

반복학습조종알고리즘을 리용한 원료정량공급 조종체계설계의 한가지 방법

신동혁, 리혁

배합먹이생산공정을 자동화하고 과학적으로 관리운영하는것은 돼지공장들에서 생산을 늘이기 위한 중요한 문제로 나선다.[1, 2]

원료섞기는 생산공정의 중요한 구성부분으로서 그 배합공정을 규정된 배합비 즉 생산물을 구성하는 각종 원료들의 질량값비에 따라 진행하는가 못하는가 하는것은 생산품의 질을 규정하는 관건적문제이다.[3-5]

만일 원료섞기오차가 생겨 원료섞기의 질이 요구하는 기준에 이르지 못하면 원료, 에너르기의 낭비를 조성할수 있고 생산물의 질과 량을 떨어뜨릴수 있다. 그러므로 원료섞기공정의 질과 량에 대한 조종은 중요한 부분이라고 할수 있다.

원료섞기조종체계는 기본먹이를 저장하는 5개의 중간싸이로와 2대의 분쇄기, 스크류이송기, 혼합기, 무게수감부, 싸이로들의 밀개방문에 대한 여닫이를 진행할수 있는 5대의 전동기와 그것을 조종하기 위한 여닫이전동기조종장치로 구성된다.

종전의 원료섞기조종체계는 장치구조상 중간싸이로에 무게수감부가 없으므로 계량을 진행할수 없고 매 기본원료에 대한 계량을 단지 혼합기에 설치된 무게수감부만을 리용하여 진행한다. 따라서 항상 스크류속에 남아있는 원료량이 증가되어 락차보상오차가 존재하기때문에 정확한 정량공급을 진행할수 없다.

론문에서는 현재 공장에 구축된 배합먹이생산공정에서 먹이처방이 고정되지 않고 계속 변하는 경우 그에 맞게 기본먹이들에 대한 정량공급을 실현하기 위한 조종체계설계의 한가지 방법을 제안하고 실험을 통하여 그 효과성을 검증하였다.

1. 원료정량공급장치의 수학적모형화

원료정량공급장치는 크게 스크류이송기의 운반특성을 반영하는 토막, 혼합기까지 원료가 오는데 걸리는 시간을 반영하는 지연토막, 혼합기에 설치된 무게수감부의 전달함수에서 시정수를 무시하고 고찰한 증폭토막으로 나누어 고찰할수 있다.

고찰을 간단히 하기 위하여 1개의 기본먹이에 대한 이송과정만을 모형화하여보자.

전동기속도조종회로를 포함한 스크류이송기와 분쇄기를 1개 토막으로 보면 원료이송을 위한 원료정량공급장치의 전달함수는 다음과 같은 1차관성분조로 근사화할수 있다.

$$G_{\text{원}} = \frac{K_{\text{원}}}{1 + T_{\text{원}}s} \quad (1)$$

여기서 $T_{\text{원}}$ 은 원료이송량의 관성시정수, $K_{\text{원}}$ 은 원료이송량의 전달결수를 나타낸다.

한편 일정한 속도로 움직이는 스크류이송기우에 짐이 실리는 과정을 적분토막 $1/s$ 로 표시할수 있고 혼합기까지 오는데 걸리는 시간 $\tau_{\text{원}} = L/v$ 를 반영하는 지연토막을 $e^{-\tau_{\text{원}}s}$ 로, 이송기에서 짐이 분리되는 과정을 특징짓는 적분토막을 $-1/s$ 로 표시하자.

그러면 원료정량공급장치의 전체적인 전달함수는 다음과 같다.

$$G_{\text{원}} = \frac{K_{\text{원}} e^{-\tau_{\text{원}} \cdot s}}{s(1 + T_{\text{원}} s)} \quad (2)$$

원료섞기에 리용되는 원료정량공급장치를 모형화하기 위하여 원료운반특성지표들을 분석하자.

이를 위해 싸이로밀개방문을 닫기 위한 원료공급차단점을 설정된 원료량의 80, 85, 90, 95, 100%로 설정하고 계량측정실험을 하였다. 1t의 배합원료를 만들자면 기본먹이처방에 따라 강냉이를 450kg 이송해야 하는데 스크류속에 남아있는 강냉이를 모두 뽑자면 계량 측정값이 360, 382, 405, 428, 450kg되는 시각부터 싸이로여닫이를 닫아야 한다.

계량측정실험결과를 그림 1에 보여주었다.

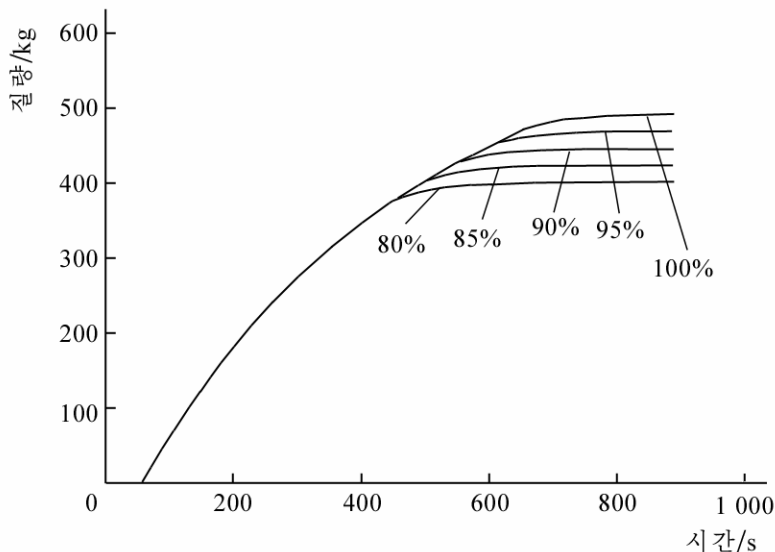


그림 1. 계량측정실험결과

그림 1에서 보는바와 같이 원료설정값의 80% 즉 계량측정값이 360kg되는 점에서부터 여닫이를 닫으면 혼합기에 이송된 강냉이량은 400kg밖에 되지 않아 거의 50kg이나 되는 오차값을 가진다는것을 알수 있다.

한편 원료공급차단점을 90%로 정하면 $\pm 5\text{kg}$ 의 오차를 가지고 설정값에 도달하고 계량측정값이 450kg인 상태에서 싸이로밀개방문을 닫으면 거의 500kg의 강냉이가 혼합기에 부리워져 결국 먹이처방에 따르는 정확한 원료정량공급을 진행할수 없다. 실험을 통하여 알수 있는바와 같이 각이한 원료공급차단점에 대하여 설정값사이의 오차가 존재하며 따라서 원료섞기를 위한 정량공급조종은 기본원료를 정량공급할수 있는 가장 합리적인 원료공급차단점을 찾는 문제에 귀착되게 된다.

5가지 원료에 대하여 식 (2)를

$$G_i(s) = \frac{K p_i e^{-\tau_i \cdot s}}{s(1 + T_i s)}, \quad i = 1, \dots, 5 \quad (3)$$

와 같이 표시하고 Matlab를 리용하여 체계모형화를 진행한 결과는 표와 같다.

표. 모형화결과

모형화지표	원료 1	원료 2	원료 3	원료 4	원료 5
Kp_i	591.77	82.603	61.98	171.34	379.19
T_i	413.47	45.234	25.268	41.604	147.37
τ_i	58	45	30	15	15

2. 반복학습조종알고리즘에 의한 스크류이송기의 속도조종

반복학습조종알고리즘에 의한 스크류이송기 속도조종의 기본목적은 주기적인 특성을 가지는 원료섞기공정에 대하여 조종대상의 실제출력 즉 원료계량값과 희망하는 출력인 목표계량값사이의 조종오차(배합하려는 기본먹이에 대한 질량오차)를 기록하고 이 두 량에 기초하여 현재조종주기의 조종력을 결정하는 방법으로 조종체계의 오차를 점차 감소시켜 스크류이송기의 운반속도를 일정하게 유지하는것이다.

1개의 주기적인 동적체계에 대하여 $t=0$ 시각부터 $t=T$ 시각까지 체계의 $k+1$ 차 원료섞기조종법칙을 다음과 같이 표시할수 있다.

$$\begin{cases} u_{k+1}(t) = f(u_k(t), e_k(t)) \\ e_k(t) = y_k^d(t) - y_k(t) \end{cases} \quad (4)$$

여기서 $u_k(t)$ 는 k 차단계에서 t 시각의 조종력 즉 스크류이송기의 전동기속도, $y_k(t)$ 는 k 차단계에서 t 시각의 출력 즉 먹이혼합기에서 수감된 계량값, $y_k^d(t)$ 는 k 차단계에서 t 시각의 희망하는 출력으로서 이송계획기에서 모의된 이송량목표계도곡선에 따르는 원료무게이다.

한편 스크류이송전동기의 속도조종을 위한 조종증폭도는 매 기본먹이에 대하여 스크류이송기를 통해 먹이혼합기의 원료무게가 설정된 질량까지 도달하기 전에 싸이로의 밀개방문여닫이를 닫은 후 스크류이송기에 남아있는 원료가 먹이혼합기에 완전히 떨어졌을 때 먹이혼합기의 최종적인 실제원료질량이 목표설정값과 일치하든가 혹은 정해진 허용오차범위안에 놓이도록 설정되어야 한다.

원료운반용스크류이송기의 전동기는 교류전동기로서 그것에 대한 속도조절은 인버터를 리용하여 진행한다. 따라서 스크류이송기조종을 위한 전동기의 속도는 $[0, 50]$ 구간에 놓이는 수값으로 표시되고 표준적인 속도는 $v_0 = 40$ 으로 설정한다.

1차원료섞기를 진행할 때 스크류이송기의 전동기속도는 표준적인 속도와 같은 값 즉 $v_1 = v_0$ 으로 설정한다.

이제 1차원료섞기가 끝난 후 혼합기의 실제배합원료질량값과 목표설정값사이에 다음과 같은 오차가 존재한다고 하자.

$$e_1 = y_1^d - y_1 \quad (5)$$

이때 이 오차를 리용하여 2차원료섞기를 진행하기 위한 스크류이송기의 전동기속도를 다음과 같이 변화시킨다.

$$v_2 = v_1 + b \cdot e_1 = v_1 + b \cdot (y_1^d - y_1) \quad (6)$$

여기서 $0 < b < 1$ 은 무게학습결수로서 보통 0.5로 취한다.

한편 2차원료섞기가 끝나고 질량측정을 진행한 결과 다음과 같은 배합원료질량오차가 얻어졌다고 하자.

$$e_2 = y_2^d - y_2 \quad (7)$$

여기서 y_2 는 2차원료섞기후 혼합기의 최종실제원료섞기질량이고 y_2^d 는 2차원료섞기한 먹이의 목표설정값이다.

그러면 3차원료섞기를 진행하기 위한 스크류이송기의 속도는 다음의 식으로 주어진다.

$$v_3 = v_2 + b \cdot e_2 = v_2 + b \cdot (y_2^d - y_2) \quad (8)$$

마찬가지방법으로 n 차의 원료섞기를 진행한 후의 오차는 다음과 같이 표시된다.

$$e_n = y_n^d - y_n \quad (9)$$

우와 같은 과정을 반복적으로 적용하면 $n+1$ 차의 원료섞기시 스크류이송기의 속도 조종력은 다음과 같다.

$$v_{n+1} = v_n + b \cdot e_n = v_n + b \cdot (y_n^d - y_n) \quad (10)$$

$e_n < 0$ 일 때에는 부방향반복이 진행되어 스크류이송기의 전동기속도는 감소하게 되며 반대로 $e_n > 0$ 일 때에는 정방향반복이 진행되어 스크류이송기의 전동기속도는 증가하게 된다.

스크류이송기의 전동기속도에 대하여 아래한계값과 윗한계값을 정하고 변화되는 속도가 $30 \leq v_{n+1} \leq 50$ 이도록 값을 한정시킨다.

매번의 반복단계에서 초기조건 $e_n(0) = 0$ 이 모두 만족된다고 하면 $n \rightarrow \infty$ 일 때 즉 반복혼련차수가 무한히 많을 때 실제출력은 희망하는 값에 도달하게 된다.

$$|e_n| \rightarrow C_n \quad (11)$$

여기서 C_n 은 원료섞기정확도의 백분율을 나타낸다.

3. 실험 및 결과분석

원료 1(강냉이)에 대하여 원료공급이송체계에 대한 수학적모형이 다음과 같다고 하자.

$$Y(s) = \frac{591.77}{(1 + 413.47s)} e^{-58s} \cdot U(s) \quad (12)$$

여기서 $U(s)$ 는 원료공급차단점을 나타내는 값으로서 먹이처방에 따라 설정된 량의 백분율 즉 1은 100%를, 0.8은 80%를 나타낸다. 그리고 $Y(s)$ 는 기본원료의 추정된 질량값(kg)을 나타낸다.

위의 수학적모형을 리용하여 수값모의를 진행한 결과 원료공급차단점을 설정값의 50% 즉 175kg으로 설정한 경우 이송체계는 최고 260kg의 원료박에 이송할수 없으며 원료공급차단점을 90%로 설정하는 경우 이송체계는 460kg이나 되는 강냉이를 이송하기때문에 정량공급이 불가능하다. 모의결과 원료공급차단점을 68% 즉 238kg으로 설정하였을 때 설정된 350kg에 대한 정량공급을 실현할수 있으며 이때의 이송시간은 460s라는것을 알수 있었다.

수값모의에 기초하여 제안한 방법의 효과성을 검증하기 위하여 《교》돼지공장에서 현장실험을 진행하였다.

배합먹이 1t을 생산하기 위한 60회의 원료섞기측정실험결과는 그림 2와 같다.

그림 2에서 ㄱ)는 측정실험결과, ㄴ)는 측정오차곡선이다.

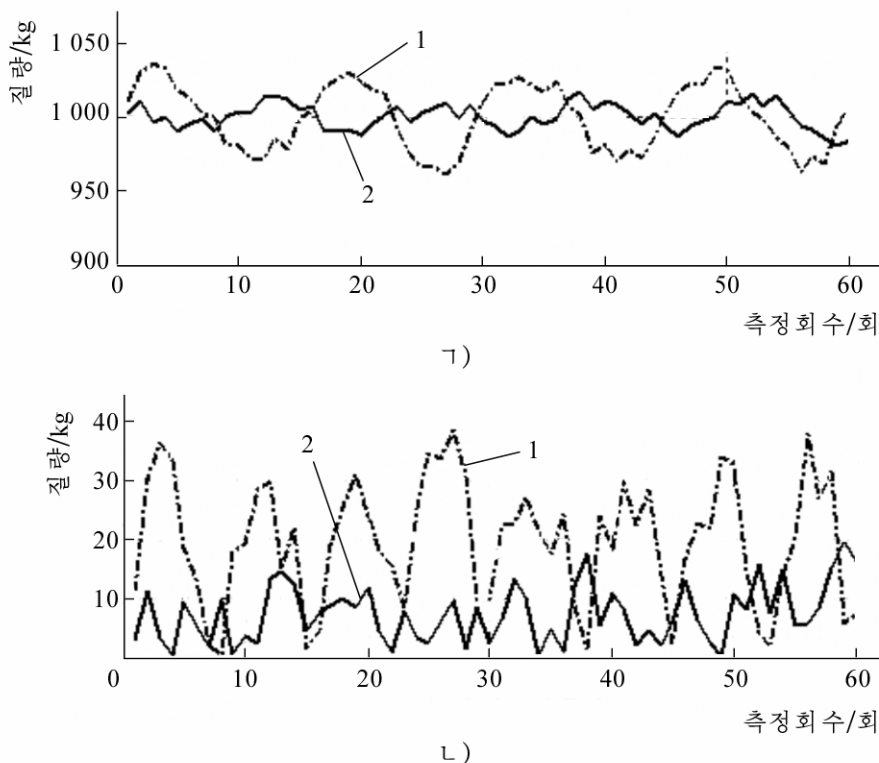


그림 2. 원료취기측정실험결과

1-종전의 방법, 2-제안한 방법

그림 2에서 보는바와 같이 반복학습조종알고리즘을 리용하지 않을 때에는 1t의 배합 먹이에 대하여 평균 19kg의 질량오차가 생기지만 반복학습알고리즘에 의해 전동기의 속도조종을 진행하면 평균 8kg의 질량오차밖에 생기지 않는다는것을 알수 있다.

맺 는 말

스크류정량공급조종장치를 수학적으로 모형화한데 기초하여 반복학습조종알고리즘에 의한 원료취기조종을 정량적으로 실현하고 모의를 통해 그 효과성을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성 종합대학학보(자연과학), 62, 6, 115, 주체105(2016).
- [2] 왕룡철 등; 정보기술, 3, 23, 주체103(2014).
- [3] 리응범; 기술혁신, 12, 33, 주체97(2008).
- [4] Lida Barba et al.; Meat Science, 143, 165, 2018.
- [5] Nadia Bergeron et al.; Animal Nutrition, 3, 236, 2017.

Design of Controller Supplying a Fixed Material Quantity to Mixer by Using Iteration Learning Control Algorithm

Sin Tong Hyok, Ri Hyok

We designed the mathematical model of screw supply device and a controller supplying a fixed material quantity to feed mixer, and demonstrated the effectiveness through the simulation.

Keywords: controller supplying a fixed material quantity, screw supply device