

컴퓨터를 이용한 원심식 박막증발기의 제어 및 자료 수집 시스템의 제작

박노현·김병삼·박무현·한봉호*·배태진**

한국식품개발연구원, *부산수산대학교, **여수수산대학교

Manufacture of Control and Data Acquisition System of Centrifugal Thin Film Evaporator(*Centri-Therm*, CT-1B) by Computer

Noh-Hyun Park, Byeong-Sam Kim, Moo-Hyun Park, Bong-Ho Han* and Tae-Jin Bae**

Korea Food Research Institute

*Dept. of Food Sci. and Tech., National Fisheries University of Pusan

**Dept. of Food Sci. and Tech., Yosu National Fisheries College

Abstract

For the automation of a evaporation process, computer based evaporation system was built and applied to acquisition of the process variables with an centrifugal thin film evaporator(*Centri-Therm*, CT-1B). Controls of the process conditions were performed by computer system for pressure, feeding rate, steam, evaporation temperature and flow rate of cooling water. The data acquisitions were also performed by computer system for the changes in the concentration and temperature readings for steam, evaporation and cooling water at the both inlet and outlet. The control and the acquisition variables were collected through the interface device and analyzed by programs using the PASCAL language. To control the feeding rate during the concentration process, inverter was used. The cooling water for the vapor condensation was controlled by the valve controller and should be supplied with the flow rate of 125 kg/h. The maximum vapor condensation rate was 41.7 kg/h at the feeding rate of 125 kg/h.

Key words : centrifugal thin film evaporator, *Centri-Therm*, automation, computer, concentration

서 론

최근 공장 자동화에 대한 관심이 높아지면서 많은 화학 공장이나 식품가공 공장들이 제어용 시스템을 도입, 운영하고 있으며 이와 같은 시스템을 공급하는 업체도 불과 3~4년 사이에 매우 많아진게 사실이다. 그러나 상업적인 제어용 전산시스템은 그 응용의 특수성, 한정된 수요, 다양한 주변기기 등 여러 가지 이유로 그 가격이 비싸서 소규모 공장이나 단위공정의 제어, 관리의 목적에는 적합치 않은 경우가 많다. 최근 우리나라도 퍼스널 컴퓨터가 많이 보급되었으며 그 가격도 매우 저렴해 사무용 뿐만 아니라 계산용, 연구용으로도 많이 활용되고 있다⁽¹⁾.

마이크로 컴퓨터는 마이크로 프로세서를 CPU(central processing unit)로 내장하고 있고 기억 용량도 크며 입출력 시스템이 갖추어져 있는 경우가 많기 때문에 공정

제어용으로 활용할 수 있으며 최근에는 공정제어 전용 마이크로 컴퓨터가 등장하기도 하였다. 그러나 퍼스널 컴퓨터는 제어 전용 컴퓨터와는 구조적인 면에서 거의 동일하기 때문에 공정제어나 자동화에 활용이 가능하다⁽²⁾.

농축공정은 식품의 건조 및 결정화의 전단계 공정으로서 제당, 제염, 유가공, 음료 제조 등 대부분의 가공 공정에서 필수적인 단위 조작이다. 특히 농축공정은 에너지를 많이 요구할 뿐만 아니라 공정 변수 등 제조건의 효율적인 운전 여하에 따라 최종 제품의 품질에 영향을 미치기 때문에 전 공정의 균일한 제어는 중요하다고 할 수 있다⁽³⁾. 본 연구에서는 식품가공 공정에서 흔하게 접할 수 있는 농축공정에 대한 자동 제어 시스템을 구성하여 공정을 자동 제어하고 공정 변수를 자동 수집할 수 있는 시스템을 연구하기 위해 원심식 박막 증발기에 자동 제어에 필요한 계측용 센서, 변환기기 등의 주변기기를 부착하고 컴퓨터를 이용해 자동 제어할 수 있도록 시스템을 운전하고 데이터를 수집할 수 있는 장치를

Corresponding author : Byeong-Sam Kim, Korea Food Research Institute, 148-1, Dangsoo, Panwol, Hwaseong, Kyonggi, Republic of Korea, 445-820

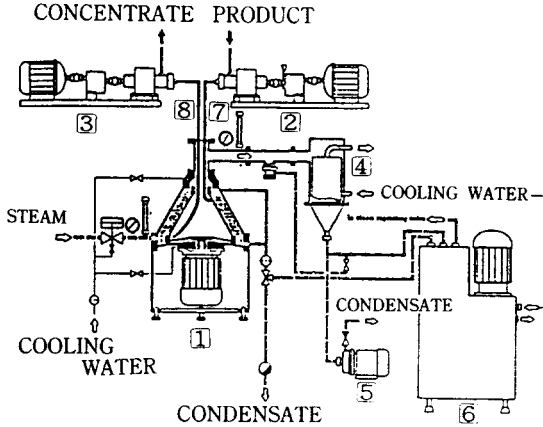


Fig. 1. Schematic diagram of Centri-Therm(CT-1B)

- 1 : Centri-Therm
- 2 : Feeding pump
- 3 : Concentrate pump
- 4 : Condenser
- 5 : Condensate pump
- 6 : Vacuum pump
- 7 : Feeding tube
- 8 : Paring tube

제작, 운용함으로써 향후 식품 공장의 자동화에 이바지 하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

실험용 시료로는 증류수와 5% sucrose solution을 이용하였다.

실험장치

본 연구에 사용된 증발 장치는 Fig. 1과 같은 원심식 박막증발기(Centri-Therm, CT-1B, α -Laval Co., Sweden)로서 제어 및 데이터 수집(data acquisition)에 필요한 접속 기기 등을 부착시킨 것이었다. 운전 과정을 보면 피농축물은 급액 펌프(feeding pump)에 의해 급액 튜브(feeding tube)를 통해 증발 표면인 회전 원추(rotating cone)의 상부로 급액되고 원심력에 의하여 박막으로 원추(cone)의 표면을 따라 흐르면서 증발하게 된다. 이때 가열은 원추 주위의 증기에 의하여 이루어진다. 농축액은 증발 원추의 하부에서 모인 다음 농축액 펌프(concentrate pump)에 의해 패어링 튜브(paring tube)를 통해 배출된다. 한편, 증기는 응축기(condenser)를 통과하면서 응축, 냉각되어 응축수 펌프(condensate pump)를 통해 배출된다. 일반적으로 피농축물은 필요에 따라 항온조에서 예열 또는 냉각되며, 농축액은 판형열교환기(plate heat exchanger)에 의해 냉각된다⁽⁴⁾.

운전방법

본 연구에서는 연구 목적상 다음과 같은 두가지 방

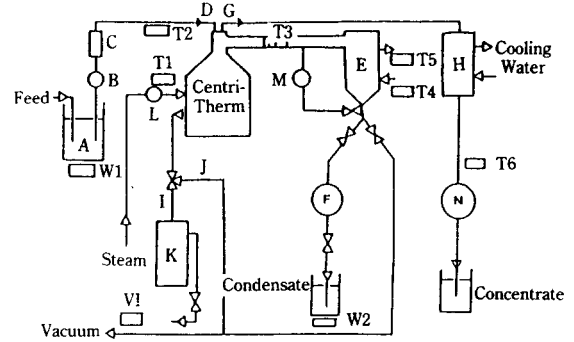


Fig. 2. Schematic diagram for single pass type operation of Centri-Therm(CT-1B)

- A : Feed tank
- B : Feeding pump
- C : Rotameter
- D : Feed inlet
- E : Condenser
- F : Collection of condensate
- G : Concentrate outlet
- H : Plate heat exchanger
- I : Membrane valve($t \geq 100^\circ\text{C}$)
- J : Membrane valve($t < 100^\circ\text{C}$)
- K : Collection of steam condensate
- L : Steam regulator
- M : Vacuum controller
- N : Collection of concentrate
- W1, W2 : Load cell, V1 : Vacuum sensor
- T1~T6 : Thermal sensor

법으로 장치를 운전하였다.

Single Pass Type Operation : 원심식 박막증발기의 원추 표면에 유입되는 피농축액은 원심력에 의해 0.5~1 mm 정도의 박막을 형성하게 되는데 총괄열전달계수가 커서 짧은 체류시간에도 불구하고 최고 85°Brix까지 농축시킬 수가 있다⁽⁵⁾. 그러므로 Fig.2에 나타난 것처럼 피농축액의 급액량 즉, 급액 속도를 조절하여 피농축액이 증발 원추 표면을 1회 통과하는 것만으로 농축 목적을 달성시키는 방법을 single pass type operation으로 하였다.

Recirculation Type Operation : Single pass type operation으로 소정의 농축 효과를 얻을 수 없는 경우 또는 향기 성분의 회수, stripping이나 피농축액의 특성상 부득이한 경우에 이용할 수 있는 방법으로써 그 운전 형태는 Fig.3에 나타내었다. 즉 피농축액이 원심식 박막 증발기를 여러 차례 순환 통과함으로써 원하는 농도에 이르는 방법이며, single pass type operation에 비하여 열에 노출되는 시간이 길다. 본 연구에서는 일정량의 피농축액을 일정 농도에 도달할 때까지 여러 차례 순환시키는 방법을 single-step recirculation으로, 그리고 피농축액을 single pass type operation으로 농축시키고 그로부터 얻은 농축액을 반복하여 single pass type operation으로 농축시켜 나가는 방법을 multi-step recirculation으로 구분하였다.

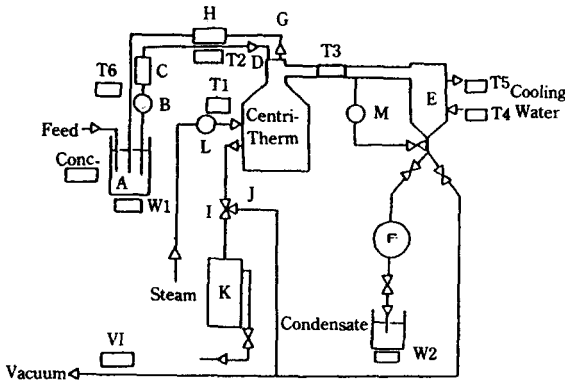


Fig. 3. Schematic diagram of recirculation type operation of Centri-Therm(CT-1B)

- A : Feed tank
- B : Feeding pump
- C : Rotameter
- D : Feed inlet
- E : Condenser
- F : Collection of condensate
- G : Concentrate outlet
- H : Plate heat exchanger
- I : Membrane valve($t \geq 100^\circ\text{C}$)
- J : Membrane valve($t < 100^\circ\text{C}$)
- K : Collection of steam condensate
- L : Steam regulator
- M : Vacuum controller
- W1, W2 : Load cell
- V1 : Vacuum sensor
- T1~T6 : Thermal sensor

제어 및 측정 방법

급액 속도의 제어

급액 펌프로는 고정성 피농축액의 급액에 적합한 1/3 HP의 3상 모터에 감속기(4 : 1)가 부착되어 있고 시간당 200 kg 이상의 공급이 가능한 모노 펌프를 사용하였다. 급액 속도는 인버터(FVR-G2, (주)금성제전)를 이용하여 모터의 회전 속도를 제어함으로써 조절하였고, 모터의 회전 속도는 Digital Tachometer(DT 205, SHIMPO, Japan)로 측정하였으며, 이 때의 제어에 대한 변수 범위는 다음과 같다. 즉 DAC(Digital-Analog Converter)의 Voltage range는 0~10 V, Inverter의 Frequency variation은 0~240 Hz, 급액 모터의 회전 속도는 0~7,200 rpm, 그리고 Digital input range는 0~500이었다.

증발기의 진공도(또는 증발 온도)

대부분 농축공정은 피농축물의 품질 저하와 향기 성분 및 열에 민감한 물질의 파괴를 억제하기 위해 끓는 점을 낮추고자 감압하에서 운전하게 되며, 이를 위해서는 증발기의 진공도를 조절하게 된다.

Centri-Therm에는, 水棒式 진공 펌프가 부착되어 있어서 최고 95 kPa까지의 진공도를 유지할 수가 있다. 따라서 본 연구에서는 피농축물의 특성에 따라 증발기의 진공도를 원하는 정도로 유지시켜주기 위하여 출력 전압이 DC 1 V, 분해능이 0.13332 kPa로 0~101.32 kPa까지 측

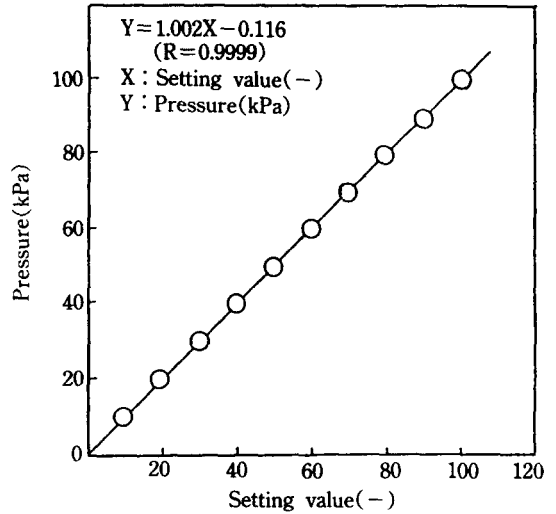


Fig. 4. Relationship between setting value of vacuum controller and real pressure of evaporation cone

정 및 제어가 가능한 디지털 압력조절기(Digital vacuum controller, VC-20S, OKANO WORKS, LTD, Japan)를 응축기와 진공 펌프 사이에 부착시켰다. 디지털 압력조절기의 설정 압력과 그 때의 실제 압력과의 관계는 Fig. 4에 나타내었다.

증기의 온도 및 압력 제어

가열 매체로 사용되는 증기의 공급을 일정하게 조절하기 위하여서는 증기 발생 장치(steam generator)에서 나오는 증기를 1차로 압력 조절계에 의해 일정한 압력으로 조절하고 자동 개폐 장치가 되어 있는 증기 조절 밸브(SRV-5, α-Laval Co., Sweden)를 설치하여 thermo-sensor에 의해 항상 일정한 온도가 유지되도록 하였다. 증기 조절 밸브에 설정한 온도와 실제 증기의 온도와의 관계는 Fig. 5에 나타내었다.

냉각수의 유량 제어

증발기에서 발생하는 증기는 증발기와 진공 펌프 사이에 설치된 응축기에서 응축, 냉각되고 응축수 펌프에 의해 제거되며 이를 위해서는 냉각수의 공급이 필요하다. 감압 상태에서 증발되는 수증기를 증발 온도 이하로 응축 제거시키는데 소요되는 냉각수의 양은 다음 식으로 구하였다.

$$M = \frac{W_c \{H_v + c_p(t_0 - t_1)\}}{c_p(t_0 - t_1)} \quad (1)$$

여기서,

- M : cooling water requirement(kg/h)
- W_c : evaporated water vapor(kg/h)

- H_v : enthalpy of water vapor at condensation temperature(kJ/kg)
- c_p : specific heat of water(kJ/kg.°C)
- t_i : compared temperature(°C)
- t_o : outlet temperature of cooling water at condenser(°C)
- t_i : inlet temperature of cooling water at condenser(°C)

냉각수량의 공급 속도는 증발 속도 및 진공펌프에도 영향을 미치기 때문에 본 연구에서는 최소한 식 (1)에서 구한 값 이상의 냉각수가 공급되도록 하였다. 냉각수의 공급은 일정한 수압이 유지되도록 제작한 물탱크를 지상 3m의 위치에 설치하고 이를 배관으로 연결하여 1차 조절 밸브에 의해 시간당 일정량이 흐르도록 조절한 다음 밸브 조절기(valve controller, KEMCO-CONTROL VALVE, 한국전자기기)에 의하여 최종적으로 유량이 조절되도록 하였다. 밸브 조절기를 위한 D/A Converter의 아나로그 출력은 0~10 V로 하였으며 컴퓨터에서 입력하는 디지털 값의 범위에 따라 개폐 정도가 조절되게 하였다.

급액량, 농축액량 및 응축수량의 측정

농축공정 중 급액량, 농축액량 및 응축수량의 변화는 농축공정 전반에 대한 에너지 및 물질 수지를 해석하는데 필요하며, 본 연구에서는 급액 속도와 응축수량을 측정함으로써 피농축물의 농축 정도를 可視化(display)할 수

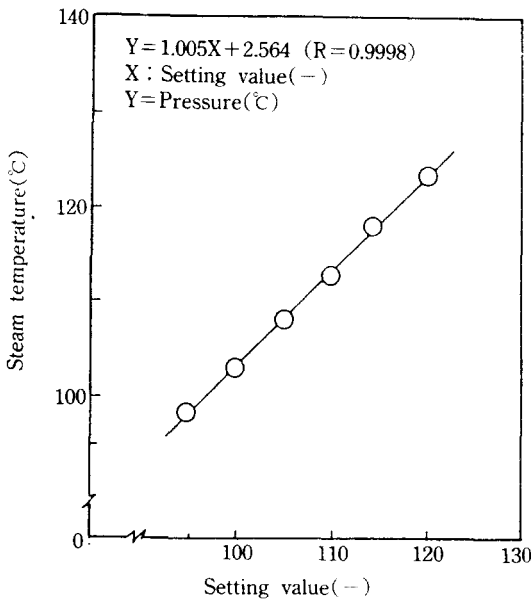


Fig. 5. Relationship between setting value of steam regulator and real temperature of steam

있도록 하였다. 측정을 위해서는 Fig. 2 및 3에 나타난 바와 같이 두 개의 load cell을 부착하여 일정한 간격으로 그 변화를 측정하도록 하였다. Load cell은 정확한 계측이 가능한 스트레인 게이지(strain gauge)를 이용, 휘이트스톤 브리지(Wheatstone bridge)를 구성하여 다음의 식 (2)와 같이 입력 전압과 출력 전압의 관계로부터 무게를 구하도록 하였다⁽⁶⁾.

$$V_o = \left[\frac{R + dR}{(R + dR) + (R - dR)} - \frac{R - dR}{(R + dR) + (R - dR)} \right] V_i$$

$$= \frac{dR}{R} V_i \quad (2)$$

여기서,

- R : resistance(Ω)
- dR : change of resistance(Ω)
- V_i : voltage input(V)
- V_o : voltage output(V)

브리지의 출력 전압은 입력 전압과 게이지를 부착한 금속 재료의 탄성과 하중에 따른 게이지의 저항 변화에 의해 결정되는데 load cell에서 출력되는 전압이 수 mV 밖에 되지 않으므로 차등형 증폭기(differential amplifier)를 통해서 A/D converter에 입력이 가능한 전압으로 증폭하여 입력토록 하였다. 실험에 사용한 load cell은 0~2 mV로 회로를 구성한 후 1,000배 증폭하여서 그 측정 범위가 0~150 kg였으나, 본 연구에서는 A/D Converter에서 0~10 V를 입력하도록 하였기 때문에 68 kg까지 측정이 가능하였다.

온도의 측정

온도 측정용 센서로는 Pt wire(100Ω)를 사용하였고 온도 측정 범위는 0~150°C로 하였다. Pt 센서는 측정 부위의 온도가 변화함에 따라 온도저항계수(temperature resistance coefficient)가 0.39Ω/°C로 일정하게 변화하게 되며 각 온도에 따라 항상 일정한 저항 값을 갖게 된다(0°C일 때 100Ω, 100°C 일 때 139.16Ω). 따라서 휘이트스톤 브리지를 구성한 R/V Converter를 이용하여 저항 변화에 따라 전압 값이 구해지도록 하였다. 즉, R/V Converter에서 측정 부위로부터 0~150°C 범위에 해당하는 저항 값이 입력되면 이를 0~5 V의 아나로그 신호로 변환하게 되며 이를 다시 A/D Converter에서 디지털 값으로 바꿔 실제의 온도를 나타내도록 하였다.

농도의 측정

농도는 보통 굴절계를 이용하여 직접 측정하거나 공정

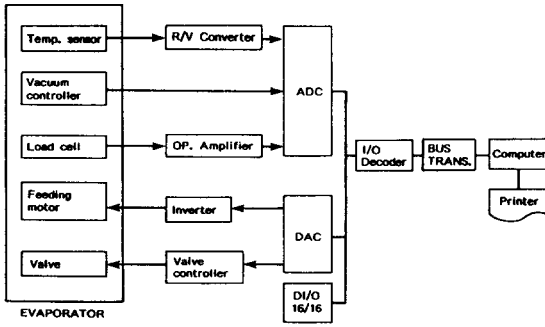


Fig. 6. Block diagram of control system for a computer aided concentration process

전용 굴절계를 장착해 자동 측정할 수 있으나, 본 연구에서는 굴절계와 물질 수지를 이용해 간접적으로 계산하는 방법을 병행하여 사용하였다. 물질 수지로부터 농도를 계산하기 위하여 급액 부분과 응축수 부분에 장착한 load cell로 부터 각각의 변화량을 측정하여 계산하였다.

이 때 냉각수는 식 (1)에 의해 계산한 값보다 10% 이상으로 충분히 공급해 증발기에서 나오는 증기가 100% 응축되는 것으로 가정하고 계산하였으며 비응축가스 등은 무시하였다. 각각의 운전 방법에 따른 계산 방법은 다음과 같으며 실제 프로그램에 의하여 계산된 값과 굴절계를 이용하여 측정한 값 사이의 오차는 0.5% 미만이었다.

Single pass type operation :

$$C_f = \frac{C_i \times (W_i - W_t)}{(W_i - W_t) - W_c} \quad (3)$$

여기서,

- C_i : initial concentration(°Brix)
- C_f : final concentration(°Brix)
- W_i : initial feed weight(kg)
- W_c : condensate weight(kg, Load cell 2)
- W_t : feed weight at time t(kg, Load cell 1)

Recirculation type operation :

$$C_f = \frac{W_i \times C_i}{W_t} \quad (4)$$

여기서,

W_t : final concentration weight(kg)

계측 및 제어공정의 순차 측정

컴퓨터는 한 개의 A/D Converter를 이용해 여러 가지 센서로부터 감지하는 측정값을 時分割(time sharing)에

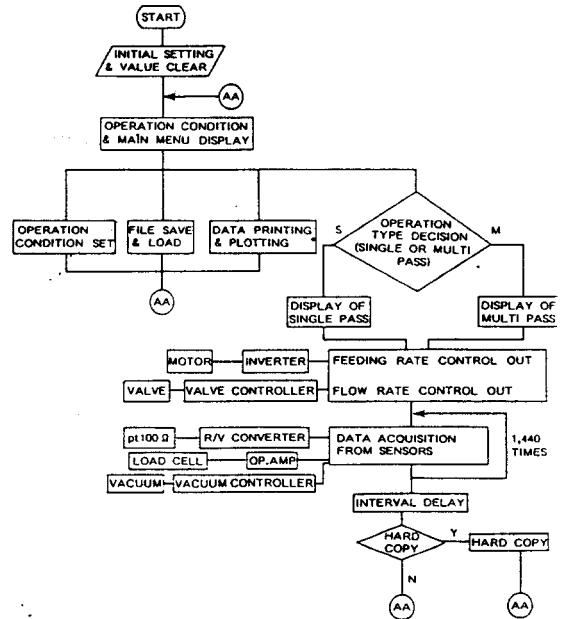


Fig. 7. Flow chart for automatic control and data acquisition program of Centri-Therm(CT-1B)

의해 모두 입력시킬 수가 있다⁽⁷⁾. 여기에는 analog multiplexer를 사용하는 방법과 컴퓨터의 출력 신호로 counter decoder의 출력 신호를 조절하여 릴레이를 순차적으로 개폐하는 방법이 있으나, 본 연구에서는 아주 빠른 속도로 데이터를 입력할 수 있는 analog multiplexer 방식을 택하였다.

이상의 제어 및 측정을 위하여 Centri-Therm의 각 부위에 계측용 센서와 제어를 위한 접속기기를 부착하고 이를 마이크로 컴퓨터와 연결, 공정을 제어하면서 공정 변수를 수집할 수 있는 시스템을 Fig.6과 같이 제작하였다. 컴퓨터는 16 bit IBM-XT 호환기종을 사용하였고, 인터페이스는 Lab-Jr. System(Hando Engineering Co. Ltd.)을 이용하였다. 또한 프로그램은 PASCAL language로 제작하였으며 그 흐름도는 Fig.7과 같다.

결과 및 고찰

자동 제어시스템의 운용 실태

센트리덤에 필요한 각종 접속기기 등을 부착한 후 실제 제어 상태와 data acquisition 상태를 증류수와 sucrose solution을 시료로 하여 시험해 보았다. 기존의 장치에서는 농축 중의 증발관의 진공도, 급액 속도, 급액 온도, 스팀 온도 및 냉각수의 유량 등의 콘트롤을 수동으로 하여야 했기 때문에 운전 중 공정 변수의 편차가 컸으나 본 시스템에서는 입력 조건에 따라 전 공정이 진행되기

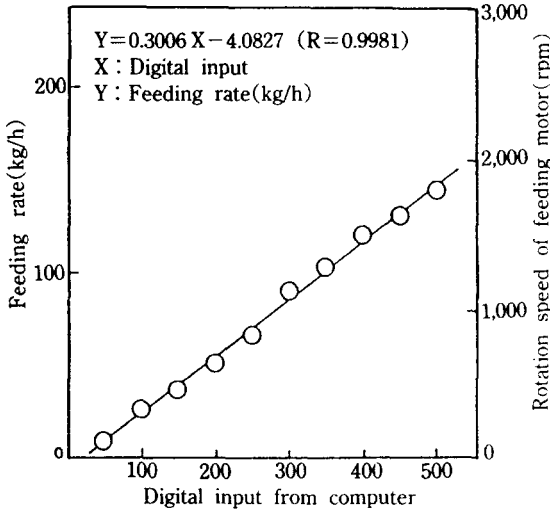


Fig. 8. Relationship between digital input from computer and feeding rate/rotation speed of feeding motor

때문에 균일한 조건하에서 운전을 행할 수가 있었다. 본 시스템은 작업자가 원하는 바에 따라 운전 조건을 임의로 설정할 수가 있고 data acquisition도 1 cycle에 1,440회 까지 할 수 있으며 출력은 최소 1초부터 임의로 출력이 가능하다. 운전 중 농도의 계산은 실제 디지털 굴절계 (Atago Co., Japan)를 이용해 측정 한 값과 0.5% 내외의 편차를 보였으나 실제 농축공정에서 크게 문제가 없을 것으로 여겨졌으며 이 방법에 의하면 시료의 종류에 상관없이 농축 정도를 쉽게 알 수 있고 동시에 응축수량을 측정함으로써 농축공정중 물질 및 에너지수지를 해석하는데도 도움이 될 것으로 여겨졌다.

제어기기의 제어 실태

원심식 박막증발기에서 농축 정도는 급액 속도에 의해 영향을 받게 되는 데 이는 급액량이 증발관내에서는 박막의 두께를 결정하게 되며 그 결과 가열 매체와 피 농축액간의 열교환에 영향을 미치게 되기 때문이다. 본 시스템에서는 급액량 즉 급액 속도를 제어하기 위해 인버터(FVRG-2, 금성계전)를 사용하였는데 컴퓨터에의 디지털 입력치, 급액 모터의 회전 속도와 급액 속도와 관계는 Fig. 8과 같았다. 장치의 사양에 의하면 급액 펌프 및 농축액 펌프에 사용된 모터의 최대 회전 속도는 1,530 rpm, 그리고 최대 토출 속도는 129.24 kg.water/h로 나타났다. 따라서 급액 펌프에 사용된 모터의 회전 속도는 증발관내에서의 농축액의 적체 및 이에 따른 과부하의 방지를 위해 회전 속도를 1,530 rpm 이하로 조절함으로써 급액 속도를 129.24 kg/h 이하가 되도록 운전을 하는 것이 타당할 것으로 여겨졌다. 그럼에서 보면 모터의

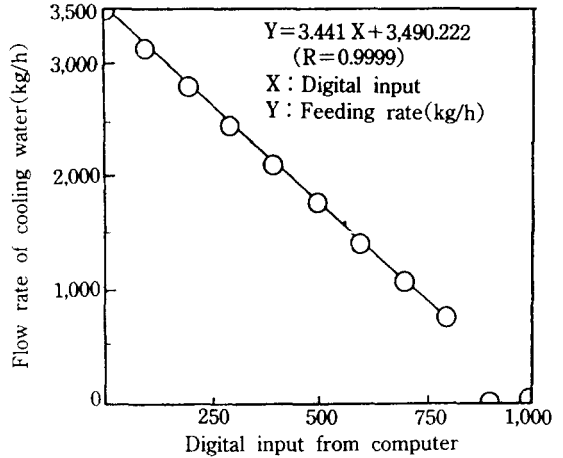


Fig. 9. Relationship between flow rate of cooling water and digital input from computer

회전은 컴퓨터에서의 디지털 입력이 25에 달할 때까지는 거의 일어나지 않다가 그 이상의 값을 디지털 입력하면 서서히 움직이기 시작해 거의 직선적인 관계를 나타내었다. 이는 Fig. 8에서도 알 수 있는 바와 같이 피농축액을 급액시킬 경우 디지털 신호의 입력은 최소한 25 이상을 주어야 할 것으로 여겨졌다. 그리고 모터의 과부하를 방지하기 위해서는 급액의 최고 허용 속도인 129.24 kg/h에 상당하는 디지털 값인 425 이하의 수치를 입력해야 할 것으로 여겨졌다. 그러나 실제 운전의 경우는 이보다 훨씬 낮은 값에서 운전하게 된다.

감압하에서 작동되는 증발 농축기에서는 증발에 의해 생성된 대량의 증기를 액체 상태로 제거하기 위해 증발관의 증기 출구와 진공 펌프의 중간 위치에 응축기가 설치되어 있다. 보통 응축기는 충분한 열전달 표면적을 갖고 있어서 증기는 응축 잠열을 파이프를 통해 순환하는 냉각수에 전달함으로써 응축됨과 동시에 냉각시키게 된다. 본 시스템에서는 밸브 컨트롤러에 의해 유량을 컨트롤하도록 하였는데 그 소요량은 식 (1)에 의해 구했으며 기본 조건으로 냉각수의 출구 온도는 증기의 온도보다 10℃ 이하가 되도록 하였으며 단위 시간당 증발량은 계산치보다 최소 10% 이상 흐르게 하여 열 손실과 미응축 증기의 양을 최소화했다. 본 연구에서는 냉각수의 저장고에서 흘러나오는 물을 1차로 시간당 3,500 kg/h로 조절 한 다음 컴퓨터에 의해 자동 개폐되는 밸브 컨트롤러에 의해 임의로 원하는 수량이 공급되도록 하였다. Fig. 9는 컴퓨터에서의 디지털 입력치와 냉각수 공급량과의 관계를 나타낸 것이다. 그럼에서 보면 컴퓨터에서의 디지털 입력이 800 이상이 되면 밸브가 완전히 닫히게 되고 입력 수치를 0으로 하면 100% 열리게 된다. 예를 들어 위와 같은 조건하에서 농축을 하는 경우 냉각수량을 시간당

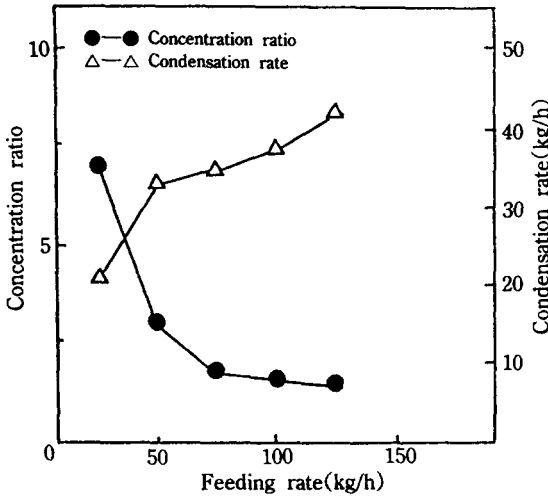


Fig. 10. Changes of concentration ratio and condensation rate during single pass type operation at various feeding rates

Operation condition : Initial feed conc. ; 5°Brix, Evaporation temp. ; 60°C, Steam temp. ; 110°C, Flow rate of cooling water ; 2,450 kg/h

2,450.42 kg 정도로 공급하고자 하면 입력 수치는 300을 주면 된다.

급액 속도가 농축에 미치는 영향

센트리티엄이 다른 증발 농축기와와의 가장 큰 차이점은 피농축물이 증발관을 1회 통과함으로써 높은 농축비를 얻을 수 있다는 것으로써 Lazaro⁽⁸⁾는 Centri-Therm CT-1B에서 8.5°Brix의 감귤 주스를 1회 통과시켜 71°Brix의 높은 농도까지 농축할 수 있음을 보고하였고, Nong⁽⁹⁾은 Centri-Therm CT-6를 이용해 증발 온도 50°C, 진공도 120 mmHg 및 증기 온도 105°C에서 감귤 주스를 농축한 경우 급액속도를 변화시킴에 따라 2.56~7.1의 높은 농축비를 얻을 수 있음을 시사하였다. Fig. 10은 5%의 sucrose solution을 증발 온도 60°C, 증기 온도 110°C에서 급액 속도를 25 kg/h에서 125 kg/h까지 증가시키면서 증발 속도와 농축비의 변화를 나타낸 것이다. 즉 급액 속도 25 kg/h에서 125 kg/h까지 증가시킨 경우 초기 5° Brix의 sucrose solution이 35°Brix와 6.9°Brix로 농축되어 각각 7 : 1과 1.38 : 1의 농축비로 급액 속도가 적을수록 현저하게 농축 효과가 크게 나타남을 알 수 있었다. 이에 반해 증발 속도는 급액 속도가 큰 125 kg/h가 시간당 41.3 kg/h로 급액 속도 25 kg/h의 경우의 21.4 kg/h에 비하면 급액 속도가 클수록 증발 속도가 증가하는 경향을 나타내었다. 본 연구에서 보면 최대 증발 속도는 급액 속도가 증가하는 경향을 나타내었다. 본 연구에서

보면 최대 증발 속도는 급액 속도 125 kg/h에 있어서의 41.7 kg/h로 이는 Centri-Therm CT-1B의 최대 증발 속도 50 kg/h⁽⁴⁾에 다소 못미치는 결과이었다.

요 약

증발 농축공정중 각종 운전 조건의 제어 및 데이터 수집을 자동으로 하기 위하여 제어 및 데이터 수집 부위에 각종 조절기와 센서를 부착하여 컴퓨터 프로그램에 의하여 공정이 진행되도록 하였다. 증발 농축 장치는 원심식 박막증발기인 Centri-Therm(CT-1B, α-Laval Co., Sweden)이 이용되었으며 제어 변수로는 증발기의 압력, 급액 속도, 증기의 온도 및 냉각수의 유량 등을 택했다. 그리고 데이터 수집 부위로는 급액 및 농축액의 온도와 농도, 냉각수의 입구 및 출구 온도, 증기의 온도, 증발 온도, 원료 및 농축액의 중량 변화, 응축수의 양 등을 택했다. 운전 프로그램은 PASCAL language를 이용해 작성하였으며 전 공정은 균일하게 콘트롤되었다. 냉각수는 밸브 콘트롤러에 의해 시간당 125 kg의 유속으로 흐르도록 하였으며 급액 속도 125 kg/h에서 최대 증발 속도는 41.7 kg/h였다.

문 헌

1. 이광순 : PC를 이용한 공정 제어. 화학공업과 기술, 6(1), 28(1988)
2. Computer Automated Laboratory System, Beckman Instruments, Inc. Bulletin 7997
3. Robert, D.C. and Chen, C.S. : Microcomputer control of citrus juice evaporation saves energy. Food Technology, 63(5), 239(1982)
4. α-Laval Instruction Book, Centri-Therm, CT-1B-2, α-Laval Co. Sweden
5. 保坂秀明外 : 食品製造装置百科辭典編纂委員會編, 東京, 日本, p.231(1988)
6. 上田次男外 : Sensor Interfacing, No.2, 機電研究社, p.112(1986)
7. 류관희, 정창주, 김경옥 : 마이크로컴퓨터를 이용한 데이터 수집 시스템. 서울대학교(1984)
8. Lazaro, M : Evalanation of the pilop evaporator minute centri-therm model CT-1B. Industria alimenticia, 39 (1968)
9. Nong the Can : Factors affecting the degree of concentration of apple juice in a centrifugal evaporator. Prezemysl Spozywczy, 23(10), 438(1969)

(1990년 5월 21일 접수)