

최 종  
연구보고서

Ohmic heating 에 의한 새로운 특성의  
곡류 가공품 개발  
Development of novel cereal products  
by ohmic heating

연 세 대 학 교

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “ Ohmic heating 에 의한 새로운 특성의 곡류 가공품 개발” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2003 년 7 월 일

주관연구기관명 : 연세대학교  
총괄연구책임자 : 변 유 량  
연 구 원 : 차 윤 환  
연 구 원 : 이 동 우  
연 구 원 : 이 범 선  
연 구 원 : 김 정 은

# 요 약 문

## I. 제 목

Ohmic heating을 이용한 새로운 특성의 곡류 가공품 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

전분 현탁액의 가열속도는 전분입자의 팽윤에 큰 영향을 미치며 팽윤된 전분입자의 크기와 분포는 호화된 전분의 특성을 좌우한다. 그러나 종래의 전도가열 방법으로는 식품의 열전도도가 낮고 온도가 증가할수록 온도차의 감소에 의해 급속가열, 일정한 가열속도의 유지 등이 어려우므로 가열속도의 조절에 의한 호화전분의 특성개량이 어렵다. 그러나 전분 현탁액에 교류전류를 통해줄 경우 걸어주는 전압에 의하여 가열속도를 임의로 조절하는 것이 가능하며 호화온도대를 급격히 통과시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 전분 및 곡류 현탁액을 ohmic heating 하여 급속히 호화온도대를 통과시키므로써 새로운 특성을 가진 전분 및 곡류 등의 전분소재를 개발하고 이를 곡류 음료, 죽제품, 이유식, 전식제품 개발 등에 활용하고자 하였다. 현재 쌀 및 각종 곡류를 이용한 음료, 스낵류 등의 다양한 응용제품이 출시되고 있으나 기존의 전분이 갖는 물성의 한계점을 극복하지 못한 경우가 많다. 곡류 음료 제조시 곡류 입자의 침강문제를 해결하기 위하여 유화제를 첨가하는 것이 그 대표적인 예라 할 수 있다. 곡류 가공품이 갖는 이러한 한계점을 극복하기 위하여 본 연구에서는 기존의 전도 가열과는 다른 ohmic heating을 이용하여 새로운 특성을 갖는 곡류가공품을 개발하고 그 응용방법을 확립하고자 한다

## III. 연구개발 내용 및 범위

### (1) 1차년도

Ohmic heating 에 의하여 전분 현탁액을 다양한 속도로 가열시킬수 있는 조건을 설정하고, 가열속도에 따르는 전분 현탁액의 물성변화를 살펴보았다. 전분현탁액의 가열속도는 전압과 전분 현탁액에 첨가되는 전해질의 농도로 조절이 가능하였으며 옥수수, 감자, 타피오카 전분 현탁액은 전분의 종류에 관계없이 가열속도의 증가에 비례하여 전분 입자의 크기와 호화도가 증가하였다. 특히 옥수수 전분의 경우에는 가열속도의 증가에 따라 겉보기 점도가 증가하고 호화액에서 전분 입자가 침강하지 않는 특성을 나타내었다. 한편 ohmic heating에 의하여 제조된 전분 호화액은 전분입자가 최대로 팽윤되고 수분흡수능력이 높아 건조가 매우 어려운 특성을 나타내었다.

## (2) 2차년도

전분 및 곡류현탁액을 ohmic heating 처리에 의해 급속가열하여 새로운 물성을 갖는 호화액을 제조하였으며 급속가열에 의해 부여된 특성을 이용하여 음료 및 이유식의 base를 제조하였다. 옥수수 전분을 농도별로 급속가열하여 호화시킨 후 고형분 함량에 따라 음료 및 죽제품 개발을 위한 base 농도를 설정하였으며 곡류분말의 경우는 호화 후 건조공정이 비교적 용이하여 분산성이 높은 호화분말을 제조할 수 있었다. Ohmic heating 공정의 scale up을 위하여 처리 현탁액의 고형분 농도를 20%까지 증가시켰으며 20 L의 반응조를 제조하여 실험을 진행하였다. 또한 전분현탁액의 연속적인 가열이 가능한 연속식 ohmic heating 장치를 고안하였다.

## (3) 3차년도

- Ohmic heating으로 가열한 전분 및 곡류 현탁액의 이화학적 특성을 기존의 전도가열 방법으로 제조된 호화액과 비교하여 각종 상품에 적용시킬 수 있는 prototype을 제조하였다.
- 4%의 쌀가루 현탁액을 ohmic heating 하여 곡류음료를 제조하였으며 10%의 쌀가루 현탁액을 ohmic heating 한 호화액은 저온 저장 중에도 점도의 변화가 적은 죽제품 base로 제조하였다. 또한 10%의 쌀가루 현탁액을 ohmic heating 한 호화액을 동결건조 후 분쇄하여 분산성이 높은 호화쌀가루를 제조, 선식에의 응용 가능성을 살펴보았다.
- 연속식 ohmic heating 장치를 통하여 2% 전분 현탁액을 400ml/min의 속도로 호화시킬 수 있는 조건을 확립하였다.

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### (1) 연구개발결과

3% 농도의 옥수수, 감자 전분을 ohmic heating 처리할 경우 가열속도가 증가함에 따라 용해도, 팽윤력 및 평균입자 크기가 증가하였으며 점도 역시 증가하였다. 가열하지 않은 옥수수 전분의 평균직경은  $13.7\mu\text{m}$ 로  $0.6^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 가열한 옥수수 전분이  $30.97\mu\text{m}$ 임에 비해  $45.5^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 가열했을때는  $41.56\mu\text{m}$ 로 증가하여 가열속도와 비례하여 증가하였다. 이러한 물성을 보유한 전분 호화액은 저장 중에 입자의 침강이 없어 곡류를 주원료로 하는 음료 base로 사용하기에 적합하다. 곡류는 4%에서 10%의 농도 범위의 쌀가루 현탁액을 ohmic heating한 후, 음료, 죽제품 및 선식제품 개발과 관련한 연구를 수행하였다. 4% (w/v) 농도의 쌀가루 현탁액을  $54.8^\circ\text{C}/\text{min}$ 로 ohmic heating하여 하루정도 방치한 결과, 1~3% (w/v)에 비해 분산성이 향상하여 곡류음료 개발을 위한 고형분 농도로 설정하였다. Ohmic heating을 이용하여 제조한 곡류음료는 별도의 유화제가 필요없고 음료의 제조와 동시에 살균공정을 수행할 수 있다는 장점이 있다. 곡류 현탁액의 농도를 10%로 증가하여

ohmic heating 처리할 경우 기존의 전도가열에 의하여 제조된 쌀가루 호화액에 비하여 노화에 대한 안정성을 나타내어 저장 중에 점도변화가 거의 없었다. 이러한 특성을 이용하여 기존의 제품보다 점도 안정성이 뛰어난 곡류원료의 죽제품의 base를 제조하였다. 또한 Ohmic heating에 의해 호화된 곡류현탁액을 동결건조하여 분말화할 경우 호화액의 특성인 수분보유능력 및 분산성을 유지하는 결과를 보여 호화도가 높고 분산성이 뛰어난 곡류 분말을 제조함으로써 새로운 선식제품에 적용이 가능하다는 사실을 알 수 있었다. Ohmic heating의 산업적인 적용을 용이하게 하기 위하여 반응조를 20L 규모로 scale up 하였으며 전분현탁액을 연속적으로 ohmic heating이 가능하도록 연속장치를 설계하고 그 운전조건을 확립하였다.

## (2) 활용

고분산성의 음료 제품을 ohmic heating 에 의해 개발함으로써 기존 음료 제품에서 보여지는 고형분의 침강에 의한 유통 중의 층분리 문제를 개선하였다. 따라서 기존 곡물음료에 다량 사용되는 유화제의 첨가없이 고유의 곡류 호화액을 원료로하는 음료를 제조할 수 있을 것으로 판단되며 음료제조 및 살균공정을 동시에 진행함으로써 공정을 단순화할 뿐만 아니라 비용절감 또한 기대된다. 곡류음료는 본 연구에 의해 개발된 연속장치를 사용함으로써 대량생산이 가능하다.

곡류를 주원료로 한 죽 제품은 저장 중의 점도 변화 및 높은 점도 문제로 인하여 곡류의 사용량이 제한되어 왔다. 각종 곡류 현탁액을 ohmic heating을 이용하여 급속가열할 경우 저장 중의 점도 변화가 적고 높은 고형분 함량에서도 낮은 점도를 갖는 죽제품을 제조할 수 있다. Ohmic heating으로 호화된 각종 곡류 호화액은 노화안정성을 보여 저장 중의 점도 변화가 적고 유동 특성이 좋은 장점이 있어 이유식 및 아직까지 시장형성이 활발하지 않은 노인식, 환자식 등에 적용이 가능하다.

Ohmic heating을 이용할 경우 곡류의 호화도를 임의대로 조절할 수 있다. 이는 곡류를 원료로 하여 소화율을 극대화할 수 있는 높은 호화도의 곡류분말에서부터 혈당치의 조절을 위한 낮은 호화도의 곡류분말의 제조 등이 가능하다는 사실을 의미한다.

## Summary

### (영문요약문)

Ohmic heating generates heat within foods by the passage of alternating electric current and enables solids phase to heat as fast as liquids. The novel cereal products manufactured by ohmic heating from cereal suspension has unique characteristics different from the products by conventional heating. Corn and potato starch suspensions (3%, w/v) treated by ohmic heating demonstrated high solubility and swellability. Average particle size and apparent viscosity increased when the heating rate was increased. Such gelatinized products did not sediment during standing for 24 hour. It is suitable for the application of the cereal-based beverage. Cereal suspension that have high degree of dispersion could be obtained at the concentration of 4% (w/v) by ohmic heating. It requires neither an emulsifiers nor emulsion process. Moreover, 10% of the gelatinized cereal suspension treated by ohmic heating showed little change of viscosity during the storage at 4°C compared to the gelatinized product by conventional heating. Based on these characteristics, cereal porridge was developed to be resistant to retrogradation. In addition, the gelatinized cereal suspension by ohmic heating was lyophilized and powdered to have much higher water holding capacity and dispersion than that by conventional heating. These results suggested that the cereal-based products treated by ohmic heating can be applicable for the production of Sunsik. For practical application, the ohmic heating jar was scaled-up to 20L. The continuous flow ohmic heating system were designed and its conditions for the process of ohmic heating determined.

# CONTENTS

## (영 문 목 차)

### Figure index

|   |    |
|---|----|
| Fig. 1. Schematic diagram of ohmic heating system. ....   | 18 |
| Fig. 2. Heating profile of 3% corn starch dispersion by conventional and ohmic heating. ....  | 20 |
| Fig. 3. Effect of Nacl concentrations on heating rates of 3% corn starch suspension during ohmic heating. ....                      | 21 |
| Fig. 4. Effect of corn starch concentrations on increase of current during ohmic heating. ....                                      | 22 |
| Fig. 5. Effect of potato starch concentrations on increase of current during ohmic heating. ....                                    | 23 |
| Fig. 6. Size distributions of corn starch granules heated to 90°C at different heating rates. ....                                  | 25 |
| Fig. 7. Effects of heating rates on average diameter of potato starch granules heated to 90°C at different heating rates. ....      | 25 |
| Fig. 8. Microphotographs of corn and potato starch granules heated to 85°C at different ohmic heating rates. ....                   | 27 |
| Fig. 9. X-ray diffraction patterns for the corn starch heated to 90°C at different heating rates. ....                              | 28 |
| Fig. 10. Flow curves of 3% corn starch dispersions heated to 90°C at different heating rates. Heating rate(°C/min). ....            | 29 |
| Fig. 11. Effect of heating rates on apparent viscosity of corn starch dispersions heated to 90°C at a different heating rates. .... | 29 |
| Fig. 12. Relationship between average diameter and apparent viscosity of 3% corn starch dispersion heated to 90°C. ....             | 30 |
| Fig. 13 Sedimented volume of 3% corn starch dispersions heated to 90 °C at  |    |

|   |    |
|---|----|
| different heating rate. ....  | 31 |
| Fig. 14. Effect of heating rates on swellability and solubility of corn starch heated to 90°C at different heating rate. ....       | 32 |
| Fig. 15. Continuous ohmic heating system. ....  | 37 |
| Fig. 16. Comparison of dispersion property of freeze-dried rice powder (5% w/v) gelatinized by conventional and ohmic heating. .... | 39 |
| Fig. 17. Scanning electron micrographs of freeze-dried barley and rice powder gelatinized by conventional and ohmic heating. ....   | 40 |
| Fig. 18. Changes in resistance and electrical conductivity of macerated brown rice during ohmic heating at 65V. ....                | 48 |
| Fig. 19. Changes in electrical resistance and conductivity of macerated rice during ohmic heating at 110V. ....                     | 49 |
| Fig. 20. Standard curves for reducing sugars by Nelson-Somogyi methods. ....  | 53 |
| Fig. 21. Total sugar content of gelatinized different starches by conventional and ohmic heating. ....                              | 56 |
| Fig. 22. Total sugar content of gelatinized starches by ohmic heating at different voltages. ....                                   | 56 |
| Fig. 23. Reducing sugar contents of gelatinized starches by ohmic heating at different voltage. ....                                | 57 |
| Fig. 24. Comparison of applied energy in different heating rate by ohmic heating. ....  | 58 |
| Fig. 25. Reducing sugars of corn starch (3%, w/v) heated at different voltage. ....   | 59 |
| Fig. 26. Gelatinization degree of milled rice dispersion heated by conventional and ohmic heating methods. ....                     | 61 |
| Fig. 27. Dispersion of behavior of gelatinized rice suspension heated by conventional and ohmic heating methods. ....               | 62 |
| Fig. 28. Effect of heating rates of gelatinized milled rice on dispersion behavior. ....  | 63 |
| Fig. 29. Temperature profiles rates of 4%(w/v) milled rice dispersion during ohmic heating. ....                                    | 63 |



|  |    |
|--|----|
| Fig. 30. Effect of heating rates on the solubility of gelatinized milled rice paste (10%).<br>.....                            | 65 |
| Fig. 31. Flow curves of milled rice paste (10%, w/v) stored for 5 days at 4 °C. ....   | 65 |
| Fig. 32. Flow behavior curves of milled rice paste (10%, w/v) stored for 5 days at 4°C.<br>.....                               | 66 |
| Fig. 33. Dispersion property of freeze-dried milled rice powder gelatinized by ohmic and<br>conventional heating methods. .... | 67 |
| Fig. 34. Schematic diagram of continuous ohmic heater. ....  | 69 |
| Fig. 35. Changes in temperature and electrical conductivity during continuous ohmic<br>heating. ....                           | 69 |
| Fig. 36. Continuous flow ohmic heater designed by Khalaf et al. ....   | 80 |
| Fig. 37. Detail of ohmic heater column designed by APV Baker. ....   | 81 |

**Table index**

|  |    |
|--|----|
| Table 1. Average diameter of corn starch granules heated to 90°C at different<br>heating rates. ....   | 24 |
| Table 2. Average diameter of potato starch granules heated to 90°C at different<br>heating rates. ....   | 26 |
| Table 3. Effects of heating rates on the rheological parameters of 3% corn starch<br>dispersion heated to 90°C at different heating rates. ....  | 31 |
| Table 4. Gelatinization degree and solubility of 5% cereal powder dispersions heated by<br>conductive and ohmic heating methods. ....            | 41 |
| Table 5. Rheological parameters of 5% cereal solution heated to 95°C and holding for<br>5min at the same temperature by conductive heating. .... | 41 |
| Table 6. Rheological parameters of 5% cereal powder dispersions gelatinized by ohmic<br>heating. ....  | 42 |
| Table 7. Apparent viscosity of corn starch paste heated by ohmic heating and<br>commercial cereal beverage. ....                                 | 43 |

|  |    |
|--|----|
| Table 8. Gelatinization degree of barley and waxy rice heated at different voltage.<br>.....                                     | 46 |
| Table 9. Gelatinization degree and solubility of brown rice heated to 100°C on<br>different holding time. ....                   | 47 |
| Table 10. Gelatinization degree and solubility of milled rice heated to 100°C on different<br>holding time. ....                 | 47 |
| Table 11. Water absorption of macerated brown rice and milled rice during steeping<br>in water at room temperature. ....         | 48 |
| Table 12. Comparison of gelatinization degree and solubility of rice and brown rice<br>mixtures in different concentration. .... | 50 |
| Table 13. Apparent viscosity of brown rice–milled rice mixture gelatinized by ohmic<br>heating. ....                             | 60 |
| Table 14. Changes in rheological parameters of gelatinized rice paste during storage at<br>4°C. ....                             | 66 |
| Table 15. Operating conditions used in batch and continuous ohmic heating for 2%<br>potato starch suspension. ....               | 70 |

# 목 차

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 제1장 연구 개발의 개요 .....              | 11 |
| 1절 연구개발의 필요성 .....               | 11 |
| 2절 연구개발의 범위 .....                | 13 |
| 제2장 국내외 기술개발 현황 .....            | 14 |
| 1절 국내 기술 개발 현황 .....             | 14 |
| 2절 해외 기술 개발 현황 .....             | 15 |
| 제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과 .....       | 17 |
| 1절 1차년도 연구개발수행 내용 및 결과 .....     | 17 |
| 2절 2차년도 연구개발수행 내용 및 결과 .....     | 34 |
| 3절 3차년도 연구개발수행 내용 및 결과 .....     | 52 |
| 제4장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 .....    | 71 |
| 제5장 연구개발결과의 활용계획 .....           | 76 |
| 제6장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학기술정보 ..... | 77 |
| 제7장 참고문헌 .....                   | 82 |

# 제 1 장 연구 개발의 개요

## 제 1 절. 연구개발의 필요성

### 1. 기술적 측면

- 전분은 식품산업 및 화학공업 등 여러 산업에서 광범위하게 활용되고 있는 중요한 자원으로, 천연상태 그대로 이용되기도 하지만 가공성, 기능성, 적용성 등을 향상시키기 위해서 각종 형태로 변성시켜 사용되고 있다.
- 변성 전분은 물리적, 화학적, 효소적 처리를 통하여 전분의 호화특성, 용해성, 분산성, 겔안정성, 노화안정성, shear 내성 등을 개선함으로써 산업적 응용 범위가 점점 증가되고 있으며 현재도 새로운 변성방법의 개발이 계속되고 있다.
- 본 연구자들은 전분 또는 전분이 함유된 곡류를 수분 및 전해질이 존재하는 상태에서 ohmic heating을 이용하여 매우 빠른 속도로 순간적으로 가열함으로써 기존의 천연 전분 및 변성 전분이 갖지 못하는 특성을 가진 전분을 제조할 수 있다는 기초연구결과를 얻었으며, 전분을 따로 분리해내지 않은 상태의 곡류, 두류, 서류 등의 가열 변성도 가능할 것으로 기대된다.
- 식품에 교류전류를 통과시키면 전기에너지가 열에너지로 전환되어 내부에서 급속히 전기저항열이 발생하는데 이 원리를 이용한 가열방법을 일반적으로 ohmic heating이라 한다. Ohmic heating은 식품 내부에 온도차가 생기지 않고 균일하게 가열되며 액체와 고체가 동시에 가열되는 등 여러 가지 장점이 있다. 특히 재래 가열방법에서 얻기 힘든 피가열체의 균일한 급속가열이 가능하며, 전압조절에 의해 가열속도의 조절이 용이하다. 뿐만 아니라 ohmic heating 장치는 매우 간단하여 특별한 시설 투자가 요구되지 않으며 쉽게 적용이 가능하다.
- 전분 현탁액의 가열 속도는 전분입자의 팽윤에 큰 영향을 미치며 팽윤된 전분입자의 크기와 분포는 호화된 전분의 특성을 좌우한다. 그러나 종래의 전도가열 방법으로는 식품의 열전도도가 낮고 온도가 증가할수록 온도차가 감소하므로 급속한 가열, 일정한 가열속도의 유지 등이 어려우므로 전분의 가열속도가 호화 전분의 특성에 미치는 영향에 대해서는 매우 제한적으로 연구되었다.

## 2. 경제·산업적 측면

- 국내의 전분 사용량은 연간 수만톤에 이르고 있으며 가공 전분 사용량도 점점 증가하고 있으므로 국산화된 전분 변성기술의 확보 및 적용특성 개발은 중요한 의미를 갖는다. 그러나 최근 방일뿐만 아니라 두산 그룹의 전분 사업이 미국의 전분 회사에 매각됨에 따라 전분소재는 물론 전분 가공기술에 관련된 주도권이 외국으로 넘어가는 상황에 직면하게 되었다.
- 최근에 건강, 자연 지향주의와 아울러 선식, 생식 및 우리 농산물을 원료로 하는 가공식품이 각광을 받기 시작했다. 최근 식혜가 음료로서 각광을 받은 후 쌀을 주원료로 하는 음료가 출시되어 시장을 확대해나가고 있으며 팥을 원료로 한 제품도 개발되고 있다. 그러나 이러한 제품은 선전내용과는 달리 성분을 살펴보면 주성분이 곡류가 아닌 유사제품이란 것을 알 수 있다. 이는 전분이 주성분인 제품에서 전분의 노화, 용해성 및 수분 보유능력 등의 한계에서 발생하는 문제를 해결하지 못하였기 때문이다. 현재 출시되고 있는 쌀 음료의 경우 침강되는 쌀입자로 말미암아 추출후 고형분을 여과시키기도 하며, 자체의 색을 부여하기 위해 식물성 크립을 첨가하는등, 쌀 이외의 다른 첨가물들을 혼합하고 있는 실정이다
- 쌀이나 팥 자체 또는 이들로부터 추출한 전분을 음료 형태로 사용할 수 있도록 변성시킬 수 있는 가공기술이 개발된다면 기존 제품의 품질 향상은 물론 현재까지 제품화되어 있지 않은 새로운 형태의 전분질 음료 등 전분질 신제품의 개발이 가능하게 된다.
- Ohmic heating을 이용한 전분질 원료의 가공기술에 의하여 국내에서 생산된 곡물, 서류, 두류 원료의 새로운 가공기술은 국내 농업과 식품산업 발전에 큰 기여를 할 것이며 해외 시장개척에도 상당한 가능성이 있다고 생각된다. 다시 말해 전분을 주성분으로 하는 농산물 소재를 이용한 새로운 제품을 개발함으로써 고부가가치 창출이 가능하다.

## 3. 사회·문화적 측면

- 최근 식생활이 다양화되고 일반 소비자의 식품에 관한 요구가 맛이나 양 보다는 건강 지향적이며 질을 따지는 형태로 변하고 있다. 따라서 다양화되는 소비자의 요구에 부응하기 위한 새로운 식품 소재 개발은 중요한 과제이다.
- 곡류를 중심으로 한, 오랜 역사를 가진 우리나라의 음식문화를 생각해 볼 때 세계시장을 상대로 상품화 할 수 있는 제품은 상당하다고 생각되며, 이는 세계화를 추구하는 우리의

필수적인 과제이다.

- 또한 국내 식품 산업의 경쟁력을 높이기 위해서는 새로운 소재의 발굴 및 소재 가공기술의 확립이 필요하다. 더욱이 우리의 주식인 쌀은 물론 각종 잡곡의 주성분이 전분임을 감안한다면 이를 가공하는 신기술이야말로 국내 농업 및 식품산업 발전을 위하여 중요한 과제이다.

## 제 2 절. 연구 개발의 범위

- 본 연구에서는 ohmic heating 의 급속가열에 의한 전분 분산액의 이화학적 특성 및 물성 변화를 연구하였다. 옥수수 및 감자전분 현탁액을 0.5~90℃/min의 범위에서 가열속도, 최종온도 유지시간 등을 변화시키면서 가열했을 때 전분특성의 변화를 관찰한 결과, 가열속도가 증가할수록 전분입자의 크기, 팽윤도 및 용해도가 현저히 증가하였으며 급속히 호화온도대를 통과한 옥수수 전분은 전혀 침강하지 않는 특성을 보였다.
- 또한 급속히 호화온도대를 통과하여 호화된 전분은 가열속도가 증가할수록 호화점 이동 현상이 관찰되었으며, X-선 회절계로 결정구조는 관찰되지 않았으나 대부분 팽윤된 전분 입자 상태를 유지하고 있었다. 이와 같이 조제된 변성전분 현탁액은 점도특성이 현저히 변하고, 전분겔의 hardness 증가 및 texture에도 큰 영향을 미쳤다.
- 4% 쌀 분산액을 ohmic heating 의해 50℃/min 이상의 속도로 가열한 결과 13.56℃/min의 속도로 재래 방법에 의해 가열한 것에 비해 호화도가 증가하였으며, 24시간 정도 방치후 침강입자를 확인해본 결과 ohmic heating으로 가열한 쌀분산액은 침강하지 않았다. Ohmic heating의 급속가열에 의해 호화도 및 분산성이 높은 곡류 음료 개발을 위한 연구를 수행하였다.
- 비교적 저농도의 전분 분산액을 가열할 수 있는 연속식 ohmic heating 장치를 개발하였다. 본 장치는 호화후 비교적 낮은 점성을 갖는 전분 분산액을 14℃/min 의 속도로 가열할 수 있었다. 본 장치의 개발을 통해 기존 ohmic heating 장치에서 단점으로 여겨왔던 가열 용량의 한계를 극복할 수 있었다.
- 본 연구에서는 이상의 산업적으로 매우 유용한 선행 기초 연구 성과를 바탕으로, ohmic heating을 전분의 가열변성에 응용하여 새로운 특성을 가진 전분 및 곡류, 서류 등 전분질 소재를 개발하고 산학협동으로 실용화하고자 한다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절. 국내 기술 개발 현황

- 전분의 호화는 실제 전분질 식품의 가공, 조리 과정에서 가장 중요한 과정으로 호화에 영향을 주는 인자는 전분의 종류, 전분내의 수분함량, 현탁액의 pH, 당류 및 염류의 농도, 가열속도 등이다. 특히 가열속도가 전분의 호화와 호화된 전분의 특성에 미치는 영향에 대해서는 연구된 바가 매우 적다.
- 일반적으로 식품은 열전도도가 작기 때문에 온도차에 의하여 가열하는 일반적인 전도가 열방법으로는 목적하는 온도까지 가열하는데 시간이 걸리며 급속가열은 한계가 있다. 따라서 현재까지 가열속도에 대한 영향은 일정한 온도의 열수에 전분입자를 첨가하는 정온 가열방법이나, DSC나 DTA를 이용하여 제한된 수분 존재상태에서 단편적으로 연구되었을 뿐이다.
- Ohmic heating은 이와 같은 재래 가열법의 단점을 해결할 수 있는 가열방법으로 수분이 30% 이상이면 급속한 균일가열이 가능하므로 새로운 process의 개발이 가능하며 현재 어육단백질 및 대두 단백질의 응고 등에 실용화되었다.
- 어육단백질의 경우 50~60℃ 를 통과하는 시간이 수산 연제품의 쫄랑도에 큰 영향을 미치나 재래가열 방법으로는 한계가 있어 품질향상이 곤란하였다. 그러나 ohmic heating을 이용하면 급속가열이 가능하므로 어육, 소세지 등의 품질개선에 크게 기여하였으며 이미 일본에서 널리 이용되고 있다. 또한 본 연구자들의 연구에 의하면 ohmic heating에 의하여 대두단백질의 가열응고 속도를 최적화시킨 결과 두부의 수율이 현저히 향상되고 두부의 texture도 개선되었다.
- 어육 및 대두단백질의 ohmic heating과 동일한 개념에서 ohmic heating을 이용하면 전분현탁액을 일정한 속도로 급속히 가열할 수 있으므로 dynamic heating을 통하여 전분입자가 호화온도대를 통과하는 시간이 전분에 미치는 영향을 정확히 규명할 수 있고, 그 결과는 새로운 형태의 가열변성전분의 개발에 응용이 가능하다.
- 동결육과 같은 냉동제품의 해동에도 ohmic heating 이 이용된다. 기존 해동법인 냉풍, 상온수 침지 등에 의해 동결육을 해동시킬시 상당시간이 소요되며, 해동과정중 drip loss,

해동품의 품질저하 등의 단점이 지적된다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 급속가열에 의한 냉동식품의 해동에도 ohmic heating 이 유용하게 이용된다.

- 20℃의 온도로 동결육을 기존 방법에 의해 수해동 시킬 경우 해동시간은 약 210분 이었으나 210V 의 전압에 의한 ohmic heating을 병행하였을 경우에는 해동시간이 50분으로 단축되어 단시간 해동에 의한 품질저하를 최소화 할수 있었다.
- 이와 같은 연구 결과를 토대로 ohmic heating을 이용하여 전분 현탁액의 가열 속도를 조절함으로써 전분입자의 팽윤도를 조절할 수 있으며 팽윤된 상태의 입자형태를 유지하는 것을 특성으로 하는 새로운 특성의 변성전분 제조가 가능할 것으로 판단된다.
- 이러한 점을 감안하면 본 연구는 국내외 적으로 시도된 적이 없는 새로운 변성 방법 이며, 변성과정에서 전분의 종류에 국한 받지 않고 전분 처리 과정에 새로운 설비투자도 요구되지 않으며 폐수 처리 문제가 거의 발생하지 않는 장점이 있다.

## 제 2 절. 해외 기술 개발 현황

- 구 소련에서는 ohmic heating을 이용한 가열 성형 공정중의 하나로 육제품 생산에 이용할수 있는 시스템을 고안하였다. 전원 공급 방식에 따라 두 분류로 나누어 지는데 첫째는 50 Hz, 220V 의 상용교류를 사용하는 방식이며, 두 번째는 8KHz, 220V 의 변환 교류를 사용하는 방법이다. 전자의 경우는 설비는 간단하지만,  $Fe^{3+}$  와 같은 전기 분해물이 생성되는 단점이 있으며 후자 방식은 가열 속도가 빠른 반면 내외부의 온도차가 생기는 단점이 있었다. 두가지 방법 및 재래 가열법에 의해 처리된 제품군을 비교해 본 결과, 외관, 조직, 색, 전단응력 등의 면에서 ohmic heating 에 의한 가열이 우수하다고 보고 되었다.
- 영국의 APV 사는 식품의 연속 살균 기술을 도입하여 산업적으로 활용할수 있는 system 을 생산하였다. 기존 살균 공정에서 고형물을 함유하는 액체 식품의 살균이 곤란한 점을 극복할 수 있었으며, 무균 포장 기술 (aseptic process)과 연결시켜 사용함으로써 그 효과를 극대화 할 수 있었다. Ohio State University 에서도 이와 유사한 장치를 개발하였으며 본 장치 역시 고체-액체 혼합 식품의 살균을 위해 고안되었다.
- 구 소련에서 과일박의 건조, 탈수 공정에 ohmic heating을 이용하였다. 건조 효율을 높이기 위해 전반부에는 380V, 50 Hz의 전원으로 자유수, 모세관 결합수를 제거하고, 후반부



에는 30 KV, 27 MHz 의 높은 전원으로 가열시켜 강하게 결합된 수분을 제거하는 방식을 사용하였다.

- 추출과정에서는 전기에너지에 의한 전기 원형질 분리현상(electro-plasmolysis)을 이용한다. 동·식물의 원료에서 즙액 압출시 원형질막은 저항인자로 작용하기 때문에 고압의 전기를 걸어 원형질막을 파괴하여 추출하는 방식이다. 열에 의한 원형질 분리방법과는 달리 세포막을 파괴시키지 않기 때문에 즙액 내로 펙틴 물질을 포함하지 않으며, 단시간 내에 추출이 가능하다는 장점이 있다.

## 제 3 장. 연구 개발 수행 내용 및 결과

### 제 1 절. 1차년도 연구 개발 수행 내용 및 결과

#### 1. 1차년도 연구수행 내용

가. Ohmic heating을 이용한 전분 현탁액 가열 방법 확립

- 1) 전압 조절에 의한 가열 속도 조절방법 setting
- 2) 전해질 농도에 따르는 가열 속도 조절법 확립

나. Ohmic heating을 이용한 전분 현탁액 변성 공정 확립

- 1) 전분 source별 변성 ; 옥수수, 감자, 타피오카 전분
- 2) 전분 함유 소재 변성 ; 곡류(잡곡류), 두류, 서류

다. 변성 전분 및 전분소재의 물성 변화 파악

- 1) 현미경을 이용한 입자 관찰 및 입도분석기를 이용한 입자분포도 측정
- 2) 호화도 측정 ; X-ray 회절도 및 발색법
- 3) 전분겔 물성 측정 ; rheology meter 및 amylograph 사용
- 4) 분산성 측정 ; 전분겔 밀도 및 침강성 측정

라. 변성 전분 및 전분소재 2차 처리 공정 확립

- 1) 건조 방법 확립 ; 분무건조, 동결건조, 드럼건조 방법별 효율 측정
- 2) 건조 제품 화학적 물리적 변화 측정

마. 2차 처리 후 변성 전분 및 곡물 특성 파악

- 1) 2차 처리 전 후의 제품 물성 비교

바. 변성 방법 및 변성전분의 용도 특허 출원

#### 2. 연구수행 방법

가. Ohmic heating 장치 개량 및 설치

Fig. 1.에서 보는 바와 같이 자체 제작한 Ohmic heater에 전원 공급장치(precision

amplifier, NF electron instrument)를 연결하여 전압조절을 통해 가열속도를 조절하였으며, 전압, 전류 및 온도를 data logger와 컴퓨터를 연결하여 측정함으로써 전압 및 전류의 변화에 따르는 온도의 변화를 3초 단위로 측정 하였다. Closed system 구성을 위하여 heating jar를 o-ring과 clamp를 이용하여 밀폐시킴으로써 외부로부터의 영향을 최소화하였으며, 내부 용기 안에서 발생하는 증기압을 극대화시켰다. 정밀한 온도의 측정 및 ohmic heating에 따르는 측정간섭을 배제하기 위하여 시간 상수(time constant)가 0.1초이며 teflon으로 절연된 0.64 mm (0.025 inch)의 T type thermocouple (Cole-Parmer Ins. co., type IT-18, USA)을 장착하여 내부 시료의 온도를 정밀하게 확인할 수 있도록 하였다. Ohmic heating에 의한 전극의 부식을 최소화 하기 위하여 titanium 소재의 전극을 사용하였으며 원통형의 실린더 벽면에 맞추어 곡면으로 제조함으로써 시료 전구간에서의 균일한 가열을 가능하게 하였다. 기존 Ohmic heating 장치의 정밀도 보완에 초점을 맞추었으며 ohmic heating에 의한 소재의 가공에 있어 정확한 조건의 측정이 가능하도록 장치를 개선하였다.

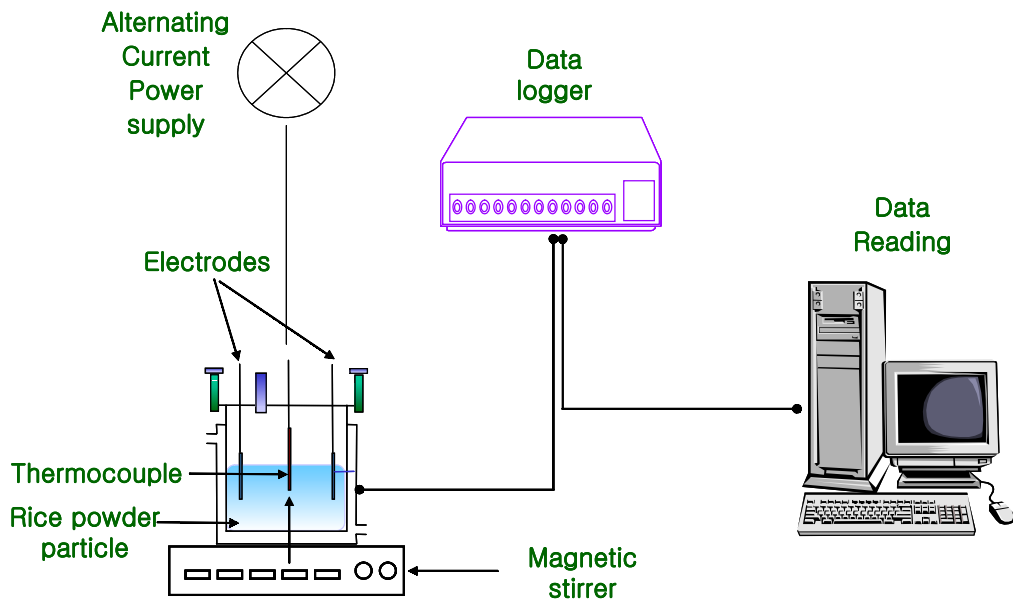


Fig. 1. Schematic diagram of ohmic heating system.

#### 나. Ohmic heating을 이용한 전분 및 전분질 소재 가공공정 확립

Ohmic heating을 이용한 전분의 가열공정 확립을 위하여 전분 현탁액 및 잡곡을 이용하여 실험을 진행하였다. 가열속도 변화에 따르는 옥수수전분의 이화학적 특성의 변화를 분석하였으며, 가열속도에 따르는 옥수수 전분 호액의 물성변화를 살펴보았다.

#### 다. 전분 및 전분질 소재 물성 분석

Ohmic heating을 이용한 급속가열에 의하여 호화된 전분 겔의 특성을 분석하였다. 호화도 측정을 위한 X-ray 분석 조건은 이와 같다 (Copper K<sub>α</sub> radiation was generated by a Rigakudenki X-ray diffractometer D-max type with monochromomator and the sample was exposed to the X-ray beam (30kV, 20mA)).

#### 라. 변성 후 2차 처리 공정 확립

급속가열된 옥수수 전분 호화액을 건조하기 위하여 몇 종류의 건조방법을 적용하였다. 급속가열에 의하여 water holding capacity가 극대화된 전분 호화액은 일반적인 방법으로는 건조가 어려웠으며, 전분의 경우 급속가열의 효과를 제품에 응용하기 위해서는 건조과정을 거치지 않은 소재를 이용한 상품화가 필요할 것으로 판단된다.

#### 마 2차 처리 변성전분 및 곡류의 품질특성 파악

옥수수 전분의 경우 ohmic heating을 이용하여 급속가열된 호액은 2차처리(건조)과정에서 많은 문제점을 나타내었다. 전분호액을 이용한 열풍건조 및 감압건조의 경우는 표면에 피막이 형성된 후 더 이상 건조가 진행되지 않았다

### 3. 연구 수행 결과

#### 가. Ohmic heating을 이용한 전분 현탁액 가열방법 확립

전압을 변화시킴으로써 옥수수 전분 현탁액의 가열속도를 조절하였다. 전도 가열은 가스 스토브를 이용하였으며 가열방법간의 차이를 정확히 알아보기 위해 ohmic heating에서 실시한 모든 조건들과 동일하게 처리하였다. 대표적으로 1%의 NaCl이 전해질로 첨가된 옥수수 전분 현탁액(3%)을 90℃까지 ohmic heating한 경우와 전도가열 했을 경우의 가열곡선을 Fig. 2에 나타내었다. 전도 가열과 ohmic heating의 가열곡선을 비교하여 보면, 전도 가열의 경우 평균 3.3℃/min의 가열속도로 가열되었으며, 온도가 높아지면서 가열매체와 피가열체와의 온도차가 작아지므로 가열속도가 점차 낮아지는 현상을 나타내었다. 변압기를 통해 전압을 조절하여 재래 가열 방법과 거의 동일한 속도로 조절한 경우 전 가열 시간에 걸쳐 가열 속도가 일정하게 유지되었다. 전압을 올려 45.5℃/min의 빠른 가열속도로 ohmic heating 한 경우에도 일정한 가열속도를 유지할 수 있었다. 또한 1%의 NaCl을 첨가한 3% 옥수수 전분 현탁액을 전압을 변화시키면서 ohmic heating 한 결과 0.5~90 ℃/min의 가열속도를 조절할 수 있었으며, 가열하는 동안 전압의 변화가 없는 한 최고 온도에 도달할 때 가열속도를 일정하게 유지할 수 있었다.

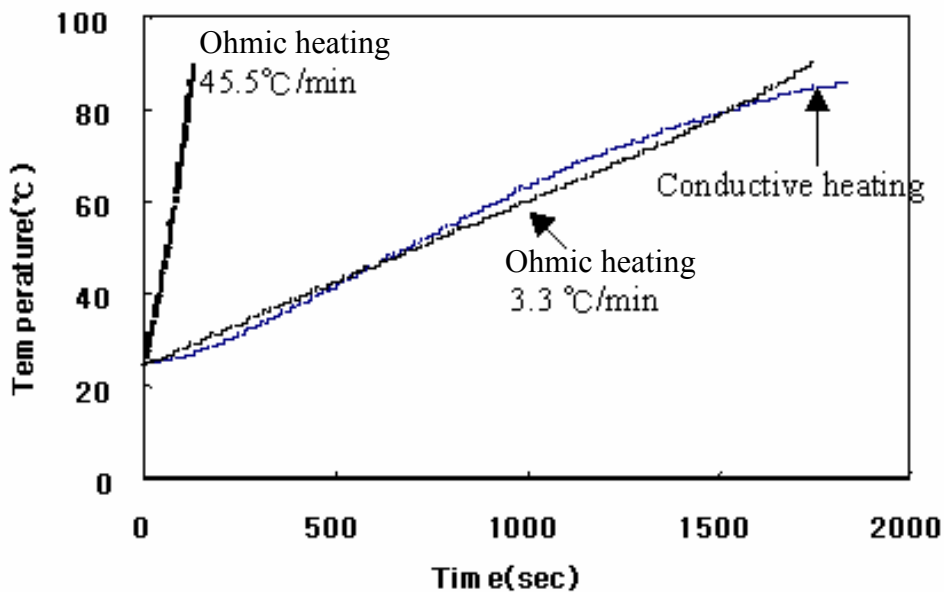


Fig. 2. Heating profile of 3% corn starch dispersion by conventional and ohmic heating.

옥수수전분 현탁액(3%)에 NaCl의 첨가량을 0.1~3% 범위에서 변화시키면서 일정한 전압 하에서 가열하여 전해질의 농도가 가열속도에 미치는 영향을 살펴보았다. 1% NaCl 첨가했을 때 가열속도는 16.1°C/min였으며 Fig. 3에 나타난 것과 같이 전해질 농도에 따라 가열속도가 변하는 경향을 나타내었다. 특히 NaCl 첨가량이 0.1%일때 현탁액이 거의 가열되지 않았다. 이와 같이 ohmic heating에서 가열에서 전해질 농도는 가열속도에 큰 영향을 미쳤으며 충분한 가열속도를 얻기 위해서는 어느 정도의 전해질이 존재하여야함을 알 수 있었다. 전분현탁액의 경우, 전해질로서 NaCl을 사용할 경우 1%의 농도가 적정 전해질 농도였다. 따라서 향후 진행되는 전분 현탁액의 ohmic heating에서는 NaCl, 첨가량을 1%로 고정하였다.

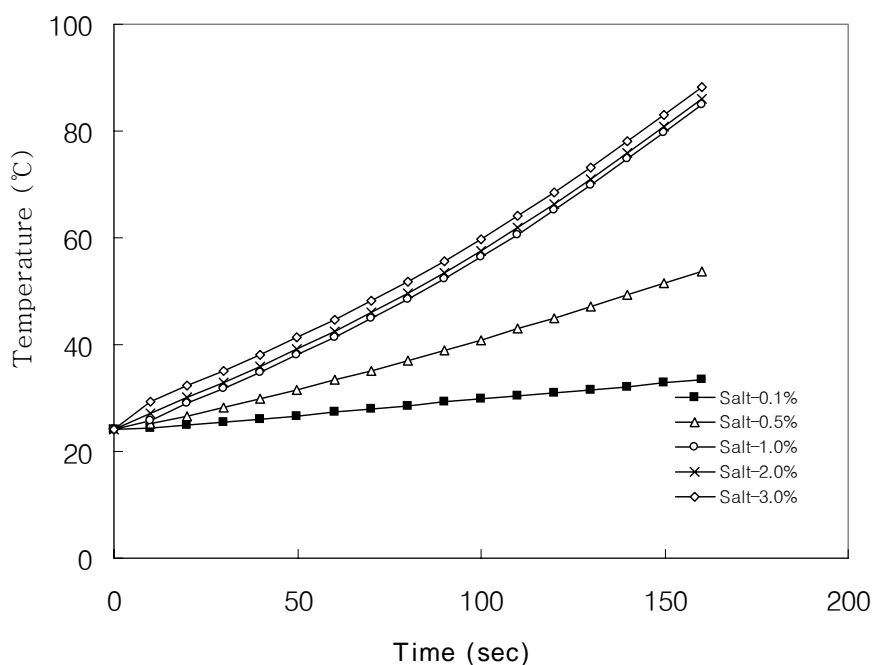


Fig. 3. Effect of NaCl concentrations on heating rates of 3% corn starch suspension during ohmic heating.

#### 나. Ohmic heating을 이용한 전분 현탁액 변성 공정 확립

대표적인 cereal starch인 옥수수전분과 root starch인 감자 전분의 ohmic heating 특성을 비교하였다. 옥수수 전분 현탁액의 경우 1~15%의 농도까지 ohmic heating에 의하여 일정한 속도로 가열이 가능하였으며 가열 속도 또한 전압 조절로 일정하게 변화시킬 수 있었다 (Fig. 4). 이는 전도에 의한 열전달과는 달리 ohmic heating의 경우 전분농도가 가열속도에

큰 영향을 미치지 않는다는 사실 것을 의미하는 것으로 ohmic heating의 가열속도는 전해질 및 전압에 의하여 조절된다는 것을 알 수 있었다.

감자 전분의 경우는 옥수수 전분과는 달리 1~6 %의 농도까지 일정한 속도로 가열이 가능하였다(Fig. 5). 옥수수 전분과 감자전분의 경우 일정한 가열속도를 유지하는 농도가 존재하는 것은 ohmic heating에 의한 가열시 전해질이 작용할 수 있는 충분한 양의 수분의 존재 여부에 의존하기 때문이다. 가열시 전분 입자의 팽윤에 의해 점차 수분이 흡수되어 일정 농도이상에서는 가열 도중 ohmic heating에 필요한 수분함량이 부족한 현상이 발생하여 전분의 소화온도 이상에서는 온도가 더 이상 상승하지 않는 것을 알 수 있었다. 감자 전분과 옥수수 전분이 ohmic heating에 의하여 소화온도 이상으로 가열할 수 있는 임계 농도가 다른 이유는 감자전분의 특성상 옥수수 전분에 비하여 water holding capacity가 크기 때문인 것으로 판단된다.

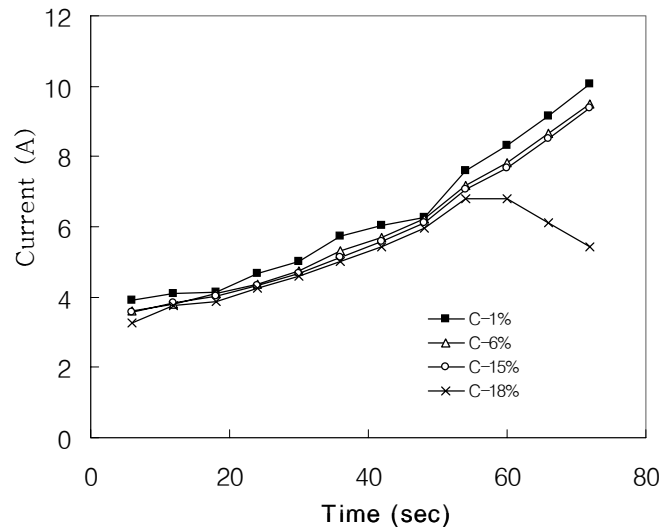


Fig. 4. Effect of corn starch concentrations on increase of current during ohmic heating.

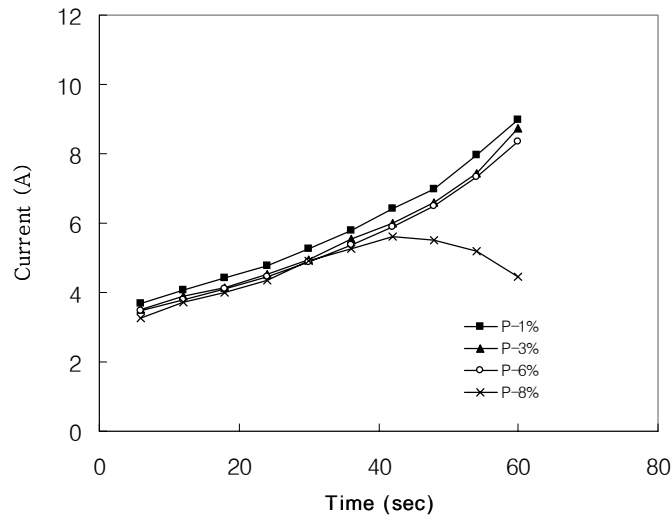


Fig. 5. Effect of potato starch concentrations on increase of current during ohmic heating.

#### 다. 변성 전분 및 전분소재의 물성 변화 파악

현미경을 이용하여 ohmic heating으로 급속 가열한 옥수수전분 및 감자전분의 입자 형태를 관찰하였으며 입도분석기를 사용하여 입자의 크기분포를 측정하였다.

전분입자의 형태는 역상 광학 현미경이 장착된 화상분석장치(Image analyser system, Diapot 300, Nikon, Japan)를 이용하여 400배로 관찰하였으며 Ohmic heating에 의한 전분입자의 크기변화를 측정하기 위하여 Image particle size analyser(Galai Co. Ltd., CIS-100, Israel)를 사용하였으며 측정범위는 0~150 $\mu\text{m}$ 로 조절하였다.

가열하지 않은 옥수수 전분입자의 평균직경은 13.7 $\mu\text{m}$ 이었으며 0.6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 가열속도로 가열했을 경우 30.97 $\mu\text{m}$ , 16.1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 가열한 경우는 37.88 $\mu\text{m}$ 로 평균직경이 급격히 증가하였으나 16.1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  이상의 가열속도에서는 완만히 증가하여 45.5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 일 때는 41.56 $\mu\text{m}$ 로 증가하였다(Table 1). Particle size analyzer를 이용하여 전분입자의 분포를 측정한 결과 옥수수생전분의 경우 2~20  $\mu\text{m}$ 의 분포를 나타내었으나 주로 6~10  $\mu\text{m}$  크기의 입자가 대부분을 차지하여 날카로운 분포곡선을 이루었다. 가열속도에 따라 옥수수 전분 입자는 수~수백  $\mu\text{m}$ 까지 크기가 증가했으며 분포곡선이 전체적으로 넓어지는 현상과 함께 입자크기의 분포도가 변하는 것을 알 수 있었다(Fig. 6). 감자전분의 경우에는 옥수수전분에 비해 낮은 가열속도에서 가열속도에 매우 민감하여 입자크기가 가열하지 않은 경우의 34.26 $\mu\text{m}$ 에서 완만 가열인 0.2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 으로 가열했을 때 137.22 $\mu\text{m}$ 로, 8.6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 에서는 155.57 $\mu\text{m}$ 로 급격히 증가하였으나 8.6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  이상의 가열속도에서는 가열속도 증가에 따라 전분입자의 크기가 거의 증가하지



않아 64.7°C/min의 급속 가열을 할 경우에 159.92 $\mu\text{m}$ 의 크기를 나타내었다(Fig. 7, Table 2). 이는 감자전분의 호화개시온도가 옥수수전분보다 낮으며 결정구조가 약하기 때문에 8.6°C/min의 가열속도에서 이미 최대 팽윤상태를 나타내는 것으로 판단된다.

Table 1. Average diameter of corn starch granules heated to 90°C at different heating rates.

| Heating rates<br>(°C/min) | Heating time to<br>90°C (min) | Average granule<br>diameter ( $\mu\text{m}$ ) | Change in average<br>diameter ( $\Delta\text{D}$ , %) |
|---------------------------|-------------------------------|---|---|
| 0                         | 0                             | 13.65   | 0   |
| 0.6                       | 113.5                         | 31.09   | 56.09   |
| 1.4                       | 48.1                          | 31.79   | 57.07   |
| 3.3                       | 20.7                          | 33.81   | 59.62   |
| 7.5                       | 9                             | 35.84   | 61.92   |
| 16.1                      | 4.3                           | 37.88   | 63.97   |
| 21.9                      | 3.2                           | 39.21   | 65.19   |
| 30.9                      | 2.2                           | 40.52   | 66.32   |
| 45.5                      | 1.6                           | 41.57   | 67.16   |

$\Delta\text{D}=(\text{D}-\text{D}_0)/(\text{D}_0)\times 100$ , D is the average diameter after heating to 90°C, and  $\text{D}_0$  is average diameter before heating

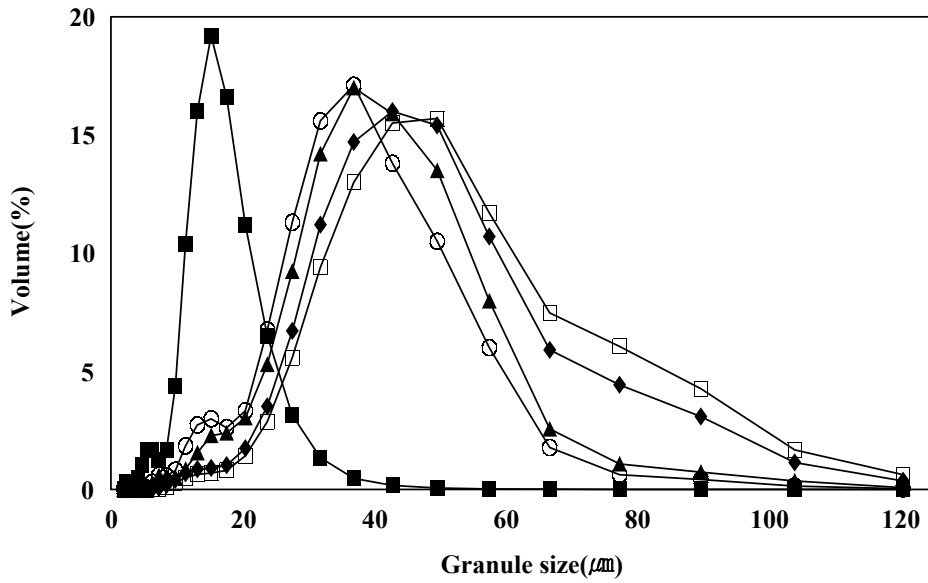


Fig. 6. Size distributions of corn starch granules heated to 90°C at different heating rates.

■ : raw starch, ○ : 0.32(°C/min), ▲ : 2.87, ◆ : 22.24, □ : 35.4

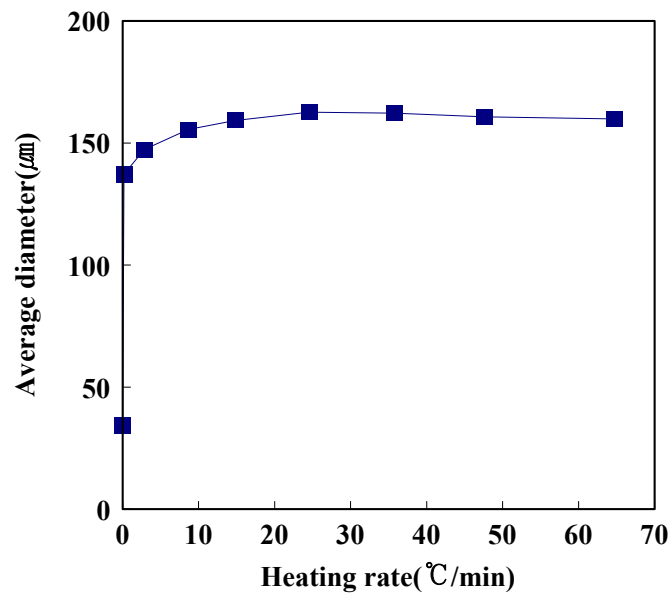


Fig. 7. Effects of heating rates on average diameter of potato starch granules heated to 90°C at different heating rates.

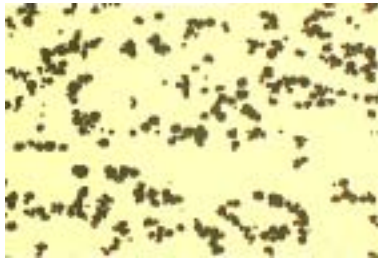
Table 2. Average diameter of potato starch granules heated to 90°C at different heating rates.

| Heating rates<br>(°C/min) | Heating time to<br>90°C (min) | Average granule<br>diameter ( $\mu\text{m}$ ) | Change in average<br>diameter ( $\Delta\text{D}$ , %) |
|---------------------------|-------------------------------|---|---|
| 0                         | 0                             | 34.26   | 0   |
| 0.2                       | 364                           | 137.22  | 75.06   |
| 0.9                       | 23.4                          | 147.35  | 76.75   |
| 8.6                       | 7.6                           | 155.57  | 77.98   |
| 14.8                      | 4.5                           | 159.27  | 78.49   |
| 24.5                      | 2.8                           | 162.65  | 78.94   |
| 35.7                      | 2.2                           | 162.28  | 78.89   |
| 47.6                      | 1.5                           | 160.74  | 78.69   |
| 64.7                      | 1                             | 159.92  | 78.58   |

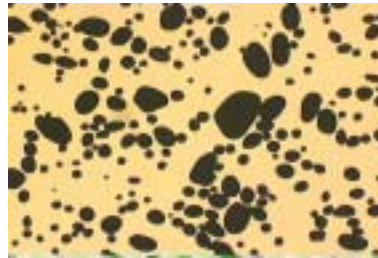
Ohmic heating을 이용하여 가열한 옥수수전분과 감자전분 호화액을 요오드로 염색한 후 입자의 형태를 관찰하였다. 옥수수전분과 감자전분 모두 가열속도의 증가에 따라 전분입자의 색이 옅어지고 입자주위에 요오드의 반응물이 있는 것으로 보아 입자내부로부터 아밀로오스의 용출이 증가한다는 사실을 알 수 있었다. 또한 현미경 관찰을 통해서도 옥수수 및 감자전분 모두 가열속도 증가에 의하여 입자크기가 증가하는 형태를 볼 수 있었으나 호화온도 이상으로 가열된 경우에도 입자의 형태가 존재하고 있음이 밝혀져 전도에 의한 가열과는 매우 다른 양상을 나타내는 것을 알 수 있었다(Fig. 8).

호화온도이상의 온도로 가열된 옥수수전분과 감자전분의 경우에도 입자의 형태가 남아있는 현상은 기존의 통념을 깨는 매우 독특한 현상이다. 빠른 속도의 가열에 의하여 입자가 호화되지 않을 가능성 확인을 위하여 X-ray 회절도를 이용하여 호화도를 측정하였다. 호화도는 서로 다른 가열속도별로 90°C까지 가열한 옥수수 전분현탁액을 동결건조하고 미분쇄하여 얻은 시료를 이용하여 측정하였다.

그 결과 현미경 관찰결과와는 달리 가열속도에 관계없이 가열 처리된 전분시료는 모두 극대치(peak) 부분이 소실된 V도형의 형태로, 완전히 호화되어 일어나 결정성 구조가 소실된 것으로 나타났다(Fig. 9). 이는 전분 입자가 형태를 유지하면서 호화된 결과로 새로운 형태의 전분 변성이 진행되었음을 의미한다.



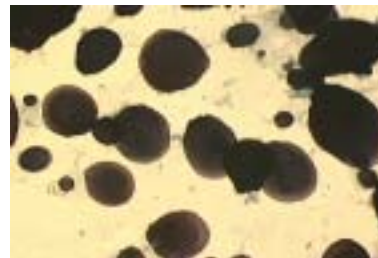
**Raw (unheated)**



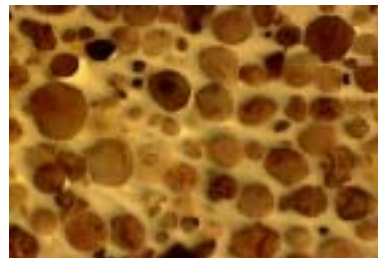
**Raw (unheated)**



**7.5 °C/min**



**8.6 °C/min**



**51.3 °C/min**

**Corn Starch ↑**



**35.7 °C/min**

**Potato starch ↑**

Fig. 8. Microphotographs of corn and potato starch granules heated to 85°C at different ohmic heating rates.

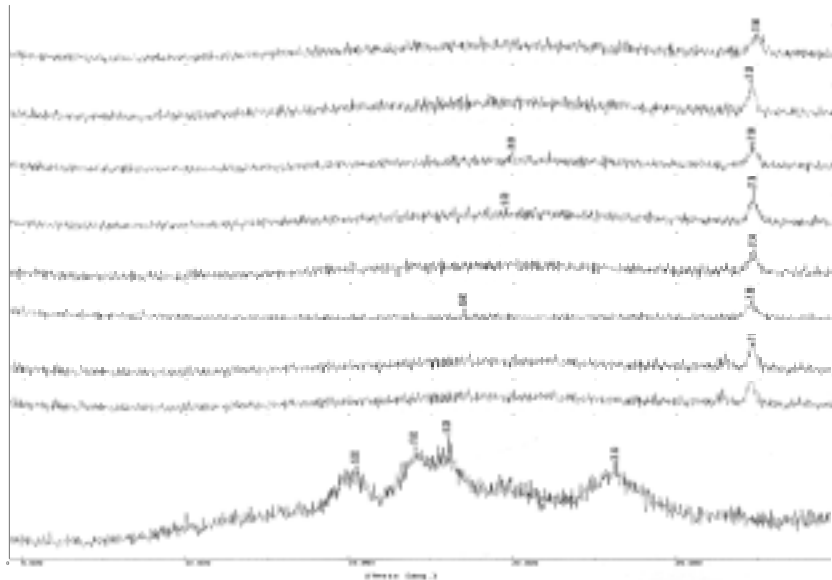


Fig. 9. X-ray diffraction patterns for the corn starch heated to 90°C at different heating rates.

호화되었으나 입자형태를 유지하고 있는 전분겔의 물성을 rheometer (Carri-Med-CSL 100, TA Instruments Ltd., Surrey, England)를 이용하여 20°C에서 측정하였다. Geometry는 steel cone (6cm, 2°) and plate를 사용하였으며, shear rate 1~300s<sup>-1</sup> 범위로 하였다.

3%의 옥수수전분 현탁액을 가열속도를 달리하여 90°C까지 ohmic heating 한 후 냉각시킨 옥수수전분 호화액을 시료로 하였다. 10°C/min 이하의 낮은 가열속도로 가열한 호화액은 Newtonian fluid에 가까운 특성을 보이다가 가열속도가 증가함에 따라 pseudoplastic fluid 특성을 보였다. 특히 가열속도 30°C/min 이상의 경우에는 yield stress가 현저히 증가되었다(Fig. 10). 이때 겔보기 점도는 가열속도 증가에 따라 선형적으로 증가하였는데(Fig. 11), 겔보기 점도의 증가는 급속가열에 따르는 입자의 크기와 관련이 있다는 것을 의미한다(Fig. 12).

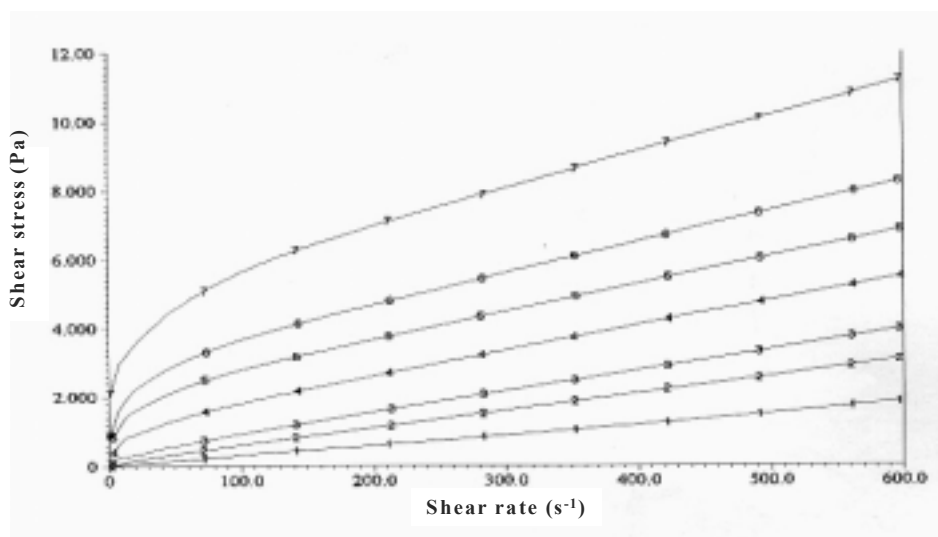


Fig. 10. Flow curves of 3% corn starch dispersions heated to 90°C at different heating rates. Heating rate(°C/min). 1 : 1.4, 2 : 3.3, 3 : 7.5, 4 : 16.4, 5 : 21.9, 6 : 30.9, 7 : 45.5

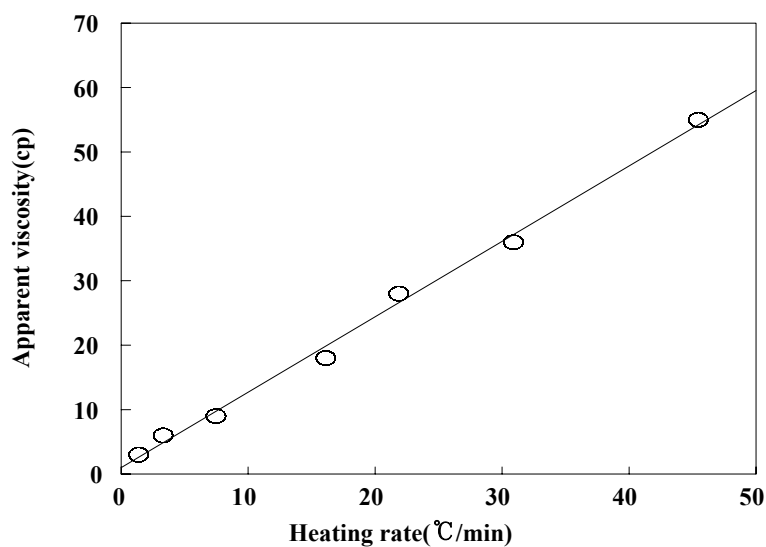


Fig. 11. Effect of heating rates on apparent viscosity of corn starch dispersions heated to 90°C at a different heating rates.

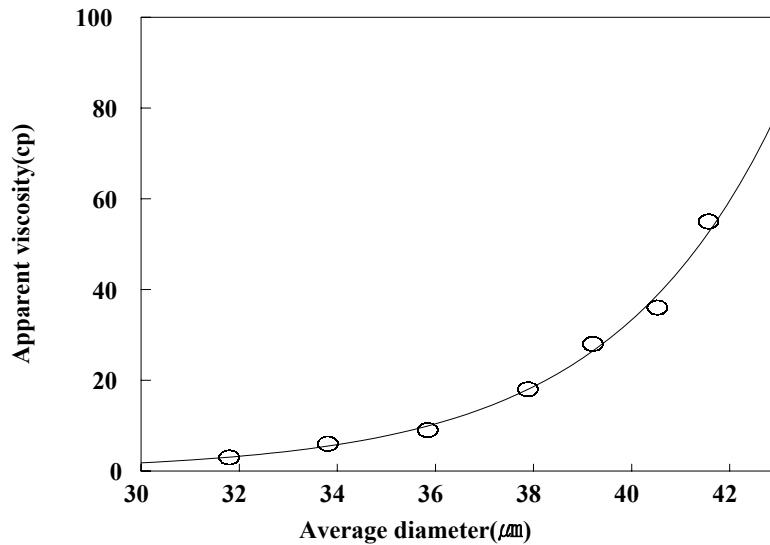


Fig. 12. Relationship between average diameter and apparent viscosity of 3% corn starch dispersion heated to 90°C.

50.4°C/min 이상의 급속가열에서는 더 이상의 팽윤에 의한 입자크기의 증가가 없었으며 옥수수전분 현탁액의 유동특성을 Herschel-Bulkely model에 적용하여 각 가열속도에서 구한 rheological value를 Table 3에 나타내었다. 가열속도의 증가에 따라 유동거동지수는 서서히 감소하는 경향을 보였으나 항복응력과 점조도지수는 7.5°C/min 이상의 가열속도에서는 급격히 증가하는 현상을 볼 수 있었다. 이로써 ohmic heating을 이용하여 가열한 전분 호화액의 새로운 용도를 예측할 수 있는데 동일 농도의 옥수수 전분이라 하더라도 훨씬 높은 점조도 지수를 나타내고 있어 높은 접착력을 나타낼 가능성이 있음을 의미한다. 이는 현재 옥수수 전분이 알칼리에 의하여 호화되어 골판지 접착에 사용되고 있는 실정에서 ohmic heating을 이용하여 호화된 골판지 접착제의 개발이 가능하다는 것을 의미한다. 또한 옥수수전분 현탁액의 가열속도의 증가에 따르는 침강성과 swellability 및 solubility의 변화를 Fig. 13, 14에 나타내었다. Fig. 13에서 알 수 있듯이 급속도로 가열한 전분현탁액일수록 분산성이 증가하여 24시간 방치후에도 전혀 침강하지 않았다. 이러한 결과는 Fig. 14에서 나타낸 급격한 swellability의 증가로도 알 수 있으며 ohmic heating으로 가열한 전분의 산업화에 있어 무한한 적용가능성을 예상할 수 있다.

Table 3. Effects of heating rates on the rheological parameters of 3% corn starch dispersion heated to 90°C at different heating rates.

| Heating rate<br>(°C/min) | Yield Stress<br>(Pa · s) | Consistency<br>(N · s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> ) | Flow behavior<br>index |
|--------------------------|--------------------------|--|------------------------|
| 0.6                      | 53.8                     | 1.58   | 1.10                   |
| 1.4                      | 38.63                    | 5.34   | 0.98                   |
| 3.3                      | 39.6                     | 6.72   | 0.96                   |
| 7.5                      | 165.9                    | 10.55  | 0.92                   |
| 16.1                     | 571.6                    | 27.60  | 0.81                   |
| 21.9                     | 1030.0                   | 61.17  | 0.71                   |
| 30.9                     | 1460.0                   | 91.97  | 0.67                   |
| 45.5                     | 2338.3                   | 203.47   | 0.59                   |

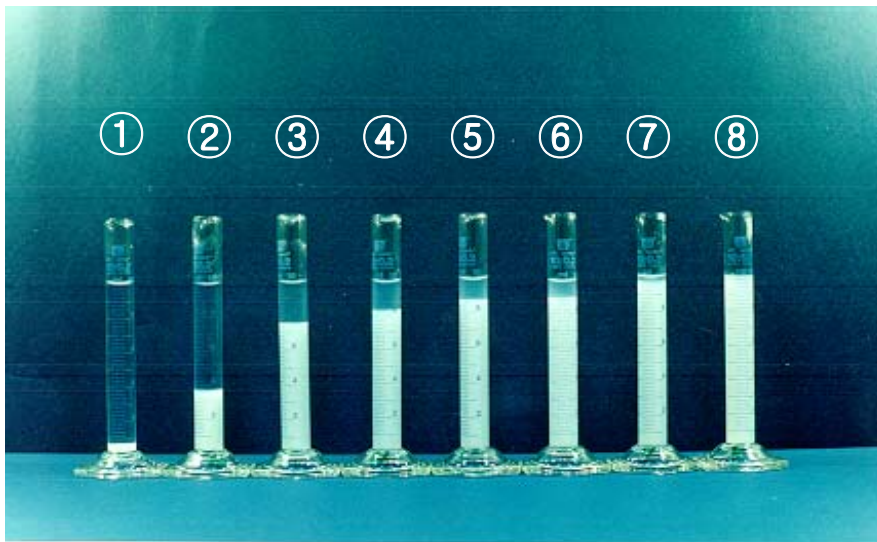


Fig. 13. Sedimented volume of 3% corn starch dispersions heated to 90 °C at different heating rate. ① slow → ⑧ fast



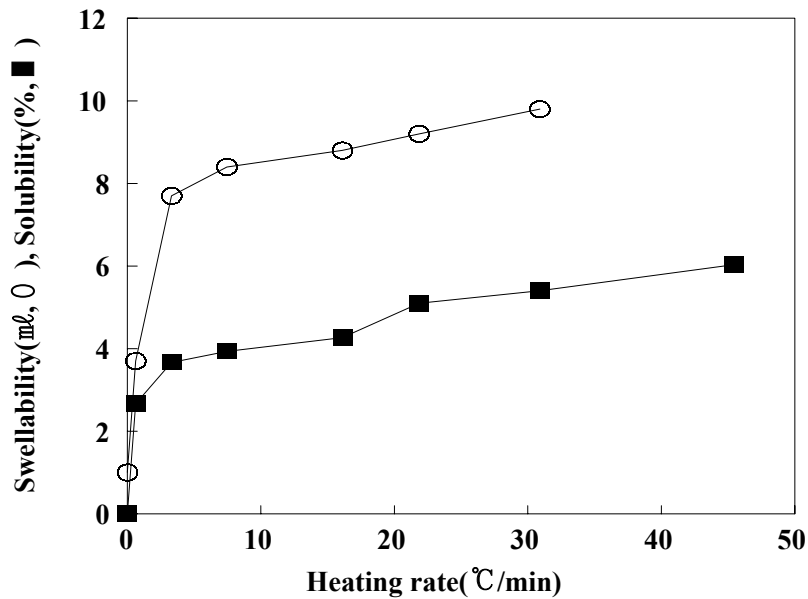


Fig. 14. Effect of heating rates on swellability and solubility of corn starch heated to 90 °C at different heating rate.

#### 라. 변성 전분 및 전분소재 2차 처리 공정 확립

Ohmic heating을 이용하여 가열한 전분현탁액은 매우 특이한 물성을 갖는 것을 알 수 있었다. 이러한 물성이 현탁액 건조 후에도 유지된다면 새로운 변성전분으로서의 가치는 매우 높아질 것이다. 일반적으로 입자가 파괴된 전분 호화액은 건조하기 매우 어려운 것으로 알려져 있으나, ohmic heating한 경우에는 전분의 입자가 파괴되지 않았으므로 통상적인 건조 방법으로 건조가 가능한지를 살펴보았다.

옥수수전분을 44.4°C/min의 속도로 가열한 옥수수 전분 호화액을 이용하여 (1) 50°C의 열풍건조 (2) 50°C, 400 mmHg의 감압건조 (3) 선반온도 20°C, 진공도 7 torr, cold trap -45°C의 조건에서 동결건조하였다. 열풍건조 및 감압건조의 경우에는 건조 초기에 호화액 표면에 필름이 형성된 후 더 이상 건조가 진행되지 않았으며, 동결건조한 경우 건조물을 얻을 수 있었으나 건조물이 sponge와 같은 형태가 되어 분쇄가 어려웠을 뿐 아니라 물에 재현탁시 용해성을 완전히 잃어버리는 것을 알 수 있었다. 이는 ohmic heating에 의해 전분 입자가 급속히 팽윤되어 수분흡수능력이 극대화된 호화액은 건조과정에서 팽윤된 전분 입자가 수축되어 수분 투과도가 낮고 치밀한 구조의 필름을 형성하기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 전분호화액을 ohmic heating하여 상품화에 이용하기 위해서는 호화된 전분겔을 건조 등의 2

차 처리를 하지 않고 바로 이용할 수 있는 방법을 고안해야 될 것이다.

전분 이외에 곡류로 쌀을 ohmic heating 하여 그 가열 특성을 예비 검토하였다. 먼저 알곡 상태로 가열 시켰을 때 별다른 가열특성을 발견할수 없었다. 보고에 의하면 얇게 썰은 돼지고기와 염수를 ohmic heating 시킨 뒤 가열 중 염수와 돼지고기의 온도증가를 비교해본 결과, 염수에 비해 돼지고기의 온도증가가 빨랐다고 하였다. 이는 돼지 고기의 대부분의 성분은 단백질로서 (+)와 (-)등의 전하를 띠므로 전기의 흐름이 용이하기 때문이며 ohmic heating 시 전극이 돼지고기의 양쪽 끝부분과 늘어붙은 상태로 진행하여 효율적인 가열을 할수 있었다. 본 연구에서 사용은 쌀은 70% 이상이 전분과 같은 탄수화물로 구성되어 있는 반면 단백질의 함량은 전체적으로 극히 일부에 지나지 않으며, 전극이 수용액 상태로 침지되어 있기 때문에 돼지고기의 가열과 같은 결과를 얻지 못하였다.

이상과 같이 1차년도에서는 옥수수 전분의 물성변화를 중심으로 연구를 수행하였다. 3%의 옥수수 전분을 ohmic heating 하였을때 나타난 대표적인 결과는 가열속도가 증가하면 증가할수록 전분입자의 크기가 증가한다는 점이었으며, 호화온도 이상으로 가열한 경우에도 대부분의 전분 입자가 형태를 유지하고 있다는 점이였다.

이와 같은 결과를 토대로 2차년도에서는 전분보다는 분쇄한 곡류를 중심으로 연구하였다.

## 제 2 절 2차년도 연구개발수행 내용 및 결과

### 가. 제품 후처리 기술개발

- 1) Ohmic heating 처리 곡류의 물성 개량기술 개발

### 나. 변성 전분겔을 이용한 제품 개발

- 1) 저점도 전분 겔 제품 개발 : 전분 음료 base 제조, 전분 이유식 base 제조
- 2) 고점도 전분 겔 제품 개발 : 죽 제품 개발, 어묵, 겔 제품 개발

### 다. 변성 전분 소재를 이용한 상품 개발

- 1) 쌀 음료, 팥 음료, 옥수수 음료 개발
- 2) 고분산성 곡물가루 개발 : 냉수 가용성 미숫가루, 저 침강 곡물가루 개발

### 라. 작업 공정 scale up

- 1) 반응 고형분 증가 실험
- 2) 반응조 scale up
- 3) 제품화 공정 확립 : 건조 공정 확립, 분쇄 공정 확립

### 마. 연속처리 장치 개발

- 1) 전분 현탁액 반응장치
- 2) 곡류 가공 장치

## 2. 연구 수행 방법

### 가. 제품 후 처리 기술 개발

전도 가열은 가스스토브를 이용하였으며, 95℃까지 가열한후 95℃를 일정시간동안 유지하였다. Ohmic heating 경우에는 전압을 조절하여 여러 가지 속도로 95℃까지 가열한 후 전도 가열에서와 같이 95℃를 일정한 시간 유지하였다. 처리 후 전도 가열과 ohmic heating 의 비교는 호화도, 용해도, 점도, shear stress, shear rate, torque 등을 측정하여 비교하였다. 호화도는 Wootton 등<sup>20)</sup>의 방법을 변형하여 측정하였다.

## 나. 변성 전분 겔을 이용한 제품 개발

저점도 겔 제품 개발을 위한 연구는 0.1~1%(w/v)의 옥수수 전분현탁액을 95℃까지 가열한 후 95℃를 일정시간을 유지한 뒤 10℃에서 점도, shear stress, shear rate, torque 등을 측정하여 음료제품으로 적용하기에 적합한 고형분 농도를 설정하였다. 고점도 겔제품 개발을 위한 연구는 5% (w/v)의 옥수수 전분 현탁액을 95℃까지 가열한 후 95℃에서 일정시간을 유지한 뒤 저점도 제품 개발을 위한 연구에서 수행하였던 동일한 항목을 측정한 후 이 유식 및 죽제품에 적합한 고형분 농도를 결정하였다. 본 연구에서는 시판 중인 음료 및 죽 제품 등을 대조구로 이용하였다.

## 다. 변성 전분 소재를 이용한 상품 개발

Ohmic heating을 이용하여 쌀과 현미 호화 용액(3%, w/w)을 각각 제조하여, 적당한 비율로 혼합한 후 구연산 및 액상과당을 첨가하여 맛을 부여한 후 살균처리 하여 제품화 하였다. 살균은 우유처리시의 살균 공정인 LTLT 법(73.9~75℃, 15분)을 이용하여 영양성분의 손실 및 외관상의 물리적인 변화를 최소화 하였다. 이 후 쌀과 현미 호화액을 3:2 (v/v)의 비율로 혼합한 뒤 구연산을 첨가한 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 비교하였다. 이는 신맛을 제공하여 청량감을 높이려는 목적 이외에도, 살균시의 온도 및 시간을 단축시키려는 데에 그 목적이 있다

고분산성 곡물가루의 개발을 위해 보리와 쌀을 이용하여, 5%의 혼합액을 만든 후 95℃ 이상에서 5min 간 ohmic heating 하여 완전히 호화시킨 후 선반온도 20℃, 진공도 7 torr, cold trap -45℃에서 동결건조하였고, 건조물은 0.43 mm 이하로 분쇄한 후 이에 대한 분산성을 측정하였다.

## 라. 작업 공정 scale up

### 1) 반응고형분 증가 실험

보리, 찹쌀, 현미, 백미 등을 일정 크기로 분쇄시킨후, 20%(w/v)의 농도로 ohmic heating 하였다. 분쇄한 보리와 찹쌀입자의 크기는 0.85~1.18mm 이었으며, 현미와 백미는 0.43~0.85, 0.85~1.18mm 로 분쇄입자크기에 대한 가열특성을 알아보았다. Ohmic heating 시 가열 온도는 95~99℃ 까지 증가시킨 후 최종 온도에서 수분간 유지시켜 충분히 호화될수 있도록 하였으며, 가열 최종 온도에서의 유지시간은 2~5 min 으로 하였다. 서로 다른 곡류간의 가열특성은 호화도와 용해도를 측정하여 측정결과를 비교하였다.

## 2) 반응조 scale up

Scale up 을 위해 아크릴 재질의 새로운 반응조를 제작하였다. 본 반응조로 10L 이상의 용량을 ohmic heating 할 수 있도록 제작하였으며(0.39m×0.2m×0.25m), 최고 회전속도가 1,000 rpm인 교반기를 이용하여 heating 중 밑바닥에 침지된 시료의 과열 현상을 방지하였다. 본 반응장치의 구성은, 50A의 전류를 공급할 수 있는 전원공급장치에 TPR을 연결하여, 전류의 세기 조절 및 program 명령을 수행할 수 있도록 하였으며, 필요 이상의 과전류가 흐를 경우 전기를 자동으로 차단시킬수 있는 누전차단기를 부착하였다. 가열장치는 승온 프로그램을 이용하여 단시간동안 온도를 증가시키도록 하였으며, 최종 목적 온도에서는 일정 시간동안 온도를 유지하여 곡류의 호화를 촉진시켰다. 제품화 공정을 확립하기 위한 건조 공정, 분쇄 공정 확립은 “다”항과 동일한 조건으로 하였다.

### 마. 연속처리장치 개발

연속처리장치의 대략적인 도면은 Fig. 15 과 같다. 전체적인 시료의 진행은 peristaltic pump (Masterflex L/S 7518-00 , Cole-Parmer Instrument Co. U.S.A)를 이용하여 아래에서 위쪽으로 upflow 방식으로 공급하였으며 jar 안으로 공기가 유입되는 것을 방지하였다. 장치를 구성하는 jar는 가열중 내부 시료의 변화를 관찰할 수 있도록 pyrex를 사용하였다. Jar의 구성은 4 piece로 구성하여 조립하였고, 시료가 jar 안으로 유입되는 도중 jar 의 연결부위로 새어나오지 못하도록 1 mm 두께의 silicone 판을 적당히 끼워 넣은후 stainless clamp 로 막아 시료의 유출을 방지하였다. Jar 는 모두 두가지 형태로 제작하였다. 먼저 맨 아랫부분과 윗 부분에 시료주입 및 시료 배출을 용이하게 하기 위해 깔대기 type의 판을 이용하였으며, 전극이 들어가는 jar는 두개를 만들고 각각 전극 하나씩을 넣어 ohmic heating 하였다. 시료 주입 및 배출시의 온도 변화는 T-type thermocouple (Cole-Parmer Ins. co., type IT-18, U.S.A.)을 이용하여 온도변화를 알아보았다.

연속처리 jar 는 직경 60mm, 높이 100mm의 원통형 판을 사용하였고, 전극의 위치를 조절할 수 있도록 하나의 jar 에 4개의 전극이 들어갈수 있도록 제작하였다. 본 실험에 사용한 전극간의 거리는 65.17 mm 였다

연속처리 장치에 사용한 전극은 batch type ohmic heating jar 에 사용되었던 것과 동일한 재질인 titanium을 이용하였으며, jar 의 모양이 원통형인 것을 감안하여 전극 역시 원통형으로 제작하였다. 외경은 15mm, 높이는 45mm이었으며 원통형의 양쪽끝에 15mm정도의 나사선을 낸후 sealing tape 로 적당하게 감은뒤 전극이 jar 에 고정될수 있도록 하였다

전원공급장치로는 300V까지의 전압을 공급할수 있는 power supply 장치를 이용하였다. 전원 공급은 기존까지 ohmic heating 장치에서 행해왔던 방식과는 달리 전선 끝에 막대기 모양의 jack을 부착시킨후 전극에 낸 hole에 끼워넣은 상태에서 상용교류의 전기를 공급하였

다. 이는 기존 전극과는 달리 연속장치에 사용한 전극이 원통형이기 때문에 전극에 전선을 고정시키는 것이 불가능했기 때문이다.

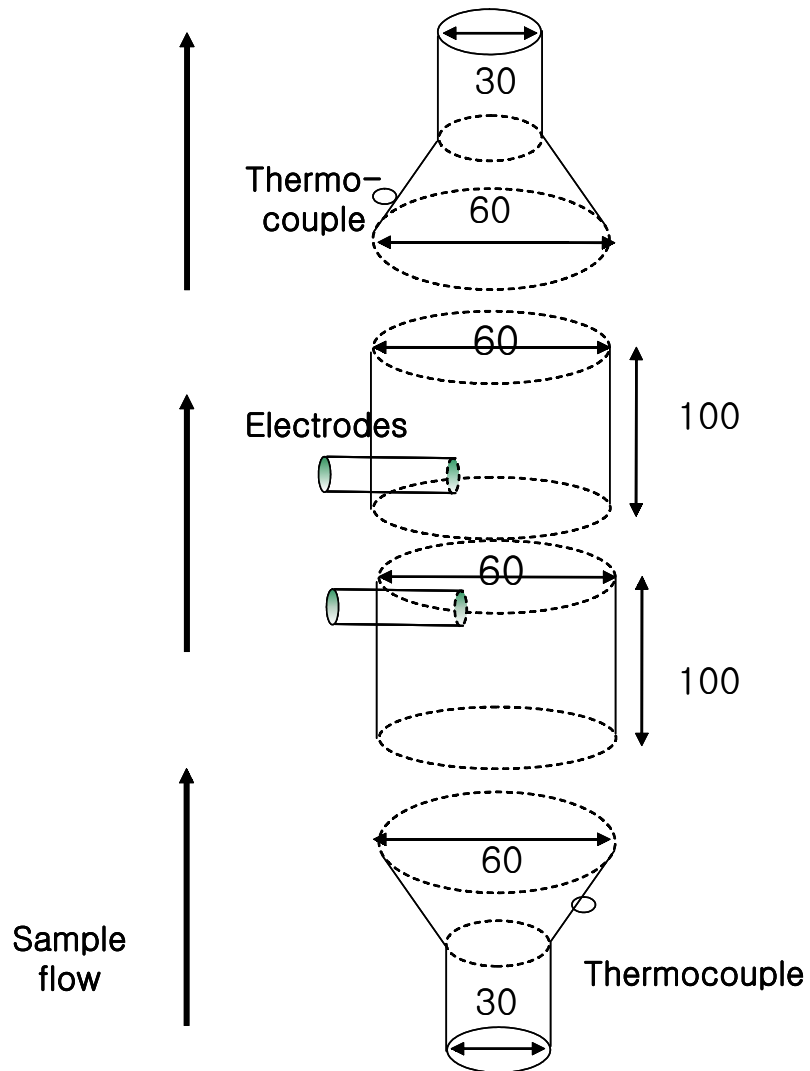


Fig. 15. Continuous ohmic heating system.

### 3. 연구 수행 결과

#### 가. 제품 후 처리 기술 개발

전도가열과 ohmic heating 한 곡류 호화액의 물성을 비교하기 위해 5%(w/v) 용액을 만든 후 곡류호화액의 가열특성을 Table 4에 비교하여 보았다. 곡류의 종류에 관계없이 전도가열 보다는 ohmic heating 한 제품들의 호화도와 용해도가 더 높았다. 전도가열시에는 가열 초기에 온도는 급속히 증가하였으나, 85℃ 이상의 온도에서는 가열속도가 감소하였으며 95℃ 이상부터는 일정하게 증가되지 않았다. 이에 비하여 ohmic heating할때 온도가 증가할수록 전기 전도도가 증가하여 가열속도가 증가하였다. 전도 가열과 비교하여 ohmic heating은 전기 저항을 이용한 가열이라는 점을 고려해 볼 때 내부발열에 의해 시료를 균일하게 가열할 수 있는 것이 호화도 및 용해도를 높이는 원인이 된다고 생각된다.

또한 ohmic heating과 전도 가열 방법으로 제조한 호화액의 분산성을 비교하였다. Fig. 16에서 보는 바와 같이 전도 가열한 것은 일정 시간 이후 고형분 입자의 대부분이 침강하였으나 ohmic heating 처리한 것은 시간이 지나도 가라앉지 않고 용액 상에 잘 분산되었음을 알 수 있었다. 이는 1차년도에 전분 현탁액에서 확인한 결과와 동일하다. Fig. 17는 전도 가열 및 ohmic heating 후의 입자 변화를 좀더 자세히 알기 위하여, 보리와 쌀 호화액을 각각의 방법으로 처리한 뒤 동결건조 후 주사전자 현미경을 이용하여 그 형태를 관찰하였다. 두 그림에서 보는 바와 같이 ohmic heating 한 전분 입자의 형태가 많이 변형되어 있음을 알 수 있었다. 즉 ohmic heating 처리한 시료의 입자표면에는 군데군데 기포와 구멍이 생겨 변화된 반면, 일반 전도 가열 처리한 것에는 별다른 변화가 없었다. 1차년도에서 옥수수 전분의 경우 입자의 형태는 그대로 유지되었던 것과는 달리 곡류의 경우에는 그 형태를 알아볼 수 없을 정도로 깨어진 것은 곡류가 전분 이외의 단백질을 비롯한 다른 성분들의 결합이 급속가열에 의하여 붕괴되기 때문으로 판단된다.

Table 4는 곡류 호화액의 호화도와 용해도에 대한 결과이다. 보리와는 달리 쌀과 현미의 경우 ohmic heating시 90% 이상의 호화도 및 40% 이상의 용해도를 보여 전도 가열에 비해 높은 가열 특성을 보였다. 보리는 탄수화물이 75% (그중 약 60% 가량이 전분)인 곡류로 성숙할 때 껍질이 낱알에 강하게 밀착되어 껍질을 제거하기 매우 어려운 구조이다. 보리의 경우에 용해도 27.1 % 로 현미와 백미의 42, 45.1% 에 비해 현저히 낮은 것은 이와 같은 이유인 것으로 생각된다.

Ohmic heating 처리한 3종의 곡류에 대한 이화학적인 특성을 측정하여 Table 5 및 6에 나타내었다. 특이할만한 사실은 측정한 세 가지 곡류 모두 전도 가열 이후의 점도가 ohmic heating이후의 것보다 높다는 사실이다. 즉, 쌀의 경우 전도 가열시에는 5295 cp 이었으나

ohmic heating시에는 3375 cp 로 점도가 현저하게 감소하였으며, 전단응력 및 torque 모두 감소하였다.

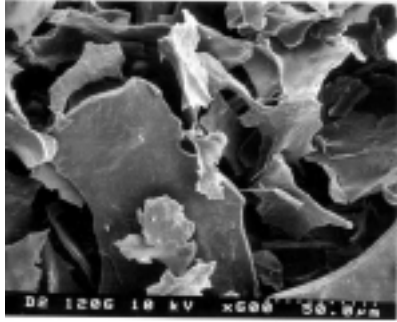
이는 동일한 점도 조건에서 고형분 함량을 높일수 있다는 것을 의미하며 곡류의 특성을 충분히 부각시킨 제품을 상품화하기에 적합한 물성으로 판단된다.



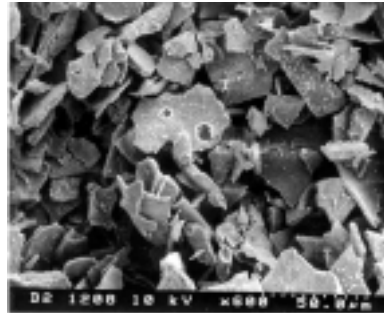
Fig. 16. Comparison of dispersion property of freeze-dried rice powder (5% w/v) gelatinized by conventional and ohmic heating.

①: conventional heating, ②: ohmic heating

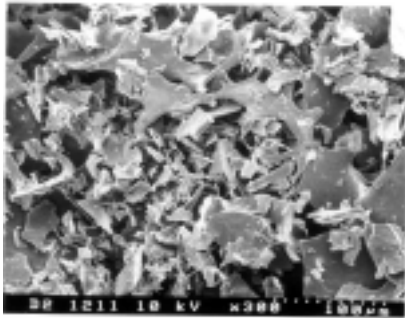




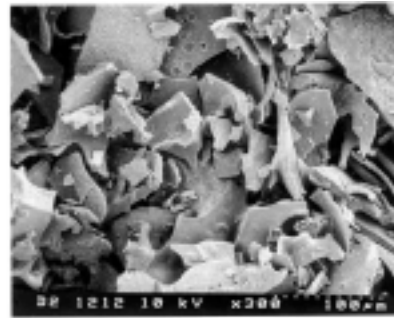
(a) conductive heating (barley)



(b) ohmic heating (barley)



(c) conductive heating (rice)



(d) ohmic heating (rice)

Fig. 17. Scanning electron micrographs of freeze-dried barley and rice powder gelatinized by conventional and ohmic heating.

Table 4. Gelatinization degree and solubility of 5% cereal powder dispersions heated by conductive and ohmic heating methods.

|            | Conductive heating |                | Ohmic heating      |                |
|------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
|            | Gelatinisation (%) | Solubility (%) | Gelatinisation (%) | Solubility (%) |
| Barley     | 69.45              | 25.32          | 73.35              | 27.10          |
| Rice       | 88.39              | 40.32          | 92.80              | 45.13          |
| Brown rice | 84.47              | 38.97          | 91.23              | 41.99          |

\* Particle size after maceration (mm) : 0.85 ~1.18

Table 5. Rheological parameters of 5% cereal powder dispersions gelatinized by conductive heating.

|            | Viscosity (cp)* | Shear stress (dyne/cm <sup>2</sup> ) | Shear rate (1/sec) | Torque (%) |
|------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------|------------|
| Barley     | 2601            | 45.37                                | 1.7                | 43.33      |
| Rice       | 5295            | 89.93                                | 1.7                | 87.80      |
| Brown rice | 3509            | 58.53                                | 1.7                | 57.47      |

\* Temperature: 10°C, rpm: 5, spindle number: 31

Table 6. Rheological parameters of 5% cereal powder dispersions gelatinized by ohmic heating.

|            | Viscosity<br>(cp)* | Shear stress<br>(dyne/cm <sup>2</sup> ) | Shear rate<br>(1/sec) | Torque<br>(%) |
|------------|--------------------|---|-----------------------|---------------|
| Barley     | 1926               | 33.27                                   | 1.7                   | 32.43         |
| Rice       | 3375               | 56.33                                   | 1.7                   | 55.77         |
| Brown rice | 2000               | 34                                      | 1.7                   | 33.23         |

\* Temperature: 10°C, rpm: 5, spindle number: 31

#### 나 변성 전분질을 이용한 제품 개발

1차년도 연구 결과를 바탕으로 음료 및 선식과 같은 저점도 제품생산의 가능성에 대해 연구하였다. Ohmic heating 으로 처리한 전분 입자는 분산성도 좋을 뿐 아니라 가열 이후에도 노화되지 않는 장점이 있기 때문에 유화제의 첨가 및 희석공정을 거치지 않고 바로 음료로 가공할 수 있다고 판단하였다.

전분 음료 base 제조를 위해 corn starch를 이용하여, 농도별로 호화액을 만들어 점도를 측정하였다. 농도는 0.1~1.0% (w/w) 이었으며, 적용대상 식품이 음료라는 점을 감안하여 전해질 (NaCl) 은 0.5%로 비교적 낮게 첨가하였다, 또한 실제로 적용할 수 있는 전분함량을 설정하기 위해 제조회사가 다른 3종의 곡류 음료를 구입하여 그 점도를 측정하였다(Table 7).

먼저 시판중인 음료의 점도는 대략 2.74~2.86 cp 로 큰 차이가 없었으며, 본 실험에서의 0.6~0.8% 전분 농도가 이와 유사한 점도값을 보였다. Ohmic heating 에 의해 이미 물에 대한 전분질의 용해도가 증가한 상태이므로 농축 과실즙 및 채소즙 등을 첨가하여 다양한 맛의 음료를 생산할 수 있으리라 판단된다.

이유식 및 죽제품 개발을 위한 prototype도 역시 음료에서와 마찬가지로 corn starch 를 이용하였다. 이유식으로 사용할 전분 농도는 4%로 하였고, 3%의 corn starch 의 점도는 182 cp(spindle: 31, temperature: 40°C, rpm: 150), 4%는 1090 cp(spindle: 31, temperature: 40°C, rpm: 50) 이었다. 온도를 60°C 정도로 조절하였는데, 이 온도 조건에서 농도를 올릴 경우 점도가 급격히 상승하여 이유식으로 적용시키기보다는 죽제품으로의 적용이 더 나을 것으로 예상된다.

Table 7. Apparent viscosity of corn starch paste heated by ohmic heating and commercial cereal beverage.

| Concentration (%) | Viscosity (cp)* |
|-------------------|-----------------|
| 0.2               | 2.37            |
| 0.4               | 2.46            |
| 0.6               | 2.58            |
| 0.8               | 2.98            |
| 1.0               | 4.39            |
| Product 1         | 2.74            |
| Product 2         | 2.83            |
| Product 3         | 2.86            |

\*Spindle number: 18, temperature: 10°C, rpm: 200

시중 레토르트 제품들로 출시되고 있는 죽제품들에는 약 15%의 고농도 찹쌀이 함유되어 있어 조리 후 점도가 급격히 증가하여 29,000 cp (spindle number : 34, temperature: 55°C, rpm: 0.5) 이상을 나타내었다. 본 실험에서 5% corn starch 용액의 점도는 42,000 cp (spindle number : 34, temperature: 60°C, rpm: 1) 이상으로 매우 높아 5% 이하의 농도에서 죽제품을 개발할 수 있으리라 판단된다.

#### 다. 변성 전분 소재를 이용한 상품 개발

Ohmic heating 에 의해 쌀과 현미를 이용한 곡류음료의 prototype을 결정하고 이를 제품화하기 위한 실험을 수행하였다. 본 실험에서는 기존의 곡류 음료에서 문제시되었던 고형분 분리 현상을 억제하며, 기존의 여러 단계를 거치지 않고도 음료를 만들 수 있는 방법을 연구하는 데에 중점을 두었다. 즉 기존의 곡류 음료에 대한 제조공정은 열수 추출 후 당분과 산미료 등을 첨가하고 자당 지방산 에스테르(sucrose fatty acid ester) 또는 글리세린 지방산 에스테르(glycerine fatty acid ester) 등의 유화제를 첨가하고 유화시켜 액상과 고형분의

분리를 막았다. 본 실험에서는 ohmic heating에 의해 분산성을 개선함으로써 기존의 음료 제조공정에서 안정제 첨가, 유화 공정을 생략하여 원가를 절감하고 품질을 향상시키는데 초점을 두었다. 살균 처리는 LTLT 법 (73.9~75℃, 15분)을 채택하였는데 그 이상의 온도에서는 액상 과당에 의한 갈색화 반응이 발생하기 때문이었다.

구연산 첨가량을 조절하여 pH가 다른 두가지 시료를 조제하였는데, 중성 시료보다 산성 시료가 살균 후 점도가 현저히 저하되었다. 또한 이 조건에서는 곡류 성분중 단백질과 산이 반응하여 침전물이 생길 우려가 있기 때문에 산성 범위에서 음료를 만드는 것은 곤란한 것으로 판단되었다. 따라서 본 실험에서는 곡류 음료 개발시 pH는 중성범위로 설정하고, 공정 scale up 및 연속 처리 장치에서도 적용이 가능한지에 대한 연구를 지속적으로 할 예정이며, 시판중인 음료보다는 고점도의 제품을 생산하여 기존 음료와는 다른 물성을 부여할 예정이다

분산성이 높은 곡물가루를 개발하기 위해서는 고형분 함량이 중요하다고 판단된다. 앞서서도 기술한 것과 같이 전분의 경우 동결 건조 후의 물성이 sponge 형태로 전환되어 분쇄가 어려웠던 점과 물에 재현탁시 용해성을 완전히 잃었던 것과는 대조적으로 곡류의 경우에는 분산성이 많이 향상된 점을 보았을 때 곡류를 이용한 죽제품 및 고분산성 선식 등으로의 제품 개발이 가능할 것으로 판단된다.

## 라. 작업 공정 scale up

### 1) 반응 고형분 증가 실험

Ohmic heating 조건이 곡류 가루 현탁액의 소화도에 미치는 영향을 검토하였다. 알곡을 분쇄한 후 소화도를 측정하여 보았다. 분쇄한 입자의 크기가 0.85~1.18 mm범위인 것을 선별하여 2시간 이상 침지하고, heating전 1시간은 교반시킨 뒤에 ohmic heating 을 실시하였는데 이는 NaCl 1%(w/v) 수용액에 곡류 입자가 충분히 전해질이 첨가된 물을 흡수하여 ohmic heating 시의 효율을 높이고자 하였다.

곡류 현탁액을 95℃까지 ohmic heating 한후 95℃에서 5분간 가열한 후 보리와 찹쌀의 소화도를 모두 비교해본 결과, 보리는 50% 이하의 소화도를 나타내어 70% 이상인 찹쌀에 비해 상대적으로 낮은 값을 나타내었다(Table 8). 이는 앞장에서 기술한 것과 같이 보리 입자의 외피가 강하게 결합되어 있어 찹쌀의 경우에 비해 상대적으로 낮게 측정되었다. 가열 속도에 따른 영향을 살펴본 결과, 소화도는 가열속도에 큰 영향을 받지 않았다.

고농도에서의 최적 heating 조건을 설정하기 위해 평균입자크기가 다른 현미와 백미가루 20% 현탁액을 65V 및 110V 전압을 걸어주어 각각 100℃까지 가열한 후 100℃를 유지하는 시간에 따른 소화도와 용해도를 측정하였다.

예측할수 있는 것과 같이 현미와 백미 가루 현탁액 모두 100℃에서의 가열시간이 길수록 소화도와 용해도가 증가하였으며, 곡류 입자의 크기가 작을수록 소화도와 용해도가 증가하는 경향을 나타내었다. 한편 전압 65V로 ohmic heating한 경우보다 110V로 급속가열 했을 때 소화도와 용해도가 약간 높았으나 가열속도에 따른 큰 차이는 없었다(Table 9,10). 현미와 백미에서 모두 용해도의 수치가 소화도보다 낮게 측정되었는데 소화도는 수용액중에 용출된 amylose의 양과 비례하며, 용해도는 수용성 당중 황산에 의해 glucose 단위까지 분해된 단당류의 총량을 측정한 것이기에 두 결과간에는 차이가 있는 것으로 보여진다. 현미에 비해 백미의 경우 모두 소화도와 용해도가 높게 측정되었는데 이는 백미에 비해 현미는 도정되지 않아 강층이 존재하기 때문이며, 이는 앞절에서 언급한 보리의 경우와 유사하게 설명할 수 있다.

현미와 백미가루를 침지했을때 수분흡수능력을 Table 11에 나타내었다. 전체적으로 현미에 비해 백미의 수분흡수량이 더 높았다. 분쇄입자의 크기는 초기 수분흡수량에 영향을 미쳐 현미의 경우 0.85~1.18 mm의 입자가 1시간동안 흡수한 수분량은 15.35%였으나 입자크기가 0.43~0.85 mm일 경우 19.50%로 높았으며, 동일 조건에서의 백미에서도 입자크기가 작은 경우에서 더 많은 양의 수분을 흡수하였다. 그러나 침지 2시간 이후에는 입자의 크기에 관계없이 수분 흡수량은 거의 동일하였다.

현미와 백미 20% 현탁액을 100℃ 까지 가열할 때 온도 증가에 따른 전기 저항 및 전기

전도도의 변화를 Fig. 18 와 Fig. 19 에 나타내었다. 전기전도도는 온도 증가와 비례해서 증가하기 때문에 지속적으로 증가하는 경향을 보이다가 80℃ 이상부터는 전기 전도도가 급감하는 것을 알 수 있는데, 이는 호화 온도 범위를 지나면서 시료가 액상에서 gel 로 빠르게 전환되기 때문이다. Fig. 18 는 65V의 완만가열시, 그리고 Fig. 19는 급속가열시의 변화인데, 후자의 경우 전기전도도의 감소율이 훨씬 커 가열초기 수준까지 감소하였다. 이는 급속 가열시 비교적 단시간에 빠르게 상전환이 일어나 gel 로 전환되기 때문에 생기는 현상이다. 일반 전도가열(conventional heating)에서는 20%(w/v) 이상의 높은 고형분에서 가열했을 경우 가열원과 인접한 부분의 시료만 과도하게 가열이 되고, 그 반대되는 곳은 전혀 가열되지 않는 반면 ohmic heating에 의해서는 비록 전기 전도도는 감소하지만, 꾸준하게 온도가 상승하는 결과를 얻을수 있었다.

Table 8. Gelatinization degree of barley and waxy rice heated at different voltage.

| Holding time<br>(min) | Barley* |       | Waxy rice |       |
|-----------------------|---------|-------|-----------|-------|
|                       | 65V     | 110V  | 65V       | 110V  |
| 2                     | 36.10   | 41.28 | 66.74     | 62.69 |
| 3                     | 37.63   | 42.34 | 69.43     | 67.43 |
| 4                     | 43.55   | 43.36 | 71.25     | 68.88 |
| 5                     | 44.26   | 44.85 | 73.05     | 70.84 |

\*particle size: 0.85-1.18mm

Table 9. Gelatinization degree and solubility of brown rice heated to 100°C on different holding time.

| Holding time (min) | 0.43 - 0.85 <sup>1)</sup> |                |         |                | 0.85 - 1.18 |                |         |                |
|--------------------|---------------------------|----------------|---------|----------------|-------------|----------------|---------|----------------|
|                    | 65V <sup>2)</sup>         |                | 110V    |                | 65V         |                | 110V    |                |
|                    | G.D <sup>3)</sup> (%)     | Solubility (%) | G.D (%) | Solubility (%) | G.D (%)     | Solubility (%) | G.D (%) | Solubility (%) |
| 2                  | 61.41                     | 34.48          | 62.01   | 34.32          | 53.12       | 28.82          | 53.30   | 28.58          |
| 3                  | 61.90                     | 35.35          | 64.21   | 36.34          | 55.88       | 30.27          | 55.14   | 29.35          |
| 4                  | 63.84                     | 36.11          | 65.72   | 39.56          | 57.42       | 30.37          | 57.81   | 30.59          |
| 5                  | 70.13                     | 41.08          | 72.00   | 42.55          | 58.72       | 31.54          | 58.01   | 31.46          |

<sup>1)</sup> Particle size after maceration (mm), <sup>2)</sup> Applied voltage, <sup>3)</sup> G.D. : Gelatinization degree

Table 10. Gelatinization degree and solubility of milled rice heated to 100°C on different holding time.

| Holding time (min) | 0.43 - 0.85 <sup>1)</sup> |                |         |                | 0.85 - 1.18 |                |         |                |
|--------------------|---------------------------|----------------|---------|----------------|-------------|----------------|---------|----------------|
|                    | 65V <sup>2)</sup>         |                | 110V    |                | 65V         |                | 110V    |                |
|                    | G.D <sup>3)</sup> (%)     | Solubility (%) | G.D (%) | Solubility (%) | G.D (%)     | Solubility (%) | G.D (%) | Solubility (%) |
| 2                  | 61.85                     | 35.99          | 62.58   | 35.85          | 55.52       | 31.44          | 53.97   | 30.24          |
| 3                  | 69.90                     | 39.26          | 64.38   | 37.38          | 58.51       | 31.70          | 58.63   | 31.97          |
| 4                  | 72.12                     | 39.82          | 69.27   | 38.20          | 59.21       | 33.39          | 62.46   | 34.11          |
| 5                  | 74.11                     | 41.37          | 71.07   | 39.83          | 63.29       | 34.87          | 62.66   | 36.78          |

<sup>1)</sup> Particle size after maceration (mm), <sup>2)</sup> Applied voltage, <sup>3)</sup> G.D. : Gelatinization degree



Table 11. Water absorption of macerated brown rice and milled rice during steeping in water at room temperature.

| Steeping<br>(hour) | Brown rice (%)          |           | Milled rice (%) |           |
|--------------------|-------------------------|-----------|-----------------|-----------|
|                    | 0.43~0.85 <sup>1)</sup> | 0.85~1.18 | 0.43~0.85       | 0.85~1.18 |
| 0 <sup>2)</sup>    | 8.24                    | 7.74      | 10.39           | 9.79      |
| 1                  | 19.50                   | 15.35     | 20.53           | 19.20     |
| 2                  | 21.99                   | 20.16     | 20.97           | 20.55     |
| 3                  | 22.93                   | 21.05     | 22.53           | 21.40     |
| 4                  | 23.25                   | 23.10     | 22.70           | 22.30     |
| 5                  | 23.34                   | 23.14     | 24.09           | 23.34     |

<sup>1)</sup> Particle size after maceration, <sup>2)</sup> 0 hour means the water contents for origin cereal

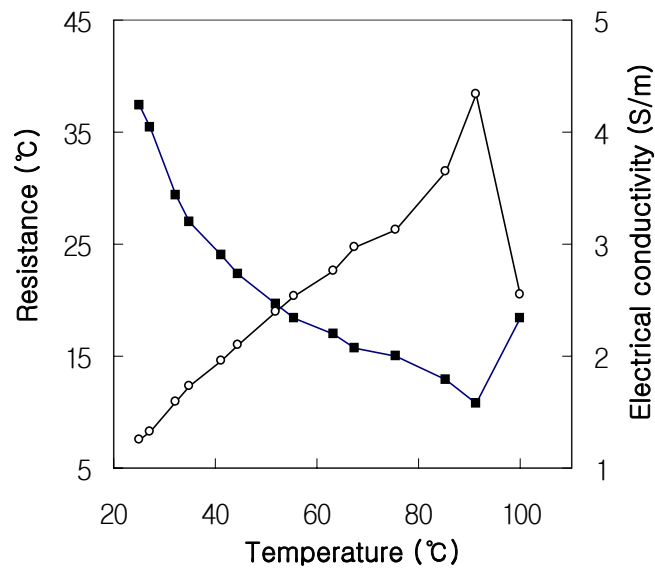


Fig. 18. Changes in resistance and electrical conductivity of macerated brown rice during ohmic heating at 65V.

■: resistance (Ω), ○: electrical conductivity (S/m)

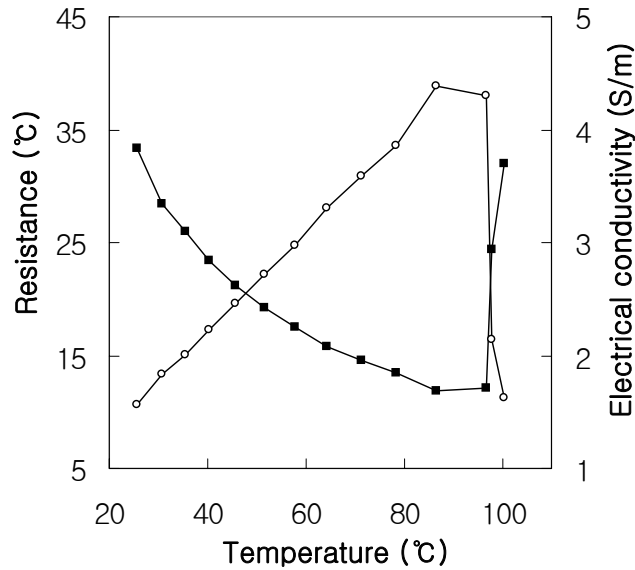


Fig. 19. Changes in electrical resistance and conductivity of macerated rice during ohmic heating at 110V.

■ : resistance (Ω), ○ : electrical conductivity (S/m)

2) 반응조 scale up

현재까지의 결과를 토대로 20L 용량까지 수용할수 있는 ohmic heating 장치를 고안하였다. 반응장치는 50A 까지 공급할 수 있는 전원공급장치에 TPR을 부착하였으며, 과전류의 흐름을 막기 위해 누전차단기를 부착하였다. 시료는 백미와 현미의 비율을 각각 3:2 로 하였으며 고형분 농도는 1%, 2%, 3% (w/v) 으로 설정하였는데, 이는 향후 있을 음료제품 개발과 관련된 연구를 병행하기 위함이었다. 가열 온도는 95~99°C 로 하였고, 최종가열온도에서의 유지시간은 5분이었다. 전해질은 기존 ohmic heating에서 사용한 NaCl을 사용하였으며 첨가량은 1% (w/w)에서 0.4% (w/w) 로 낮추었는데, 이는 2L 용량에서의 NaCl 1%를 첨가한후 전압을 올린 결과, 전류의 흐름이 급격히 증가하여 전원공급이 자동적으로 중단되었기 때문이다

Table 12에서 보는 바와 같이 scale up 한 가열 용기에서 현미와 백미 혼합물을 ohmic heating 처리한 호화도와 용해도를 측정하였다. 소형 가열 용기에서는 5% 이하의 비교적 낮은 고형분 농도에서 아래와 같은 조건으로 ohmic heating 했을 때 90% 이상의 높은 호화도

를 나타내었다. 그러나 20L의 가열 용기로 가열했을 경우에는 호화도와 용해도가 낮았다.

Table 12. Comparison of gelatinization degree and solubility of rice and brown rice mixtures in different concentration.

| Concentration<br>(w/v) | Heating rates<br>(°C/min) | Gelatinization<br>(%) | Solubility<br>(%) |
|------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1                      | 14.58                     | 78.41                 | 36.57             |
| 2                      | 13.68                     | 75.20                 | 33.60             |
| 3                      | 13.82                     | 73.48                 | 28.01             |

전기 전도도는 식 (1)에서 나타낸 것과 같이 면적과 저항에 반비례하고 전극간의 거리에 비례하므로, 식품과 접하는 전극표면적이 크면 전기 전도도가 낮아지게 되고 그 결과 원활한 전류 흐름에 방해가 주게 된다. 본 가열 장치는 많은 양의 제품을 가열해야 하기 때문에 pipe type 의 jar를 적용시킬 수는 없으므로, 높은 단면적의 전극이 갖는 문제를 극복하기 위해서는 전압 및 전극간의 거리를 적절하게 조정해야 했다. 특히 전극간의 거리 역시 지나치게 길어질 경우 제품의 교반이 원활이 이루어지지 않아 발열이 한쪽에서만 치우칠수 있기 때문에 주의하여야 하며, 전극간의 거리를 필요 이상 좁게 할 경우에는 저항값이 너무 낮아져 전류량은 임계점까지 필요 이상 증가하여 아크가 발생한다는 보고가 있다.

그러므로 본 실험을 통해 전극간의 거리 역시 ohmic heating의 효율을 결정하는데 변수로 작용한다는 사실을 확인할수 있었다.

$$\sigma = \frac{L}{AR}, \quad R = \frac{V}{I} \text{-----} \quad (1)$$

$\sigma$ : electrical conductivity (S/m), L: the distance between electrodes (m)

A: the area of the electrodes (m<sup>2</sup>)

R: resistance ( $\Omega$ ), V: voltage (V), I: current (A)

### 3) 제품화 공정 확립

본 연구에서는 곡류 가루를 ohmic heating 후 선식등과 분말제품에 적용시키기 위해 건조 후 분쇄하여 분말화 하려 하였다. 먼저 동결 건조는 선반온도 20℃, 진공도 7 torr, cold trap -45℃에서 이틀간 건조하였다. 동결건조후 물에 용해 시켰을 때 물과의 접촉 표면적을 증가시켜 분산성을 향상시키기 위하여 0.43mm 이하로 분쇄하였다. 전분을 ohmic heating 한 같은 제품의 경우에는 앞절에서 언급한 것과 같이 분쇄 되지 않는 단점을 보였지만, 곡류인 경우에는 분쇄가 용이한 것이 확인되었다. 건조 분말화 하기 위해서는 ohmic heating 할때 가능한 고형분 함량이 높은 것이 유리하다. Ohmic heating시 곡류 현탁액의 고형분 함량이 높아질수록 호화도는 감소하게 되는데 30% 이상의 비교적 높은 농도의 곡류 현탁액을 ohmic heating 한후 동결건조하여 물에서의 분산성을 확인한 결과 분산성이 거의 없었다.

Ohmic heating 방법이 가열처리한 전도 가열과 비교하여 가열특성이 좋기는 하나, 고형분 함량이 높을수록 호화에 필요한 수분이 부족하여 호화에 한계가 있기 때문에 동결건조후의 분산성이 크게 개선되지 않는다. 그러므로 적정 고형분을 찾아야 할 것으로 판단되며, 본 실험에서는 20%(w/v) 미만의 고형분 농도로 가열처리하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

지금까지의 실험결과를 종합해 보았을 때 고형분의 함량만 적절히 조절하면 곡류 현탁액을 ohmic heating 한 후 동결건조하고 분쇄하여 분말화하는데 문제가 없을 것으로 생각되었다. 단 분말 상태 후 물에 용해시켰을 때 가장 용해가 잘 되는 최적 조건의 농도는 각 곡류마다 달라질 것으로 예상하므로 실험을 통해 최적 농도를 결정하고 각 제품들에 맞는 prototype을 결정해야 할 것이다.

#### 마. 연속처리 장치 개발

Fig. 11 과 같은 형태로 연속장치를 제작한 후 식염수를 이용하여 가열해 보았다. 전해질 함량이 0.5% 일 경우에는 전류값이 3A 정도밖에 되지 않아 제대로 가열이 이루어지지 않았으나 1%에서 가열한 결과, 90℃ 이상으로 가열됨을 확인할 수 있었으며, 3차년도에 본격적으로 연구할 예정이다.

## 제 3 절 3차년도 연구개발수행 내용 및 결과

### 1. 3차년도 연구 수행 내용

#### 가. 변성 공정 manual 작성

- 1) 전분 현탁액 변성 공정 manual
- 2) 전분 소재 변성 manual

#### 나. 변성 전분 및 전분 소재 상품화

- 1) scale up에 의한 대량 생산 공정 확립
- 2) 2차 처리 생산 공정 확립 : 고분산성 전분, 수분보유능 향상 곡류 및 곡류분 생산

#### 다. 변성 전분 이용 제품 상품화

- 1) 음료 제품 상품화
- 2) 죽 제품 : 각종 곡류 죽 제품
- 3) 이유식 제품 , 곡류 분말 제품
- 4) 선식형 고상 제품

#### 라. 대량 생산 체제 확립

### 2. 연구 수행 방법

#### 가. 변성 공정 manual 작성

전분 현탁액 변성 공정 manual을 작성하기 위하여 옥수수, 감자, 타피오카 전분을 50~95V 범위에서 여러가지 다른 전압을 가하여 가열속도를 변화 시키면서 97~99℃의 범위로 승온시켰으며 최종온도에서 별도의 유지시간을 두지 않았다. 총당은 Phenol-sulfuric acid 법을 이용하였으며 환원당은 Nelson-Somogyi 법으로 정량하였으며 환원당 정량에 필요한 표준곡선은 Fig 20과 같다.

본 연구의 2차년도 연구결과에 대한 보완요구사항에 따라 효소를 이용한 전분 분해 정도를 측정하였다. 효소의 분해 정도는 위와 동일한 방법으로 환원당을 분석하였으며, 전분분해에는 내열성  $\alpha$ -amylase인 Termamyl 120L (Type LS 120 KNU/g)을 사용하였다. 3% (w/v) 옥수수 전분을 ohmic heating 시키고 95℃가 되었을때 Termamyl 24 KNU/g을 가하고, 9

5~99℃ 온도에서 5분간 유지시켜 효소에 의해 가수분해 시킨 후 효소의 활성을 억제시키기 위해 pH 4.0, 온도는 25℃까지 낮춘후 환원당 분석하였다. 이와 동일한 조건으로 Fig 21과 같은 장치에서 재래가열하여 최종 환원당 정량을 통해 가열방법간의 차이를 비교하였다.

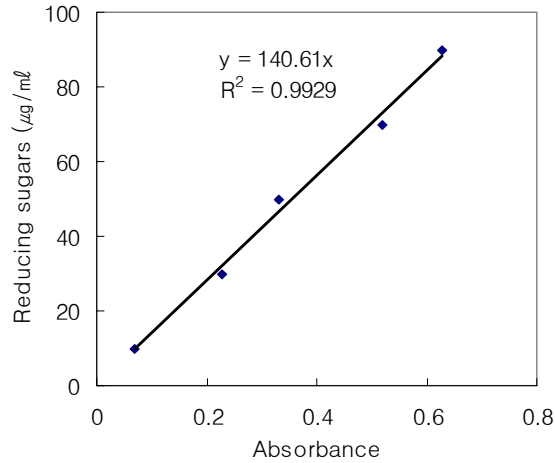


Fig. 20. Standard curves for reducing sugars by Nelson-Somogyi methods.

#### 나. 변성 전분 및 전분 소재 상품화

2차년도에서 사용하였던 scale-up 장치를 이용하여 동일 시료들을 가열처리하였고, 시중 유통중인 음료 제품과 비교하여 물성을 확인하였다. 또한 ohmic heating 후 2차 처리 공정을 확립하기 위해 고분산성 전분, 수분보유능 향상 곡류 및 곡류분 생산을 다음 “다”항에 기술하는 동일한 방법으로 수행하였다.

#### 다. 변성전분 이용 제품 개발

##### 1) 음료 제품

음료 제품 개발을 위해 쌀을 이용하여 최적의 분산성을 나타낼수 있는 농도를 설정하였다. 1~4% (w/v)의 쌀가루 현탁액을 서로 다른 속도로 ohmic heating 한 후 분산성을 향상시킬수 있는 조건을 연구하였다. 가열은 97~99℃까지 가열하였고, 가열 최종 온도에서 2분간 유지시켜 호화도를 증가시켰다. 본 ohmic heating 방법과 동일한 조건으로 재래방법에 의해 가열처리 하여 호화도를 비교하였다.

## 2) 죽 제품 : 각종 곡류 죽 제품

10% (w/v) 고형분의 쌀을 이용하여 죽제품 개발과 관련된 연구를 수행하였다. 분쇄입자의 크기는 0.43 ~0.85 mm이었으며, 10%의 고형분의 쌀을 99℃ 까지 가열한후 최종 가열 온도에서 5분간 유지시킨 후 용해도를 정량하였다. 또한 재래방법으로 가열처리한 시료와 ohmic heating한 시료의 물성차이를 측정하였다. 본 연구는 rheometer (Carri-Med-CSL100, TA Instruments Ltd., Surrey, England)를 이용하여 측정하였다. 40℃의 온도에서 steel cone (4 cm, 2°) and plate를 사용하여 shear rate 1~900 (1/s) 범위에서 shear stress, shear rate, apparent viscosity를 측정하였다.

## 3) 이유식 제품 , 곡류 분말 제품 및 선식형 고상 제품

곡류 분말 제품 및 선식형 고상제품등과 같은 비교적 점도가 높은 제품의 개발은 2)항 죽 제품 개발시 수행했던 동일한 원료와 고형분 함량 (10%, w/v)을 기본으로 수행하였다. 먼저 쌀가루 호화액을 죽제품 개발과 동일한 과정과 조건으로 가열처리한 후, 20 torr , -45℃ 조건에서 이틀간 동결건조 처리후 0.43 mm 이하의 크기로 곱게 마쇄시킨 뒤 선식등과 같은 고상제품개발을 위한 연구를 시료로 사용하였다.

최적의 겔 형성 농도를 설정하기 위해 Madcalf 와 Gilles 의 방법을 변형하여 수분흡수능력(WHC, Water Holding Capacity)을 분석하였다. 1ml의 증류수를 30 mg의 동결건조시킨 시료에 첨가한 후 상온에서 1시간 교반한 후 8,000 rpm에서 20분간 원심분리 하고, 원심분리 tube를 1분간 뒤집어 상등액을 제거한 다음 식에 의하여 water holding capacity를 측정하였다.

Increased water content

$$\text{Water holding capacity(\%)} = \frac{\text{Increased water content}}{\text{Weight of powder}} \times 100$$

## 4) 대량 생산체제 확립

Weight of powder

2차연도에서 고안한 장치를 이용하여 연속식 ohmic 장치를 개발하였으며, 2% (w/v) 전분 용액을 ohmic heating하였다. Batch 방식의 ohmic heating 과는 달리 일정한 전압으로 가열한 것이 아니라, 시료 주입 단계에서는 50V의 비교적 낮은 전압을 걸어주고, ohmic heating jar 안으로 일정량의 시료가 유입되면 100V 이상의 전압을 걸어주었다. 승압시에는 전류값 (current, A)이 15A 이하가 되도록 조절하였다. 감자전분 2% (w/v) 용액을 5L 정도 만든뒤, 14.0 ℃/min 의 속도로 가열하였으며 최종온도는 95℃로 하였다. 이후 가열된 감자전분 호화액은 호화도 분석에 이용하였으며, 비교할수 있는 대조군은 기존 ohmic heating 장치로 제조하였으며 이때의 분석조건은 연속장치에 사용했을 경우와 동일하였다.

### 3. 연구 수행 결과

#### 가. 변성공정 manual 작성

##### 1) 전분 현탁액 변성공정

3종의 전분들을 대상으로 ohmic heating한 호화액과 재래 방법으로 가열한 시료의 특성을 비교하였다. 또한 가열속도에 따른 특성의 변화여부를 알아볼 목적으로 가열후 최종 온도에서의 유지시간을 두지 않았다. 또한 1차년도 연구에서는 재래 방법으로 가열한 시료와 ohmic heating으로 처리한 시료의 비교가 이루어지지 않아 당해연도에서 이와 관련한 연구를 수행하였다

3종류의 전분을 ohmic heating 및 conventional heating 으로 가열처리한 후 총당량을 Fig. 21.에서 비교하였다. 재래 방법으로 가열한 시료에 비해 ohmic heating한 시료의 용출된 총당량이 높았다. 감자전분과 타피오카 전분의 총당량은 20% 이상의 수치를 나타낸 반면 옥수수 전분의 경우에는 5% 이하로 비교적 낮았는데 이는 옥수수 전분의 팽윤력이 감자 전분에 비해 낮아 흡수할수 있는 수분량이 제한되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 용해도 값이 전반적으로 낮은 이유는 위에서도 언급한 것과 같이 호화시키는데 충분한 시간을 두지 않았기 때문이다.

3종의 전분을 서로 다른 가열 속도로 처리했을시의 총당 분석 결과를 Fig. 22에 나타내었다. 본 실험에 사용한 전분 모두 80V까지는 총당량이 감소하였으나 95V 부터는 소폭 상승하는 현상을 확인할수 있었다. 그리고 옥수수 전분의 경우 전압에 따라 총당의 차이가 거의 없었다.

총당 분석과 아울러 3종류의 전분 호화액의 환원당 분석 결과를 Fig. 23에 나타내었다. 감자전분의 환원당 함량이 높은 값을 나타냈는데, 이는 전분 입자의 크기가 15~100  $\mu\text{m}$ 로 옥수수 전분에 비해 크고 근경전분으로 조직이 단단하지 않기 때문에 외부 열에 민감하며 가열중 쉽게 물을 흡수하여 환원당 함량이 높아진 것으로 생각된다. 이 경우에서도 50~80V까지는 전반적으로 가해진 전압이 높아짐에 따라 환원당량이 낮아졌지만, 95V 에서는 환원당량이 소폭 상승한 것을 확인하여, 총당 정량에서와 마찬가지로 ohmic heating의 급속가열에 의해 전분의 가열 특성을 높일 수 있었다.



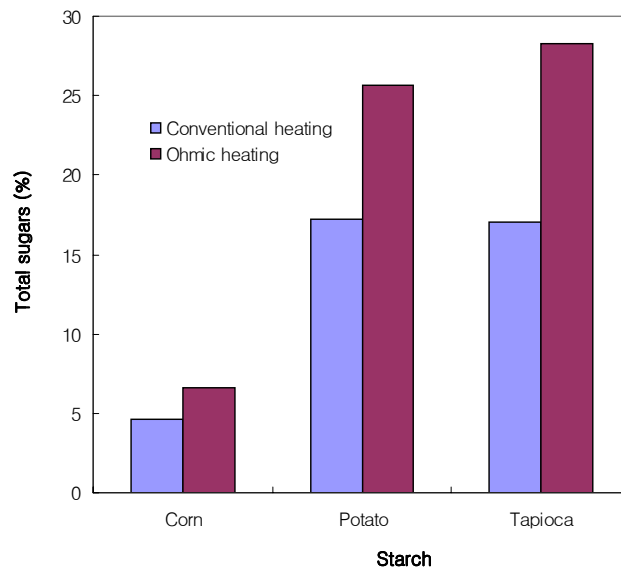


Fig. 21. Total sugar content of gelatinized different starches by conventional and ohmic heating.

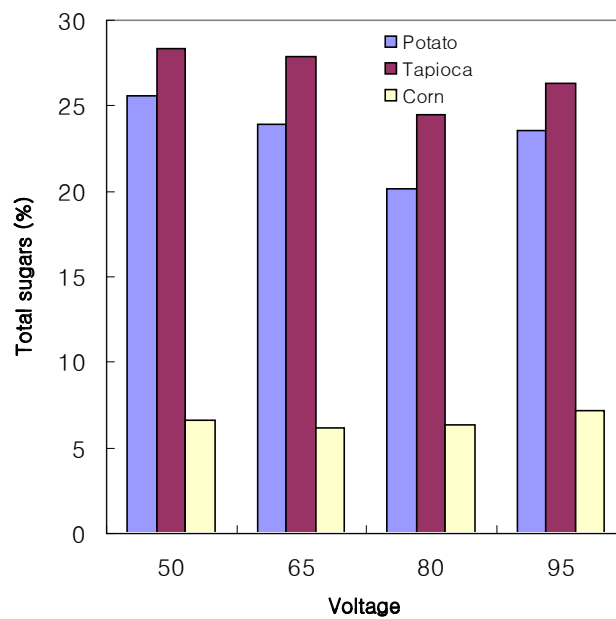


Fig. 22. Total sugar content of gelatinized starches by ohmic heating at different voltage.

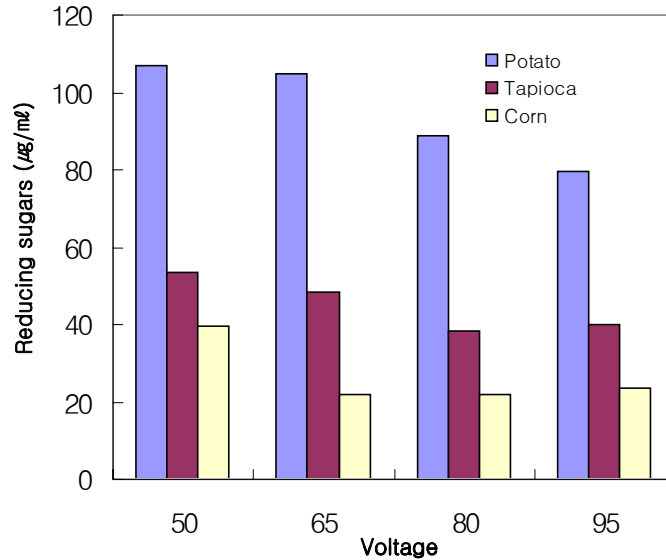


Fig. 23. Reducing sugar contents of gelatinized starches by ohmic heating at different voltage.

## 2) 전분소재의 변성 공정

옥수수, 감자, 타피오카 전분을 95℃까지 ohmic heating 한후 Termamyl 을 첨가하여 5분간 가수분해한 뒤 환원당을 정량하여 효소에 의한 전분의 가수분해 정도를 확인하였으며, 이와 동일한 조건에서 재래방법으로 처리 후 가열방법간 가수분해의 정도를 비교하였다.

Fig. 24.은 최종온도까지 가열할 때 에너지 소비량과 최종온도에서 5분간 유지했을시의 에너지 소비량을 나타내었다. 가열 속도가 느린 경우 95℃까지 증가하는데 긴 시간이 소요되므로 에너지 소비가 상대적으로 큰 반면에 가열속도가 빨라짐에 따라 가열시간의 단축으로 서서히 에너지 소비량이 감소되는 것을 알 수 있었다. 이와 달리 최종 온도에서 5분간 유지시킬때의 에너지 변화는 가열속도가 증가할수록 오히려 많은 양의 에너지가 가해진 것을 알 수 있었는데, 이는 급속가열시 가해진 에너지에 의해 온도까지는 올라갔지만, 동일 온도에서 5분간 유지시키기에는 부족하였기 때문에 완만가열의 경우보다 더 높은 에너지를 요구하였다.

가열속도를 달리하여 ohmic heating 했을시와 재래가열시 전분의 가수분해정도를 Fig. 25.에 나타내었다. Termamyl을 첨가하지 않았을때는 ohmic heating한 시료군이 재래가열 것에 비해 환원당량이 높았으나 효소를 첨가한 경우는 거의 비슷하거나, 급속가열시에는 오히려

재래방법으로 가열한 시료군에 비해 낮은 분해정도를 확인할수 있었다. 이는 전기장 처리에 의해 오히려 효소의 활성이 손실된 것으로 판단되며, 특히 급속가열에서는 활성의 손실이 큰 것으로 보인다.

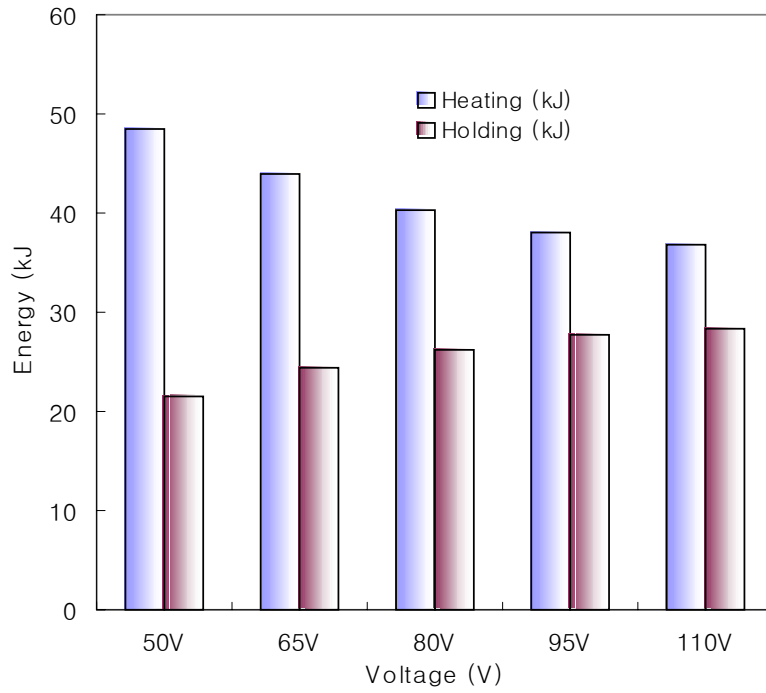


Fig. 24. Comparison of applied energy in different heating rate by ohmic heating.

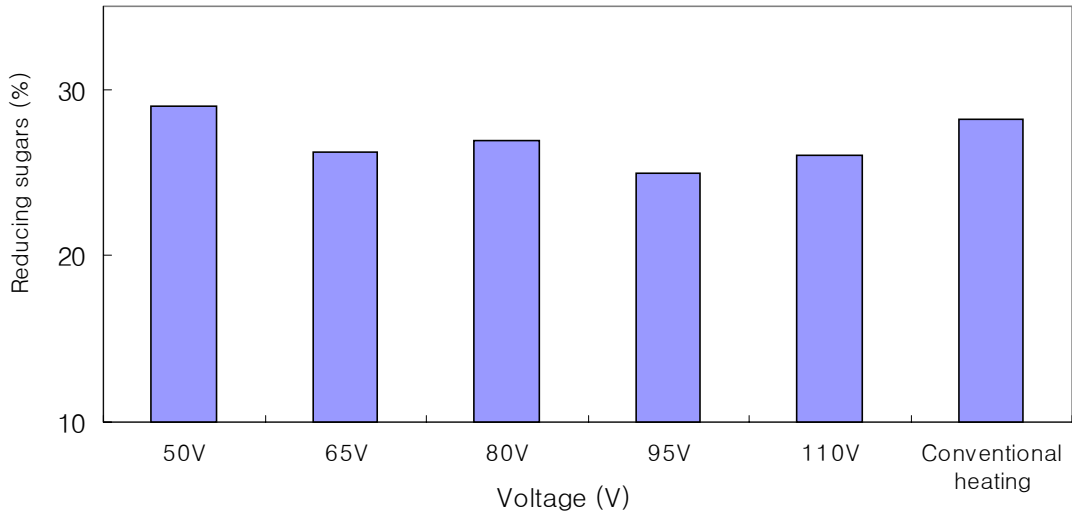


Fig. 25. Reducing sugars of corn starch (3%, w/v) heated at different voltage.

#### 나. 변성 전분 및 전분 소재 상품화

2차년도에서는 쌀과 현미를 혼합하여 ohmic heating 시킬때 가열특성을 연구하였으며, 3차년도에서는 물성을 확인하여 시중 유통중인 제품들과 비교하여 보았으며, 음료의 맛을 부여할수 있는 연구를 아울러 수행하였다. 쌀과 현미를 혼합한 이유는 한가지만으로는 맛에 대한 기호도를 증가시키기 어렵다고 판단하였기 때문이었다.

음료 제품을 맛을 부여하기 위해 액상과당, maltodextrin, 구연산을 주로 이용하였다. 본 연구에서는 2차년도에서와는 달리 ohmic heating 전 조미액을 별도로 제조한 뒤 이를 살균한 후, 이를 ohmic heating한 호화액에 첨가하는 공정을 채택하였다. 이는 ohmic heating시 95℃이상의 고온으로 가열이 되기 때문에 추가적으로 살균공정 필요없기 때문이며, 호화액의 제조와 살균공정에서 두 차례 열이 가해질 경우 품질저하를 유발시킬수 있을 것으로 생각했기 때문이었다. 음료 제조를 위해 과당시럽(20%), maltodextrin(15%), 미숫가루(10%)의 혼합액을 ohmic heating 한 백미-현미 호화액에 첨가하였다. 액상과당을 20% 이상 첨가했을 경우 곡류의 맛보다 과당의 단맛이 훨씬 강하게 느껴졌기 때문에 20%로 설정하였다. 또한 미숫가루를 첨가함으로써 곡류의 맛을 더 잘 느낄수 있도록 하였으며, 색상에서의 기호도를 높일수 있도록 하였다. 결과적으로 미숫가루를 첨가시킴으로써 곡류 음료의 맛을 한층 높일수 있었으나 하루 정도 정치시키면 침강되는 것을 확인할 수 있었다. Table 13는 현미-백미 혼합액을 ohmic heating 한 후 호화액의 점도를 비교한 것으로, 현재 시판중인 곡류 음료와

비교했을 때 적합한 농도는 1%정도이나 분산성이 낮았으며, 곡류의 맛을 부여하기에 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 따라서 ohmic heating에 의한 음료 개발에서는 고분산성의 음료를 개발하는 것으로 기존 음료보다는 점성이 높은 음료가 될 것으로 전망한다.

Table 13. Apparent viscosity of brown rice-milled rice mixture gelatinized by ohmic heating.

| Concentration | Apparent viscosity (cp) |
|---------------|-------------------------|
| 1%            | 2.35                    |
| 2%            | 5.47                    |
| 3%            | 10.70                   |

\* Experiment condition : Spindle number : 18, rpm : 250

#### 다. 변성전분 이용 제품 상품화

##### 1) 음료 제품

백미와 현미의 혼합물을 이용한 음료개발시 문제가 되었던 분산성을 향상시키기 위해 백미만을 이용하여 분산성을 높일수 있는 임계 고형분 농도를 설정하였고, 가열속도에 의한 분산성의 변화를 연구하였다.

백미가루 현탁액 1~4%을 ohmic heating 및 재래방법으로 가열후 호화도를 비교하였다 (Fig. 26). 모든 경우 ohmic heating한 쌀 호화액의 호화도가 높았는데, 이는 2차연도에서의 연구결과와도 동일한 결과로 ohmic heating에 의한 내부 저항 가열이 가열특성을 향상시킬 수 있음을 다시 한번 확인할 수 있었다.

쌀가루 현탁액 (1~4%, w/v)을 ohmic heating 한 후 하루 방치하여 분산성을 측정하였다 (Fig. 27). 결과적으로 4%의 농도에서 54.80 °C/min 의 속도로 가열했을시 분산성이 크게 향상하였음을 알 수 있었다. 급속가열에 의해 입자들의 수분흡습능력이 향상되었기 때문이다. 1~3% 농도에서는 재래 방법으로 가열한 시료군과 큰 차이점을 발견하지 못했으나, 4%의 농도에서는 분산성이 현저히 향상되었다. 따라서 이 농도가 ohmic heating 후 높은 분산성을 나타낼 수 있는 임계 고형분 농도임을 알 수 있었다.

백미 현탁액(4%)의 가열속도에 따른 분산성의 차이를 Fig. 28.에 비교하였고, Fig. 29.에서

는 가열속도별로 시간당 온도 변화를 나타내었다. 16.9℃/min의 재래 가열정도의 속도로 ohmic heating 하였을시 분산성은 좋지 못했던 반면, 54.8 ℃/min 이상으로 급속가열시킨 결과 우수한 분산성을 나타내었다.

4% 정도의 비교적 낮은 농도에서 분산성을 향상시킬 수 있는 것은 재래가열 방법으로는 곤란한 것으로, 현미와 백미 혼합에 의한 음료 제품 제조에서 문제되었던 분산성을 해결할 수 있었다. 따라서 ohmic heating 에 의해 음료를 제조할 경우 기존 음료제조 공정에서 유화 및 여과 살균 공정등을 생략함으로써 생산공정의 간소화를 통한 원가 절감 및 품질 관리에도 유용할 것으로 예상된다.

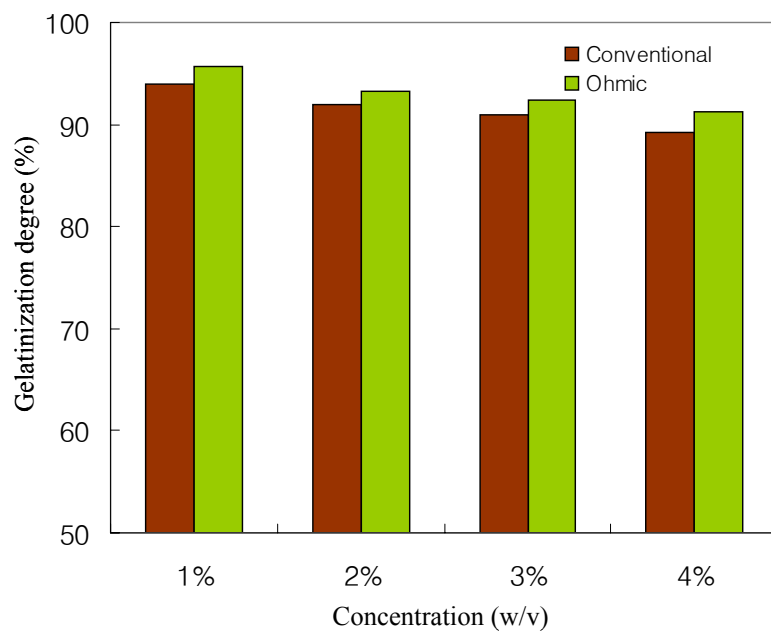


Fig. 26. Gelatinization degree of milled rice dispersion heated by conventional and ohmic heating methods.

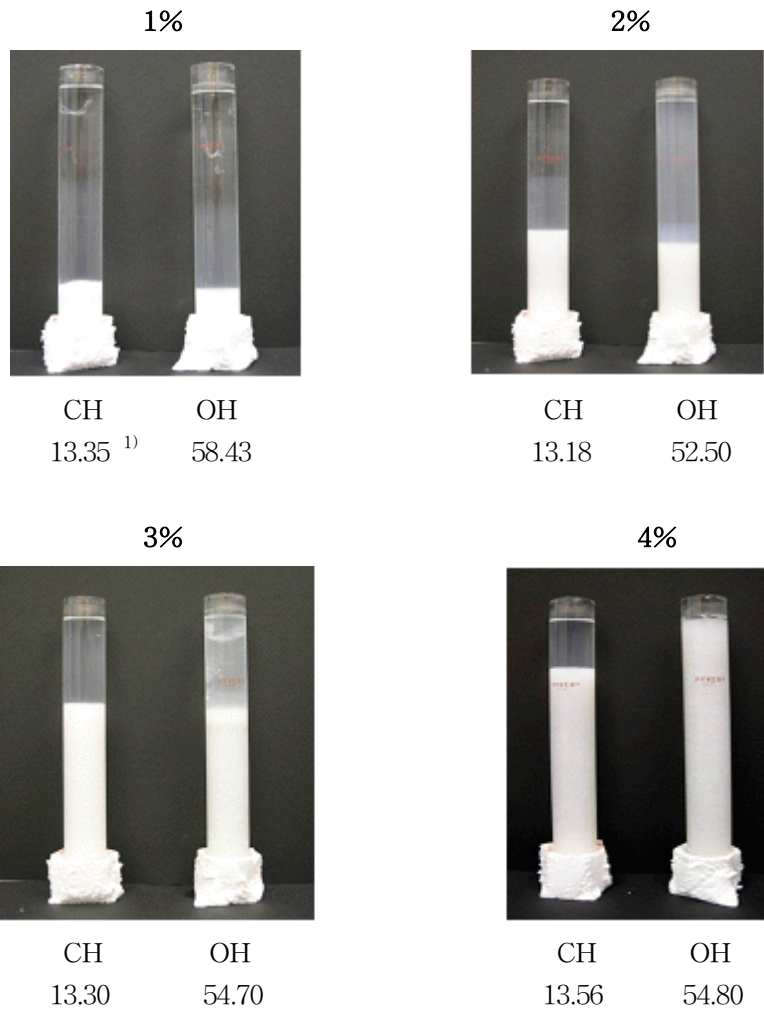


Fig. 27. Dispersion of behavior of gelatinized rice suspension heated by conventional and ohmic heating methods.

CH : Conventional heating, OH : Ohmic heating

<sup>1)</sup>Heating rates per minutes (°C/min)



|        |        |        |
|--------|--------|--------|
| 60V    | 90V    | 110V   |
| 16.85  | 54.8   | 80.02  |
| °C/min | °C/min | °C/min |

Fig. 28. Effect of heating rates of gelatinized milled rice on dispersion behavior.

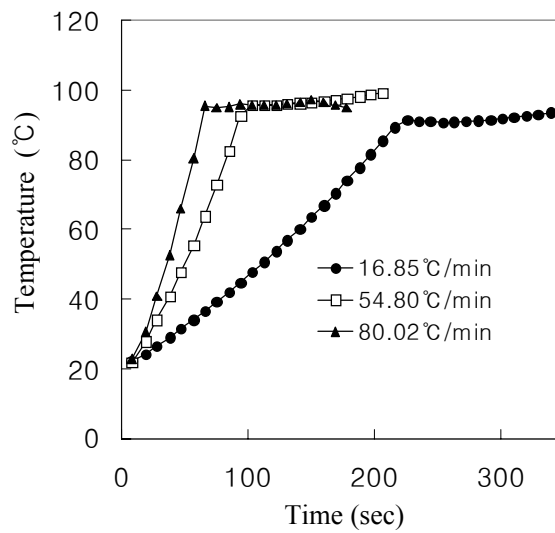


Fig. 29. Temperature profiles of 4%(w/v) milled rice dispersion during ohmic heating.



## 2) 죽 제품

음료 제품 개발 연구와 더불어 죽제품 개발을 위해, 백미 농도는 10% (w/v)를 설정하였다. 현재 시판중인 죽제품에는 10% 이상의 찹쌀이 함유되어 있어 고점도를 나타내기 때문에 제품 가공이나 저장시 불편함이 예상된다. 본 연구에서는 ohmic heating 으로 죽제품을 개발할 경우 재래 방법으로 만든 것과 물성을 비교하였다.

백미 10% 현탁액을 여러 가지 가열속도로 가열한 후 호화액의 용해도를 측정하였다(Fig. 30). Ohmic heating 에 의한 4가지 가열속도로 가열한 시료군 모두 재래 방법으로 가열한 시료에 비해 용해도가 높았으며, 지금까지의 연구한 결과와 일치하였다. 완만가열시킨 것과 급속가열 시킨 시료간의 용해도 차이는 보이지 않았는데, 이는 고형분 함량이 음료제품개발의 경우보다 2.5 배 높아졌기 때문이다. 즉, 고형분이 저농도인 경우에는 호화반응이 진행할 수 있는 수분이 충분히 존재하는 반면, 농도가 높아질수록 호화에 필요한 수분의 양이 상대적으로 감소하므로, 동일 에너지를 가했지만 호화반응이 더디게 진행된 것으로 생각된다. 고형분 함량이 20% 이상으로 높아진 경우에서도 용해도가 가열속도에 큰 영향을 받지 않은 것은 이와 같은 이유 때문인 것으로 추측할 수 있다.

음 가열한 10% 쌀 현탁액을 가열 5일간 저장하면서 물성 변화를 Fig. 31과 32에 나타내었다. 전단속도가 증가함에 따라 점도가 감소하여 10% 쌀 호화액은 pseudoplastic fluid 임을 확인하였다.

Table 4~6에서 나타낸 것과 같이 재래 방법으로 가열한 시료들은 ohmic heating한 시료군에 비해 겉보기 점도가 높았다. 5% 이상의 고형분에서 이와 같은 현상을 나타내었다.

쌀 호화액 제조후 10일간 저장시 물성측정값은 Table 14과 같다. 점조도 지수 값의 변화를 살펴본 결과, ohmic heating 에 의해 가열속도를 달리하였을 경우에는 큰 차이가 없었지만, 재래 방법으로 가열된 호화액과는 많은 차이를 보였다.

이상의 결과를 놓고 볼때 재래방법으로 가열한 시료보다 ohmic heating 으로 처리한 시료의 점도가 낮고, 저장중 점도변화가 적다는 점은 산업적으로 매우 유리한 장점이다. 특히 동일 점도를 기준으로 고형분 함량을 결정한다고 할 경우 고형분을 증가시켜 죽제품의 영양성분을 증가시킬수 있을 것으로 기대된다.

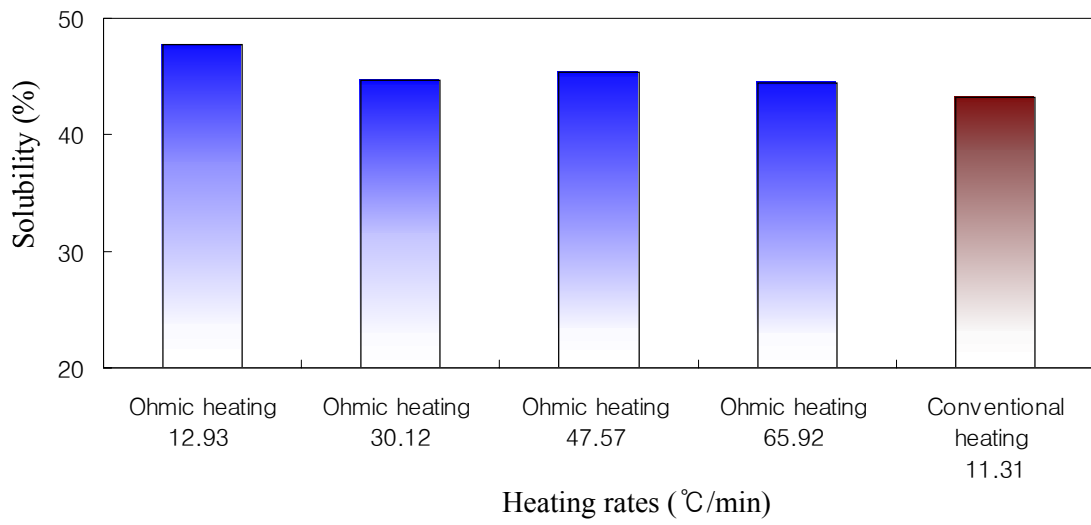


Fig. 30. Effect of heating rates on the solubility of gelatinized milled rice paste(10%).

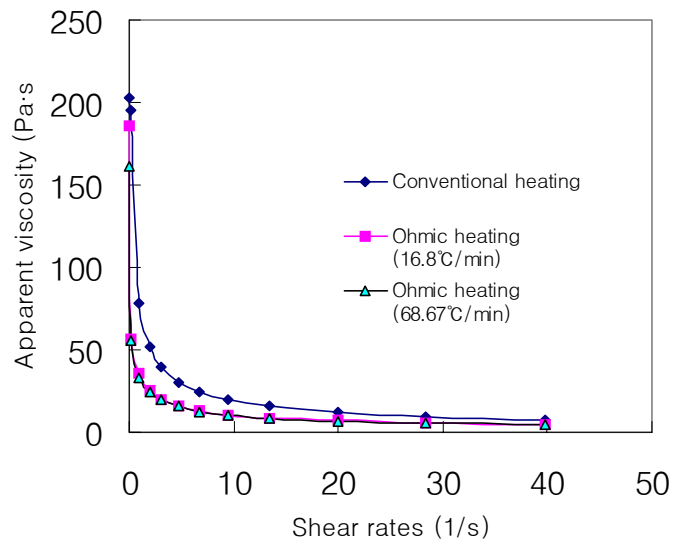


Fig. 31. Flow curves of milled rice paste (10%, w/v) stored for 5 days at 4 °C.

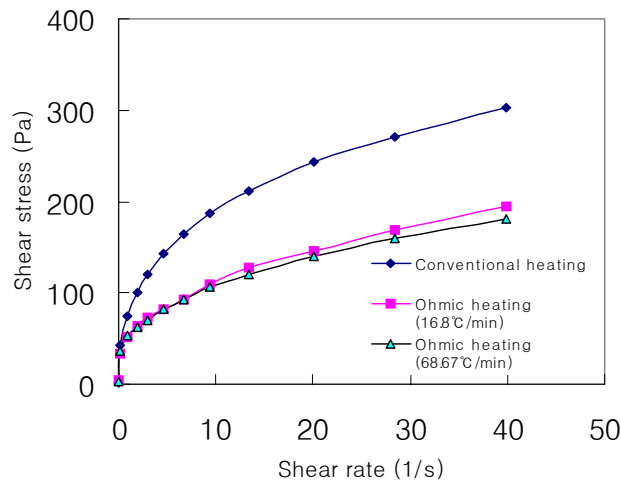


Fig. 32. Flow behavior curves of milled rice paste (10%, w/v) stored for 5 days at 4 °C.

Table 14. Changes in rheological parameters of gelatinized rice paste during storage at 4 °C.

| Storage (days) | Conventional heating (10.60 °C/min)             |                     | Ohmic heating (16.80 °C/min)                    |                     | Ohmic heating (68.67 °C/min)                    |                     |
|----------------|---|---------------------|---|---------------------|---|---------------------|
|                | Consistency (N·s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> ) | Flow behavior index | Consistency (N·s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> ) | Flow behavior index | Consistency (N·s <sup>n</sup> /m <sup>2</sup> ) | Flow behavior index |
| 0              | 72.72   | 0.260               | 36.24   | 0.367               | 36.99   | 0.366               |
| 5              | 87.18   | 0.334               | 44.96   | 0.394               | 45.66   | 0.371               |
| 10             | 98.76   | 0.321               | 46.40   | 0.386               | 48.86   | 0.378               |

### 3) 이유식 제품

죽제품 개발에서와 동일한 조건으로, 호화액을 동결건조 하여 분말화한 후 물에 용해시켜 분산성을 확인하여 선식 제품으로의 적용이 용이한지를 판정하였다. 10% (w/v) 쌀가루 분산액을 ohmic heating 과 재래방법으로 가열한 뒤 선반온도 20°C, 진공도 7 torr, cold trap -45°C의 조건에서 이틀간 동결건조하였다. 건조물을 1~7%의 농도로 물에 분산시켰을 때의 수분흡습정도를 Fig. 33.에 나타내었다. 각 고품분 농도별로 비교해본 결과 재래방법으로 가

열했을 경우보다 ohmic heating한 시료의 수분흡습능력이 높았다. 또한 고형분 농도 7%에서 ohmic heating한 시료의 water holding capacity가 1038.2%로 재래방법으로 가열한 925.3%에 비해 높았다.

이상을 종합해볼때 고형분 농도에 관계없이, ohmic heating한 쌀가루액의 용해도, 호화도가 재래방법으로 가열한 시료보다 높았다

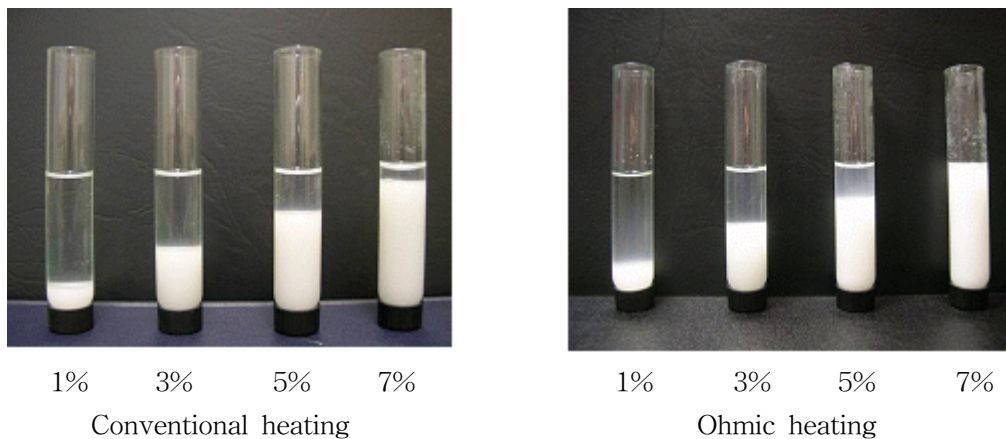


Fig. 33. Dispersion property of freeze-dried milled rice powder gelatinized by ohmic and conventional heating methods.

#### 4) 대량 생산체제 확립

연속 ohmic heating 장치(Fig. 34)에서 2% 감자전분 용액을 26L/h의 속도로 heating jar에 공급하면서 가열하였다. Ohmic heating jar와 배출구와의 연결은 Fig. 34.에서 보는 바와같이 “ㄷ”자 모양의 유리관을 제작하였고, 상단부위에 2개의 구멍을 내어 높은 온도로 가열했을 때 발생하는 증기압을 배출시켰다.

2%의 감자전분 용액을 연속식 ohmic heating 장치에서 가열할 때 온도 및 전기전도도의 변화는 Fig. 35.와 같다. Inlet 부분의 온도는 약 24℃ 정도로 가열이 끝날때까지 거의 변화가 없었던 반면, outlet 부분의 온도는 가열 40초 후 30℃까지 승온하였고, 가열 300초 후에는 목적온도인 90℃까지 증가하여 batch type의 ohmic heating에서처럼 가열이 진행된 것을 확인할 수 있었다. 가열 온도를 최고 100℃까지 올렸는데, 전분 용액의 호화로 용액의 점도가 현저히 증가되고, 시료의 증기압으로 가열이 매우 불안정하였다. 가열중 물리적 상수값은 Table 15.에 정리하였다. 가열 속도는 batch type이나 연속장치에서 큰 차이를 보

이지 않았지만, 전압이 기존 batch type에 비해 큰 폭으로 높아져 전류값이 급격히 증가하면서 평균 전기전도도가 10배 정도 증가하였다. Table 15.에서 보는바와 같이 가열속도와 호화도 항목을 제외한 전 부분에서 연속식 ohmic heating 장치로 처리했을 경우 높은 값을 나타내었다. 이는 batch type의 heating jar 의 100 ml 였던 반면, 현재 고안된 연속식 장치의 jar 는 650 ml 로 6배 이상의 처리 용량이 증가되었기 때문에 110V 이상으로 승압시켜야 가열이 가능하였고, 연속식 ohmic heater로 가열시 전 부분에서 높은 값을 나타내었다. 회분 및 연속장치로 가열한 시료의 호화도는 회분 장치와 거의 유사한 값을 보여 가열에 필요한 에너지 회분 장치와 비교해볼때 충분히 공급된 것으로 판단된다. Pump로 jar 안으로 시료액을 유입시킬때 전분입자의 층분리현상은 강한 pump의 추진력으로 해결할 수 있었다.

이상에서와 같은 연속식 ohmic heating 장치는 분당 400 ml 정도의 시료를 가열할수 있어, 상업적 적용이 한층한 것으로 생각된다. 그러나 연속식 장치에 고형분 함량이 높은 시료를 유입할 경우 가열 중 점도가 증가되어 전기 전도도의 감소를 비롯한, 시료의 유입 및 유출이 원활해지지 않으므로 전분 및 곡류 혼합액을 5% 이하의 저농도로 하여 가열처리해야 할 것이다.

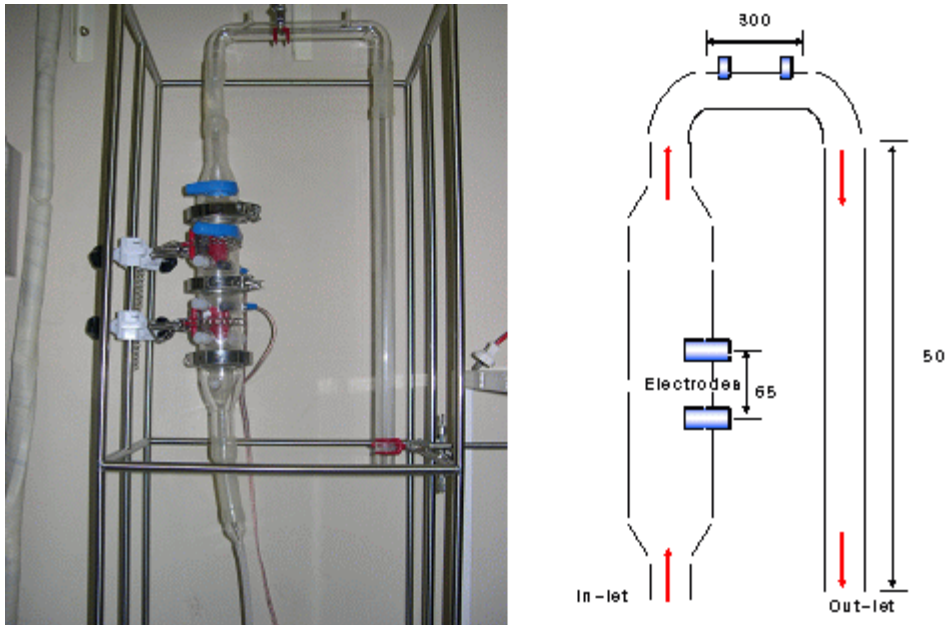


Fig. 34. Schematic diagram of continuous ohmic heater(unit : mm).

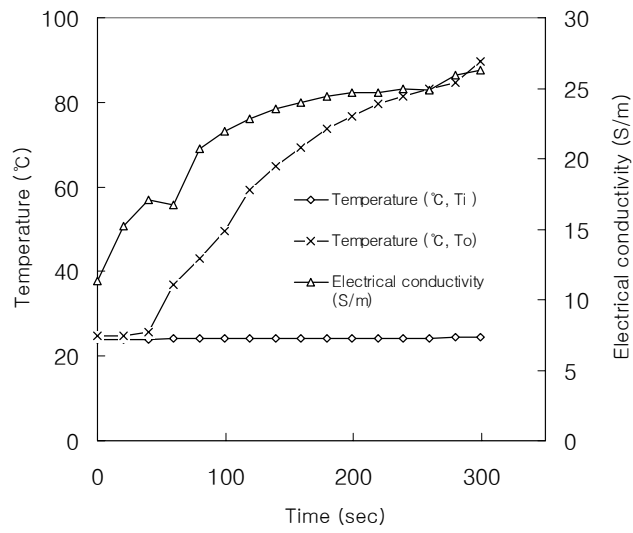


Fig. 35. Changes in temperature and electrical conductivity during continuous ohmic heating.

Table 15. Operating condition used in batch and continuous ohmic heating for 2% potato starch suspension.

|                                  | Batch type<br>ohmic heater | Continuous<br>ohmic heater |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Heating rates<br>(°C/min)        | 12.43                      | 13.99                      |
| Voltage (V)                      | 50.14                      | 143.58                     |
| Power (W)                        | 137.58                     | 1706.47                    |
| Electrical<br>conductivity (S/m) | 2.55                       | 22.08                      |
| Energy (kJ)                      | 41.96                      | 518.77                     |
| Electric field strength<br>(V/m) | 976.53                     | 2202.21                    |
| Gelatinization degree<br>(%)     | 42.93                      | 42.02                      |

## 제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1 절 1차년도 목표 및 달성도

가. Ohmic heating을 이용한 전분 현탁액 가열 방법 확립

1) 전압 조절에 의한 가열 속도 조절방법 setting

Power supply를 이용하여 1%의 NaCl이 전해질로 첨가된 전분 현탁액을 0.5°C~90°C/min의 속도로 가열할 수 있는 ohmic heating 장치를 setting 하였다.

2) 전해질 농도에 따르는 가열 속도 조절법 확립

0.1~0.5%의 농도범위의 전해질을 전분 현탁액에 첨가한 경우 전압조절에 의한 가열속도의 조절이 어려웠으나 1% 전해질을 첨가한 경우는 가열속도의 조절이 자유로웠다. 전해질의 농도를 1% 이상 증가시켜도 가열속도에는 큰 차이가 없었다.

나. Ohmic heating을 이용한 전분 현탁액 변성 공정 확립

1) 전분 source별 변성

옥수수과 감자 현탁액을 ohmic heating을 이용하여 급속가열한 후 전도가열에 의하여 제조된 호화액과 비교한 결과 호화도, 팽윤력 및 점도가 증가된 것을 확인하였다.

2) 전분 함유 소재 변성

곡류(잡곡류)의 ohmic heating 특성은 2차년도에서 진행하였다.

다. 변성 전분 및 전분소재의 물성 변화 파악

옥수수 전분을 가열 속도를 달리하여 ohmic heating 후 입자크기를 관찰한 결과 가열속도의 증가와 비례하여 입자 크기가 증가하였다. 또한 ohmic heating 한 옥수수 전분 호화액을 동결건조 후 X-ray 회절도를 이용하여 호화도를 측정된 결과 모든 시료구에서 결정구조가 소실되어 완전히 호화된 것을 확인하였다. 옥수수 전분 현탁액은 ohmic heating 속도에 비례하여 겔보기 점도가 증가하였으며, 급속가열한 옥수수 전분 호화액은 침강되지 않았다.

라. 변성 전분 및 전분소재 2차 처리 공정 확립

전분 현탁액을 ohmic heating한 후 열풍건조, 감압건조, 동결건조하였다. 열풍건조 및 감압건조의 경우에는 건조 초기에 호화액 표면에 필름이 형성된 후 더 이상 건조가 진행되지 않았으며, 동결건조한 경우 건조물이 sponge와 같은 형태가 되어 분쇄가 어려웠을 뿐 아니



라 물에 재현탁시 용해성을 완전히 잃어버렸다. 이와 같은 호화액의 건조에 의한 2차 가공 문제는 원료를 곡류소재로 전환하여 개선할 수 있었다.

#### 마. 2차 처리 후 변성 전분 및 곡물 특성 파악

Ohmic heating한 전분 호화액은 재래방법으로 가열된 호화액과 비교해 볼때 급속가열에 의해 호화액의 이화학적 특성 및 물성을 변화시킬수 있었으나 전술한 것과 같이 ohmic heating한 전분호화액은 2차 가공하지 않고 그대로 사용하여야 하는 것으로 판단되었다. 곡류현탁액을 이용한 특성 변화는 2차년도 연구에서 수행하였다.

## 제 2 절. 2차년도 목표 및 달성도

#### 가. 제품 후처리 기술개발

쌀가루 등의 곡류 현탁액을 ohmic heating 후 동결건조하여 호화곡물가루를 제조한 결과 분산성과 용해성이 우수한 곡류분말을 제조할 수 있었다. 이로써 전분의 ohmic heating과는 달리 곡류 현탁액을 급속가열하고 동결건조 후에도 호화액과 같은 특성을 유지할 수 있다는 것을 확인하였다.

#### 나. 변성 전분질을 이용한 제품 개발

전분을 주원료로 한 음료 및 이유식 base 개발을 위하여 옥수수 전분 0.1~1%현탁액을 ohmic heating에 의하여 호화시킨 후 점도를 측정된 결과 0.6~0.8%의 농도가 시판 중인 곡류 음료와 점도가 비슷하며 음료제조에 적합한 농도임을 확인할 수 있었다. 옥수수전분 현탁액의 농도를 4%로 증가시킨 경우 죽제품에 적용 가능한 물성을 나타내었다.

#### 다. 변성 전분 소재를 이용한 제품 개발

3차년도 연구에 진행하였다.

#### 라. 작업 공정 scale up

##### 1) 반응 고형분 증가 실험

20%까지 고형분 농도를 증가하여 4종의 곡류를 ohmic heating한 결과, 전도가열방식에 비하여 높은 호화도를 나타냈으며 일반적으로 호화가 어려운 것으로 알려진 현미의 경우에도 가열속도를 증가시킴으로써 호화도를 증가시킬 수 있었다. 이는 높은 고형분 농도에서도 효율적으로 가열속도를 증가시킬 수 있었으며, 균일한 효율적인 가열이 진행되었다는 것을 의미한다.

## 2) 반응조 scale up

10L 이상 수용할수 있는 ohmic heating 장치를 고안후 현미와 백미를 대상으로 가열 실험을 진행한 결과, 70% 이상의 호화도와 30% 이상의 용해도를 보여 고용량의 시료를 가열할수 있었다.

## 3) 제품화 공정 확립

Scale up 된 ohmic heating 장치를 이용하여 고농도의 전분 및 곡류 분말을 호화시킨 후 동결 건조 및 분쇄 공정을 거쳐 호화된 곡류 분말을 제조하였다. 전분호화액과는 달리 곡류를 원료로 사용한 경우 호화액의 건조 및 분쇄 공정이 용이하였다.

## 마. 연속처리 장치 개발

분당 600ml 이상을 ohmic heating 처리할 수 있는 연속식 ohmic heating 장치를 고안하였다.

# 제 3 절 3차년도 연구 개발 목표 및 달성도

## 가. 변성 공정 manual 작성

옥수수, 감자 및 타피오카 전분 현탁액을 이용하여 가열속도를 변화시키면서 ohmic heating 한 전분호화액의 이화학적 특성을 비교한 결과, 기존 재래방법으로 가열처리된 시료군과 비교했을때 총당량 및 환원당 함량이 모두 높은 값을 나타내었다. 또한 전분 현탁액을 95℃까지 가열속도를 달리하여 가열한후 전분 호화액에 Termamyl을 첨가하여 가수분해 시킨뒤 환원당을 정량한 결과 가열속도가 증가함에 따라 환원당 함량이 감소하여 ohmic heating한 호화액을 다이어트 식품으로 적용할수 있을리라 기대한다

## 나. 변성 전분 및 전분 소재 상품화

전분현탁액을 이용하여 제조한 전분음료 base를 기본으로 하여 현미와 백미를 혼합한 음료 제품 개발연구를 수행하였다. Ohmic heating을 이용한 곡류음료의 제조시 전해질로 첨가한 NaCl의 함량을 낮추고 당을 첨가하여 상품성을 증가시켰으며 음료의 제조와 살균공정이 동시에 진행될 수 있도록 공정을 구성하였다.

## 다. 변성 전분 이용 제품 상품화

4%의 쌀가루 현탁액을 ohmic heating에 의해 급속히 가열하여 호화시킬 경우 기존 곡류 음료에서 문제시 되었던 고형분의 침강문제를 해결하였다. 죽제품에 적합한 prototype 개발을 위해 10%의 쌀가루 현탁액을 ohmic heating하여 호화시킨 후 물성변화를 측정한 결과,

전도가열방식으로 제조된 쌀 호화액에 비해 노화안정성이 증가하여 4℃에서 10일간 저장할 경우에도 점도 변화가 거의 없었다. 한편 곡류 분말 제품 및 선식형 고상 제품을 개발하기 위해 10%의 쌀가루 현탁액을 ohmic heating한 후 동결건조하여 물에 대한 분산성을 확인한 결과, ohmic heating 처리한 호화액을 건조한 분말이 더 높은 분산성과 호화도를 보였다.

#### 라. 대량 생산 체제 확립

2차년도에서 고안한 연속식 ohmic heating 장치를 이용하여 2%의 전분현탁액을 가열처리한 후 가열속도 및 이화학적 특성을 측정하였다. Batch type의 ohmic heating 장치를 사용한 것과 가열속도의 큰 차이 없이, 분당 600ml의 현탁액을 90℃ 이상으로 가열할 수 있으며, 호화도 역시 큰 차이를 나타내지 않았다.

### 제 4 절 관련분야에의 기여도

- Ohmic heating을 이용하여 전분 및 곡류 현탁액을 급속가열하여 제조한 호화액은 호화도, 팽윤력, 수분보유 능력 등이 현저히 증가된 특성을 나타내어 현탁액의 농도에 따라 음료, 죽, 선식 등 다양한 곡류 가공품 개발에 적용할수 있는 새로운 소재이다.
- 특히 ohmic heating을 이용하여 급속히 가열하여 곡류 및 전분 현탁액을 제조하는 공정은 공해를 유발하는 기존의 변성 전분이 갖는 장점을 갖춘 다양한 곡류 가공품 생산에 적용할 수 있는 공정이다.
- 곡류를 소재로 ohmic heating 한 경우, 전도가열과 비교하여 가열속도 및 가열 유지시간을 이용하여 손쉽게 호화도를 조절할 수 있어 호화도의 차이를 둔 상업적 제품을 개발할 수 있을 것으로 전망한다.
- Ohmic heating 에 의한 급속가열에 의해 분산성이 개선된 곡류음료를 개발할 수 있을 것으로 기대한다. 기존 공정에서 문제시 되었던 저장 중 곡류입자의 침강 문제를 해결하여 유회공정을 거치지 않으므로 원가절감의 효과도 얻을수 있으며, 천연원료만을 이용한 제품을 생산할 수 있다. 또한 음료제조과정에서 살균공정을 병행할 수 있는 장점이 있어 경제적인 절감효과도 기대된다.
- 축제품 적용을 위하여 곡류 호화액을 제조한 결과, ohmic heating으로 처리한 시료가 전도가열에 의해 제조한 시료와 비교하여 동일 농도에서 낮은 점도를 나타냈으며, 저장중

의 점도 변화가 거의 없었다. 이러한 물성을 이용하여 저장중에도 품질 변화가 적은 죽 제품에 적용이 가능하며, 점도가 낮기 때문에 가공 공정이 용이할 것으로 판단된다. 또한 재래 방법으로 처리한 죽제품에 비해 고형분 함량을 증가시켜 영양성분이 보강된 제품을 개발할 수 있다.

- 연속식 ohmic heating 장치의 개발을 통하여 ohmic heating을 이용한 새로운 소재의 산업화가 용이하게 되었다. 전분질 원료가 나타내는 물성의 단점을 극복함으로써 보다 다양한 곡류소재의 제품을 개발할 수 있으며 국내 고유의 곡류를 소재로 한 제품을 생산함으로써 국내 농가의 경쟁력은 물론, 한국을 대표하는 고유의 곡류가공품을 개발할 수 있을 것으로 기대한다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- Ohmic heating에 의하여 급속가열된 곡류 호화액은 우선적으로 유화제가 첨가되는 곡물 음료에 적용이 가능하다. 곡류음료 중에서 가장 큰 시장이 형성된 쌀음료의 경우 쌀가루 현탁액을 급속가열한 소재를 이용할 경우 유화제로 사용되는 식물성 크림의 양을 줄이거나 대체할 수 있게 된다. 쌀음료 뿐 아니라 전분질이 포함된 곡류를 소재로 하는 음료의 경우 주원료 성분을 ohmic heating 처리함으로써 음료의 base를 고유의 천연원료로 대체할 수 있다.
- Ohmic heating 처리한 곡류소재의 산업화를 위해서는 대용량의 연속식 ohmic heating 장치의 개발이 필요하다. 본 연구에 의하여 개발된 연속장치는 pilot 규모이며, 초기단계의 장치로 상업화를 위한 보완이 요구된다. 연속식 Ohmic heating 장치에서는 고압의 전원공급을 통해 전극에 많은 에너지가 가해지므로 고온, 고전압 및 전해질로 첨가된 NaCl 등의 존재하에서 안정한 전극, heating jar 등에 대한 추가적인 검토가 필요하다.
- Ohmic heating 장치에 의하여 급속 가열되는 전분 또는 곡류 현탁액의 농도를 10% 내외로 증가시킬 경우 죽제품 등과 같은 유동식에 적용하기에 적합한 물성의 호화액을 얻을 수 있다. ohmic heating으로 죽제품의 base를 제조할 경우 저장 중의 점도안정성과 동일한 점도에서 고형분 함량을 증가시킬 수 있는 장점이 있다. 뿐만 아니라 현탁액의 농도를 조절함으로써 다양한 점도의 곡류 paste를 제조할 수가 있는데 이는 환자 및 노인을 위한 유동식 등에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 곡류와 함께 제품에 첨가되는 성분의 유용성분이 호화액 중에 쉽게 추출될 수 있다는 부가적인 장점도 있다.
- Ohmic heating을 이용한 전분, 곡류 현탁액의 급속 가열에 의한 특성 부여 이외 호화점 이하에서 전분 및 곡류 분말의 전기 처리에 의한 새로운 응용 분야의 개발에도 활용할 계획이다.
- 금번 연구성과의 사업화를 위해서는 연속장치 개량 등의 추가 연구가 필요하다. 또한 본 연구의 적용 제품은 음료, 죽 등의 생산설비가 필요한 제품으로 중소기업에서 사용하기에는 비용이 부담된다. 따라서 기존에 본 연구와 관련된 제품을 생산하는 업체를 중심으로 추가연구 및 향후 기술제공과 관련되어 일차적으로 접촉을 시도하고 여의치 않은 경우 설비 업체 등과 제휴하여 기술 및 장치를 동시에 판매하는 등의 전략을 수립할 계획이다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 제 1 절 Ohmic heating의 원리

- Ohmic heating 이란 식품에 교류 전류를 통하였을때 발생하는 열을 이용하여 식품을 가열하는 방법으로, 고체식품을 액상식품과 거의 동일한 속도로 가열할수 있다.
- Ohmic heating에 대한 개념은 최근에 밝혀진 것이 아니며, 20세기 초에는 우유를 살균할 목적으로 2개의 전극을 평행하게 연결하고, 전기를 가하여 저항열을 발생시키는 방법이 소개되기도 하였다. Ohmic heating 기술에 다시 관심을 가지게 된 것은 고체를 함유한 액상 식품을 무균살균하는 공정으로 착안되었다. 기존 가열 살균 공정에서는 고체상 식품의 중앙부분까지 열이 공급되는데 상당한 시간이 소요되며 이를 해결하기 위해 과량의 에너지를 가할 경우 제품의 품질이 저하되는 문제가 발생한다.
- 전기에너지에 의해 식품이 발열되기 위해서는 필수적으로 어느 정도의 전해질이 존재하여야 한다. 재래 가열에서 가열속도를 결정짓는 역할을 하는 것은 열전도도 (thermal conductivity)였으나 ohmic heating에서는 전기전도도 (electrical conductivity)이며, 전기전도도는 가열시간과 온도에 많이 영향을 받으며 특히 가열속도를 결정하는 중요한 인자이다.
- Ohmic heating을 고체와 액체가 공존하는 혼합물을 살균시키는데 이용할 경우, 액체상과 고체의 전기 전도도를 고려하여 균일하게 가열되도록 조절해야 한다.
- Ohmic heating 시 주파수의 증폭을 통해 ohmic heating에 의한 가열특성을 향상시킬수 있다. Fish protein gel 을 50 Hz~10 kHz 범위로 ohmic heating 한 결과 주파수 증폭과 비례하여 가열속도가 증가하였다. 결과적으로 단백질이 주성분인 식품을 가열 및 살균처리시 동일전압에서도 주파수 증폭을 통해 가열시간을 단축시킬수 있었다.

## 제 2 절 Ohmic heating의 식품가공에 이용

### ○ 식품의 살균

영국 Cambridge 대학 화학공학 연구팀은 80년대말부터 APV사와 공동으로 ohmic heating을 이용한 입자를 함유한 액체식품의 연속살균장치에 관한 일련의 연구를 활발히 진행하고 있으며 고형분을 함유한 식품의 연속살균 기술은 Electricity Council Research Center에서 개발하여 APV사에 기술이전하여 산업적으로 활용될 수 있는 system이 생산되었다. 이 장치는 무균포장 기술과 연계하여 효과를 극대화할 수 있으나 가공물의 입자크기가 최대 25mm 이상이 되거나, 전해질 물질이 거의 없는 fats, oils, sugar, syrup 등에는 활용할 수 없다.

### ○ 단백질 성형

일본에서는 수산청의 적극적인 지원아래 ohmic heating을 이용한 수산가공제품의 제조 공정 개발에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 어육단백질의 겔형성 능력 저하를 방지하기 위하여 탄력이 가장 감소되는 50~60℃ 온도대를 통과하는 시간을 최소화하여 젤리 강도를 증가시켰다. 구 소련에서는 육제품의 생산에 응용하여 외관, 맛, 조직, 색, 전단응력 등을 향상시켰다.

### ○ 해동

냉풍, 상운수 침지 등의 기존 해동 방법은 그 과정 중 품질의 손실을 야기한다. 이러한 문제점 해결을 위하여 생선, 고기, 냉동볶음밥의 해동 및 가열 등에 대한 연구가 영국, 독일 등지에서 진행되었다. 식품재료와 전극의 직접 접촉에 의한 스파크 및 타는 현상으로 상업화되지 못한 본 연구의 문제점은 Naveh 등이 냉각수를 채운 항온조에 380V 상용교류를 통전하여 해동하는 방법으로 해결되었다. 그러나 이 또한 물과 접촉해서는 안 되는 식품에는 적용이 어려운 단점이 있다.

### ○ 탈수 및 건조

구 소련에서는 과일박의 건조에 ohmic heating을 적용하였다. 초반부에는 380V, 50Hz의 전원으로 ohmic heating 하여 자유수, 모세관 결합수를 제거하고 후반부에는 30kV, 27MHz의 전원으로 유전가열하여 결합수를 제거하는 system을 고안하였다. 일본에서는 활성오니와 두유박의 전기침투탈수기가 개발되었는데 직류전기를 이용하여 오니입자와 물이 서로 반대방향으로 이동하여 분리되며 동시에 Joule 열이 발생하여 수분의 증발 및 저온살균효과도 나타내는 원리를 응용하였다.

- 추출
 

식물성, 동물성 원료로부터 즙액을 추출하는 방법으로서 전기원형질 분리현상(electroplasmolysis)이 이용되고 있다. 전기원형질 분리와 기계적 압착을 병행할 경우 높은 추출 효과를 얻을 수 있는데 이러한 원리를 이용하여 사탕무우로부터 설탕을 추출하고 있으며, Schreier는 240V 상용교류를 통전하여 사탕무우로부터 betanin 색소 추출율을 기존의 가열방법과 비교하여 40% 향상시켰다. 이러한 기작에 의하여 미생물의 사멸을 가져 오게하는 연구도 영국의 Castro 등에 의하여 진행되었다.
- Blanching
 

효소의 불활성화를 목적으로 하는 blanching의 경우 비교적 큰 야채의 처리를 위해서는 장시간 가열해야 하는 문제점이 있다. 옥수수의 blanching을 위하여 0.1% NaCl 수용액에 넣어 380V의 상용교류를 통전한 결과 열수에 의한 blanching 방법보다 peroxidase의 불활성화가 6배정도 빨리되었으며 부분적인 살균효과도 나타내었다.

### 제 3 절 연속처리 장치

- Khalaf et al 등이 고안한 연속식 ohmic heating 장치를 Fig. 36.에 나타내었다. Heating 장치는 pyrex tube를 이용하였고, 내경 50 mm 에 전극간의 거리는 720 mm 이었으며, 시료의 이동 속도는 1.7 kg/s 이며 697V의 전압을 걸어주었다. 시료의 공급은 air pressure를 이용하였으며 Teflon 으로 coating된 thermocouple을 이용하여 시료 주입 및 가열 후의 온도변화를 확인하였다.
- APV Baker에서 고안한 연속장치를 Fig. 37. 에 나타내었다. 10-kW의 전력을 낼수 있는 설비를 갖추고 있으며 기존 방법에 비해 색상, 향, 영양성분 등이 개선된 제품들을 생산할 수 있다고 보고되어 있다. 본 장치의 3개의 electrode housing 사이에 위치한 2개의 tube에서 가열이 진행되어 holding tube와 cooler로 이동된다. Holding tube 는 목적온도까지 가열된 시료를 일정시간 유지시켜주는 설비로, 살균을 목적으로 이용된 경우에는 이 부분에서 상업적 살균이 행해지며 이와 같이 살균된 시료는 cooler를 통해 냉각된후 무균처리된 tank 와 drain tank 에 저장된다. 본 장비에 드는 비용은 기존 냉동 및 레토르트 살균 등을 처리할 때 드는 비용보다 보다 저렴한 것으로 밝혀졌으며 앞으로 발전 가능성이 있으리라고 전망하였다.



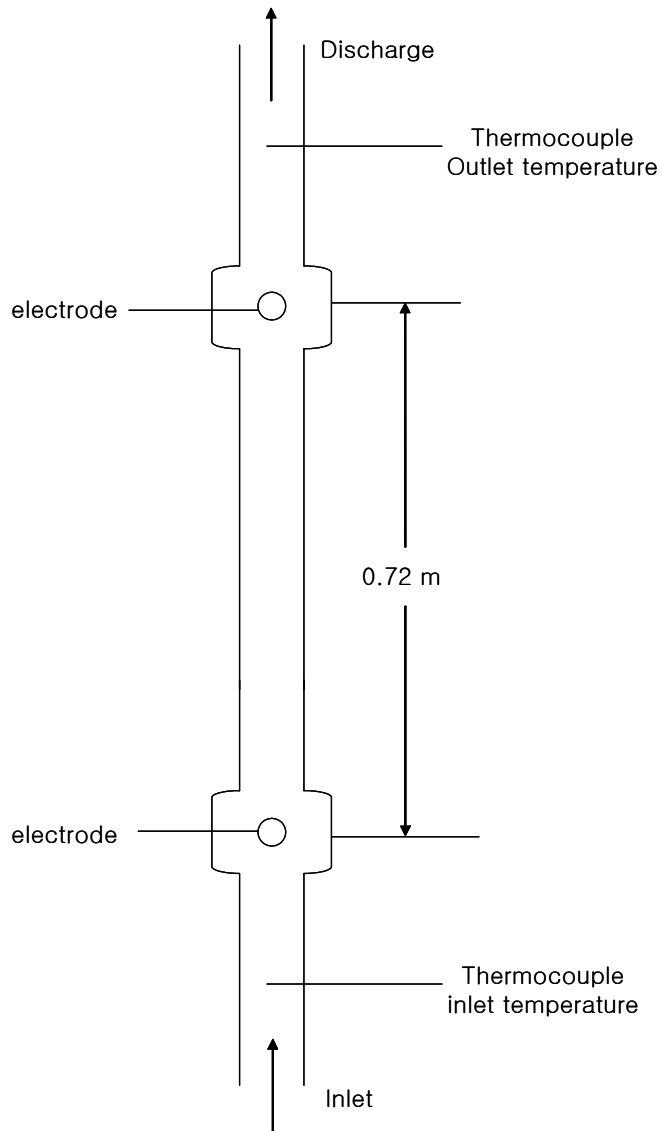


Fig. 36. Continuous flow ohmic heater designed by Khalaf et al.

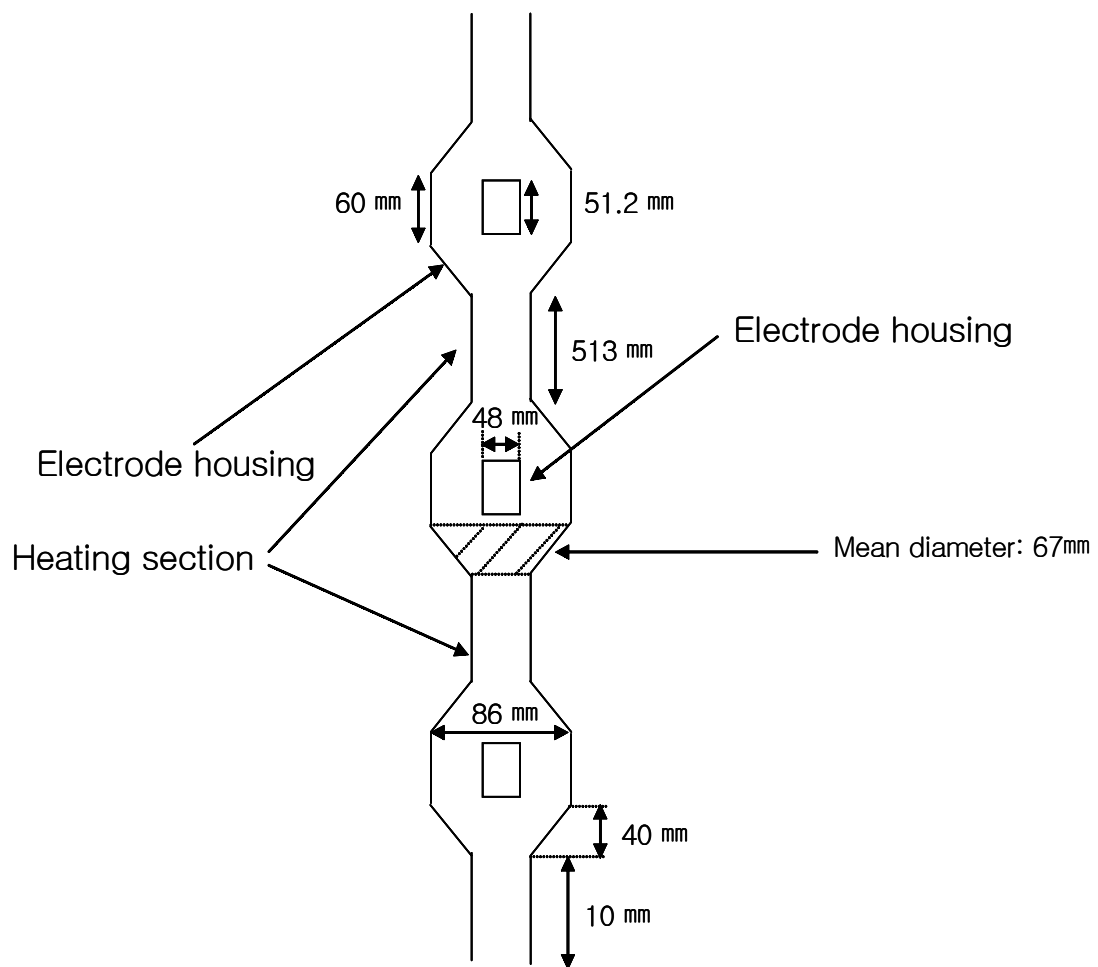


Fig. 37. Detail of ohmic heater column designed by APV Baker.

## 제 7 장 참 고 문 헌

- 1) Taizo M., 1990 でん紛の特性, 機能および利用の動向. 月刊フードケミカル **11**: 35.
- 2) 김동훈, 1983 식품화학, 탐구당 166.
- 3) 송재철, 박현정 1997 최신식품가공학 유림출판사 427.
- 4) 변유량 외, 2002 현대 식품공학, 지구문화사 91
- 5) 김도연, 변유량, 1994 Ohmic heating에 의한 식품가공. 한국식품연감 27: 21.
- 6) 신호선, 1997 식품분석 (이론과 실험) 신광출판사 281.
- 7) 이서래, 신호선, 1998 최신식품화학 신광출판사 47.
- 8) Takeda, Y., and Hizukuri, S., 1988 Molecular structure of corn starch. *Starch* **40**: 51.
- 9) Nikuni, Z., 1978 Studies on starch Granules. *Starch* **30**: 105.
- 10) French, K., 1972 Fine structure of starch and its relationship to the organization of starch granules. *Journal of Japan Society of Starch Science* **19**: 8.
- 11) Donovan, J. W., 1979 Phase transitions of the starch-water system, *Biopolymers* **18**: 263.
- 12) Collison, R. and Chilton, W.G., 1974 Starch gelation as a function of water content. *Journal of Food Technology* **9**: 309.
- 13) Sastry, S. K., 1992 A model for heating of liquid-particle mixtures in a continuous flow ohmic heater. *Journal of Food Process Engineering* **15**: 263.
- 14) Halden, K. A. A. P., de Alwis, Fryer, P. J., 1990 Change in the electrical conductivity of foods during ohmic heating. *International Journal of Food Science*

- and Technology* **25**(1): 9.
- 15) Khalaf, W. G. and Sastry, S. K. 1996 Effect of fluid viscosity on the ohmic heating rate of solid-liquid mixtures. *Journal of Food Engineering* **27**: 145.
  - 16) Zoltai, P. and Swearingen, P. 1996 Product development considerations for ohmic processing. *Food Technology* **50**: 263.
  - 17) Parrott, D. L. 1992 Use of ohmic heating for aseptic processing of food particulates. *Food Technology* **46**: 68.
  - 18) Larkin, J. W. and Spinak S. H. 1996 Safety considerations for ohmically heated, aseptically processed, multiphase low-acid food products. *Food Technology* **50**: 244.
  - 19) Wootton, B. M., Weeden, D. and Munk. N. 1971 A rapid method for the estimation of starch gelatinization in processed foods. *Food Technology In Australia* **December**: 612.
  - 20) Wootton, M. and Chaudhry, M. A. 1980 Gelatinization and *in vitro* digestibility of starch in baked products. *Journal of Food Science* **45**: 1783.
  - 21) Dubois, M., Gilles, K. A., Hamiton, J. K., Robers, P. A. and Smith, F. 1953 Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Analytical Chemistry* **24**: 1656.
  - 22) Palaniappan, S. and Sastry, S. K. 1991 Electrical conductivities selected solid foods during ohmic heating. *Journal of Food Engineering* **14**: 221.
  - 23) Sastry, S. K. and Palaniappan, S. 1992 Ohmic heating of liquid-particle mixtures. *Food Technology* **46**: 64.
  - 24) Kim, H. J., Choi, Y. M., Yang, T. C. S., Taub, I. A., Tempest, P., Skudder, P., Tucker, G. and Parrott, D. L. 1996 Validation of ohmic heating for quality enhancement of food products. *Food Technology* **50**: 253.

- 25) Renznick, D. 1996 Ohmic heating of fluid foods. *Food Technology* **50**: 250.
- 26) Wurzburg, O. B., 1986 Forty years of industrial starch research. *Cereal Foods World* 31(12): 897.
- 27) Zareifard, M., R., Ramaswamy, H., S., Trigui, M. and Marcotte, M. 2003. Ohmic heating behaviour and electricla conductivity of two-phase food systems. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **4**: 45.
- 28) Eliot-Godéreaux, S, C., Fairhurst, P, G., Goullieux A. and Pain Jean-Pierre. 2001. Passage time distributions of cubes and spherical particles in an ohmic heating pilot plant. *Journal of Food Engineering* **47**: 11.
- 29) Eliot-Godéreaux, S. C., Zuber F. and Goullieux A. 2001 Processing and stabilisation of cauliflower by ohmic heating technology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **2**: 279.
- 30) Allen, K., Eidman V. and Kinsey J. 1996 An economic-engineering study of ohmic food processing. *Food Technology* **50**: 269.
- 31) Palanippnan S. and Sastry, S. K. 1991 Electrical conductivity of selected juices: Influence of temperature, solids content, applied voltage, and particle size. *Journal of Food Process Engineering* **14**: 247
- 32) Leach, H. W. and Schoch, T. J., 1962 Structure of starch granule. III. solubilities of granular starches in dimethyl sulfoxide. *Cereal Chemistry* 39: 318.
- 33) Whistler, R. L. and Turner, E. S., 1955 Fine structure of starch granule sections., *Journal of Polymer Science* 18(87): 153.
- 34) Hoseney, R., C. 1990 Principles of cereal science and technology. second priting. *Americal Association of Cereal Chemists, Inc.* 46.
- 35) Harter, J., H., Lin, P., Y. 1986 Essentials of electric circuits 2nd edition. *Prentice-Hall Englewood Cliffs, New Jersey.* 47.

- 36) Biliaderis, C. G., Grant, D. R. and Vose, J. R., 1981 Structural characterization of legume starches. II. studies on acid-treated starches. *Cereal Chemistry* **58**: 502.
- 37) Poet, S., Piet, J. and Whelan W. J., 1952 Enzymetic synthesis and degradation of starch. *Journal of Chemical Society* :705.
- 38) Takeda, Y. and Hizukuri, S. 1987 Structure of branched molecules of amylose of various origins, and molar fractions of branched and unbranched molecules. *Carbohydrate Research* **165**: 139.
- 39) Perry, P. A., Donald, A. M. 2002 The effect of sugars on the gelatinisation of starch. *Carbohydrate polymers* **49**: 155.
- 40) Farhat, I. A., Protzmann, J., Becker, A., Vallès-Pàmies, Neale, R. and Hill S. E. 2001 Effect of the extent of conversion and retrogradation on the digestibility of potato starch. *Starch* **53**: 431
- 41) Tester, R. F., Debon, S. J. J., Davies H. and Gidley M. J. 1999 Effect of temperature on the synthesis, composition and physical properties of potato starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **79**: 2045
- 42) Wang W. C. and Sastry S. K. 1993 Salt diffusion into vegetable tissue as a pretreatment for ohmic heating: Determination of parameters and mathematical model verification. *Journal of Food Engineering* **20**: 311

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.