

## 21세기를 맞이하는 식품·생물공정공학의 연구 및 교육 방향

# Research and Teaching in Food and Bio-process Engineering to Meet the 21st Century

금 동 혁\*  
정회원  
D. H. Keum

조 용 진\*\*  
정회원  
Y. J. Cho

### 1. 서 론

과학기술의 패러다임은 생명체가 진화하듯 변신한다. 지난 시간을 돌이켜보아 오늘의 모습과 비교해 보면 변화의 폭을 실감할 수 있다. Samuel C. Prescott 박사(Singh, 1997)에 의해 표현된 식품공학(food engineering)이란 용어가 소개된 시기는 1939년 경이었다.

초기 식품공학은 농공학에서 농산물의 수확후 작업과 관련하여 식품제조와 식품가공장치에 관한 내용이 주로 다루어졌으며, 이 시기의 특징을 보여주는 대표적인 저서의 예가 Milton E. Parker가 1952년에 저술한 "Elements of Food Engineering"이다. 1950년대와 1960년대에는 화학공학의 단위 조작이 도입되어 현재까지 식품공학의 주요 기법으로 사용되고 있는 바, 건조, 살균, 냉동, 압출 등의 공정에서 현저한 성과를 보였다(Karel, 1997).

한편, 지난 20여년 동안 컴퓨터 기술, 분자생물학, 재료과학 등이 혁명적으로 발전한 결과, 그 영향으로 인하여 식품공학의 관심이 식품재료의 물리화학적 이해, 그리고 컴퓨터 기술을 이용한 식품공정 해석, 시뮬레이션, 식품공정 제어 등의 분야로 집중되었다.

이와 같은 식품공학은 짧은 역사에도 불구하고 팔

목할만한 성장을 이루었으며, 식품재료에 대한 정량적 처리(quantitative treatment)를 특징으로 하는 식품공학은 식품산업의 발전에 지대한 공헌을 하였다.

이제 다시 식품공학은 전환기를 맞이하고 있다. 과거, 식품 관련 연구에서는 영양적 기능(nutritional function)의 1차 기능과 감각적 기능(sensory function)의 2차 기능에 관한 이해가 중심을 이루었으나, 최근에는 생체 방어, 생체 리듬 조절 등과 같은 새로운 기능 즉, 3차 기능(tertiary function)에 관한 연구가 활성화되어 식품재료의 대상이 크게 확대되었을 뿐만 아니라 생물학 또는 생물재료과학(bio-material science)의 중요성이 크게 부각되고 있다. 이에 식품 및 생물재료(foods and bio-materials)라는 광의의 개념이 필요하게 되었다.

공학적 기법 측면에서는, 과거 식품공학에서 불균일성을 특징으로 하는 식품재료에 대해서 평균적 처리를 다루는 기법들이 근간을 이루었으나, 이제 온라인 실시간 모니터링(on-line real time monitoring), 온라인 시뮬레이션(on-line simulation), 인공지능 등과 같은 고도의 공학적 기법에 의해 모든 국소 현상을 실시간 기준에서 다룰 수 있는 식품·생물공정공학이 요구되고 있다.

다가오는 21세기는 하나의 새로운 세기(century)의 등장일 뿐만 아니라 새로운 천년(millennium)의 개막

\* 성균관대학교 생물기전공학과  
\*\* 한국식품개발연구원

을 의미한다. 모든 분야에서 새로운 도약을 위한 미래의 조망을 필요로 하고 있다. 식품·생물공학 공학 분야에서도 여러 학술회의 및 포럼을 통하여 새로운 연구 패러다임을 제시하고 있다.

여기서는 그 동안의 연구 사례들을 토대로 식품·생물공학 공학과 관련된 주요 분야에 대해서 현황을 고찰함과 함께 향후 주요 연구 과제를 조망해 보며, 이 분야와 관련된 국내외 대학의 교육과정을 살펴보고자 한다.

## 2. 식품·생물공학 공학의 연구 패러다임

### 가. 식품·생물재료의 물성공학

식품·생물재료의 물성에 대한 이해는 공학적 기법의 적용을 위해 필수적이다. 식품·생물재료의 물성은 형태학적 특성, 리올로지(rheology), 기계적 성질, 열적 성질, 물질전달 특성, 전자기적 성질, 광학적 성질, 상전이(phase transition) 등을 포함하며, 꾸준히 활발한 연구가 이루어지고 있을 뿐만 아니라 향후 연구과제로서의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 식품·생물재료의 각종 공학적 성질은 식품·생물 공정공학의 해석 및 설계에 기본적으로 요구되는 자료이기 때문에 이에 관한 연구는 재차 강조하여도 지나침이 없을 것이다.

식품·생물재료의 형태학적 특성은 물질의 속성과 품질에 관하여 다양한 정보를 제공하므로 많은 연구가 수행되었다. 특히, 특수한 장치를 사용할 경우 물질의 미세구조까지 파악할 수 있어 화학적 성분과 거시적 특성 사이의 단절을 이어주는 정보를 얻을 수 있다(Vodovotz 등, 1996). 광학현미경으로는 식물체의 경우 단백질체, 전분 입자, 세포, 그리고 동물체에서는 섬유질 조직(fiber), 섬유소(fibril) 등과 같은  $1\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ 의 크기를 관찰할 수 있다. SEM(scanning electron microscopy)과 TEM(transmission electron microscopy)을 이용하게 되면 지질체, 미오신(myosin), 식물 세포벽의 구조 등과 같은  $10\ \text{nm} \sim 10\ \mu\text{m}$ 의 크기를 관찰할 수 있으며, TEM(transmission electron microscopy)의 경우 락토오스

(lactose)와 같은  $1\ \text{nm}$  이하의 크기까지 관찰할 수 있다(Aguilera와 Stanley, 1990). LSCM(laser scanning confocal microscopy)으로는 살아있는 세포의 시간 경과에 따른 변화를 분석할 수 있다(Vodovotz 등, 1996). 최근 Kirby 등(1995)은 분자 또는 원자 단위까지 관찰할 수 있는 atomic force microscopy의 활용을 소개하였다. 과거 이와 같은 형태학적 연구가 단편적인 관찰에 불과하여 공학적 기법으로서 활용되지 못하였으나, 최근 영상처리기법의 도입에 힘입어 주요 형태학적 특성이 정량적으로 신속히 다루어질 수 있어서 공정제어, 품질관리 등의 분야에서 새로운 공학적 기법으로 부각되고 있다(Kalab 등, 1995; Aguilera와 Lillford, 1997; 조, 1997; Cho 등, 1997).

식품·생물재료의 물성에 대한 이해는 최근 관심이 급격히 증대되고 있는 비파괴 기술의 적용을 위한 판단 근거가 된다. 식품·생물재료의 기계적 특성, 초음파 특성, 광학적 특성, 전자기적 특성, 외관, 색상 등은 비파괴 기술과 관련된 주요 물성들이다. 식품·생물재료는 불균일성, 쉽게 부패하는 성질 등을 특징으로 하므로 비파괴적으로 신속하게 전수 검사하여 품질 관리하는 것은 이상적인 목표이다(노, 1995; 노, 1996; Han 등, 1996; Kim 등, 1996).

### 나. 식품·생물가공을 위한 새로운 공학기법

식품·생물재료의 가공제품은, 칫제, 품질(quality) 향상과 안전성(safety) 확보, 둘째, 경제적 경쟁력(economic competitiveness) 제고, 셋째, 환경 친화성(environmental sustainability) 확보를 더욱 강화하도록 요구되고 있다.

식품의 품질이란 영양학적 요소, 미생물학적 특성, 비용, 편의성, 안정성(stability), 감각적 특성(sensory properties) 등과 같은 속성들이 종합적으로 평가되는 것으로서, 고도의 품질과 안전한 식품은 현재의 공정과 설비의 개선은 물론이고 새로운 공정과 설비들의 개발을 통해서 얻을 수 있다. 식품·생물산업은 전통적으로 다른 제조산업에 비하여 새로운 공정 기술의 도입이 더딘 형편이었다. 이러한 원

인은, 식품·생물재료가 불균일성이고, 재료의 물성이 공정 조건에 따라서 변하기 쉬우며, 그에 따라서 제품의 품질과 안전성을 모니터링 할 수 있는 온라인 센서들이 충분히 개발되지 않았기 때문이다(IFIT, 1993).

무균가공법(aseptic processing)은 최근 식품·생물공정 공학분야에서 가장 큰 관심의 대상이 되고 있는 기법중의 하나로서 원료 처리부터 포장까지 일련의 연속적인 공정을 종합적으로 다루어야 하기 때문에 고도의 공학적 기법이 요구된다(Nelson 등, 1987; Sastry, 1992). 조리, 살균, 포장 등의 공정을 연속적으로 처리하는 무균가공법은 기존의 레토르트(retort) 가공법에 비해 공정의 소요 시간이 1/10에 불과하다. 이 공학적 기법은 지난 10여년간의 노력의 결과로 1997년 5월에 미국 FDA(Food and Drug Administration)의 공인을 획득하였으며, 향후 식품산업에서 널리 활용될 것으로 기대된다(Palaniappan, 1997).

식품·생물가공에서 가열 처리는 빈번히 사용되고 있는 단위 조작으로서 특히, 살균 공정에서는 거의 필수적으로 사용되고 있다. 그러나, 가열 처리는 식품·생물재료의 특성상 물성의 변화를 초래하여 제품의 품질을 저하시키는 요인이 되고 있다. 이에 신선한 제품에 대한 소비자의 관심으로 인하여 비가열 처리(nonthermal treatments)가 크게 주목을 받고 있는 바, PEF(pulsed electric fields), OMF(oscillating magnetic fields), HHP(high hydrostatic pressure), light pulses, antimicrobials, bacteriocins 등이 그것이며, 현재 미생물의 사멸 및 성장 억제에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Mertens와 Knorr, 1992; Pothakamury 등, 1993; Knorr, 1994).

고에너지의 초음파는 에멀전화(emulsification), 세포의 파괴, 화학 반응의 증진, 효소 활성의 억제, 육질의 연화, 결정화의 개선 등과 같이 물리적 또는 화학적인 물성의 변화를 유도하는 수단으로 응용되고 있다(McClements, 1995).

최소가공법(minimal processing)이란 신선 식품의 품질 변화를 최소화하여 신선도를 유지하기 위한 여러가지 기법들을 포괄적으로 지칭하는 용어이다. 여

기에 포함되는 기법으로는 절단, 박피, 세척, 화학적 방제, 방사선 처리, 보존제 처리(예: citric acid, ascorbic acid,  $Ca^{2+}$  ions 등), CA/MA 포장, 건조나 보습제 처리에 의한 수분활성도 조절, 미열 처리(예: 데치기, ohmic heating, 고주파 가열, 마이크로파 가열 등), 비가열 처리, 미생물 제어 등이 있으며, 이와 같은 여러 가지 기법들의 조합에 의한 효과가 연구되고 있다(Ohlsson, 1994).

이와 같은 공정 기술의 개선 및 신규 개발을 위한 노력이 환경의 희생을 바탕으로 이루어진다면 앞으로는 허용되기 어려운 것이 세계적 추세이다. 자원의 보존, 물질의 재활용, 부산물의 이용, 환경 부하 감축 등은 환경의 보존을 위하여 식품·생물산업에서도 동참해야 할 과제들이다. 우선, 식품제조 과정에서 발생하는 폐기물의 양을 줄일 수 있으며, 발생된 폐기물이나 부산물을 다시 원료로 하여 식품, 사료, 연료, 화학 제품 등을 생산할 수 있는 기술의 개발이 관심의 대상이 된다. 사과 주스를 생산하면서 발생하는 사과박으로부터 펙틴(pectin)을 추출하여 자원을 재활용하는 것이 좋은 예의 하나가 될 수 있다(Hwang, 1997).

#### 다. 모델링 및 시뮬레이션

모델링은 정량적 처리의 골격을 형성하는 수단이므로 식품·생물공정 공학에서 공학적 속성을 가장 잘 드러내는 분야이며, 식품·생물재료의 물성에 관한 연구와 더불어 가장 중요한 분야 중의 하나이다. 모델링과 시뮬레이션은 여러 가지 요인들에 의한 복잡한 현상들을 물리적 모형(physical model)을 거쳐서 간단한 수학적 모형(mathematical model)으로 나타낼 수 있으므로 현상을 조직적이고 체계적으로 해석하거나 예측할 수 있게 해 준다(조, 1991).

무균가공법의 가열 살균 과정에서 cold-zone의 형성과 이동에 관한 이해는 공정 해석 및 설계의 요체인데 모델링과 시뮬레이션을 통하여 실현하고자 연구 중에 있으며(Sastry, 1992), 보다 정확한 모형 개발에 관한 연구가 요망되고 있다.

컴퓨터의 발달은 온라인 컴퓨터 시뮬레이션 제어

(on-line computer simulation control)가 식품·생물공정에서 적용될 수 있는 기반을 제공하고 있다. 그러나, 이 기법이 식품·생물공정에서 적용될 수 있게 만드는 요체는 식품·생물재료의 물성에 대한 이해를 바탕으로 한 정확한 모델링이다. 예를 들면, 식품의 살균 공정에서 과도한 살균 처리는 제품의 품질을 저하시키고, 부족한 살균 처리는 제품의 안전성을 저해하게 되므로 적절한 살균 처리가 요구되는데, 통조림 식품의 살균 공정에서 온라인 컴퓨터 시뮬레이션 제어를 위한 임계점(critical points)의 실시간 평가는 정확한 열전달 모형을 이용하여 이루어질 수 있다(Teixeira와 Tucker, 1997).

식품·생물공정에서 온라인 시뮬레이션을 위한 모형으로는 수학적 모형뿐만 아니라 지능형 모형 즉, 퍼지 모형(fuzzy models)과 신경망 모형(neural network model)이 많은 관심을 받고 있다. 퍼지 모형은 휴리스틱 탐색(heuristic search)을 특징으로 하며, 신경망 모형은 병렬 처리(parallel processing)에 의한 학습 기능을 특징으로 하고 있어 이와 같은 모형들은 식품·생물재료와 같이 불균일성(heterogeneity)과 이방성(anisotropy) 물질을 대상으로 할 때 유용하게 응용될 수 있다(Eerikainen 등, 1993).

#### 라. 센서 및 자동화

식품·생물공정 공학의 궁극적인 목표는 품질이 우수하고 안전하며 경제적 경쟁력을 가지는 식품이나 생물 제품을 생산하는 데 있다. 식품 산업에서는 불균일한 재료를 막힘 없이 다루고 철저한 위생 및 안전성 관리가 가능하며 유연하고 섬세한 제조 라인을 요구하므로 TQC(total quality control), JIT(just in time), FMS(flexible manufacturing systems) 및 CIM(computer integrated manufacturing)의 시스템이 이상적인 생산 설비라 할 수 있다.

이와 같은 시스템이 생산 현장에서 성공적으로 적용되기 위해서는 무엇보다도 식품·생물공정에서 활용이 가능한 센서들이 충분히 확보되어야 하는데,

수분함량, 화학적 성분, 조직감(texture) 관련 파라미터, 이물질 등을 감지할 수 있는 온라인(on-line) 또는 인라인(in-line) 센서가 요구된다.

Pedersen(1991)은 식품 산업에서 활용될 수 있는 센서로서 온도 센서, 압력 및 진공 센서, 무게 센서, 습도 센서, 유량 센서, 수분함량 센서, 이화학 센서(광학 센서, 점도 센서, 고형분 및 밀도 센서, 금속탐지기, X 선, 형광 센서 등)의 현황에 대해서 소개한 바 있다. 특히, 식품·생물공정에서 사용될 수 있는 온라인 화학적 센서로는 ion-selective electrodes, ion-selective field effect transistors 및 metal oxide gas sensors가 있으며, 단순 센서들의 조합에 의한 센서 융합(sensor fusion)은 불균일성을 특징으로 하는 식품 및 생물 재료를 다루는 데 매우 효과적인 기술로 기대된다(Giese, 1993). 또한, glucose oxidase, ethanol oxidase,  $\beta$ -lactamase, amino acid oxidase, polyphenol oxidase, pyruvate oxidase 등을 활용한 바이오센서(biosensors)에 관한 연구도 많은 성과를 보여주고 있다(Lydersen 등, 1994).

식품 산업을 위한 고급 공정제어 기법으로 process model-based control method가 있다. 이 방법은 기본적인 측정 변수(measurement parameter)를 실시간 측정 후 공정 모형을 근간으로 하는 온라인 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 공정을 제어하는 것으로 식품·생물공정의 자동화에 크게 기여할 것으로 기대된다(Haley와 Mulvaney, 1995).

온라인 비파괴 기술(on-line nondestructive techniques)을 바탕으로 한 공정제어는 또 하나의 주요 연구 분야이다. 품질이 우수하고 안전한 식품의 요구는 소비자의 최대 관심사 중의 하나이다. 비파괴 기술에 의한 공정 자동화는 기계 시각, 초음파 기술, 마이크로파 기술, 광학 기술, NMR/MRI, X 선 등을 요소 기술로 한다(Bary와 McBride, 1992; Kress-Rogers, 1993). 이와 같은 자동화 기술은 TQC 및 JIT를 보다 효과적으로 실현할 수 있는 수단을 제공하게 된다.

### 3. 식품·생물공정 공학의 교육과정

#### 가. 미국 및 캐나다

미국의 식품산업은 GNP의 16% 이상을 차지하는 매우 크고 중요한 산업으로서, 최근 식품산업에서는 고도의 공학적 기법을 필요로 하고 있다(IFT, 1993; Singh, 1994). 미국에서 식품공학 전공은 1980년대에 Purdue University, the University of Massachusetts, Michigan State University에서 독립된 과정으로 설치되었고, 이후 일부 수정을 거쳤으며, 현재 많은 대학에서 식품공학 전공의 프로그램이 설치 운영되고 있다.

현재 미국에는 40개의 농공학과 또는 생물공학과(1980년대 이후, 대부분의 Agricultural Engineering Department가 Agricultural & Biological Engineering Department, Biosystems Engineering Department, Biological Systems Engineering Department, Bioresource Engineering Department, 기타 이와 유사한 명칭 등으로 개편 및 개칭되었다)가 주립대학을 중심으로 설치되어 있다. 이들 학과의 대부분은 학과 내에 Food Engineering, Food Process Engineering, Food and Bio-process Engineering 등의 명칭으로 식품공학 전공을 설치하여 운영하고 있으며, 일부 화공학과 내에도 식품공학 관련 프로그램이 개설되어 있다(각 대학 및 학과 brochure 참조).

Singh(1997)은 식품공학이란 정량적 교육과정(quantitative discipline)으로서 물리학, 수학, 전달현상, 열역학, 반응공학, 기계설계, 식품과학을 기초로 하여 운영되는 전공으로 소개하고 있다. 농공학과/생물공학과에서 식품공학을 전공하기 위해서는 모전공(parent major)과 함께 식품미생물학, 식품화학, 식품가공학 등을 이수하도록 요구하고 있다. 식품공학을 위한 프로그램의 예로서, Purdue University에서 Food Process Engineering을 전공하기 위해 이수해야 하는 교과목은 다음과 같다.

- 1학년 : 공학 전공을 위해 요구되는 공통 및 교양 과목

- 2학년 : agricultural engineering computations, biological material and energy balances, biology(the basic concepts), organic chemistry, multivariate calculus, linear algebra and differential equations, mechanics of materials, basic mechanics I, electricity and optics
- 3학년 : physical properties of biological materials, food process engineering laboratory, food chemistry, chemical engineering thermodynamics, momentum transfer, chemical reaction engineering, microbiology
- 4학년 : foods process engineering unit operations, food plant design, process dynamics and control, food microbiology

이와 같은 식품공학 과정을 이수하게 되면 ABET (the Accreditation Board for Engineering and Technology)에서 인정하는 공학학위를 수여 받는다. 미국의 경우, 학과에서 공학학위를 수여하기 위해서는 교과과정, 교수진, 교육시설 등에 대하여 ABET의 엄격한 심사를 거쳐서 공인 받아야 한다. 이것이 식품공학(food engineering program)을 식품과학(food science program)과 다르게 분류하는 까닭이다.

캐나다의 식품공학 교육 프로그램도 미국의 경우와 유사한 형태를 가지고 있다. 1980년대에 University of Guelph에서 최초로 식품공학 전공을 개설하였으며, 식품공학 전공은 농공학과 또는 생물시스템공학과와 일부 또는 독립된 프로그램으로 운영되고 있다. University of Guelph의 School of Engineering에서는 5개의 Engineering Program(Food Engineering, Environmental Engineering, Water Resources Engineering, Engineering Systems and Computing, Biological Engineering) 중의 하나로 Food Engineering Program이 운영되고 있다(각 대학 및 학과 brochure 참조).

#### 나. 유 럽

유럽의 국가와 민족은 다양성을 특징으로 하고 있어 그에 따른 교육 체계도 매우 다양하다. 식품 관련

교육 프로그램도 예외가 아니어서 하나로 일치된 식품공학 프로그램을 찾기가 쉽지 않다. 식품산업과 관련된 교육 프로그램은 food science, food technology, food engineering, food science and technology, food chemistry, agro-industrial engineering, biological engineering, bioprocessing engineering 등의 명칭으로 다양하게 운영되고 있다. 그러나, 이와 같이 다양한 프로그램에서도 대부분 식품공학 관련 프로그램은 포함되어 있다. 이 때의 식품공학은 기초 과학 측면이 아니라, 전달현상, 공정제어 등과 같은 일련의 기초 공학에서부터 단위조작을 이용한 공정 처리까지 생산 현장을 겨냥한 산업공학 측면에서의 학문 영역을 의미하는 것이다.

유럽은 다양성을 통일시키고자 하는 역설적인 노력을 기울이고 있는 것이 또 다른 특징이다. 한편, 유럽은 Nestlé, Danone 등과 같은 세계 굴지의 식품회사가 뿌리를 두고 있는 곳이기도 하다. 따라서, 국가간 및 산학 협동을 극대화 하고자 현재 European Master's Degree in Food Studies를 유럽 전역에 걸쳐서 20개의 국가와 8개의 식품회사가 참가하는 협력체에 의해 운영하고 있다(Oliveira와 Medina, 1997).

#### 다. 한 국

한국의 경우, 미국의 ABET에서 인정하고 있는 식품공학 프로그램에 해당하는 교육 프로그램은 아직 미설치 상태에 있다. 다만, 농공학 및 식품학 관련학과에서 식품공학에 관한 일부 교과목을 부분적으로 개설하고 있다.

우리나라의 식품학 관련학과는 매우 다양한 명칭을 가지고 있으며, 그에 따라 개설하고 있는 교과과정 또한 매우 다양하다. 식품학 관련학과로는 식품공학과, 식품가공학과, 식품영양학과, 식품과학과, 식품생물공학과, 조리과학과, 수산가공학과 등이며, 이들 학과에서는 식품재료에 대한 이해, 식품가공법 및 공정의 개발, 식품의 영양·생리학적 기능에 대한 이해 등의 교육에 중점을 두고 있다(1997년 7월 14일자 식품정보신문). 한편, 이들 학과에서 수여하

는 학위의 종류도 공학학위, 농학학위, 이학학위 등 다양하다.

농공학 관련학과는 농공학과, 농업기계공학과, 생물기전공학과, 산업기계공학과 등이며, 이들 학과에서는 공학학위를 수여하고 있다. 농공학 관련 학과에서는 식품·생물 자원의 생산 및 가공 시스템의 이해에 필요한 교과과정을 중점적으로 개설하고 있고, 식품·생물재료에 대한 이해를 위한 교과목도 일부 개설하고 있으며(각 학과 교과과정 참조), 최근 식품·생물재료의 물리화학적 특성에 관한 교육을 크게 강화하고 있는 추세에 있다.

#### 4. 결 론

21세기를 맞이할 시점에 이르러 식품·생물산업이 새로운 모습으로 부각될 전망이다에서 식품·생물 공정 공학의 중요성이 강조되고 있다. 과거 영양학적 측면의 식품이 기초성 및 편의성 측면의 식품으로 관심도가 바뀌었다가 최근 식품의 안전성이 강조되고 있다. 이와 같은 다양한 요구를 모두 만족하는 제품이 경제적 경쟁력을 가지기 위해서는 식품·생물공정 기술이 공고히 다져져야 한다.

이미 선진 외국의 경우, 식품·생물공정 공학의 발전을 위한 향후 연구과제를 발굴하여 적극 대처하고 있고, 대학에서는 전문교육과정을 설치하거나 국가간 및 산학 협동과정을 개설하여 운영하고 있으며, 나아가 대학내 전문연구센터를 설립하고 있다. 그것에 비하면 우리나라는 식품·생물공정 공학 분야에 관하여 조직적이고 체계적인 연구 및 교육 프로그램이 아직 미흡한 형편에 있다.

21세기에 우리나라의 식품·생물산업이 세계적으로 경쟁력 있는 유망산업으로 자리잡기 위해서 관련 산업기술이 뒷받침되어야 하는 바, 앞을 내다보는 연구와 교육만이 이를 해결할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 노상하. 1995. 중점과제연구회 결과보고서. 농산물비파괴물성측정연구회.

2. 노상하. 1996. 중점과제연구회 결과보고서. 농산  
물비과과물성측정연구회.
3. 조용진. 1991. 고추의 건조과정 모형화 및 최적  
화에 관한 연구. 박사학위논문, 서울대학교 대학  
원.
4. 조용진. 1997. 세포 표면 특성을 이용한 사과 선  
도 평가. 한국농업기계학회 학술대회 논문집 2  
(2):187-193.
5. Aguilera, J. M. and D. W. Stanley. 1990.  
Microstructural principles of food processing &  
engineering. Elsevier Applied Science, London, p.  
343.
6. Aguilera, J. M. and P. J. Lillford. 1997.  
Microstructural and imaging analyses as related to  
food engineering. In Fito, P., E. Ortega-Rodriguez  
and G. V. Barbosa-Canovas (ed.), Food  
engineering 2000, Chapman & Hall, New York,  
pp. 23-38.
7. Bary, D. E. and D. McBride. 1992. Nondestructive  
testing techniques. John Wiley & Sons, Inc., New  
York, 765.
8. Cho, Y. J., Y. J. Han, W. E. Lambert and C. K.  
Bragg. 1997. Characterizing convolutions in cotton  
fiber and their effects on fiber strength.  
Transactions of the ASAE 40(2):479-483.
9. Eerikainen, T., P. Linko, S. Linko, T. Siimes and  
Y-H. Zhu. 1993. Fuzzy logic and neural network  
applications in food science and technology.  
Trends in Food Science & Technology 4:237-242.
10. Giese, J. 1993. On-line sensors for food processing.  
Food Technology 47(5):88-95.
11. Haley, T. A. and S. J. Mulvaney. 1995. Advanced  
process control techniques for the food industry.  
Trends in Food Science & Technology 6:103-110.
12. Han, Y. J., Y. J. Cho, W. S. Rial and W. E.  
Lambert. 1996. Study on sensing and separation  
technology for quality inspection of agricultural  
products. Final Report of Clemson University.
13. Hwang, J. K., J. S. Choi, Y. J. Cho and C. T. Kim.  
1997. Particle size effects on acidic solubilization  
of pectins from apple pomace. IFT Annual  
Meeting, Jun. 14-18, 1997, Orlando, USA.
14. IFT. 1993. America's food research needs: into the  
21st century. Food Technology 47(3):1S-40S.
15. Kalab, M., P. Allan-Wojtas and S. S. Miller. 1995.  
Microscopy and other imaging techniques in food  
structure analysis. Trends in Food Science &  
Technology 6:177-186.
16. Karel, M. 1997. The history and future of food  
engineering. In Fito, P., E. Ortega-Rodriguez and  
G. V. Barbosa-Canovas (ed.), Food engineering  
2000, Chapman & Hall, New York, pp. 3-19.
17. Kim, M. S., S. H. Noh, H. Hwang, S. I. Cho and  
Y. J. Cho (ed.). 1996. Quality evaluation of  
agricultural products and foods using  
nondestructive techniques. The Korean Special  
Interest Group for Nondestructive Quality  
Evaluation of Agricultural Products and Foods,  
Seoul, p. 135.
18. Kirby, A. R., A. P. Gunning and V. J. Morris.  
1995. Atomic force microscopy in food research: a  
new technique comes of age. Trends in Food  
Science & Technology 6:359-365.
19. Knorr, D., M. Geulen, T. Grahl and W. Sitzmann.  
1994. Food application of high electric field pulses.  
Trends in Food Science & Technology 5:71-75.
20. Kress-Rogers, E. (ed.). 1993. Instrumentation and  
sensors for the food industry. Butterworth-  
Heinemann, Ltd., Oxford, p. 780.
21. Labuza, T. P. 1994. Shifting food research  
paradigms for the 21st century. Food Technology  
48(12):50-56.
22. Lydersen, B. K., N. A. D'Elia and K. L. Nelson.  
1994. Bioprocess engineering: systems, equipments  
and facilities. John Wiley & Sons, Inc., New York,  
p. 805.
23. McClements, D. J. 1995. Advances in the  
application of ultrasound in food analysis and

- processing. *Trends in Food Science & Technology* 6:293-299.
24. Mertens, B. and D. Knorr. 1992. Developments of nonthermal processes for food preservation. *Food Technology* 46(5):124, 126-133.
25. Nelson, P. E., J. V. Chambers and J. H. Rodriguez. 1987. Principles of aseptic processing and packaging. The Food Processors Institute, Washington, D.C., p. 120.
26. Ohlsson, T. 1994. Minimal processing-preservation methods of the future: an overview. *Trends in Food Science & Technology* 5:341-344.
27. Oliveira, J. C. and A. G. Medina. 1997. The future of food engineering education in Europe. In Fito, P., E. Ortega-Rodriguez and G. V. Barbosa-Canovas (ed.), *Food engineering 2000*, Chapman & Hall, New York, pp. 403-411.
28. Palaniappan, S. 1997. Food for thought. *Resource* 4 (8):13-14.
29. Pedersen, L. D. 1991. Assessment of sensors used in the food industry. *Food Control* 2(2):87-98.
30. Pothakamury, U. R., G. V. Barbosa-Canovas. 1993. Magnetic-field inactivation of microorganisms and generation of biological changes. *Food Technology* 47(12):85-93.
31. Sastry, S. K. 1992. Modelling the continuous sterilisation of particulate foods. In *Mathematical modelling of food processing operations*, Thorne, S. (ed.), Elsevier Applied Science, London, pp. 233-270.
32. Singh, R. K. 1994. Research directions for food engineering. *J. of Food Engineering* 23:491-499.
33. Singh, R. P. 1997. Food engineering curricula: North-American and Asian perspectives. In Fito, P., E. Ortega-Rodriguez and G. V. Barbosa-Canovas (ed.), *Food engineering 2000*, Chapman & Hall, New York, pp. 367-375.
34. Teixeira, A. A. and G. S. Tucker. 1997. Critical points for on-line computer simulation control of canned food sterilization processes. In Fito, P., E. Ortega-Rodriguez and G. V. Barbosa-Canovas (ed.), *Food engineering 2000*, Chapman & Hall, New York, pp. 291-307.
35. Vodovotz, Y., E. Vittadini, J. Coupland, D. J. McClements and P. Chinachoti. 1996. Bridging the gap: use of confocal microscopy in food research. *Food Technology* 50(6):74-82.