

가열 매체 및 증발온도가 마늘즙의 농축에 미치는 영향

김병삼 · 박노현 · 박무현 · 한봉호*
한국식품개발연구원, *부산수산대학교

Effect of Heating Medium and Evaporation Temperatures on Concentration of Garlic Juice

Byeong-Sam Kim, Noh-Hyun Park, Moo-Hyun Park and Bong-Ho Han

Korea Food Research Institute

*Department of Food Science and Technology, National Fisheries University of Pusan

Abstract

Effect of heating medium and evaporation temperatures on a concentration ratio, a evaporation rate and a overall heat transfer coefficient during concentration of garlic juice by a centrifugal thin film evaporator were investigated. At constant feeding rate and evaporation temperature, the concentration ratio, the evaporation rate and the overall heat transfer coefficient increased with the increase of the steam temperature but those values increased slowly or decreased as a steam temperature exceeded 110°C. At the feeding rate of 50 kg/h and the steam temperature of 100°C and below, those values decreased with the increase of evaporation temperature. But if a steam temperature became 100°C and up, those values increased slowly and then decreased with the increase of the evaporation temperature until the evaporation temperature reached a critical value. At constant feeding rate, those values increased until the temperature difference between steam and evaporation temperatures became 70°C. But if they become larger than 70°C, those values increased slowly and then decreased.

Key words: centrifugal thin film evaporator, garlic juice, concentration, overall heat transfer coefficient

서 론

원심식 박막 증발기는 증발기내에서의 체류 시간이 짧고, 열에 의한 품질 열화가 적기 때문에 특히 열에 민감한 액상 식품의 농축, 종류, 스트리핑, 향회수 등에 널리 사용되고 있으며¹⁻⁵⁾, 우리나라의 경우는 일부 업체에서 주스의 농축, 향료의 농축과 스파이스 물질의 제조를 위해 사용하고 있다. 그러나 증발기는 공정변수의 조합에 따라 피농축물의 품질과 에너지 소비에 영향을 미치게 된다. 특히 증발기의 운전에 영향을 미치는 인자로는 가열매체의 온도, 증발온도, 증발관의 진공도, 급액 속도, 급액의 물리적 특성과 열에 대한 민감성 등을 들 수 있다⁶⁾. 지금까지 원심식 박막 증발기의 운전 특성에 관해서는 일부 연구가 부분적으로 수행되어져 왔으나⁷⁻¹⁴⁾, 공정 전반에 걸친 연구보고는 찾아보기가 어렵다.

한편 마늘은 그 독특한 풍미와 약리적 특성 때문에 옛날부터 향신 소재 또는 강장 식품으로 널리 사용되어져 왔다¹⁵⁻¹⁷⁾. 특히 최근들어서는 마늘은 소비자의 이용

편의를 위해 garlic salt, garlic powder, granule, minced paste, oleoresin 등 다양한 형태로 가공되어 판매되어지고 있다. 마늘은 착즙하여 60°C Brix 정도로 농축시켜 저장하면 통마늘로 저장한 경우에 비하여 저장 공간이 1/14 정도로 줄어들게 될뿐 아니라 저장 비용도 훨씬 절감되게 된다. 한편 마늘은 장기 저장하게 되면 부패, 매운맛 소실, 조직의 수축 등에 따른 품질 열화가 문제가 된다. 그러므로 본 연구에서는 마늘을 착즙하여 농축시킴으로서 저장성을 증진시키는 물론 새로운 향신 소재로서의 용도 개발을 위해 원심식 박막증발기를 이용, 그 농축 특성을 알아보고자 하였다.

따라서 본 연구에서는 전 보^{18,19)}에 이어 원심식 박막 증발기를 이용한 마늘 착즙의 농축 과정중 가열매체의 온도와 증발온도가 농축비, 증발속도, 총괄열전달계수에 미치는 영향을 알아봄으로써 마늘 착즙과 같은 열에 민감한 액상 식품의 증발 농축 공정의 최적화에 대한 기초 자료를 마련하고자 하였다.

재료 및 실험방법

재료

시료인 마늘 착즙은 1989년 7월 10일 경기도 화성군

Corresponding author: Byeong-Sam Kim, Korea Food Research Institute, San 46-1, BaekHyun-Dong, Bundang-Gu, Seongnam-Si, Kyeonggi-Do, Republic of Korea

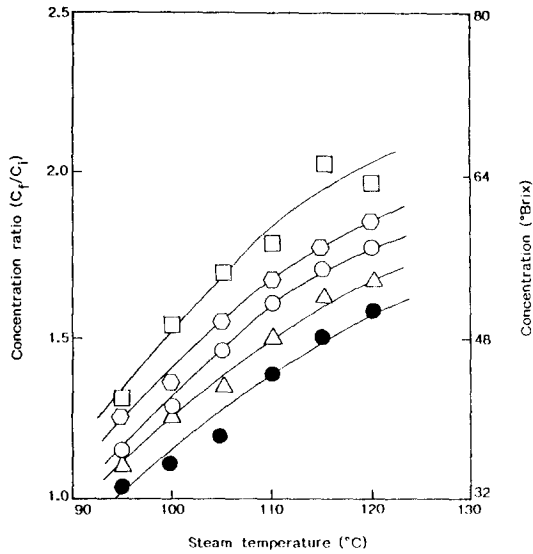


Fig. 1. Change of concentration ratio during single pass type concentration of garlic juice

Operation condition; Initial feed conc.: 32°Brix, Initial feed temp.: 13°C, Evaporation temp.: 40°C, Pressure of evaporating cone: 7.12 kPa, Feeding rate; □—□; 25 kg/h, ○—○; 50 kg/h, ○—○; 75 kg/h, △—△; 100 kg/h, ●—●; 125 kg/h

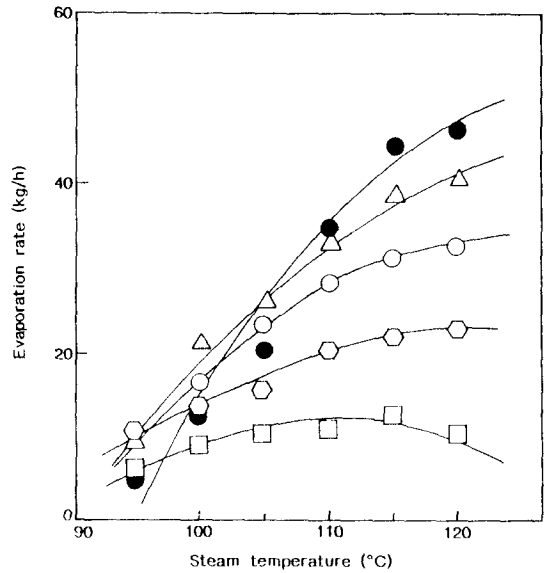


Fig. 2. Change of evaporation rate during single pass type concentration of garlic juice

Operation condition; Initial feed conc.: 32°Brix, Initial feed temp.: 13°C, Evaporation temp.: 40°C, Pressure of evaporating cone.: 7.12 kPa, Feeding rate; □—□; 25 kg/h, ○—○; 50 kg/h, ○—○; 75 kg/h, △—△; 100 kg/h, ●—●; 125 kg/h

에서 수확한 마늘(*Allium sativum*)을 전기착즙기(J-530 S, 4,500 rpm, 삼성전자)로 착즙한 다음 200 mesh 표준체를 통과시키고 이를 고품불 농도 32°Brix로 조절하여 사용하였다.

시험장치 및 운전

본 연구에 사용된 시험장치는 전 보¹⁸에서 보고한 증발기로서 데이터 수집과 자동제어가 가능하도록 제작한 원심식 박막증발기(Centri-Therm, CT-1B, Alfa-Laval Co. Sweden)를 이용하였다.

증발기의 운전은 single pass type¹⁶⁾으로 행하였으며 운전조건은 다음과 같다. 즉 가열 매체의 온도는 95~120°C, 증발온도는 30~70°C, 급액속도는 25~125 kg/h, 급액의 초기온도는 13°C, 증발관의 진공도는 4.10~30.05 kPa였다.

총괄열전달계수, 농축비 및 증발속도

총괄열전달계수(overall heat transfer coefficient, U)는 전보¹⁹⁾와 같이 계산하였다. 즉,

$$U = \frac{F C_{pf}(T_v - T_f) + LH_v}{A_n(T_s - T_v)} \quad (1)$$

이 때 식 (1)에서 마늘 착즙의 비열은 수분 함량이 26% 이상되는 식품의 비열추정에 많이 이용되는 다음과 같은 Riedel 식^{20,21)}으로 계산하였다.

$$C_{pf} = 1.675 + 0.025X_m \quad (2)$$

그리고 농축비(concentration ratio, CR)는 초기 급액농도(C_i)에 대한 농축액의 농도(C_f)의 비로서 나타내었고, 증발속도(evaporation rate)는 단위시간(h)당 증발기로부터 증발되어진 물의 양(kg)으로 나타내었다.

결과 및 고찰

가열 매체의 온도

그림 1은 증발온도 40°C에서 급액속도와 가열 매체의 온도변화에 따른 농축비의 변화를 나타낸 것으로 동일한 증기온도에서는 급액속도가 빨라짐에 따라 농축비가 증가하였다. 그리고 동일 급액 속도에서는 증기온도가 상승함에 따라 낮은 증기온도에서는 농축비가 급격히 상승하다가 증기온도가 높아지면 농축비의 증가가 점점 둔화되었다. Nong¹⁶⁾도 Centri-Therm(CT-6)을 이용하여 급액속도 1,000 kg/h, 증발온도 50°C의 조건에서 사과즙을 농축한 경우 증기온도 110°C 이상에서는 오히려 농축비가 감소한다고 보고하였다. 이와 같은 현상을 자세히 검토하기 위하여 마늘 착즙의 급액속도와 증기의 온도와의 관계를 그림 2에 나타내었다. 증발온도가 일정할 때 동일 가열증기 온도에서는 마늘 착즙의 급액속도가 빠를수록 단위 시간당의 증발량이 많았으며 일정 급액 속도에서는 증기의 온도가 높을수록 증발량이 많

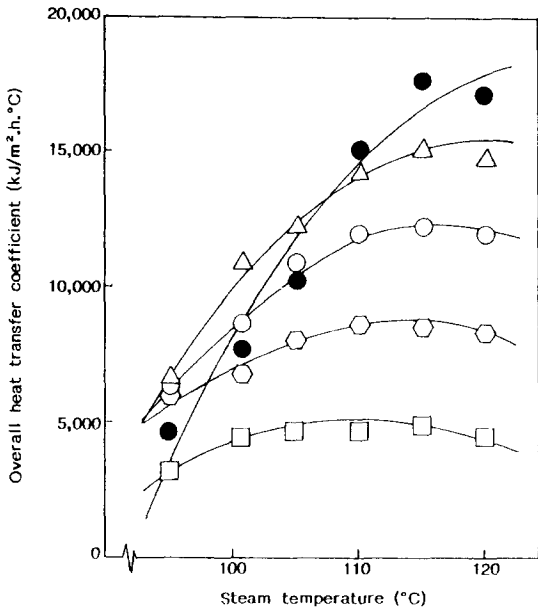


Fig. 3. Change of overall heat transfer coefficient during single pass type concentration of garlic juice
 Operation condition; Initial feed conc.: 32°Brix, Initial feed temp.: 13°C, Evaporation temp.: 40°C, Pressure of evaporating cone.: 7.12 kPa, Feeding rate; □—□; 25 kg/h, ○—○; 50 kg/h, ○—○; 75 kg/h, △—△; 100 kg/h, ●—●; 125 kg/h

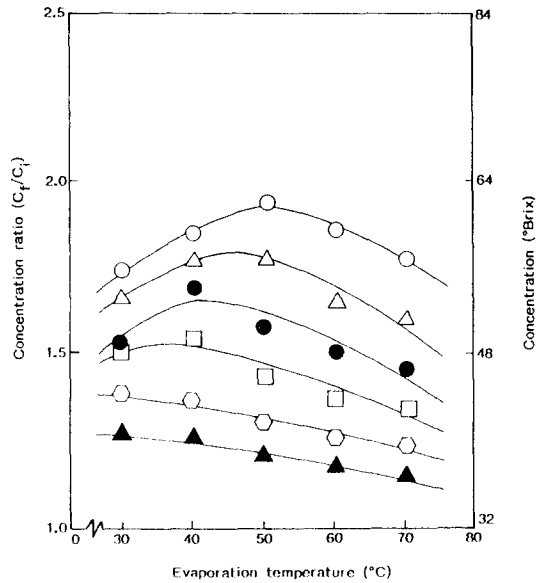


Fig. 4. Change of concentration ratio during single pass type concentration of garlic juice
 Operation condition; Initial feed conc.: 32°Brix, Initial feed temp.: 13°C, Feeding rate; 50 kg/h, Steam temp; ▲—▲; 95°C, ○—○; 100 kg/h, □—□; 105°C, ●—●; 110°C, △—△; 115°C, ○—○; 120°C

아지다가 증기온도가 어느 한계치 이상으로 높아지면 오히려 증발속도가 감소하는 현상을 확인할 수 있었다.

그림 3에는 증발온도가 일정할 때 마늘 착즙의 급액 속도와 증기의 온도 변화에 따른 총괄열전달계수의 변화를 나타내었다. 가열 증기의 공급량과 온도가 일정할 때 마늘 착즙의 급액속도가 빠를수록 총괄열전달계수가 큰 값을 보였고 급액속도가 일정한 경우에는 증기의 온도가 어느 한계치 이상이 되면 총괄열전달계수가 오히려 작아짐을 알 수 있었다. 이러한 현상은 원심식박막 증발기에서 마늘 착즙이 순간적으로 증발온도에 도달한다고 볼 때 동일 증기온도에서는 마늘 착즙의 급액속도가 빠른 것이 총괄열전달계수가 크며 동일 급액속도에서는 어느 한계 이상으로 증기온도를 높이는 것은 증발 가능한 마늘 착즙의 양이 상대적으로 감소하기 때문에 오히려 총괄열전달계수가 작아지는 것으로 생각되었다. 따라서 증기의 온도를 급액속도를 무시한 채 과다하게 올리는 것은 바람직하지 못하며 운전 조건에 따라 최적 증기 온도가 결정되어야 함을 알 수 있었다. 그러므로 증발기의 운전은 급액속도와 증기의 온도의 적절한 조합에서 이루어져야 할 것으로 생각되었다.

증발온도

증발기의 압력 설정에 있어서 주요한 인자로는 급액

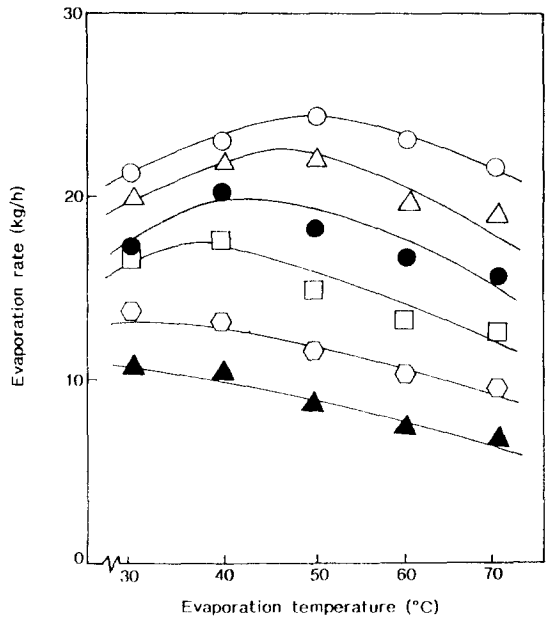


Fig. 5. Change of evaporation rate during single pass type concentration of garlic juice
 Operation condition; Initial feed conc.: 32°Brix, Initial feed temp.: 13°C, Feeding rate; 50 kg/h, Steam temp; ▲—▲; 95°C, ○—○; 100 kg/h, □—□; 105°C, ●—●; 110°C, △—△; 115°C, ○—○; 120°C

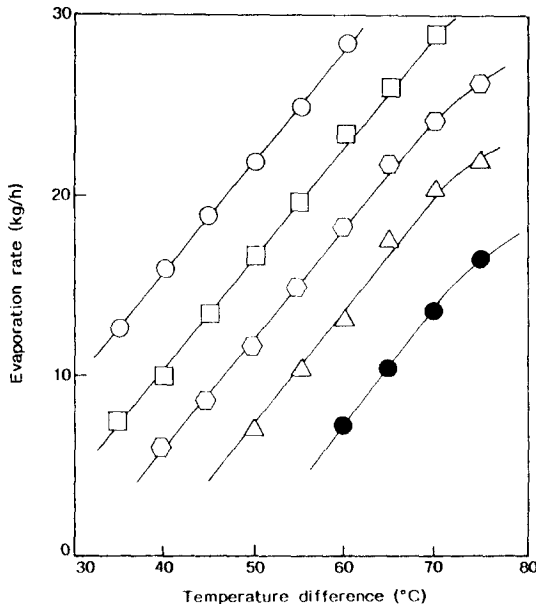


Fig. 6. Change of evaporation rate during single pass type concentration of garlic juice

Operation condition; Initial feed conc.; 32°Brix, Initial feed temp.; 13°C, Feeding rate; 50 kg/h. Steam temp; 90-130°C, Evaporation temp.; ●—●; 30°C, △—△; 40°C, ○—○; 50°C, □—□; 60°C, ◇—◇; 70°C

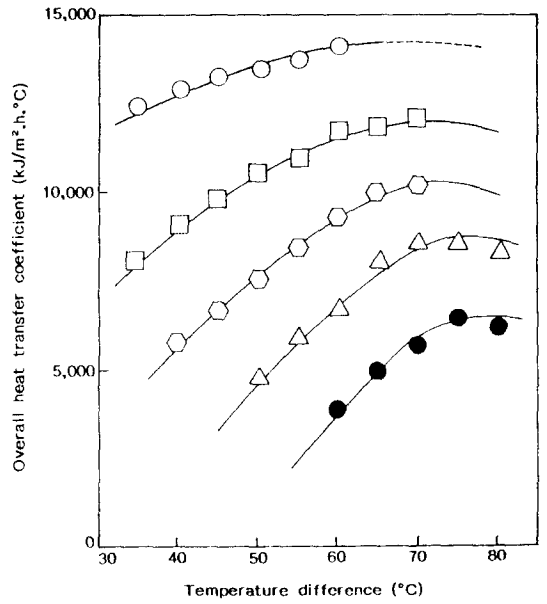


Fig. 7. Change of overall heat transfer coefficient during single pass type concentration of garlic juice

Operation condition; Initial feed conc.; 32°Brix, Initial feed temp.; 13°C, Feeding rate; 50 kg/h, Steam temp; 90-130°C, Evaporation temp.; ●—●; 30°C, △—△; 40°C, ○—○; 50°C, □—□; 60°C, ◇—◇; 70°C

성분의 휘발성과 가열 및 냉각 매체의 온도를 들 수 있으며 최적 압력의 선택 여하에 따라 비용 및 품질 변화의 최소화가 좌우된다. 경우에 따라서는 증기온도를 증가시키는 것보다 진공도를 높이는 것이 비용이 적게 드는 수가 있으며 그 예로서 소금물의 정제에 사용되는 증발기는 품질에 상관없이 경제적인 이유 때문에 감압 하에서 운전된다. 증발에 대한 추진력은 온도차(temperature difference)이기 때문에 경우에 따라서는 고진공 하에서 작업을 하기도 하는데 고진공하에서의 증발은 결점이 많기 때문에 경제적인 최적 압력이 결정되어야 한다. 즉 진공도의 증가에 따른 비점의 급속한 감소에 기인한 용액의 점도 증가와 열전달계수 등을 고려하여야 한다⁽²²⁾.

그림 4 및 5는 급액속도가 50 kg/h로 일정한 상태에서 가열 증기온도별로 증발온도를 변화시켰을 때의 농축비 및 증발속도를 나타낸 것이다. 액상 식품의 농축은 대부분 감압하에서 행하게 되는데 일반적으로 감압하에서는 물분자나 휘발성 물질의 평균 자유 행로(mean free path)가 짧아 증발속도가 촉진된다고 한다⁽²²⁾. 감압상태에서는 불의 비점이 저하하여 서운에서 증발이 일어날 뿐만 아니라 상대적으로 산소와의 접촉시간이 줄어들어 품질 측면에서 많은 잇점이 있다.

그러나 저온에서는 불의 증발 잠열이 크기 때문에 결국 상압에서 증발시킬 때보다 더 많은 에너지를 필요로 하게 된다⁽²²⁾. 그림 4 및 5에서 보면 저온에서 증발시킬수록

즉 추진력인 증발온도와 가열 매체인 증기의 온도와의 차이가 커질수록 농축비와 증발속도가 높았다. 그러나, 추진력인 온도 차이가 대개 70°C 이하로 되면 증기의 온도가 높더라도 증발속도와 농축비가 오히려 감소하였다.

가열 매체의 온도와 증발온도와의 차이

그림 6에는 여러 증발온도에서 증기온도와 증발온도와의 차이를 변화시켰을 때의 증발속도의 변화를 나타내었다. 그림에서 보면 증발속도는 증발온도에 관계없이 가열 매체인 증기의 온도와 증발온도와의 차이 ΔT 가 커짐에 따라 일정한 경향으로 빨라지지만 ΔT 가 대개 70°C 정도가 되면 증발속도의 증가가 둔화됨을 알 수 있었다. 총괄열전달계수와 ΔT 와의 관계는 그림 7에 나타내었으며 총괄열전달계수 역시 ΔT 가 70°C 정도가 될 때까지는 커지다가 ΔT 가 더 커지면 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 久保田와 五師⁽²³⁾는 일반적으로 ΔT 가 크거나 증발온도가 높으면 총괄열전달계수가 커지나 ΔT 가 어느 일정 온도(물의 경우 약 40°C)를 넘어서면 거꾸로 총괄열전달계수는 감소한다고 하였다. 이러한 경향은 관형증발기에서도 나타나며 그 이유는 총괄열전달계수가 커지고 있는 ΔT 의 구간은 핵비등(nucleate boiling) 영역이고 ΔT 가 그 이상이 되면 전열판 全面에서 증발이 개시되어 막비등(film boiling)에 가까운 상태로 되어 총괄열전달계수가 작아지는 것으로 여겨지

고 있다. 久保田와 五師⁽²⁾는 Centri-Therm과 용량이 비슷한 원심식박막증발기에서 초산 에틸의 경우 dT가 55°C 부근까지, 물의 경우 ΔT가 70°C 부근까지 총괄열전달계수가 커지는 것으로 보고하였으나 판형증발기의 경우 총괄열전달계수가 최대치를 나타내는 dT는 대개 25°C 부근이라 하였다⁽²³⁾. 이러한 차이는 원심식박막 증발기에 있어서는 원심력에 의해 막비동이 억제되고 있기 때문에 상대적으로 높은 dT 영역까지 총괄열전달계수가 커지는 것으로 여겨지며 본 연구에서는 마늘 착즙의 경우 ΔT가 최소한 70°C 정도 이상이 되면 오히려 총괄열전달계수가 작아지기 시작하는 것으로 생각되었다.

요 약

원심식 박막증발기를 이용해 마늘 착즙을 농축한 경우 가열 매체 및 증발온도가 농축비, 총괄열전달계수, 증발 속도 등에 대해 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 마늘 착즙의 급액속도와 증발온도가 일정할 때 가열증기의 온도가 높을수록 농축비, 증발속도, 및 총괄열전달계수는 증가하였으나, 가열증기의 온도가 110°C 이상이 되면 이들 값의 증가가 현저하게 둔화되었다. 증기온도 100°C 이하에서는 증발온도가 증가함에 따라 농축비, 증발속도, 총괄열전달계수는 감소하였다. 그러나 그 이상의 온도에서 어느 일정 증발온도까지는 이들 값이 증가하다가 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 급액속도가 일정할 때 증기의 온도와 증발온도와의 차이가 70°C 가 될 때까지는 농축비, 증발속도 및 총괄열전달계수는 모두 증가하였다. 그러나 온도 차이가 70°C 이상이 되면 이들 값의 증가가 둔화되거나 감소하였다.

기호설명

- A_b : 가열 원추의 표면적(m²)
- C_{pf} : 급액의 비열(kJ/kg. °C)
- F : 급액의 중량(kg/h)
- H_v : 증발온도에서 수증기의 엔탈피(kJ/kg)
- L : 증발된 수증기의 양(kg/h)
- T_e : 증발온도(°C)
- T_f : 급액온도(°C)
- T_s : 가열 매체의 온도(°C)
- U : 총괄열전달계수(kJ/m². h. °C)
- X_m : 물의 중량 분율

문 헌

1. α-Laval instruction book, Centri-Therm, CT-1B-2
2. 久保田濃, 五師工仁: 熱感受性の強い液体の蒸發濃縮装置, 製藥工場, 5(6), 482(1985)
3. Malkki, Y. and Veldstra, J.: Flavor retention & heat transfer during concentration of liquids in a centrifugal film evaporator. *Food Technol.*, 21, 1179(1967)

4. Skocylas A.: Thin film evaporator construction and performance. *Brit. Chem. Engin.*, 12, 1235(1967)
5. Thormann, H.H.: The centri-therm evaporator in the fruit juice industry. *Gordian*, 72, 7(1972)
6. Nong, T.C.: Factors affecting the degree of concentration of apple juice in a centrifugal evaporator. *Przemysl Spozywczy*, 23, 438(1969)
7. Anon.: Evaluation of the pilot evaporator minute Centri-Therm model CT-1B. *Industria Alimentica*, 1, 39 (1968)
8. Quast, D.G. and Siozawa, Y.Y.: Heat transfer in the Centri-Therm CT-1B thin film evaporator. *Boletim. D. G.* 45, 59(1976)
9. Mrozewski, S., Jarezyk, A. and Krupinski, W.: Experiments on the concentrated vitaminized juice production. *Przemysl Spozywczy*, 25, 10(1971)
10. Traegardh, C.: Production of leaf protein concentrate for human consumption by isopropanol treatment. A comparison between untreated raw juice and raw juice concentrated by evaporation and ultrafiltration. *Lebensmittel-Wissenschaft Technol.*, 7, 199(1974)
11. Kruger, E., Oliver-Daumen B., Sommer, G., Metscher, M. and Berger, H.: Manufacture of beers with a reduced alcohol percentage. *Monatsschrift fuer Brauerei* 33, 422(1980)
12. Pawlik, S., Dabrowska, W., Pronczuk, A., Kolbarczyk, A., Skrzypek, J. and Zgiernicka A.: Selection of factors preventing protein coagulation in dired milk products when dissolved in hot water. *Roczniki Instytutu Przemyslu Mleczarskiego*, 21, 5(1981)
13. Oliver-Daumen, B.: Practical experence with use of Centri-Therm equipment for reduction of the alcohol content of beer. *Monatsschrift fuer brauerei*, 35, 101 (1982)
14. Malkki, Y. and Veldstra, J.: Flavor retention & heat transfer during concentration of liquids in a centrifugal film evaporator. *Food Technol.*, 21, 1179(1967)
15. 李盛雨: 高麗 以前の 韓國食生活史 研究, 郷文史, p.121 (1978)
16. 西村昇二: オニオンガリック製品の現状と利用, 食品と科學, 22, 94(1980)
17. Stoll, A. and Seebeck, E.: Uber den enzymatischen abbau des allins und die eigenschaften der allinase. *Helv. Chem. Acta.* 32, 197(1949)
18. 박노현, 김병삼, 박무현, 한봉호, 배대진: 컴퓨터를 이용한 원심식 박막증발기의 제어 및 자료수집 시스템의 제작. *한국식품과학회지*, 22, 479(1990)
19. 김병삼, 박노현, 박무현, 한봉호: 급액속도가 원심식 박막증발기의 운전 특성에 미치는 영향. *한국식품과학회지*, 23, 437(1991)
20. Riedel, L.: Calorimetric investigations of the freezing of fish meat. *Kaltetechnik*, 8, 374(1956)
21. Riedel, L.: Calorimetric investigations of the meat freezing process. *Kaltetechnik*, 9, 38(1957)
22. Carter, A.L. and Kraybill, R.R.: Low pressure evaporation. *Chem. Engin. Progress*, 62, 99(1966)
23. 化學工業協: 化學工業便覽, 丸善株式會社, 東京, p.320 (1978)

(1992년 6월 12일 접수)