

특집 II: 21세기 새로운 조리 혁명 "SMART COOKING"

## 기능성 및 지능형 포장

이 동 선

경남대학교 식품생명학과

### Smart Food Packaging

Dong Sun Lee

Dept. of Food Science and Biotechnology, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea

#### 기능성 포장과 지능형 포장

Smart food packaging이라는 개념은 전통적인 식품 포장의 기능에 부가적인 식품보존 향상 및 정보전달의 역할을 담당하는 포장을 포함한다. 이러한 개념은 미국 Rutgers 대학교의 Yam 교수에 의하여 정리된 그림 1로서 잘 표현된다. 즉, 식품포장의 보존적인 기능을 더한 포장을 기능성 포장(active packaging)이라고 표현할 수 있고, 정보전달의 기능을 더한 포장을 지능형 포장(intelligent packaging)이라고 표현할 수 있다. 하지만 이러한 구분은 고정적인 것이 아니며, 많은 포장의 도구나 장치가 이 두 부분을 겸하고 있거나, 경계가 모호한 경우가 많다. 지난 20여년 동안 식품의 유통과 소비에서 많은 변화가 있었다. 소비자들은 보다 많이 식품의 안전성과 품질에 관심을 가지게 되었으며, 식품 판매와 소비의 관행도 많이 변화하였다. 냉장저장과 유통이 여러 식품영역에서 확대되었으며 여러 혁신적인 포장기술이 식품보존의 편의성과 기능을 향상시키기 위하여 도입되고 등장하였다. 확장된 e-business 개념이 현대적인 유통환경에서 중요한 패러다임

으로 자리잡게 되었다(1). 소비자에게 부가적인 기능을 제공하는 포장의 개념이 식품 유통과 식품 산업에서 중요한 하나의 이슈로 자리잡게 되었다. 기능성 포장이 전통적 포장에 부가적인 보존성을 부여하는 것과 마찬가지로, 지능형 포장은 소비자까지의 유통과정에서 통신과 정보 교류의 역할을 수행한다. E-business의 확대를 담당하는 세계화된 환경하에서, 유통체인에서 식품의 흐름은 물류관리의 효과적 수단을 필요로 한다. 식품의 생산단계는 자동적으로 유통체인과 연계되어서 재고관리와 거래 등의 작업과 관리 과정이 유연하게 흘러가도록 자동화된다. 더욱이 식품의 안전성 정보는 유통체인을 통하여 소비자에게 전달되어야 한다. 포장은 담겨진 식품이 최종적으로 소비될 때까지 식품과 함께 이동하는 특성을 가지고 있기 때문에, 포장에 필요 정보를 표기하거나 담아놓으면 이는 최종 소비자에게까지 전달될 것으로 기대된다. 만약 유통 체인에서 수집된 어떤 정보 데이터가 유통되는 식품의 포장에 기록될 수 있다면, 이는 식품의 현재적 품질 수준을 표현하면서 물류 관리와 식품 처리에 필요한 의사결정을 하는데 도움을 줄 수 있다. 또한 포장에 기록된 정보를 이용하여 조리 등이나 보관에서 필요한 의사결정을 수행하게 되며, 이러한 과정이 현대적인 전자매체의 이용을 수반할 수 있다.

이 글에서는 현재 이용되는 기능성 포장과 지능형 포장의 범위를 소개하고 미래의 경향과 전망을 제시하고자 한다.

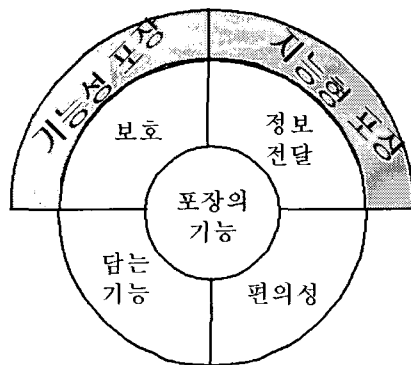


그림 1. 기능성 포장과 지능형 포장의 기능과 역할.

#### 기능성 포장의 적용과 예

기능성 포장에 대한 구체적인 정의는 식품의 저장 유통 기간을 연장시킬 목적으로 포장필름이나 포장용기내에 어떤 첨가제를 넣는 포장을 말한다. 이러한 첨가제는 포장 내부 환경과 능동적으로 상호 작용을 갖게 되고 능동적인

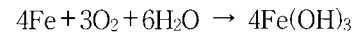
환경기체변형의 기능을 가진다. 사용되고 있는 첨가제나 선도유지제는 산소의 흡수 제거, 미생물 성장의 억제, 에틸렌 가스의 흡수, 수분 흡수, 온도조절 등의 기능을 수행한다. 기능성 포장의 범위와 적용에 대해서 이미 여러 논문이나 단행본에서 정리된 바 있다(2-4). 대체적으로 표 1의 내용이 기능성 포장의 대체적인 범위를 나타내고 있다.

기능성 포장은 포장공학, 재료공학, 생물공학의 발달과 함께 소비자의 요구에 부응하여 나타난 기술로서 새롭게 발전되어가는 분야이다. 국내 이용의 예로는 맛김 포장에 쓰이는 실리카겔 수분탈습제, 김치의 필름포장에 쓰이는 CO<sub>2</sub> 흡수제 등을 들 수 있다. 최근 포장의 다양한 기능성을 선보인 많은 기능성 포장제품이 시장에 등장하고 있으며, 일본이 이 분야에서 선두적인 위치를 가졌으나 최근에 유럽 등에서도 큰 관심을 가지고 있다.

기능성 포장소재로서 가장 많이 적용되는 것이 산소흡수제이다. 산소는 많은 식품에서 산화나 곰팡이 발생과 같이 해로운 영향을 주므로 포장내의 산소를 제거함으로써 품질향상에 기여할 수 있다. 산소제거로 얻어지는 이점으로는 불포화지방산, 비타민, 색소 등의 산화방지, 효소적 갈변의 억제, 호기성 곰팡이와 박테리아의 억제 등을 들 수 있다. 비록 산소에 민감한 식품을 진공포장이나 기체치환포장에 의하여 포장하면 산소에 의한 변질을 억제할 수 있지만 이러한 포장방법이 완전히 산소를 제거시키지는 못하는 한계를 가지고 있다. 더욱이 포장필름을 통하여 투과하는 산소는 이 기법에 의하여 완전히 제거되지

못한다. 이러한 문제를 산소흡수제가 어느 정도 해결할 수 있다. 현재 사용되는 산소흡수제는 철 분말의 산화반응, ascorbic acid 산화, 과민감성 염료의 산화, 효소적 산화반응, 불포화지방산의 산화, 고정화 효소의 산화반응을 이용하고 있다.

상업적으로 판매되는 대부분의 산소흡수제는 다음과 같은 철의 산화반응에 기초하고 있다.



이를 사용함으로써 포장내의 산소농도를 0.1%이하로 줄여줄 수가 있다. 사용량은 포장내 산소의 양과 식품 중에 존재하는 용존산소의 양에 따라 다르지만 1g의 철이 대략적으로 300 cc의 산소를 흡수한다. 최근에 이러한 산소흡수제를 플라스틱 재료나 필름안에 함입시킨 것이 시장에 등장하였다. 대표적인 예가 플라스틱 적층재 내에 철계통 산소흡수제를 포함시킨 일본 도쿄 세이칸의 Oxyguard®, 자외선에 의해 활성화되는 산소흡수 고분자를 포함시킨 미국 Sealed Air사 Cryovac사업부의 OS1000® 필름 등을 들 수 있다. 하지만 이러한 시스템은 봉지형 산소흡수제에 비해서 그 능력이나 속도면에서 상당히 낮은 점에 주의를 요한다. 플라스틱에 포함된 형태의 산소 흡수제는 최근에 맥주의 PET 포장에 광범위하게 적용되기 시작하였다.

식품표면의 수분활성도를 감소시키는 것이 식품의 저장성을 향상시키는 효과적인 방법의 하나이기 때문에 건조 식품 포장에 실리카겔이나 산화칼슘 등을 함입시켜서 식품의 수분함량을 지속적으로 낮은 수준으로 유지하는

표 1. 기능성 포장의 종류와 역할

종 류	재 료	작용원리	효 과
산소흡수제	철, ascorbic acid, 아황산염, 산화 효소, 불포화 화합물	철과 ascorbic acid, 아황산염의 산화작용, 효소에 의한 포도당과 알코올의 산화	호기성 미생물 생육 억제, 산화적 품질변화 억제
수분흡수제	Silica gel; polyacrylate; CaO; propylene glycol; 당류; 무기염	수분 흡착, 수화반응	식품에서의 저수분함량의 유지; 신선육에서 표면수의 제거
CO <sub>2</sub> 흡수제	Ca(OH) <sub>2</sub> ; Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ; zeolite; silica gel	CO <sub>2</sub> 와의 화학반응, 물리적 흡착	김치나 커피 포장에서 CO <sub>2</sub> 로 인한 포장 팽창 방지
Ethylene 흡수	산화 알미늄이나 실리카겔에 고정된 KMnO <sub>4</sub> , SiO <sub>2</sub> , zeolite, 활성탄	Ethylene의 산화, 물리적 흡착	신선 원예산물의 추숙 억제
CO <sub>2</sub> 발생	FeCO <sub>3</sub> , NaHCO <sub>3</sub> , ascorbic acid	FeCO <sub>3</sub> 의 가수분해 반응, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 와 구연산의 반응, ascorbic acid의 산화	Gram음성 bacteria와 곰팡이 성장 억제, 포장 수축의 방지
항균성 포장	포장재에 포함된 항균물질, 향미생물성 포장 표면재	항균물질의 식품표면으로의 이행, 접촉 표면에서의 항균성, 포장 헤드스페이스로의 알코올 증기의 방출	미생물 성장의 억제
항산화성 포장	포장재에 포함된 항산화제 (BHA, BHT, tocopherol)	산소의 소비 혹은 항산화제의 방출	산화반응의 억제, 산화로부터 고분자의 보호
기타 방출 혹은 흡수제	흡착제 혹은 향기성분 고정	향기성분의 흡착 혹은 제어된 방출	식품 풍미의 향상
기타 온도 조절제	흡열 혹은 발열 반응, 초단파 흡수	식품과 음료의 자발적 가열 혹은 냉각, 전자레인지 식품의 빠른 표면가열	편의성 향상

시스템이 많이 사용되고 있다. 어떤 경우는 내부에 고흡수성 고분자를 장착시켜 포장 외부로부터 침투되는 수분을 흡습하려는 시도도 있어 왔다. 이외에도 신선 식품의 수분 활성도를 낮추어주는 기능성포장 시스템이 여러가지 있다. 대표적으로 일본의 昭和電工의 Pitchit<sup>®</sup> film이 있다. 이 필름은 PVA(polyvinyl alcohol)의 시트내에 polypropylene glycol을 끼어 놓은 것이다. PVA 필름은 수분은 잘 통과시키나 polypropylene glycol에는 차단성이 있다. 식품을 이 필름으로 싸 놓으면 삼투압에 의해 표면이 건조되어서 미생물의 생육을 억제하게 된다. 이 필름은 냉장 어류, 육류의 유통기한을 3~4일 더 연장시킨다고 한다. 또한 특정 식품의 수분함량이나 수분활성도를 바람직한 수준으로 유지시키기 위하여 염화합물을 담은 봉지를 사용하려는 시도도 있어 왔다.

CO<sub>2</sub>를 흡수하거나 발생시키는 포장 시스템이 여러 종류 있다. Ageless<sup>®</sup>의 한 종류는 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)을 포함하고 있어서 CO<sub>2</sub>와 반응하여 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)을 생성시켜서 CO<sub>2</sub>를 제거한다. 이의 주된 사용처는 roasting 과정에서 상당한 양의 CO<sub>2</sub>를 함유하는 원두커피 포장이었다. 최근에 수산화칼슘은 김치의 포장에도 많이 이용되고 있다. 미쓰미시의 Fresh Lock<sup>®</sup> 봉지는 산소와 CO<sub>2</sub>흡수제를 함께 포함하고 있으며 캔이나 파우치에 포장된 원두커피에 사용된다. 미쓰비시의 또다른 제품 하나는 산소를 소비하고 CO<sub>2</sub>를 생산한다. 제1탄산철과 염화금속 촉매화합물을 섞어서 1 mol의 산소가 소비되면 1 mol의 CO<sub>2</sub>가 발생되게 된다. 이로 인해 CO<sub>2</sub>의 미생물 억제 효과를 얻을 수 있는 환경기체를 얻게 된다. CO<sub>2</sub>를 흡수할 목적으로는 제올라이트와 같은 물리적 흡착제도 이용될 수 있다.

~ 신선한 과일과 채소에 여러 가지 생리적안 역할을 하는 식물성 호르몬인 에틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)을 제거하여 선도를 유지하는 포장소재가 있다. 에틸렌은 많은 과일에서 호흡을 촉진하여 추숙과 연화를 빠르게 한다. 더욱이 에틸렌의 축적은 많은 녹색 채소의 황화현상을 유발시키고, 신선 과채류에서 여러 가지 생리장해를 유발시키기도 한다. 비록 바나나와 오렌지를 익게 하는 용도 등에서는 에틸렌이 의도적으로 사용되기도 하지만 대부분의 경우 에틸렌은 과채류의 품질에 나쁜 영향을 미치고 저장기간을 단축시킨다. 저장기간을 연장시키고 우수한 관능적 품질을 유지하기 위하여서는 포장내에 에틸렌의 축적을 피하도록 하여야 한다. 많은 에틸렌 흡수제가 시판되고 있으며, 그 형태는 주로 봉지나 필름 함입형태이다.

시판되는 에틸렌 흡수제 중 가장 일반적인 것이 과망간산칼륨(KMnO<sub>4</sub>)에 기초한 것이다. KMnO<sub>4</sub>는 강력한 산화제로서 에틸렌을 초산이나 에탄올로 산화시키며, 이 과정에서 색깔이 자주색에서 갈색으로 변한다. KMnO<sub>4</sub>계 에틸

렌 흡수제는 독성이 있기 때문에 식품과 접촉되어서는 아니되며, 봉지 형태로 제조되어 식품과 분리되도록 되어야 한다. 대표적인 제품들은 perlite, 알루미늄, 실리카겔, 활성탄, 질석, celite와 같이 표면적이 큰 재료에 KMnO<sub>4</sub>를 4~6% 농도로 포함시킨 것이다. 이러한 에틸렌 제거 기술은 가정용 냉장고의 신선 과채류의 선도를 유지하는 목적으로도 이용되고 있다. 대표적인 예로서 KMnO<sub>4</sub>로 코팅된 제올라이트를 들 수 있다.

또 다른 형태의 에틸렌 흡수제는 에틸렌을 활성탄에 흡착시킨 다음 분해시키는 방법을 이용하고 있다. PdCl를 금속속매로 함유시킨 활성탄이 20°C에서 절단처리된 바나나, 키위, 시금치의 포장에서 에틸렌의 축적을 억제시켜 연화와 황화현상을 완화시킬 수 있는 것으로 보고된 바가 있다. 또 다른 에틸렌 흡수의 방법으로는 플라스틱 재료에 제올라이트 등의 광물질들을 함유시킨 소재나 용기 등이 있다.

항균성을 띄는 포장재에 대해서 최근에 많은 관심이 집중되고 있다. 포장 표면에 존재하는 항균물질이 포장된 식품의 표면에 이행되거나 작용하여 미생물 성장을 억제하면 소비자가 섭취하는 보존제의 양을 줄이면서 식품 보존의 효과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 우리나라와 일본에서 이용되는 항균성 포장재로서 가장 대표적인 것이 은-제올라이트이다. 이는 제올라이트에 있는 Na이온을 Ag이온으로 치환시킨 것으로 주로 합성제올라이트가 이용된다. Ag이온은 강한 항균성을 갖는 금속이온의 하나이다. 은-제올라이트는 대부분의 경우 플라스틱에 혼입하여 필름이나 성형용기로 제조된다. 일반적인 혼입비율은 1~3%의 범위에 있다. Ag이온은 보편적으로 수저나 식기 등으로 많이 이용돼 왔기 때문에 안전한 것으로 여겨져서, 제올라이트에 치환되어 식품포장재 뿐만 아니라 항균성 칫솔, 주방용기 등에도 사용되고 있다. 대표적인 이용의 예로서는 플라스틱 랩에 함입시켜서 판매되고 있는 경우이다.

이외에도 여러 가지 항균성 물질이 식품포장에 적용되거나 시도되었다. 몇가지 예를 들면, sorbic acid, propionic acid, benzoic acid와 같은 유기산류, 혹은 이들 유기산의 무수물, nisin과 pediocin과 같은 bacteriocin, lysozyme과 같은 효소 등이 있다. 일본에서는 와사비 추출물을 플라스틱 필름에 코팅하거나 함입시켜서 도시락 등의 선도유지에 사용하고 있다.

이러한 항균성 물질 중에는 식품용으로 허가되지 아니한 것도 있으므로 구체적인 적용시에는 위생규제를 함께 검토하여야 한다. 항균성 물질을 포장에 함입시키는 경우 해당 물질이 포장재료와의 병용성이 있으면서 압출공정 등의 성형과정에서 열에 의해 파괴되지 않아야 한다. 저밀

도 폴리에틸렌(LDPE)에 1%로 포함시킨 소르빈산 칼륨(potassium sorbate)은 평판미생물 배지상에서 효모의 성장을 억제한다. 제조 공정에서는 LDPE수지와 소르빈산 칼륨을 혼합하여 압출시켜 pellet상으로 제조하여 masterbatch를 만들고, 이를 다시 LDPE 수지와 혼합하여 압출시켜 필름으로 제조한다. Masterbatch의 제조과정에서 열에 의한 분해를 방지하기 위하여 가능한 한 저온에서 압출하여야 한다. 어떤 연구 결과에 의하면 이러한 유기산류는 비극성인 LDPE와 상용성이 없으므로 이들의 무수물이 사용되는 것이 좋은 것으로 보고하고 있다.

이산화염소를 함유한 필름이 살균의 목적으로 판매되고 있다. 그리고 chitosan을 함유한 코팅용액이 과실의 선도유지를 위해서 이용되고 있다. 이외에도 포도의 곰팡이 오염과 성장을 억제하는 목적으로 서서히 SO<sub>2</sub>를 방출하는 시스템이 개발된 바도 있다.

항균성 포장의 하나로서 포장내에서 에탄올 증기를 발산시키는 제품이 상업적으로 많이 사용되고 있다. 이는 에탄올을 식품에 발산시킴으로써 미생물 억제효과를 얻고 있다. 에탄올을 식품에 이행시키는 방법으로는 포장전 식품표면에 뿌리는 방법이 있으나 보다 정교한 방법은 포장 후 포장으로부터 에탄올 증기를 식품표면으로 서서히 전달되게 하는 방법이다. 에탄올 무수물을 microencapsulation시켜서 이러한 효과를 얻을 수 있으며 식품표면에서의 미생물 성장을 억제하는 효과가 있다. 한 예로 미쓰비시 특허에서는 encapsulation된 에탄올과 포도당, ascorbic acid, 페놀 화합물, 철염을 함께 넣은 봉지가 있다. 이 시스템은 에탄올을 발산시키면서 산소를 제거한다. 이외에도 일본의 Freund Industrial Co.의 이산화규소와 혼합된 encapsulation 에탄올의 Ethicap<sup>®</sup> 등이 있다.

플라스틱 필름에 첨가되는 항산화제는 산화에 의하여 저장 중 그 농도가 소실되기도 하지만 고분자 표면으로의 확산과 뒤이은 증발에 의하여 소실되기도 한다. 이러한 원리를 이용하여 왁스지에 첨가된 항산화제를 시리얼 등의 식품에 기체상으로 이행되게 하는 시도가 있기도 하였다.

포장재의 역할에 의하여 식품 내의 바람직하지 못한 맛이나 향미 성분을 제거하려는 여러 시도가 있다. 자몽 주스의 경우에 naringin과 limonin 성분에 기인한 쓴맛이 관능적인 기호성을 떨어뜨리는데, naringinase 효소를 cellulose acetate(CA) 층에 고정화시킴에 의하여 naringin의 60%를 가수분해시키고 limonin은 CA 층에 흡착시켜서 그 농도를 낮추어 줄 수 있었다. 또한 일본의 한 특허에서는 고분자에 산성화합물을 함유시켜서, 단백질의 분해로부터 생성되는 amine계 화합물과 반응하게 하여 이취를 제거할 수 있는 것으로 보고되었다. 어류 등의 단백질로부터 발생하는 amine계 알칼리 화합물은 강한 불쾌취를 내

게 된다. 또다른 한 예에서는 2가철 화합물과 구연산이나 ascorbic acid 등의 유기산을 함유한 필름 백이 amine과 다른 냄새를 흡착 제거할 수 있는 용도로 개발되었다. 포테이토 칩이나 비스킷 등에서는 지방성분의 자동산화의 초기단계에서 aldehyde가 발생하여 나쁜 냄새를 내게 되는데 이러한 휘발성 성분을 포장의 헤드스페이스로부터 제거하는 HDPE계 층이 소개되기도 하였다.

어떤 상업적인 흡착봉지는 포장내에서 식품으로부터 발생되는 mercaptan과 H<sub>2</sub>S를 흡착하기도 한다. 한 예에서는 실리카겔과 활성탄의 결합한 흡착봉지가 수분과 냄새를 함께 흡수 제거한다. 제품에 따라서는 ethylene, ethyl alcohol, ethyl acetate, H<sub>2</sub>S를 함께 흡착한다고 주장하기도 하다. 이러한 흡착성분은 PE나 폴리스티렌(PS)과 혼합하여 master batch로 제조되기도 한다. 하지만 향미를 변화시키는 이러한 기능성 포장소재의 적용에는 주의할 점이 있다. 즉, 이러한 기능소재의 사용으로 인하여 위생적으로 나쁘고 안전상에서 문제가 있는 식품이 소비자에 의하여 잘못 섭취되는 일이 없어야 한다는 점이다.

냉장식품의 유통 중 생길 수 있는 비정상적인 온도상승에 대해 방어하기 위하여 특수한 열차단제가 개발되어 왔다. 단열성 소재에 의하여 외부의 온도 변화로부터 보호하는 개념은 오래전부터 사용되는 포장소재의 한 개념이다. 또 다른 것으로는 포장내에 온도변화를 흡수할 수 있는 비열이 높은 물질로 축냉제를 넣어두는 방법인데 예로서는 이중벽으로 된 PET용기에 고비열 gel을 넣어둔 제품이 있다. 축냉제의 한 형태로는 폴리아크릴산 계통의 고흡수성 고분자에 수분을 흡수시켜 플라스틱 백에 밀봉시킨 형태가 냉장식품의 온도유지용으로 사용되고 있다. 또 냉동식품의 온도유지를 위한 포장에서는 수용액을 여러 분획으로 담아서 sheet상으로 제작하여 동결과 해동이 반복될 수 있도록 한 다음 상자 형태의 포장에 함께 담도록 한 형태가 개발되기도 하였다.

이와는 별도로 즉석 가열 식품의 편의성을 위하여 발열포장이 개발되어 사용되는데 대표적으로 다음의 화학반응으로부터의 발열반응이 이용되고 있다.



이 반응의 진행과정에서 CaO는 수분을 흡수하기 때문에 반응식에서 나타난 것보다 22.5배 많은 수분이 사용된다. CaO와 수분은 별도의 칸에 분리되어 있다가 사용시에 단추를 누르거나 밴드를 뽑거나 줄을 잡아당기는 조작에 의하여 두 성분이 섞여서 발열반응이 일어나게 된다. 가열의 속도와 온도는 CaO의 양과 포장의 물리적 디자인에 의하여 제어할 수 있다. CaO에 CaO-MgO, MgO, MgSO<sub>4</sub>, MgCl<sub>2</sub>을 혼합함에 의하여 가열속도를 낮추어 줄 수도 있

다. 식품과 반응물의 접촉면적을 크게 하고, 흔들어 주는 조작에 의하여 균일한 가열을 얻는데 도움을 받을 수 있다. 포장 외부는 단열하여 가열의 효율성을 향상시킨다. 현재 상업적으로 이용되는 가열 포장은 청주, 커피, 밥 등을 들 수 있다. 일반적인 적용은 300 mL 용량 이하의 조건이고 10~15분 동안에 60~75°C에 도달하고 있다.

가열을 최적화한 기능성 포장의 하나가 전자레인지에 사용되는 발열체가 있다. PET 등의 플라스틱 필름에 얇게 알미늄을 증착시키면 전자레인지에서 microwave를 흡수하여 접촉되는 식품표면의 온도를 급격히 상승시키는 기능을 수행한다. 또한 어떤 경우는 microwave를 반사하는 알미늄 포일을 포장에 적절히 배치하여 전자레인지에서의 균일한 가열을 얻는 포장디자인도 최근에 개발되어 판매되고 있다.

즉석에서 냉각되는 식품에 대한 소비자의 요구가 크며, 이에 대한 많은 기술개발 시도가 있어 왔다. 하지만 아직까지 상업적인 성공에 이른 제품은 없다. 하지만 고습의 조건에 노출되면 수분을 흡수하여 냉각되는 봉지가 상업적으로 판매되고 있다. 현재 제안된 한 시스템으로서는 건조 질산 암모늄과 염화 암모늄의 혼합물을 수화시키는 반응에서 흡열조건을 이용하는 것이 있다. 한편에서는 액화 CO<sub>2</sub>를 급격히 분출시킴에 의하여 외부로부터의 열을 흡수하는 시스템이 사용되고 있다. 압축 액화 가스의 분출은 많은 양의 에너지를 흡수할 수 있는 반면에 고압을 유지시키는 용기구조를 가져야 하는 문제점이 있다.

### 지능형 포장의 적용범위

지능형 포장이란 포장의 정보전달 기능을 사용하여 식품의 유통과정에서 안전성과 품질을 유지 향상시키는 의사결정을 지원하는 기술적 시스템으로 정의할 수 있다(5). 이러한 지능형 포장은 그 특성상 저장 유통 환경을 감지하고 필요한 환경조건을 유지시키는 요소를 가진다. 지능형 포장은 따라서 수송, 저장, 유통, 소매 및 소비의 과정에서 상품의 품질과 안전성을 체크하고 이와 관련된 정보를 제공한다. 따라서 지능형 포장은 측정된 상품의 상태에 대한 정보에 근거하여 소비자나 생산자에게 미리 필요한 경고를 주거나 조치를 제안할 수 있다. 지능형 포장은 식품, 포장, 외부 유통환경 등을 포괄하는 전체 제품 이동경로에서 정보흐름을 제공하는 수단으로 이해될 수 있다. 이는 제품의 생산, 포장과정, 수송, 유통, 소비, 폐기의 전과정을 연결시키고 통하게 하면서 정보를 전달시키고 공유시킨다. 식품의 잔존 품질을 육안적으로 알려주는 시간온도적산계(time-temperature indicator)와 바코드(barcode) 체

표 2. 지능형 포장의 종류와 기능

종 류	기 능
TTI (시간온도적산계)	식품품질 감지
Bar code	경로추적, 물류관리
EAS tag (Electronic Article Surveillance)	도난방지
EMID tag (Electromagnetic Identification)	도난방지, 브랜드 보호, 경로추적, 물류관리
Digital watermark	브랜드 보호, 변조방지
선도지시계	식품품질 감지
RFID tag (Radio Frequency Identification)	정보전달, 물류관리, 경로추적

계가 현존하는 지능형 포장의 예로 들 수 있을 것이다.

지능형 포장의 기능은 품질표시, 경로 추적(tracking), 변조방지, 브랜드 보호 등을 포함한다. 표 2에서는 현실적으로 인지되는 지능형 포장의 예와 각각의 기능을 요약하여 보여주고 있다. 시간온도적산계(time temperature integrator 혹은 indicator, TTI)는 포장에 담겨진 식품의 현재 품질을 보여주는 역할을 한다. 바코드는 포장된 상품의 생산자를 확인할 수 있게 한다. 전자도난방지(electric article surveillance, EAS) tag는 시장에서 도난방지의 기능을 제공한다. 최근에 모든 이러한 여러 기능들은 라디오파 인식 체계를 이용한 RFID(radio frequency identification) tag 시스템으로 통합되어가고 있다.

라벨과 비슷한 모양으로 포장의 표면에 부착되는 시간온도적산계(TTI)는, 저장과 유통 과정 중 상품이 겪는 온도이력에 따라 변화하는 품질지표 변화에 상응하는 색변화를 일으킨다. 이러한 색변화는 냉장 및 냉동 식품이 겪는 온도변화의 효과를 정량적으로 표시하게 되며, 특히 온도관리가 제대로 안되었을 경우에 경고를 보여주는 유용한 역할을 수행한다. 이러한 TTI의 색변화는 라벨이나 tag에 담겨있는 물리적 화학적 변화에 연계되어 일어난다. 그리고 이러한 변화는 온도에 상응하여 비가역적으로 발생된다. TTI는 정확한 온도관리가 이루어졌는지를 알려 준다. TTI는 단순히 날짜로 표기되는 유통기한 대신에 실제 제품의 품질에 관한 정보를 제공하고, 온도관리의 건전성에 대한 확신을 부여할 수 있다. 현재 상업적으로 쓸 수 있는 TTI 제품은 3가지 종류가 있다. 특정온도 이상의 노출을 나타내는 것, 부분적인 온도이력을 나타내는 종류와 전체 온도이력을 보여주는 전체이력 TTI가 있다. 상업적으로 이용되는 수준의 전체이력 TTI는 대표적으로 4가지가 있다. 미국의 Lifelines Technologies의 Fresh-Check<sup>®</sup>는 diacetylenic monomer가 중합되는 반응이 온도에 따라 속도가 달라지는 현상에 기초하여서 개발되었다.

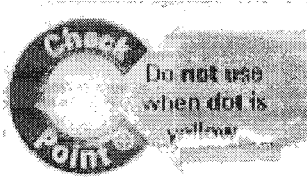


그림 2. Vitsab® TTI.

활성화 전은 중심부가 무색, 활성화 후에는 녹색, 품질한계 후에는 노란색.

미국의 3M의 MonitorMark®는 청색염료가 종이 pad를 통하여 확산되는 속도의 온도의존성에 기초하여 제조되었다. 초기에 스웨덴의 Vitsab사에 의하여 개발된 Vitsab® TTI는 지방의 가수분해에 의하여 발생하는 pH저하에 의하여 활성화된 녹색에서부터 노란색으로 변하는 반응을 이용하였다(그림 2). 이외에도 최근에 Avery Dennison사의 TTI로서 지시 라벨에 투명 활성화 라벨을 붙여서 활성화시켜서 온도에 따라 반응하여 노란색에서 붉은색으로 변하게 한 TT Sensor® 제품이 등장하였다.

바코드는 대부분 일련의 막대와 공간의 넓이를 다르게 하여 숫자, 문자와 기호를 표시하도록 구성되어 있다(그림 3). 이러한 바코드의 구조는 기호학(symbology)의 원리에 따라 부호화되어 저장된다. 이렇게 부호화된 데이터는 광학적으로 읽혀져서 스캐너 시스템에 의하여 컴퓨터 호환 디지털 데이터로 변환된다. 데이터를 부호화하는 방법에는 아주 많은 방법이 있으며, 그림 3에서는 몇가지 대표적인 바코드 기호화 시스템을 보여주고 있다. 각각의 기호화 방법은 데이터의 범위와 데이터의 부호화 방법 등에서 다르다. 현재 200개 이상의 바코드 기호화 시스템이 있지만 그 중 몇 개만이 광범위하게 사용된다. 식품에서 가장 일반적으로 사용되는 1차원 직선 바코드는 EAN/UPC 시스템으로서 주로 재고관리, 주문 및 계산대 운영에서 이용되고 있다. 2차원 바코드 시스템은 보다 많은 양의 데이터를 저장하기 위하여 개발되었다. EAN/UPC 바코드는 12 혹은 13개의 숫자를 저장하게 되지만, 2차원 바코드의 하나인 PDF 417은 1.1 kilobyte의 데이터를 저장할 수 있어서 영양정보와 조리방법 등의 여러 정보를 포함할 수 있다.



EAN-13



PDF417

그림 3. 1차원 및 2차원 바코드.

바코드는 그 특성상 tracking의 기능을 가진다.

선도 지시계는 포장된 식품의 미생물적 품질이나 대사에 관련된 품질을 표시한다(6). 이상적인 선도 지시계는 식품의 변질을 바로 알려주는 것이어야 한다. 선도 지시계는 식품의 미생물적 품질을 나타내는 대사산물을 감지하는 기작에 기초한다. 선도와 관련되어서 감지될 수 있는 화학물질은 포도당, 유기산(유산, 초산), 에탄올, 휘발성 염기질소(ammonia, dimethylamine, trimethylamine), 아민류(histamine), 이산화탄소, ATP 분해 산물, 유황화합물(H<sub>2</sub>S) 등을 들 수 있다. 이러한 성분의 증가나 감소가 선도를 나타내는 지표로 사용된다. 대부분의 선도 지시계는 변패로부터 발생하는 미생물 대사산물에 의하여 야기되는 색깔 변화에 기초하고 있다. 한 예로서 그림 4에서는 휘발성 유황과 질소 화합물과 반응하여 색깔이 변하도록 된 라벨을 보여주고 있다. 또 하나의 좋은 예로서 한국식품연구원에서 개발한 김치 숙성도 지시계는 김치에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 기체에 의하여 반응하도록 설계되었다(7).

EAS tag는 판독기의 해독 거리 내에서 자신의 존재를 확인하고 알려주므로 도난을 방지하는 기능을 수행한다. EAS tag는 자기 상품의 존재만을 알려주며, 1 bit의 기억 용량을 가진다. EMID tag는 자기적으로 플라스틱 라벨에 정보를 기억시키는 시스템으로서 자동화된 체계로 데이터를 기록하고 스캐너로 읽을 수 있어서 도난방지, 브랜드 보호 등의 목적에 사용될 수 있다. EAS tag와 EMID tag의 식품 포장 및 유통에서의 사용은 매우 제한적인 상태에 머물고 있다.

Digital watermark는 디지털 문서나 그래프 이미지에 디지털 상태로 포함되어서 고유의 정보를 나타낼 수 있는 확인 시스템이다. Digital watermark는 육안적으로 나타나게 설계될 수 있지만, 보이지 않는 상태로 포함될 수도 있다. 이는 유통 단계에서 외부의 수단에 의하여 제거될 수 없기 때문에 브랜드 보호와 변조방지의 목적으로 사용될 수 있다.

RFID 시스템은 host 시스템과 RFID 장치(판독기와



그림 4. 미생물적 변패를 나타내는 선도 지시계(Avery Dennison사).

중심 X표가 밝게 노란색으로 변하면 부패를 나타냄.

tag)로 구성된다. Host 시스템은 RFID와 통신하고 연계하는 응용프로그램을 작동시킨다. RFID tag는 상품에 부착되어 제품정보를 저장하고 판독기(reader)와 정보를 교환하고 통신할 수 있다. 판독기는 판독가능거리 내에서 RFID tag와 정보를 교환할 수 있다. 또 판독기는 RFID tag를 구동시키도록 할 수 있다. RFID tag는 자기 자신이 배터리를 가지고 있어서 스스로 구동되어 회로를 활성화하고 정보를 보낼 수 있는 active tag과, 판독기에 의하여 수동적으로 구동되는 passive tag이 있다. 판독기는 protocol을 제어하고, tag으로부터 정보를 읽으며, 어떤 경우에는 tag으로 하여금 정보를 저장하게끔 지시하고, 정보 전달의 유효성을 확인한다. 최대 1 MB까지의 상당히 많은 양의 데이터가 RFID tag에 저장될 수 있다(그림 5). 이러한 정보로는 유통 중 온도와 습도 데이터, 영양정보와 조리방법이 포함될 수 있다. 그림 6에서는 유통과정 중 온도를 저장할 수 있는 RFID tag을 보여주고 있다. RFID 시스템은 직선적이고 직접적인 노출이나 접촉없이 데이터 전달이 한번에 여러 tag에 대해서 고속도로 정확하게 이루어질 수 있다. 앞으로 저가의 RFID tag이 바코드의 영역을 침범할 것으로 예견된다. 현재 여러 전망이 있지만 궁극적으로 RFID 라벨의 가격은 약 \$0.05에 도달하고 시장을 급속히 확장할 것으로 전망된다.

**지능형 포장의 적용 예**

연구영역에서, 미국 Rutgers 대학교의 Yam(8)은 식품 포장에서의 바코드와 전자레인지 사의 통신에 의하여 조리를 제어하는 지능형 전자레인지 시스템을 개발하였다(그림 7). 전자레인지는 많은 종류로 매우 다양하게 시장에 나와있고, 포장 식품에 가열 조리 방법은 모호하거나 부정확한 경우가 많은데, 바코드와 전자레이진의 통신에

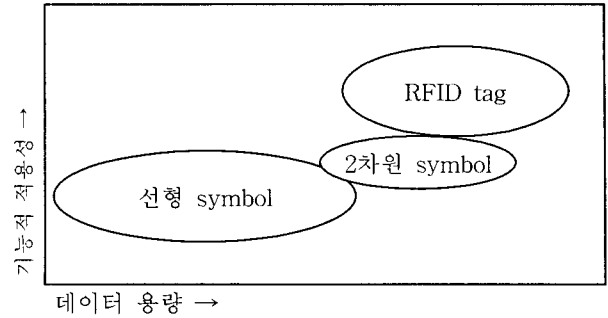


그림 5. 일반적인 데이터 저장 도구의 특성.

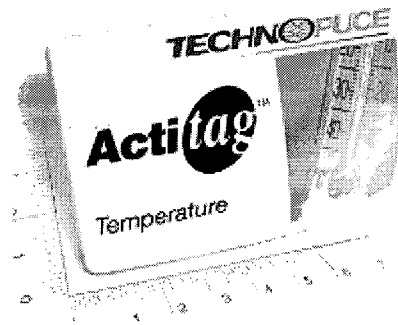


그림 6. 온도 저장 RFID tag의 예(KSW Microtec).

의하여 전자레인지 조리의 최적화를 자동적으로 연계할 수 있다. 전자레인지에 있는 바코드 판독기에 의하여 바코드를 읽으면 소비자가 가열방법을 전자레인지에 입력할 필요가 없어지게 되었다. Yam(8)은 또한 식품 제조업체 web site, 조리법, allergy 정보, 반품정보 등을 위해서 인터넷 통신기능을 전자레인지에 함께 부여하도록 하는 것을 제안하였다.

미국의 슈퍼마켓 체인인 H-E-B Food & Drug 사는 유통의 각 단계에서의 온도가 측정되고 관리되는 시스템을 설치하였다(9). 이 시스템에서는 온도 측정치는 기록유

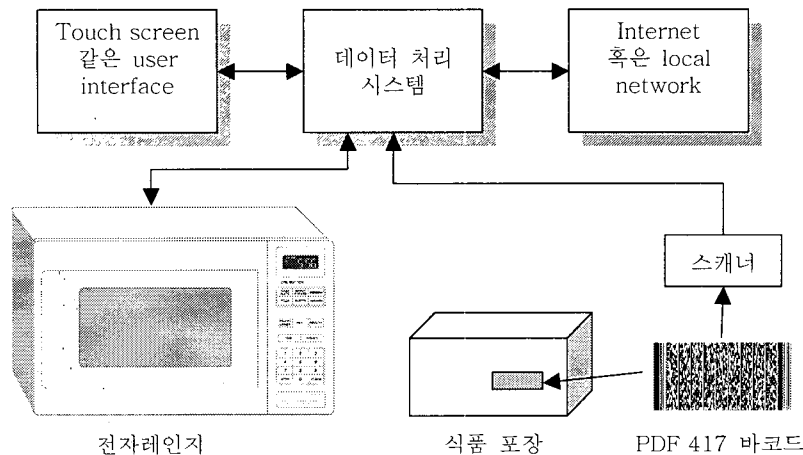


그림 7. 바코드 사용 지능형 전자레인지 시스템.

지와 관리를 위해 중앙 컴퓨터로 보내진다. 냉장식품의 저장과 수송 과정은 감시 관리되며, 기준점과 비교하여 제어되도록 된다. 온도 측정 및 기록, 전달 장치는 모델 식품의 가장 온도가 높은 지점에 위치시키고, 이 측정 데이터를 중앙 컴퓨터로 보내게 제작되었다. 온도가 요구되는 범위 밖에 있을 때에는 경고가 발해지고 사람이 상황을 판단하고 필요한 조작을 하게 된다.

캐나다의 슈퍼마켓 체인인 Sobays 사는 EAS 시스템을 여러 종류 식품포장의 폴리에스터 라벨이나 수분흡수 pad에 탑재시켜 도난방지의 효과를 얻고 있다.

영국의 거대 유통판매체인인 Marks & Spencer 사는 350만개의 식품용 트레이에 RFID tag 시스템을 적용하여 물류관리를 자동화 하였다(10). 이 시스템에 의하여 트레이 묶음을 확인하는 시간을 바코드 시스템에 비하여 80%만큼 줄일 수 있었다. 25개의 트레이 상자를 가진 팔레트 묶음이 5초만에 고정밀도로 스캔될 수 있었다(바코드 시스템에서는 29초 소요).

일본의 Toppan Printing사는 최근에 유리병에 부착될 수 있는 RFID tag를 개발하였다. 이 tag는 둥근 유리병 표면에 부착될 수 있고, 고급 와인 제품 등에서 브랜드 보호에 효과적이고 도난방지의 목적으로도 사용될 수 있을 것으로 전망되었다.

앞에서 얘기한 대로 온도를 감지하는 RFID tag 시스템이 등장하였다. 그림 6에 표시된 TempSens® tag는 13.56 MHz에서 운전되고, 유통체인에서 제품을 tracking하고 온도를 기록할 수 있다.

## 미래 전망

식품 안전에 대한 소비자의 증가된 관심은 보존성 기능을 향상시키는 기능성 포장의 수요와 범위를 지속적으로 확대시킬 것이다. 그리고 즉석 가열과 즉석 냉각과 같은 편의성에 대한 수요는 이러한 분야에 대한 기술개발을 더욱 촉진할 것으로 전망된다. 식품 공급 체인의 운영과 관리는 앞으로 무선통신의 사용과 함께, 지능형 포장을 통한 정보전달의 역할이 강조되는 방향으로 움직일 것이다. 이러한 맥락에서 RFID 시스템의 이용을 포함하는 지능형 포장이 더욱 중요한 기능을 담당할 것으로 예측된다. 기능성 포장과 결합하여 지능형 포장은 식품의 안전성과 신선도로서의 품질이 포장의 기능에 의해서 관리될 것이다. 온라인 상태에서 식품의 품질이 감지되고 유통기한이 관

리되는 방향으로 움직일 것이다. 소비자의 편의성과 안전성은 기능성 포장 및 지능형 포장에 의하여 증진되게 될 것이다. 이러한 개념의 연구가 이미 몇 연구자에 의하여 제안되거나 수행되어 왔다(11). 전체적인 방향은 기능성과 지능형이 결합된 형태로 보다 동적인 조건에서 적용될 수 있는 방향일 것이다. 이를 위해서 식품 관련 정보의 체계화와 함께 관련 소재 및 장치의 개발에 관련된 당사자간의 기술표준의 제정 등의 협력이 필요할 것으로 생각된다. 물론 이는 식품 생산 및 유통 업체와 긴밀한 협조가 전제되어야 할 것이다. 이 분야의 많은 기술혁신이 보다 안전하고 고품질인 식품을 편리하게 소비자에게 제공하게 되는 미래를 기대해 본다.

## 참고 문헌

- Hunt I, Wall B, Jadgev H. 2005. Applying the concepts of extended products and extended enterprises to support the activities of dynamic supply networks in the agri-food industry. *J Food Eng* 70: 393-402.
- Rooney ML. 1995. *Active food packaging*. Blackie Academic & Professional, New York.
- Brody AL, Strupinsky ER, Kline LR. 2001. *Active Packaging for Food Applications*. Technomic Publishing, Lancaster.
- Vermeiren L, Devlieghere F, van Beest M, de Kruijf N, Debevere J. 1999. Developments in the active packaging of foods. *Trends Food Sci Technol* 10: 77-86.
- Yam KL, Takhistov PT, Miltz J. 2005. Intelligent packaging: concepts and applications. *J Food Sci* 70: R1-R10.
- Smolander M. 2003. The use of freshness indicators in packaging. In *Novel Food Packaging Techniques*. Ahvenainen R, ed. Woodhead Publishing, Cambridge, UK. p 126-143.
- Hong S-I, Park W-S. 2000. Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation. *J Food Eng* 46: 67-72.
- Yam KL. 2000. Intelligent packaging for future smart kitchen. *Packag Technol Sci* 13: 83-85.
- Brody A. 2000. Intelligent packaging improves chilled food distribution. *Food Technol* 55: 86-87.
- Anonymous. 2004. *RFID 2005 in Retail Manual*. PIRA International, Leatherhead, UK.
- Giannakourou MC, Koutsoumanis K, Nychas GJE, Taoukis PS. 2001. Development and assessment of an intelligent shelf life decision system for quality optimization of the food chill chain. *J Food Prot* 64: 1051-1057.