



# 식품포장 기술개발 동향

## Development of Food Packaging Technology

이 동 선 / 경남대학교 식품생명학과 교수

### 1. 서론

식품의 이동범위가 광범위해지고 소비자로부터의 식품품질에 대한 요구가 높아지면서 식품포장은 지속적으로 혁신되어져 왔다. 오늘의 많은 가공식품이 포장기술의 개발에 의하여 발전되어 온 것은 여러 면에서 매우 분명히 나타난다.

1970년대 이후에 새롭게 등장한 포장기술이나 제품으로는 레토르트 파우치, PET병 포장 맥주, 전자렌지 팝콘 등을 들 수 있을 것이다. 그외에도 가시적이지는 않지만 금속캔 제조나 플라스틱 용기 부분 등에서 감량화, 원가절감, 기능성향상 등을 위한 많은 성취가 있었다. 이제 2011년의 반을 넘어선 오늘에서도 식품안전을 보장하고 우수한 품질 유지를 위한 포장기술의 진전은 꾸준히 이루어지고 있다. 이러한 기술개발은 항상 사회문화적인 변동요인과 흐름을 같이 하기 때문에 식품포장기술개발자는 기술적인 면에 대한 이해와 함께 사회경제적인 면에 대한 이해와 판단이 필요하다.

필자는 지난 1년간 미국 Rutgers 대학교에서 연구년을 보내면서 식품포장개발연구에 참여하

였고 동료 교수인 Kit L. Yam 박사와 함께 식품포장 전문서적으로써 'Emerging Food Packaging Technologies: Principles and Practice' (영국 Woodhead Publishing 2012년 발간 예정)을 편저하였다.

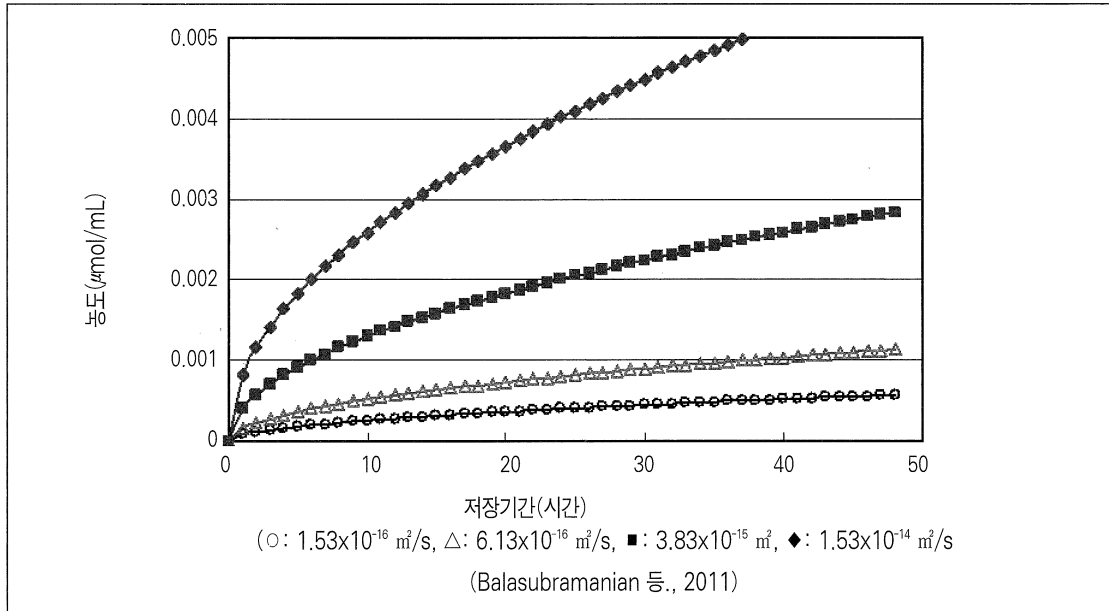
최근 등장하는 식품포장기술을 분야별 전문가들이 장별로 집필하여 전체를 구성하여서 필자에게도 식품포장기술의 최근 동향을 조망할 수 있는 좋은 기회가 되었다. 새롭게 주목되는 포장기술은 대체적으로 지능형 포장, 나노기술이용 포장, 지속가능한 포장의 범주에 포함되는 것으로 분류되었다.

특히 식품의 안전성과 품질을 확보하여 저장수명을 연장시키는 포장기술에 관심이 모아지고 있었다. 본고에서도 이러한 관점에서 몇몇 식품포장기술의 연구개발동향에 대하여 살펴보고자 한다.

### 1. 방출제어 포장 및 지능형 포장

항산화제나 항균제를 식품포장재료에 함입시켜서 식품을 포장하는 데에 사용하면 산화 및 미생물 성장을 억제할 수 있는 것은 이미 널리 알려진 사실이다.

[그림 1] 포장재 내에서의 항균제(nisin)의 확산계수가 접촉되는 식품으로 이행되는 속도



포장에 의한 항산화성이나 항균성의 부여방법과 기작은 여러가지가 알려져 있다. 유효성분이 고분자 필름에 함유될 수도 있고 필요 시에는 표면에 코팅될 수도 있다. 대부분의 경우에 이렇게 포장에 포함된 유효성분은 고분자 필름 내에서의 확산에 의해서 식품 표면이나 포장내부 headspace 로 방출된다. 하지만 여기서 항산화제나 항균제와 같은 유효성분을 어떻게 방출하는가에 따라 그 효과가 크게 달라질 수 있음이 확인되었다. 따라서 유효성분의 방출속도에 따라 항산화성 및 항균성의 기능성 포장에 갖는 효과는 많이 달라지므로 적절한 방출제어방법과 속도를 구명하는 연구가 Rutgers 대학교의 Yam 교수 연구실을 중심으로 이루어지고 있다.

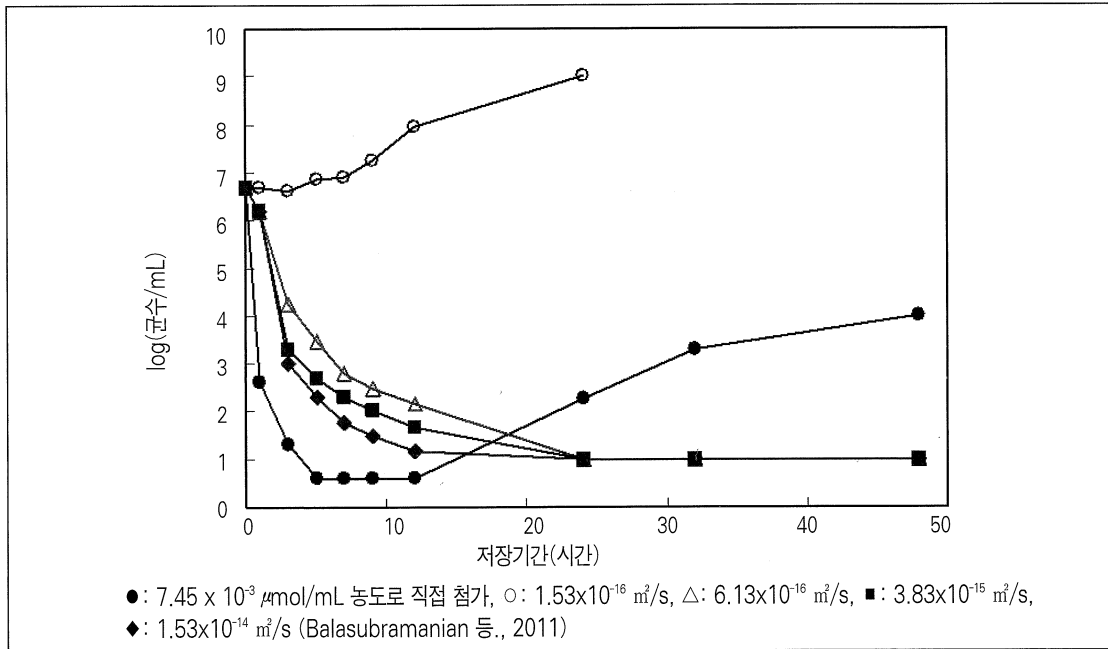
고분자 포장소재로부터 항균제나 항산화제의 방출과 이행은 대체적으로 확산 기작에 의하여

이루어지며 그 속도는 수학적 확산모델에 의하여 예측될 수 있다. 함유된 유효성분의 농도, 필름의 두께, 고분자 내에서의 유효성분의 확산계수에 따라 확산속도는 달라지게 된다. 단순하게 설명하면 유효성분의 농도가 높고, 필름이 얇고 확산계수가 높을수록 확산속도는 빠르다. 고분자 필름 내에서의 확산계수는 포장소재의 종류에 따라서 달라지므로 결국은 포장재의 선택과 관계된 문제이다. [그림 1]에서는 특정 조건에서 포장재 내에서 항균제 nisin의 확산계수에 따라서 접촉되는 식품매체로 방출이행되어지는 속도가 어떻게 달라지는지를 보여주고 있다.

이러한 방출이행에 따른 미생물 사멸과 성장을 살펴봤을 때, 매우 흥미있는 결과를 확인할 수 있었다. 모사 식품인 미생물 배지에 접종된 *Micrococcus luteus* 균의 생육은 특정 확산계수



[그림 2] 항균제(nisin)의 확산계수 조건에 따른 식품에서의 미생물(Micrococcus luteus) 생육과 사멸



이상의 조건에서 방출이행된 경우가 바로 항균제를 첨가한 경우보다 미생물 생육억제의 효과를 지속적으로 유지할 수 있는 것으로 보고되었다(그림 2). 즉, 확산계수가  $6.13 \times 10^{-16} \text{m}^2/\text{s}$  이상인 경우에는 저장초기부터 미생물 사멸이 진행되었고 저장 24 시간 이후 48시간까지 미생물 사멸 정도가 지속적으로 유지되었다.

반면에 모사 식품에 직접  $7.45 \times 10^{-3} \mu\text{mol}/\text{mL}$  농도로 항균제를 첨가한 경우는 초기에는 급격한 미생물 사멸을 얻을 수 있었으나, 저장 24 시간 이후부터 미생물 생육이 회복되는 것을 보여 주어서 식품저장의 관점에서는 바람직하지 못한 현상임을 제시하였다. 하지만 매우 낮은 확산계수일 때는( $1.53 \times 10^{-16} \text{m}^2/\text{s}$  이하), 미생물 생육이 초기에 약간의 지연과 유도기를 가진 후에 저

장 9시간 후에 본격적으로 진행되어 항균효과를 얻을 수 없었다. 여기서 주목할 점은 제어된 방출이행에서는 확산계수  $6.13 \times 10^{-16} \text{m}^2/\text{s}$ 의 조건에서 48시간 동안 항균제의 방출량은  $1.14 \times 10^{-3} \mu\text{mol}/\text{mL}$ 로서, 직접 첨가량  $7.45 \times 10^{-3} \mu\text{mol}/\text{mL}$ 에 비하여 매우 낮은 수준임에도 불구하고 항균성의 지속이라는 측면에서는 보다 효과적이라는 점은 매우 인상적이다. 보다 낮은 양의 항균제를 사용하는 것은 경제적인 측면도 있지만 식품첨가물을 적게 사용할 수 있어서 잠재적 위생성을 향상시키고 소비자 요구를 충족시키는 측면을 가지고 있다. 다시 말하면 적절한 속도로 항균제의 방출을 제어하면 미생물적 품질이 안정적으로 확보될 수 있으므로, 저장수명 및 유통기한을 연장시킬 수 있다.

방출이행의 제어에 의하여 미생물적 저장안정성을 향상시키는 예를 [그림 1]과 [그림 2]의 연구결과로 살펴보았지만 항산화제인 tocopherol도 식품포장에 함입하여 방출시키면 적절한 확산도의 범위에서는 직접 항산화제 첨가의 경우보다 효과적으로 산화반응을 억제할 수 있음이 확인된 바있다(Zhu, 2008). 이러한 연구내용과 결과의 의미를 현실적인 포장에의 적용 측면에서 해석하면 여러 포장변수의 적절한 조합과 사용에 의하여 유효 기능성 성분의 방출을 적절히 제어하면 식품의 품질과 안전성을 효과적으로 확보할 수 있다는 것이다. 방출의 제어를 위해서는 유효성분을 고분자 플라스틱에 효과적으로 함입시키는 수단으로서 smart blending 등의 플라스틱 가공기술이 제안되기도 하였다(Lacoste 등, 2005). 그리고 이를 위해서는 포장에서부터의 유효성분의 이행 속도를 제어하는 것도 중요하지만, 해당 식품의 미생물적, 화학적 변패특성에 대한 정보도 중요하고 이 두 요소 사이를 잘 연결시켜 포장시스템을 설계하는 것이 핵심적인 사항이 될 것이다. 앞으로 이 분야에 대한 연구가 추가적으로 필요한 것으로 생각된다.

식품포장으로부터 제어된 방출로부터 신선 농산물의 안정성을 확보하려는 노력의 한 분야가 이산화염소 방출포장재가 있다. 이미 여러 연구자에 의하여 포장필름이나 소재 안에 몇가지 화학반응물을 함입시키고 식품의 포장된 저장 중에 이산화염소를 방출시키려는 시도가 있어왔고, 관련 제품이 일부 시장에 출시되어 있기도 하다. 최근에 이러한 항균성 포장은 미국 FDA로부터 승인되어 상업화가 시도되기도 하였다. 개발된 기술에 따라 반응물이나 포장소재가 다양하

지만 기본적으로 포장소재 내에서 다음의 반응이 적절한 속도로 일어나게 하는 점에서는 공통점이 있다.



이산화염소는 미생물 살균의 효과를 가지고 있어서 미생물적 안전성을 확보하는 용도로 사용될 수 있는 장점이 있는 반면에 고농도에서는 신선 채소나 과일의 색소를 퇴색시키는 부작용이 있어서 적절한 농도로 방출제어하는 것이 중요하고 이것이 현재 이 기술의 상업화를 위하여 당면한 과제로 대두되고 있다.

신선 원예산물의 추숙(ripening)을 억제하여 신선도를 오래 유지시키는 물질로서 1-MCP(1-methylcyclopropene, C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>)가 최근에 많은 관심을 끌고 있다. 1-MCP는 에틸렌 저해제로서 주로 climacteric 농산물에 대해 많이 사용되며, 현재는 대부분이 cyclodextrin에 encapsulation된 형태로 판매제공되고 있으며, 사용시에는 밀폐공간 내에서 수분과 접촉시켜 휘발성 1-MCP를 발생시켜 농산물에 흡수되도록 하고 있다. 그런데, 1-MCP 분말을 봉지에 담거나, 플라스틱 필름에 포함시켜서 유통과정 중에 적절한 농도로 포장 headspace로 방출되게 하려는 시도가 있으며 업계의 관심을 끌고 있다(Lee 등, 2006; Hotchkiss 등, 2007).

이 분야에서는 연세대학교의 이윤석 교수가 의미있는 연구결과를 발표한 바가 있다. 어떻게 하면 1-MCP encapsulation 시스템을 포장소재와 결합시켜서 농산물 포장 상태에서 수분이 적절한 속도로 공급되게 함과 아울러 1-MCP가 적정



농도와 속도로 방출되게 하는가 기술개발의 중요사항이다.

식품의 변패를 예측하거나 나타내주는 시간온도적산지시계(time temperature indicator, TTI)나 신선도(혹은 속도) 지시계는 식품의 구매 혹은 소비시의 품질을 보다 직접적으로 알려주는 수단으로 신선 식품을 중심으로 사용되고 있다. 현재 상업적으로 판매되는 대표적인 TTI는 OnVu™, TT Sensor™, Fresh Check™ 등이 있으며, 다양한 식품의 변패특성에 맞는 지시계의 개발이 시도되고 있다. 그리고 신선도/속도 지시계는 식품의 신선도나 속도를 알려주는 기능을 수행하며, 식품이나 농산물로부터 발생되는 휘발성 물질의 양이나 농도를 측정함에 의하여 그 기능을 수행한다. 최근에는 RFID(Radio-Frequency Identification) 및 센서 기술의 발달로 측정과 통신의 기능을 통합하려는 연구개발이 진행되고 있다. 국내에서도 농림수산식품부의 지원을 받는 동국대학교의 지능형 농식품포장연구센터가 이 분야에서 첨단적인 연구를 수행하고 있다.

## 2. 나노기술의 포장에의 이용

나노기술이 식품포장소재에 적용되어 플라스틱 필름의 차단성, 내열성, 투명도와 식품가공적 특성을 향상시킬 수 있으며 이를 통하여 요구되는 품질보존과 저장수명을 얻을 수 있다.

그리고 더욱 진전된 기술로서 변조방지, 항균성 부여, 식품변패방지 센서 등의 목적으로도 연구개발이 이루어지고 있다. 여러 기능성 포장의 개념으로도 연결되어 나노기술은 산소흡수제,

수분흡수제 등의 기능으로도 이용된다. 나노기반 포장재는 주로 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리스티렌, 폴리아마이드, PET 등이지만, 전분, PLA(polylactide), chitosan 등과 같은 생물고분자에도 이용되고 있다. 국내에서는 목포대학교의 임종환 교수 연구실에서 나노포장기술에 대하여 집중적으로 연구하여 우수한 많은 연구업적을 이루고 있는 것으로 알고 있다.

식품포장 분야에서 나노기술의 사용은 주로 고분자 소재에 nanofiller를 도입시켜 나노복합체(nanocomposite)를 만드는 데에 이루어진다.

Nanofiller는 구조 중 한 변의 길이가 100nm 이하인 입자나 fiber를 말하고 대표적으로 montmorillonite(MMT) clay가 많이 사용되거나 layered double hydroxides, nanocellulose, chitin whisker 등과 같은 다른 것들도 사용된다. 이러한 나노복합체에 대해서는 다른 곳에서 이미 많이 소개된 바가 있으므로 관련된 문헌을 참고할 수 있다(Usuki 등, 2005). 나노복합체 포장재의 주된 용처로는 산소차단성을 향상시키는 데에서 집중되어 왔다. 예로서 PET 나노복합체는 산소에 민감한 맥주의 포장에 사용되었다.

최근에 생물고분자에 대한 관심이 많아지면서 이들 고분자의 기능성을 향상시키는 목적으로 nanofiller를 많이 도입시키고 있다.

전분, PLA, polyhydroxybutyrate(PHB), chitosan의 고분자와 MMT, nanocellulose을 포함시킨 나노소재는 생분해성을 유지하면서 기체 차단성, 기계적 안정성 등을 향상시키는 특성을 가지는 것으로 많이 보고되고 있다. 하지만 아직 경제성 및 물성 등의 이유로 인하여 나노 생물고분자의 실제 식품포장에의 사용은 매우 제한적

인 것으로 알고 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 기체차단성을 향상시키는 기능을 넘어선 혁신적인 나노포장기술은 산소흡수 기능이나 항균성 기능을 포함시키고 있다. 예로서 TiO<sub>2</sub> 나노입자를 포함시킨 플라스틱 소재가 빛에 반응하여 산소를 흡수하는 용도로 시도되었다. 이전의 산소흡수제로 광범위하게 사용되어온 철 성분을 나노입자화시켜서 포장소재에 합입시키기도 한다. 항균성의 목적으로 은나노 입자를 고분자소재에 분산시키면 보다 지속적으로 항균성을 보유할 수 있는 것으로 제안된 바가 있다. 최근에는 이런 나노복합체의 코팅으로의 적용이 시도되고 있다.

### 3. 지속가능 포장

포장이 사용된 후의 처리가 사회적인 문제가 되면서 포장의 환경적인 측면에 대한 많은 관심이 세계적으로 일어나고 있다. 통상적으로 포장을 감량화하고 recycle를 향상시키는 방향이 환경적으로 우수하고, 플라스틱 소재보다는 생분해성이나 천연소재가 환경친화적이라고 인식되고 있다. 하지만 최근에는 이러한 단순한 판단이

오히려 반환경적이거나 실행불가능한 선택을 강요하는 경향도 있기 때문에 지속가능성의 관점에서 종합적인 판단을 해야 건강한 결론에 도달하는 것으로 이해되게 되었다. 따라서 지속가능성은 환경, 사회, 경제성이 적절히 균형잡히게 조화되는 조건에서 얻어질 수 있는 것으로 이해되게 되었다. 그리고 포장 만의 문제가 아니라, 전체 식품 생산 및 유통 시스템을 전체의 측면에서 문제를 분석하여 환경적인 부담이 적은 선택을 해야하며, 이를 위해서 전생애적 평가(life cycle assessment, LCA)를 통한 문제의 진단이 필요하다. 포장의 LCA를 간략하게 수행할 수 있는 software 제품이 등장하고 있으면 대표적인 예로서 PIQET™ (Packaging Impact Quick Evaluation Tool), TOP™ (Tool for Optimization of Packaging), MERGE™ (Managing Environmental Resources Guidance and Evaluation)를 들 수 있다. 여러 포장의 가능한 선택에 대한 LCA 연구가 활발하게 수행되고 있으며, 몇몇 주목받는 결과를 [표 1]에서 보여주고 있다.

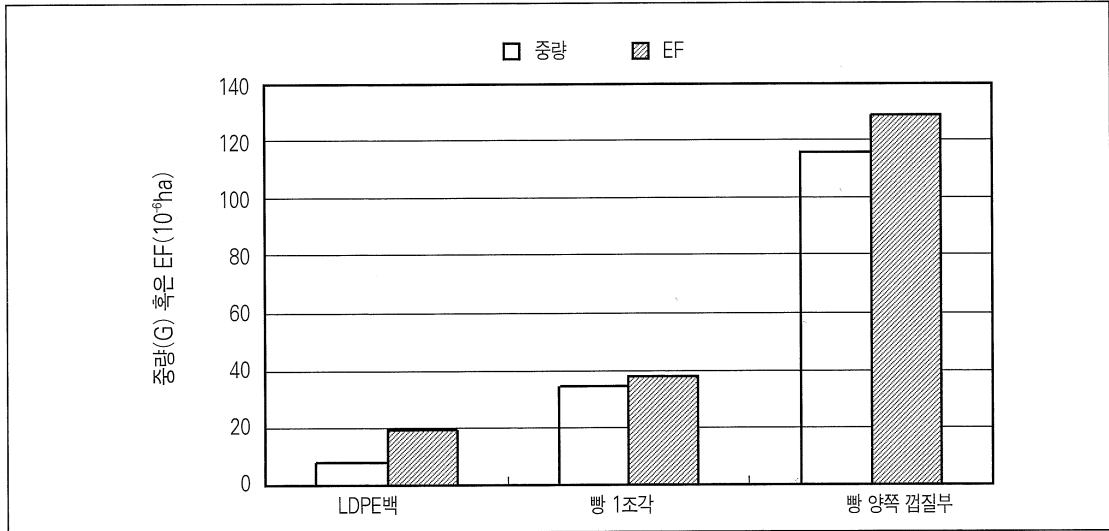
영국 Packaging Materials&Technologies의 Burtler 박사의 분석에 의하면 빵의 저밀도 폴리

[표 1] 최근의 식품포장 분야에서의 LCA의 예

제품	비교된 포장형태	중요 결론	연구자
맥주	20 L 재사용 스테인리스용기와 330 mL 유리병	스테인리스 용기가 낮은 환경부하를 발생	Cordella 등(2008)
커피 및 버터	유연포장	1회용 커피 stick 포장이 양호	Busser와 Jungbluth (2009)
이유식	유리병과 플라스틱병	플라스틱병이 양호	Humbert 등(2009)
조개	PLA, PET, PS	PET 가 가장 불량	Madival 등(2009)
음료	음료 카톤과 다른 대체 포장	카톤이 선호	Falkenstein 등(2010)
우유	유리, HDPE, LLDPE, PC, Pouch	재사용 HDPE가 양호	Keoleian와 Spitzley (1999)



[그림 3] 빵 포장에서의 포장재와 내용물의 중량과 생태발자국지수(ecological footprint, EF)



에틸렌(low density polyethylene, LDPE) 백 포장 자체보다는 빵 내용물이 갖는 환경적인 영향이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다(그림 3). 즉, 해당 제품이나 서비스를 제공하기 위해서 필요한 땅의 넓이를 생태발자국 지수(ecological footprint, EF)로 나타낸 바에 의하면 내용물의 EF가 훨씬 중요하기 때문에 내용물의 손실을 줄일 수 있는 포장시스템을 설계하는 것이 환경적인 면에서 훨씬 중요한 것으로 제안되었다. 이러한 결과가 포장의 조건이나 사회적인 상황에 따라서 달라질 수 있지만, 포장에 의한 내용물 식품의 보호 기능이 얼마나 중요한지는 분명히 드러난다.

## II. 결론

식품의 안전성이 중요시되고 소비자의 다양한 취향이 만족되어야 하는 것이 지금까지의 식품

포장에서 당면해왔던 과제라면, 오늘에 있어서는 이에 더하여 지속가능한 조건으로 식품포장을 발전시키는 것이 또다른 요구조건으로 부과된다. 하지만 포장의 지속가능성은 단순히 포장만의 환경적인 부하를 생각하는 수준 이상이라는 것으로 앞에서 확인하였다. 식품의 안전성을 확보하면서 내용물의 품질을 잘 유지하여 식품 손실을 줄이는 것이 지속가능한 식품포장을 얻을 수 있는 효과적 방법이라는 것이 여러 연구의 결과로부터 확인되고 있다.

식품포장의 품질유지 기능이 보다 잘 확보되면서, 환경, 사회, 경제성이 조화된 지속가능한 포장기술의 개발이 앞으로의 추구할 방향이 될 것으로 전망된다. 이러한 측면에서 여러 학문기술분야가 참여하여 이루어진 기술혁신을 통하여 전체 식품생산과 유통단계를 포괄하여 얻어진 고기능성의 식품포장기술로의 전진이 계속될 것으로 본다. [ko]