하는 값으로 폭변조된 임펄스를 내보낸다.

고체계전기에서는 PWM신호에 따라 전열기에 전압을 가해주어 대상에 열에너지를 전달하게 된다. 이때 차단상태에서는 강제랭각을 하는것이 아니라 자연랭각을 진행하게 되므로 가열시정수와 랭각시정수가 다르게 된다.

3. 조종결과 및 분석

그림 2의 조종체제에 대하여 Matlab에서 모의를 진행한 결과 그림 3, 4와 같은 조종 특성을 얻었다.


 그림 3. T_0 의 온도제한조건을 주지 않은 경우 온도조종곡선

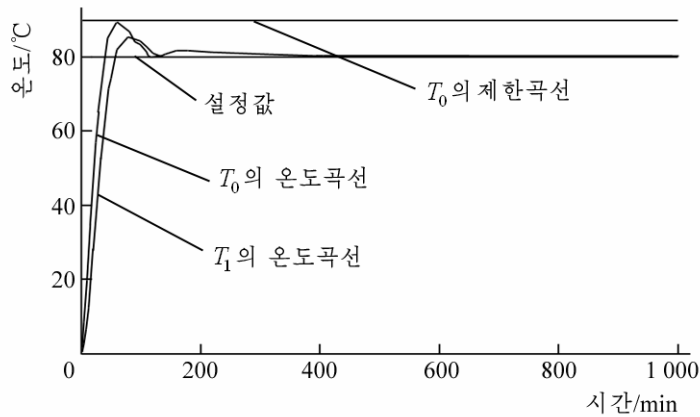


그림 4. T_0 의 온도제한을 준 경우 온도조종곡선

결과곡선에서 알수 있는바와 같이 T_0 에 대한 제한조종을 진행한 결과 과조절량을 현저히 줄일수 있다는것을 알수 있다.(40%정도)

또한 가열조종에서 정값조건을 만족시키므로 에네르기소비를 30% 줄일수 있다.

이러한 조종방법은 전열에 기초한 온도조종에 대하여 모두 적용할수 있다.

맺는 말

향로용해가마의 온도조종체계실현에서 제기되는 문제들을 해결하기 위하여 대상의 물리적특성을 고려하는 온도제한조건을 가진 PID조종수법을 설계하고 모의를 통하여 그 효과성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] O. F. Lutfy et al.; Drying Technology, 33, 10, 1210, 2015.
- [2] H. Mansor et al.; Journal of Food Agriculture and Environment, 8, 2, 145, 2010.

주체108(2019)년 8월 5일 원고접수

Performance Study of Temperature Control System for Kiln to Dissolve Perfumes

Ku Kwang Myong, Pak Sang Ryong

In this article control method with temperature limitation was designed by considering the physical character of plant and the effectiveness of this controller was demonstrated by computer simulations.

Key words: temperature control, temperature limitation