

## 두부응고제로서 Homomixer 회전속도를 달리한 염화마그네슘유화물의 제조특성

홍승석<sup>1</sup>, 박원종<sup>1</sup>, 정경희<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 식품공학과, <sup>2</sup>청운대학교 호텔조리식당경영학과

## The Manufacturing Characteristics of Magnesium Chloride Emulsion by Different Rotational Speed of Homomixer as Soybean Curd Coagulant

Seung-Seok Hong<sup>1</sup>, Won-Jong Park<sup>1</sup> and Kyung-Hee Joung<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Food science and technology, Kongju National University

<sup>2</sup>Dept. of Hotel Culinary and Catering Management Chungwoon University

**요 약** 본 연구는 Homomixer의 회전속도에 따른 염화마그네슘 유화물의 제조특성을 비교하여 두부응고제로서 염화마그네슘유화물의 제조상 최적조건을 확립하기로 하였다. 염화마그네슘유화물의 입자는 Homomixer의 회전속도가 증가할수록 미세화 되었다. 입자크기는 1~5 $\mu$  m로 분포하고 있었다. 분산상의 입자크기가 미세화 할수록 점도의 증가와 보관 중 유상분리의 지연으로 상관관계가 있음을 나타내었다. 따라서 염화마그네슘유화물을 제조하는데 있어서 Homomixer의 회전속도는 10,000rpm 이상에서 제조하는 것이 두부응고제로서 두부의 조직 상태와 이수율 등이 가장 좋은 결과를 나타내었다.

**Abstract** This study was used homomixer as one of the manufacturing method to establish optimal manufacturing condition with magnesium chloride emulsion as coagulant. The more rotational speed of homomixer was fast, the more particle size of magnesium chloride emulsion was minute. The particle size was distributed between 1 and 5 $\mu$  m. The more minute particle size of emulsion had an effect on increasing viscosity of emulsion and delay of oil phase separation during storage period, so the quality of magnesium chloride emulsion had correlation with dispersed phase particle size. After all the experiments, when manufacturing magnesium chloride emulsion, it used more than 10,000 rpm of rotational speed of homomixer, it showed the best result as coagulant according to the state of texture and the water separation ratio of soybean curd.

**Key Words** : Homomixer, Magnesium chloride emulsion, Rotational speed, Soybean curd coagulant

### 1. 서론

두부는 콩을 이용한 대표적인 가공식품으로 예로부터 우리나라를 비롯한 중국, 일본 등지에서 식용되어온 콩 단백질식품이다. 곡류 위주의 식생활에서 부족하기 쉬운 필수아미노산이 다량으로 함유되어 있으며, 소화흡수율이 높고, 값이 저렴하면서 간편하게 이용할 수 있는 식품 중의 하나이다[1,2].

또한 건강기능식품과 LOHAS 개념으로 제품 다양화와 더불어 국내 두부시장은 대기업의 시장 진출로 경쟁이 치열해지며 성장 추이도 빨라지고 있다[3].

두부는 두유에 응고제를 사용하여 수용성 단백질을 침전·응고시킨 후 탈수·성형한 것이다. 대두단백질 내에 존재하는 소수성 영역은 열처리로 인해 구조 밖으로 나오면서 변형되어 음전하를 갖게 된다. 응고제의 양성자나 칼슘 또는 마그네슘 이온에 의해 중성화되고 증가된 중

\*Corresponding Author : Kyung-Hee Joung(Chungwoon Univ.)

Tel: +82-10-9405-788 email: jkh022@hanmail.net

Received December 31, 2012 Revised February 27, 2013 Accepted March 7, 2013

성화 단백질은 임의대로 응집되어 혼탁해지며 단백질의 망상구조(network)를 형성하게 된다[4].

두부응고제 중 염화마그네슘은 두유 중의 단백질을 재빠르게 응고시키기 때문에 염화마그네슘의 투입과 교반 작업 등에 숙련된 기술이 요구된다. 최근에는 이러한 단점을 보완하기 위해 유화기술을 이용하여 염화마그네슘 W/O유화물을 제조하여 지효성 두부응고제로서 상용화되고 있다[5-7].

두부나 두부응고제에 관한 연구로 응고제 종류가 감분말 첨가 두부의 품질과 저장성에 미치는 영향[8], 응고제에 따른 스피루리나 첨가 두부의 품질 특성[9], 충전두부의 저장성에 미치는 응고제의 효과[10], 응고제를 달리하여 제조한 두부의 질감과 구조특성[11], 분리대두단백 두부의 제조를 위한 가열시간 및 혼합응고제의 영향[12], 응고제를 달리하여 제조한 두부의 텍스처 특성과 두부순물의 성분[13], 응고제의 종류와 농도에 따른 전지대두분 두부의 품질[14] 등이 보고되어 있다. 이와같이 응고제에 관한 연구는 보고되었으나 Homomixer 회전속도를 달리한 연구는 미미한 실정이다.

본 연구에서는 두부응고제로서 상용화되고 있는 염화마그네슘유화물의 제품화를 위한 목적으로 유화 시 Homomixer 회전속도를 달리하여 유화물을 제조하였다. 유화물의 유지 중에 분산되어 있는 염화마그네슘 수용액의 입자크기 및 유화안정성, 점도를 비교하고 두유에 적용하여 두부제조 시 응고시간과 조직의 상태 및 이수에 대하여 측정하여 최적조건을 확립하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 재료

본 실험 재료는 염화마그네슘( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ , Dahuachem International Economic and Trade Corp, China) 옥수수기름(CJ제일제당, Korea), 글리세린지방산에스테르(太陽化學, Japan), 혼합형 d-토코페롤(理研ビタミン, Japan)를 사용하였다. 실험기간은 2010년 6월로 두부제조에 사용한 두유는 시중 두부공장(충남 아산시)에서 구입하여 사용하였다.

### 2.2 염화마그네슘유화물의 제조

염화마그네슘유화물의 배합비율 및 제조방법은 Table 1의 花王(株)의 방법[6]과 단순유화법[7]에 따라 수행하였다. 즉, 교반기가 부착된 4-neck flask에 옥수수기름과 글리세린지방산에스테르, 혼합형 d-토코페롤을 넣어 60℃로 가열, 교반하면서 용해시켰고, 여기에 60%(w/w)

염화마그네슘 수용액을 교반속도 175rpm, 온도 60℃ 유지하면서 10~15분간 dropping하여 premixture를 제조하였다. Premixture를 1,000mL beaker로 옮겨서 homomixer(우원기계, 180W)로 5분간 균질화하여 염화마그네슘 W/O 유화물을 제조하였다.

조제한 염화마그네슘유화물의 특성을 실험하기 위하여 homomixer의 회전속도를 8,000rpm, 10,000rpm, 12,000rpm, 15,000rpm으로 달리하여 유화물을 제조하였다.

[Table 1] Formula of magnesium chloride W/O emulsion

Raw materials	Ratio(%)
Corn oil	28.15
Magnesium chloride	42.00
Pure Water	28.00
Glycerin Esters of Fatty acids	1.80
Mixed d-Tocopherol	0.05
Total	100.00

### 2.3 입자크기

각 조건별 유화물을 옥수수기름에 5%(w/w)의 농도로 희석하여 광학현미경으로  $\times 600$  배율로 접안마이크로미터 한눈금의 크기를  $3\mu m$ 로 하여 염화마그네슘 수용액의 입자를 비교하였다.

### 2.4 유화안정성

유화안정성을 확인하기 위하여 정지분리법[7]으로 homomixer의 회전속도를 달리한 유화물을 실온에 보관하면서 유상분리현상을 관찰하였다.

### 2.5 점도

회전속도를 달리한 유화물의 점도는 회전식 점도측정법[15]으로 Brookfield LV type의 점도계로 Spindle No. 4, 60 rpm, 25℃에서 측정하였다.

### 2.6 두부의 제조 및 응고시간

두부제조 및 응고시간은 稲岡의 방법[16]으로 1,000mL beaker에 두유(10 Brix%) 800g을 80℃까지 가열한 후 homomixer를 약 2,000rpm으로 교반하면서 두부응고제로서 60%(w/w) 염화마그네슘 수용액 3.20g 및 각 조건별로 제조한 W/O 염화마그네슘유화물 4.57g을 구분하여 각각 투입하였다. 이때 두부응고제로서 염화마그네슘의 첨가량은 두유 12.5 Brix% 기준, 0.3%(염화마그네슘 42% 함유 유화물로서는 약 0.71%)에 상당하는 양으로 환산하였다. 두부응고제 투입완료 직후 homomixer의

회전속도를 7,000rpm로 전환하여 최초 응고가 시작되는 시간을 측정하였다.

### 2.7 두부의 조직상태

상기의 방법으로 제조한 두부를 실온으로 냉각시켜 두부 단면의 조직 상태를 비교하였다.

### 2.8 이수율

두부의 이수율은 비압착법에 의한 자연탈수 방법으로 측정하였다. 즉, 실험에 앞서 여과를 위해 200mm 표준체와 팬을 결합하여 그 위에 미리 물을 흡수시킨 270mm No.5B 정량용 여과지(ADVANTEC)를 얹어 무게를 달아 기록하였다(a). 제조한 각각의 두부를 실온으로 냉각 후 beaker로부터 미리 준비한 표준체에 마련한 여과지 위에 응고된 두부가 파손되지 않도록 주의하여 옮기고 전체 무게를 달아 기록하였다(b). 약 1시간 정도 자연 상태에서 방치하여 두부로부터 이수되는 순물을 표준체 팬에 모은 후 beaker로 옮겨 그 무게를 달아(c) 다음의 식(1)로 이수율을 정량하였다.

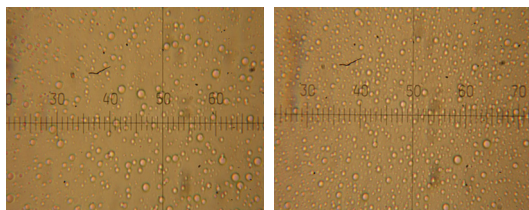
$$\text{이수율}(\%) = \frac{c}{b-a} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

- a : 표준체 및 팬과 흡수처리여과지 합한 무게(g)
- b : a와 응고시킨 두부를 더한 무게
- c : 두부로부터 팬에 모아진 두부순물의 무게

## 3. 연구 결과 및 고찰

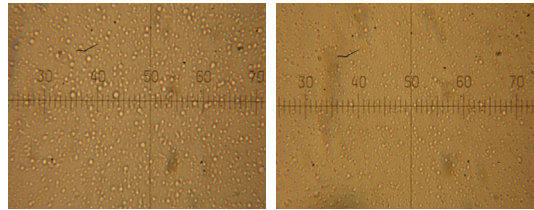
### 3.1 입자크기

Homomixer의 회전속도를 달리하여 제조한 염화마그네슘유화물의 입자크기를 측정한 결과는 Fig. 1과 같다. 8,000rpm의 회전속도로 제조한 유화물의 입자크기는 2~5µm, 10,000rpm의 경우는 2~4µm, 12,000rpm은 1~3µm, 15,000rpm은 1~2µm으로 회전속도를 증가시킬수록 입자의 크기가 뚜렷하게 미세화 되는 경향을 나타내었다.



(a) 8,000rpm

(b) 10,000 rpm



(c) 12,000rpm

(d) 15,000rpm

[Fig. 1] Particle size of emulsion made by changing rotational speed.

Homomixer의 회전속도를 달리하여 제조한 염화마그네슘유화물을 옥수수기름 중에 분산되어 있는 염화마그네슘 수용액 입자크기는 1~5µm으로 분포되어 있었으며, 회전속도를 증가시킬수록 뚜렷한 입자차이로 미세화 되는 경향을 나타내었다. 염화마그네슘 수용액의 입자크기는 유화물 조성 및 제조에 있어서 안정성을 판단하는 중요한 척도로 분산상의 입자가 크게 형성된 유화물의 경우 연속상과 분산상이 계면장력의 차이에 의해 본래의 성질로 되돌아가기 위한 응집이 진행되고 합쳐져서 유화가 파괴된다고 하는 이론[7]과 비슷한 경향을 나타내었다.

### 3.2 유화안정성

Homomixer의 회전속도를 달리하여 제조한 염화마그네슘유화물을 실온에 보관하면서 상층부 유상분리의 발생을 측정한 결과는 Table 2와 같다. 회전속도를 8,000rpm으로 제조한 유화물은 25일, 10,000rpm은 32일, 12,000rpm은 34일, 15,000rpm은 52일 만에 상층부의 유상분리가 확인되었다. 유화물 제조에 있어서 회전속도가 증가할수록 유상분리가 지연되었으며, 유화물에 있어서 유화안정화 조건인 연속상 중에 분산상의 입자크기가 미세하거나 점도가 높아질수록 유상분리의 발생이 지연되는 경향을 나타내었다.

[Table 2] Oil phase separation of emulsion in each condition during storage period at room temperature

Emulsions	Oil separation (day)
8,000rpm	25
Rotation speed of homomixer	10,000rpm
	32
	12,000rpm
	34
	15,000rpm
	52

### 3.3 점도

Homomixer의 회전속도를 8,000rpm, 10,000 rpm, 12,000rpm, 15,000 rpm으로 각각 제조한 유화물에 대해

여 점도를 측정한 결과는 Table 3과 같다. 회전속도를 8,000rpm으로 제조한 유화물은 2,190cp, 10,000rpm에서는 2,320cp, 12,000rpm에서는 2,450cp, 15,000rpm에서는 2,610cp로 회전속도와 점도는 비례하는 경향을 나타내었다.

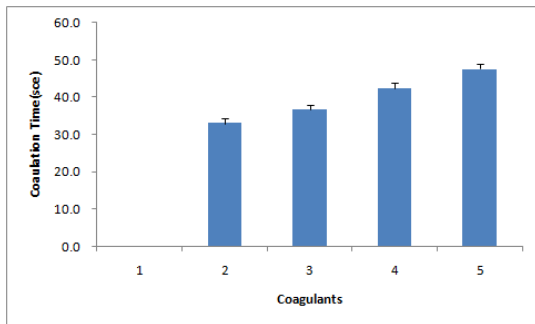
[Table 3] Viscosity of emulsion made by changing rotational speed

Rotational speed (rpm)	Viscosity (cp)	Measurement condition
8,000	2,190	Brookfield LV Type Spindle No. 4, 60rpm, 25℃
10,000	2,320	
12,000	2,450	
15,000	2,610	

유화물의 점도는 유화안정화를 위한 조건이며, 사용자의 편이성뿐만 아니라 공업적인 자동화 공정에 있어서 응고제의 이송 및 분산에 중요한 역할을 하기 때문에 적절한 조정이 필요하다[7].

### 3.4 두부의 응고시간

Homomixer의 회전속도를 8,000rpm, 10,000 rpm, 12,000rpm, 15,000rpm으로 달리 제조한 유화물을 응고제로 사용하여 두부제조 시 응고시작시간을 측정한 결과는 Fig. 2와 같다.



[Fig. 2] Coagulation time of each coagulant.

- TS 1 : 60%(w/w) Magnesium chloride solution
- TS 2 : Magnesium chloride emulsion made by speed 8,000rpm
- TS 3 : Magnesium chloride emulsion made by speed 10,000rpm
- TS 4 : Magnesium chloride emulsion made by speed 12,000rpm
- TS 5 : Magnesium chloride emulsion made by speed 15,000rpm

대조군으로 60%(w/w) 염화마그네슘 수용액을 응고제로 사용하여 제조한 두부는 두유에 응고제 투입 시 분산을 돕기 위한 2,000rpm의 homomixing 과정에서 응고제 투입과 동시에 응고가 일어났다. Homomixer의 회전속도를 8,000rpm, 10,000 rpm, 12,000rpm, 15,000rpm으로 제조한 유화물을 응고제로 한 두부의 응고시작시간은 각각 33.0초, 36.6초, 42.5초, 47.6초가 소요되었다.

이 결과 회전속도를 증가시킬수록 응고가 두드러지게 지연되는 경향을 나타내었으며, 염화마그네슘유화물에 있어서 연속상 중의 분산상의 입자크기가 작아지거나 실온에서 보관하면서 상층부 유상분리의 발생이 느릴수록 두부제조 시 응고지연효과가 더 있다고 볼 수 있으며, 두부제조 시 유화물을 투입 후 분산시키기 위한 homomixing의 회전속도 조절에 의해 두부 응고시간을 필요한대로 조정할 수 있다는 가능성을 나타내었다.

### 3.5 두부의 조직상태

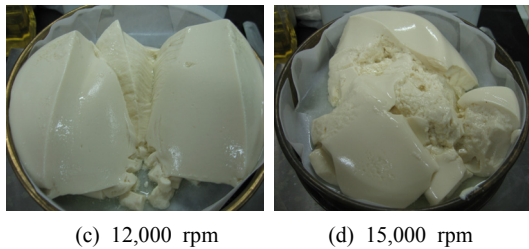
Homomixer의 회전속도를 8,000rpm, 10,000 rpm, 12,000rpm, 15,000rpm으로 달리 제조한 유화물을 응고제로 사용하여 제조한 두부는 Fig. 3과 같다. 일반적인 방법으로 제조한 두부의 조직 상태와 비교하였을 때 염화마그네슘유화물을 응고제로 사용한 두부의 표면 및 단면이 매끄럽고 탄력이 좋고 보형성이 양호한 결과를 나타내었으며, 회전속도를 12,000rpm으로 제조한 유화물을 응고제로 사용하여 제조한 두부단면의 조직상태 및 보형성 가장 양호한 결과를 나타내었다.

두부의 조직이 거칠고 매끄러움의 차이는 응고진행시간에 관계하여 속효성 응고제를 사용할 경우 미세응고단위로 분산이 되지 않아 조직이 거칠게 된 반면, 염화마그네슘 W/O유화물의 경우는 homomixer를 이용한 가역적인 유화 파괴와 더불어 응고반응 지효화 기작[16]에 의해 서서히 방출된 염화마그네슘이 세세하게 두유 중에 분산되어 치밀한 겔을 형성하여 조직이 매끄러운 분만 아니라 탄력있고 보형성이 우수한 두부가 만들어졌다고 판단된다.



(a) 8,000 rpm

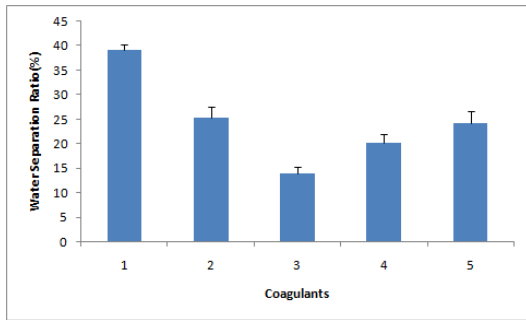
(b) 10,000 rpm



(c) 12,000 rpm (d) 15,000 rpm  
 [Fig. 3] Soybean curd made by using emulsion having different rotational speed as coagulant.

### 3.6 이수율

Homomixer의 회전속도를 달리하여 제조한 염화마그네슘유화물을 응고제로 사용하여 제조한 두부의 조직상태를 확인한 후 1시간 정도 자연 상태로 방치하여 이수율을 측정하는 결과는 Fig. 4와 같다.



[Fig. 4] Water separation ratio of soybean curd by each coagulant

- TS 1 : 60%(w/w) Magnesium chloride solution
- TS 2 : Magnesium chloride emulsion made by speed 8,000 rpm
- TS 3 : Magnesium chloride emulsion made by speed 10,000 rpm
- TS 4 : Magnesium chloride emulsion made by speed 12,000 rpm
- TS 5 : Magnesium chloride emulsion made by speed 15,000 rpm

일반적인 방법으로 두부를 제조한 60%(w/w) 염화마그네슘 수용액을 응고제로 사용한 경우의 이수율은 39.1%로 가장 높았으며, Homomixer의 회전속도를 8,000rpm, 10,000rpm, 12,000rpm, 15,000rpm으로 제조한 유화물을 응고제로 한 두부의 이수율은 각각 25.4%, 13.9%, 20.2%, 24.3%를 나타내었다. 10,000rpm의 경우를 제외하고는 평균 이상의 이수율을 나타내었으며, 경향을 판단하기 어려운 값을 나타내었다. 염화마그네슘유화물

을 응고제로 사용했을 때 평균 이수율은 약 21%로 60%(w/w) 염화마그네슘 수용액을 응고제로 사용한 두부의 이수율의 약 54% 수준 밖에 되지 않는 점으로 미루어 보수성이 양호한 것으로 확인되었다.

각 조건별 염화마그네슘유화물에 대한 이화학적 특성과 두부제조 특성을 비교하여 염화마그네슘유화물의 제조조건으로 Homomixer의 회전속도를 10,000rpm 이상에서 제조하는 것이 두부응고제로서 두부의 조직상태와 이수율 등이 가장 좋은 결과를 나타내었다.

## 4. 결론 및 요약

두부응고제로서 염화마그네슘유화물의 제조상 최적조건을 확립하기 위한 방법의 하나로 Homomixer의 회전속도에 따른 유화물의 품질특성을 비교하였고 유화물을 응고제로 사용하여 두부응고특성인 응고시간, 조직상태, 이수율을 측정하였다.

염화마그네슘유화물의 입자는 Homomixer의 회전속도가 증가할수록 미세화하였고 입자크기는 1~5 $\mu$ m로 분포하고 있었으며, 미세화 할수록 점도의 증가와 보관 중 유상분리의 지연으로 상관관계가 있음을 나타내었다. 각 유화물에 대한 두부의 응고 특성에 있어서는 30초 이상의 응고지연효과를 나타냈으며, 조직은 매끄럽고 탄력성 및 보형성이 양호하였으며, 평균 이수율은 약 21%를 나타내었다. 따라서 염화마그네슘유화물을 제조하는데 있어서 Homomixer의 회전속도는 10,000rpm 이상에서 제조하는 것이 두부응고제로서 두부의 조직 상태와 이수율 등이 가장 좋은 결과를 나타내었다.

## References

- [1] Kim H, Kim KA, Cha EJ, Han NS, Property analysis of soybean curd produced by automatic and consecutive processes, Food Engin Prog 9: 303-308, 2005.
- [2] Park KN, Park LY, Kim DG, Park GS, Lee SH, Effect of turmeric (*Curcuma aromatica* Salab.) on shelf life of tofu, Korean J Food Preserv 14: 136-141, 2007.
- [3] "Food Distribution Almanac", Chapter 14. Soybean Curd, pp. Food Journal, 346-354, 2008.
- [4] S. S. Kim, Food Technology, Su Hak Sa, pp. 274-278, 1967.
- [5] C. J. Kim, "Lack of Filtration and Separation Research for Soybean Milk and Soybean Curd Residue", The

- Monthly Food Industry, July, pp. 94-105, 2005.
- [6] KAO Cooperation, Coagulant for Tofu, Patent 10-0831913, 2008.
- [7] Toru Hitaka(Translated by J. S. Noh & E. H. Park) "Emulsifier for Food", Published by Suseowon, pp. 85-123, 1991.
- [8] Y. R. Lee, H. S. Chung, J. H. Seong, K. D. Moon, "Effect of different coagulants on quality of Tofu incorporated with persimmon fruit powder", Korean journal of food preservation, 18:678-683, 2011.
- [9] H. J. Kim, S. H. Lee, M. R. Kim, Quality characteristics of spirulina Tofu prepared with different coagulants, J East Asian Soc Dietary Life, 20: 769-775, 2010.
- [10] D. H. Kim, K. S. Lee, "Effect of Coagulant on Storage of Packed Tofu", Korean Journal of the Food Science and Technology, 24:92-96, 1992.
- [11] H. J. Lee, I. K. Hwang, "Textural Characteristics and Microstructure of Soybean Curds Prepared with Different Coagulants", Korean Journal of Food and Cookery Science, 10:284-290, 1994.
- [12] K. H. Ku, W. J. Kim, "Effect of Heating Yime and Mixed Coagulants for Prepared SPI Tofu", Korean Journal of the Food Science and Technology, 26: 26-30, 1994.
- [13] S. M. Lee, I. K. Hwang, "Texture Characteristics of Soybean Curds Prepared with Different Coagulants and Compositions of Soybean-Curd whey", Korean Journal of the Food Science and Technology, 13:78-85, 1997.
- [14] J. Y. Kim, J. H. Kim, J. K. Kim, K. D. Moon, "Quality Attributes of whole Soybean flour Tofu Affected by Coagulant and Theirs Concentration", Korean Journal of the Food Science and Technology, 32: 402-409, 2000.
- [15] "Korea Food Additives Code", Korea Food & Drug Administration, pp. 1326-1327, 2008.
- [16] Sechujiro Inaoka, "Development Background and Technology Innovation about Emulsified Coagulant of Bittern 'MAGNESFINE'", Soybeans and Technology, Winter Issue, pp. 14-19, 2000.

**홍 승 석(Seung-Seok Hong)**

[정회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 식품공학과(공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 식품공학과 박사과정
- 1991년 1월 ~ 현재 : (주)광일 생산기술연구소 소장

<관심분야>

식품가공, 식품첨가물, 기능성 식품

**박 원 종(Won-Jong Park)**

[정회원]



- 1983년 2월 : 건국대학교 농화학과(농학석사)
- 1995년 2월 : 건국대학교 농화학과(농학박사)
- 1981년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 식품공학과 교수
- 2004년 1월 ~ 현재 : 농림부 특화사업(구기자)단 단장
- 2001년 1월 ~ 현재 : 농업진흥청 작물연구전문위원

<관심분야>

식품가공, 기능성 식품, 식품공학

**정 경 희(Kyung-Hee Joung)**

[정회원]



- 2005년 2월 : 청운대학교 관광통상경영학과(경영학석사)
- 2010년 2월 : 공주대학교 식품공학과(공학박사)
- 2005년 8월 ~ 현재 : 청운대학교 호텔조리식당경영학과 겸임교수
- 2007년 3월 ~ 현재 : (주)바이오 폴리텍 연구소장

<관심분야>

조리과학, 기능성 식품, 식품영양학