능동 식품 포장의 적용
Applications of Active Food Packaging

이한빛, 노봉수, 민세철*
Hahn-Bit Lee, Bong Soo Noh, Sea Cheol Min*

서울여자대학교 식품공학전공
Division of Food Science and Technology, Seoul Women's University

I. 서론

최근 들어 많은 소비자들은 간편하면서도 적은 열 유입을 이용하여 신선함을 유지하는 식품을 선호하고 있다. 뿐만 아니라, 인터넷 쇼핑이나 대형 할인점과 같은 유통의 변화는 제품의 이동 거리를 길게 만들고 요구되는 일정 온도에서 제품을 더 오랫동안 저장되게 하기도 한다. 이러한 새로운 추세에 부합하기 위한 식품 포장 방법들이 요구되고 있는데 능동 식품 포장이 그 중 하나이다. 능동 포장은 식품의 품질은 유지하고, 식품의 유통기간을 늘리며, 식품의 안전성을 증대시키고, 관능적 특성을 향상시킨다(1). 전통적 식품 포장의 역할에서 온도, 습도, 공기, 미생물 등 환경 요인에 대한 방어가 위주라고 하면, 능동 식품 포장의 역할에는 환경 요인에 대한 단순한 방어뿐만 아니라 기능적 특성을 발휘하고, 환경의 변화에 반응하여 식품을 보호하는 것도 포함된다(2). 주요 능동 식품 포장 기술은 산소, 에틸렌, 수분, 이산화탄소, 냄새(향) 등을 빨아들이는 물질을 결정 또는 그 물질들의 사용 방법을 개발, 그리고 이산화탄소, 항미생물제, 항산화제, 향 등을 일정한 속도로 방출하는(controlled release) 기술과 관련되어 있다. 가장 중요한 식품 능동 포장 방법으로는 산소와 에틸렌 소거(scavenging), 이산화탄소 소거와 방출(emitting), 수분 조절, 항미생물 물질 방출(releasing), 항산화물질 방출, 자가 가열 등이 있다(1). 본 논문의 목표는 대표적인 능동 식품 포장 방법들의 원리와 식품에 대한 적용을 살펴보고 향후 능동 식품 포장의 적용가능성을 전망하고자 한다.

II. 능동 식품 포장 방법들

1. 산소 소거

식품의 품질 저하는 식품 구성성분의 산화 반응과 산소 존재 하에 호기성균과 곰팡이의 증식에 의한 부패와 밀접하게 관련되어 있다. 많은 경우 산소에 민감한 식품들은 modified atmosphere packaging(MAP)과 진공 포장 방법에 의해 포장되지만 이러한 기술들은 식품에서 산소를 항상 완전히 제거시키지는 못한다. 특히 산소가 투과되는 소재가 식품 포장재로 사용되었을 때에는 더욱 그렇다. 산소 소거 기술은 식품 내 잔여산소를 제거하는 방법으로, 이를 위해 철 산화, 아

*Corresponding author: Sea Cheol Min
Division of Food Science and Technology, Seoul Women's University
623 Hwarang-ro, Nowon-gu, Seoul 139-774, Korea
Tel: +82-2-970-5635
Fax: +82-2-970-5977
email: smin@swu.ac.kr

스코르브산 산화, 감광제 물질의 산화, 효소에 의한 산화, 고체 물질(식품 포장재)에 효모 고정화 등을 사용한다(1, 3). 많이 사용되는 Ageless®(Mitsubishi Gas Chemical Co., Tokyo, Japan)는 iron oxidation을 이용한 산소 소거 시스템으로, 사용되는 sachet는 식품 내의 산소 수준을 0.01%까지 떨어뜨리는 것으로 알려져 있다. 글루코오스 산화효소가 사용되는 예로는 병맥주나 포도주의 산소를 제거하는 것이 있는데, 이때 병 포장재(예, 폴리프로필렌 또는 폴리에틸렌) 안 또는 sachet 안에 글루코오스 산화효소가 담겨 사용된다. 아스코르브산 산화를 이용한 산소 소거 시스템의 예인 Darex®(W.R. Grace & Co., Waterloo, Belgium)는 crown cap, 플라스틱 또는 금속 마개 등에 사용되어 제품 향의 산화를 억제시킨다(4).

산소 소거의 사용은 기름과 고체지방의 산패취를 감소시키고, 색소와 향성분의 변화, 그리고 영양 성분의 감소(비타민 소실) 등을 줄일 수 있다. 산소 소거들은 MAP과도 함께 사용되는데 이때 MAP의 작용에 의해 대부분의 대기 산소를 제거하고 그 후 남은 산소를 산소 소거로 없애는 방법이 상업적으로 주로 사용된다(5). 산소 소거제가 사용될 때 이용되는 포장재는 적어도 어느 정도의 산소 차단 효과가 있어야 하는데(예, $\cdot 20\ mL \cdot m^{-2} \cdot day^{-1} \cdot atm^{-1}$), 그렇지 않으면 소거제가 금방 산소로 포화되어서 더 이상 소거제로서의 역할을 할 수 없게 된다. 산소 소거제 능동 식품 포장은 일부 구운 견과류, 커피, 생선포, 시리얼 제품, 양념, 감자 칩, 초콜릿, 치즈, 훈제육, 소시지, 생선, 채소, 빵, 케이크, 쿠키, 맥주, 과일주스, 포도주 등에 사용된다(1). 곰팡이 성장억제는 치즈와 제과제빵 제품에서 중요한데, 산소 수준 0.1% 또는 그 이하가 요구되며(6), 위에서 언급된 Ageless®를 사용하여 성공적으로 산소 수준을 유지한 것이 보고되었다(1, 7).

2. 에틸렌 소거

에틸렌은 식물 호르몬으로 신선한 과일과 채소의 호흡속도를 높여 숙성과 노화 등의 품질 변화를 가져온다. 에틸렌의 축적은 감귤류가 초록빛을 짧게 갖게 하기도 하나, 대부분 녹색 채소를 노랗게 만드는 등 그들의 품질과 저장기간에 있어 해로운 결과를 초래한다. 따라서, 신선 채소-과일의 유통기간을 늘리기 위해 에틸렌 소거 기술의 발전이 요구되었고, 많은 에틸렌 소거제가 산소 소거제처럼 식품 포장재 필름에 혼입되는 형태나 sachet 형태로 개발되어왔다(1).

에틸렌 소거제를 제작할 때 에틸렌을 아세테이트나 에탄올로 산화시키는 과망간산칼륨(자주색)를 주로 sachet 형태로 사용한다(2, 8). 이때 과망간산칼륨은 남아있는 에틸렌 소거 용량을 보여주면서 자주색에서 갈색으로 변한다. 다른 종류의 에틸렌 소거는 제올라이트, clay, Japanese oya를 필름에 삽입하여 그들이 에틸렌과 흡착하도록 한다(1).

에틸렌 소거제의 사용은 더 많은 신선 채소-과일의 장기간 유통을 가능하게 하는데 기여할 것으로 전망되지만, 실제적으로 에틸렌 제거능력의 한계로 아직까지 상업적으로 많이 사용되고 있지는 못하다(1).

3. 이산화탄소 소거와 방출

이산화탄소는 식품에서 미생물 작용과 호흡작용에 의해 생겨날 수 있다. 이렇게 생성된 이산화탄소는 식품의 변패와 식품 포장재의 파손을 방지하기 위해 제거되어야 한다(3). FreshLock®(Fresh-Lock, Appleton, WI, U.S.A.) 제품의 이산화탄소 소거제는 수산화칼슘이 이산화탄소와 반응하여 탄산칼슘을 만들어 냄으로써 이산화탄소를 제거한다.

고기와 치즈 등 어떤 식품들은 표면의 미생물 저해 등을 이유로 높은 이산화탄소 수준(10-80%)을 유지하는 것이 바람직하여(9), 이를 위해 이산화탄소를 내놓는 sachet(이산화탄소 방출제)가 사용되기도 한다. 이런 sachet는 철탄산염이나 아스코르브산과 중탄산나트륨의 혼합물로 주로 이루어진다(6). 이러한 sachet 중에는 이산화탄소를 방출하면서 동시에 산소를 소거하는 것들이 많다(1). 이산화탄소 방출은 또한 신선한 채소-과일의 호흡속도는 늦추기 위해서도 사용될 수 있다(9).

이산화탄소 소거제는 일부 커피, 과일, 치즈, beef jerky 등에 적용되고 이산화탄소 방출제는 견과류, 감자 칩, 신선한 채소-과일, 신선한 육류-어류, 그리고 스펀지케이크 등에 사용된다(1).

4. 수분 조절

수분에 민감한 식품들(예, 스낵, 크래커)은 수분 차단 효과가 높은 재료로 포장이 되어야 하는데 이는 저장과 유통 중 어느 정도의 수분이 포장 내에서 축적될 수 있기 때문이다. 이 수분이 제거되지 않는다면 식품의 고유 특성(주로 조직감 등을 포함한 관능적 특성)을 잃게 되고 원하지 않는 미생물의 번식도 일어날 수 있게 된다. 수분에 민감한 식품들에 있어 이러한 문제를 최소화하고 적당한 상대습도를 제품의 headspace에 유지시키기 위해 식품 제조업체들은 요구되는 적정 수분 투과율을 갖는 필름, 수분 조절 sachet 또는 pad를 사용한다(1). 실리카겔, natural clay, 산화칼슘과 같은 desiccant는 sachet를 이용해 치즈, 육포, 과자, 견과류, 캔디, 껌, 양념 등의 식품에 수분 제거를 위해 사용된다(10). Headspace의 수증기를 포획하는 방법도 수분 조절 방법 중 하나인데, 예를 들면 두 개의 수증기가 잘 통과하는 플라스틱 층 사이에 humectant를 넣는 것이다. Pichit™(Showa Denko, Japan) 제품은 두 개의 폴리비닐알코올 시트 사이에 프로필렌 글리콜humectant를 넣은 필름으로 집에서 육류나 해산물의 수분활성도를 낮추기 위해 wrap형태로 사용된다(6, 11).

수분 regulator는 많은 건조 식품에 사용되며 위에서 언급된 식품 외에도 일부 고기, 생선, 해조류, 빵 포장에 사용된다(1).

5. 항미생물 필름 포장

식품 포장재에 항미생물 물질을 사용하여 미생물 안전성을 높이고 부패를 줄이는 항미생물 포장의 제작 방법은 크게 '화학적 고정화(chemical immobilization)' 방법과 '혼입(incorporation)(그림 1, 2)' 방법으로 나뉜다. 항미생물 물질을 단순히 뿜거나 적셔서 식품에 직접적으로 처리 하게 되면 식품 표면에서 다른 물질들과 반응하여 그 효능을 잃거나 빠른 시간에 식품 표면에서 내부로 이동하게 되지만, 항미생물 물질을 포장재에 공유결합을 통해 고정화하거나 필름 매트릭스에 혼입시켜 사용하면 식품 표면에 항미생물 물질들을 오랫동안 있게 할 수 있게 된다. 특히 그 방법

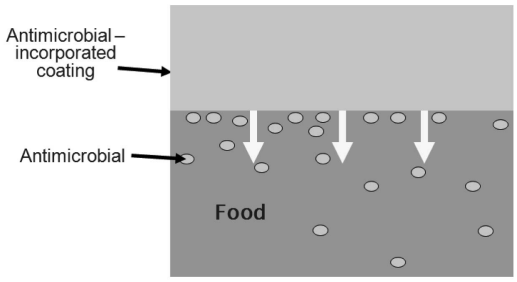

그림 1. 항미생물 물질을 혼입하여 만든 필름 내 항미생물 물질의 식품 표면과 내부로의 확산

이 혼입인 경우에는 항미생물 물질을 식품 표면에서 내부로 아주 천천히 이동하게 조절 할 수 있으므로 항미생물 물질들을 식품에 직접적으로 처리하는 방법들보다 훨씬 효과적으로 적은 양을 가지고 오랜 시간 동안 식품에 항미생물 능력을 줄 수 있다(12). 그러나 항미생물 필름 포장은 가공된 식품의 표면 미생물 감염을 줄이는 방법이지 식품 포장재 위생처리를 위해 사용될 수 있는 방법은 아니다(13).

Ready-to-eat(RTE, 간이편이식품) 고기 제품은 구입 후 별다른 조리 과정 없이 섭취할 수 있기 때문에 만약 이들 제품에 식중독 균들이 존재하게 되면 소비자들이 이들을 섭취함으로써 식중독에 걸릴 수 있게 된다. *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* 등은 다

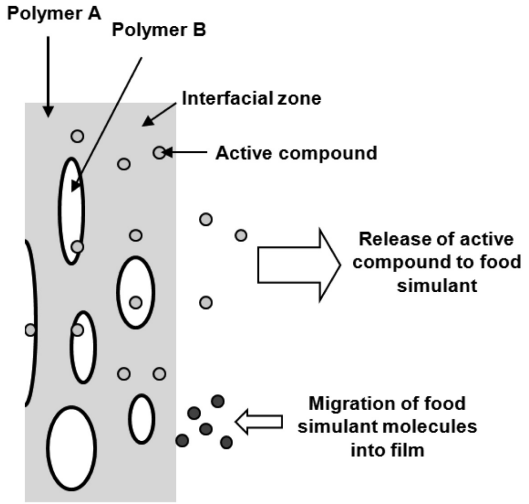

그림 2. 항미생물 물질 또는 항산화 물질 등의 활성 성분들을 혼입한 복합(composite) 필름

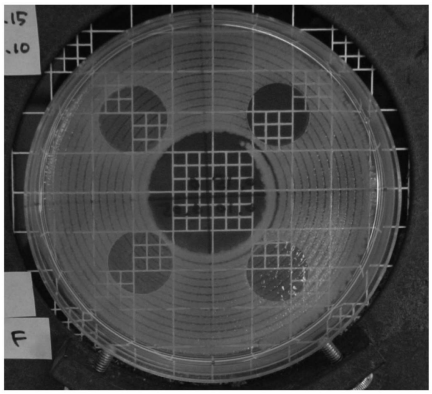

그림 3. *Escherichia coli* O157:H7 lawn에 보여지는 항미생물 필름의 항균 효과. 오른쪽 위의 필름 디스크가 다른 디스크들에 비해 강력한 항균 능력을 보여주고 있음

양한 RTE 제품들에서 자주 검출되고 있는데, 많은 경우의 원인이 불충분한 재료 가공(열처리)과 제품이 만들어진 이후 사람들에 의한 감염(post-process contamination)인 것으로 알려져 있다(14). 최근 가식성 항균 필름 사용이 공정 후 감염 위험성을 낮출 수 있는 동시에 저장 중 지속적으로 식중독균을 억제 할 수 있다는 장점 때문에 많이 연구되고 있다(15)(그림 3).

항미생물 필름을 제작하는데 있어 고려할 요인들에는 항미생물 물질의 안전성, 필름재료의 경제성, 항미생물 물질의 특성(극성, 이온강도, 분자량, 용해도 등), 식품의 구성 성분 및 화학적 특성, 저장 온도와 습도, 필름 코팅 공정, 필름의 식품 표면 접착력, 필름의 인장, 방벽, 그리고 관능 특성 등이 있다. 항미생물 물질의 극성, 이온강도, 분자량, 그리고 용해도는 필름에서의 항미생물 물질의 식품 표면 또는 필름 표면으로의 확산(확산 속도)에 영향을 주기 때문에 중요하다. 예를 들면, 폴리펩티드를 단백질 필름에 혼입하여 항미생물 필름을 제조할 때에는 재료가 되는 단백질과 폴리펩티드 간의 상호작용이 반드시 연구되어야 한다. 저장 온도와 습도 또한 항미생물 물질의 확산에 영향을 주는데, 대체적으로 온도와 습도가 높을수록 그 확산 속도가 증가한다. 식품의 pH는 항미생물 물질의 항미생물 작용과 미생물 저해에 영향을 주기 때문에 중요하게 고려되어야 한다. 필름의 재료, 항미생물 물질의 농도, 필름 형성 용액 가열 조건들, 필름 형성 용액 내 용매의 증발 속도 등이 필름 코팅의 식품 표면에 대한 접착력에 영향을 미치는 요소들이다.

최근 생고분자 항균 필름 기술은 가식성 천연 재료와 천연 항미생물 물질을 사용하여 그 안전성을 강조하고 있다. 니신, 리소자임, 그리고 천연 식물성 기름

표 1. 천연 항미생물 물질을 포함하는 항미생물 생고분자 필름과 그 사용의 예

항 미생물 물질	필름 기초 물질	억제 대상 미생물	적용media/식품	참고문헌
Pediocin	Cellulose	*Listeria monocytogenes*	Meat	(16, 17)
Lysozyme	Cellulose triacetate	*Micrococcus lysodeikticus*		(18)
Lysozyme, nisin	Soy protein isolate(SPI), corn zein	*Lactobacillus plantarum*		(19)
Nisin	Methylcellulose(MC), Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC)	*Staphylococcus aureus*, *L. monocytogenes*		(14)
Nisin	HPMC	*L. innocua, S. aureus*		(20)
Nisin	Whey protein isolate(WPI), SPI, egg albumen, wheat gluten	*L. monocytogenes*		(21)
Chitosan (필름형성용액의 1%(w/v))	Chitosan	*L. monocytogenes*, *L. innocua*		(22)
Lysozyme, nisin, grape fruit seed extract(GSE)	Na-alginate-based and κ-carrageenan-based	*M. luteus, L. innocua, S. enteritidis, Escherichia coli, S. aureus*		(23)

(앞의 표 계속)

항 미생물 물질	필름 기초 물질	억제 대상 미생물	적용media/식품	참고문헌
Nisin (필름의 4%(w/w))	Soy-based	*L. monocytogenes* (BHI agar: 6 log reduction, turkey bologna: 1 log reduction)	BHI agar, Turkey bologna	(24)
Nisin (필름 형성 용액의 5×10^4 IU/mL)	HPMC	*L. monocytogenes*, *S. aureus*		(25)
Nisin (205 IU/g protein) + malic acid	SPI	*L. monocytogenes*, E. coli O157:H7, *Salmonella gaminara* (5.5, 6.8, 3.0 log CFU/mL, respectively)		(26)
Bacteriocin-like substance (BLS)(0.32%)	Fermented soybean meal with *Bacillus subtilis*	*E. coli*		(27)
Lysozyme (780 g/cm^2 필름) + disodium EDTA2H_2O (520 g/cm^2 필름)	Crude exopolysaccharides (59% pollulan)	*E. coli*		(28)
Lysozyme (25 mg/g 코팅 용액)	Whey protein isolate(WPI)	*L. monocytogenes* (2.4 log CFU/g reduction)	훈제연어	(29)
Lactoperoxidase system (0.15 g/g 필름)	WPI	*S. enterica*, *E. coli* O157:H7 (4 log CFU/cm^2 reduction)		(30)
Lactoperoxidase system (40 mg/g coating)	WPI	*L. monocytogenes* (3 log CFU/g reduction)	훈제연어	(31)
Garlic oil (100 g/g chitosan)	Chitosan	*S. aureus*, *L. monocytogenes*, *Bacillus cereus*		(32)
Garlic oil (0.4%(v/v))	Alginate	*S. aureus*, *B. cereus*		(33)
Oregano essential oils (필름의 1-2%)	Chitosan	*L. monocytogenes*, *E. coli* (3.6-4.0, 3.0 logs, respectively)		(34)
p-aminobenzoic acid(PABA), sorbic acid	WPI	*L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7, *Salmonella enteric* subsp. *enterica* serovar *Typhimurium* DT104	Trypticase soy agar + 0.6% yeast extract (TSAYE)	(35)
Benzoic acid	MC, stearic acid 또는 palmitic acid	*Zygosaccharomyces rouxii*, *Z. Mellis*	Taiwanese-style fruit preserves	(36)
Lysozyme, nisin, EDTA	Gelatin	*Brochothrix thermosphacta*, *E. coli* O157:H7, *L. sakei*, *Leuconostoc mesenteroides*, *L. monocytogenes*, *S. typhimurium*	Ham, bologna	(37)
Modified atmosphere	Semperfresh™	Endogenous molds and yeast	Cherries	(38)

(앞의 표 계속)

항 미생물 물질	필름 기초 물질	억제 대상 미생물	적용media/식품	참고문헌
PABA, sorbic acid	WPI	*L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7, *Salmonella enteric subsp. enterica* serovar *Typhimurium* DT104	Bologna, summer sausage	(39)
Spice powders	Calcium caseinate, WPI	Endogenous microorganisms of total aerobes, total *Enterobacteriacea*, lactic acid bacteria, *B. thermosphacta*, presumptive *Pseudomonas spp.*	Ground beef (ascorbic acid 0.5% (w/w) 함유)	(40)
PABA	WPI	*L. monocytogenes*, mesophilic aerobic bacteria (MAB), lactic acid bacteria (LAB), yeast/mold	Hot dog	(41)

등(표 1)을 혼입하여 만든 항균 필름이 식품 적용을 목적으로 개발되고 있다. 천연 항미생물 물질을 포함하는 항미생물 생고분자 필름과 그 사용의 예가 표 1에 정리되어 있다. 또한 최근에는 천연 항미생물 물질과 생분해 필름 형성 물질을 함께 사용한 생고분자 항미생물 필름의 개발이 많이 연구되고 있다.

6. 항산화 필름 포장

요즘 들어 항산화 필름 기술이 식품의 지방산화를 저해하여 식품의 유통기간을 늘리는 수단으로 많이 연구되고 있는데, 특히 아스코르브산, α-토코페롤, 케르세틴, 그 외 다른 식물 추출물, 그리고 비효소적 갈변 생성물 등의 천연 항산화제들이 항산화 필름 제작에 사용되고 있다(42). 항산화 필름이 식품의 산화를 저해할 수 있는 이유는 필름의 사용으로 식품으로 산소가 유입되는 정도를 줄일 수 있기 때문이며 또한 필름 내 존재하는 항산화 물질들이 산소를 소거하기 때문이다(43)(그림 4). 항산화 필름은 산소 흡수 sachet를 사용하는 산소 소거 시스템처럼 소비자들이 sachet나 그 안의 내용물을 섭취할 수 있다는 위험을 내포하지도 않고 친환경 재료로 제작할 수 있다는 장점이 있다.

7. 자가 가열(self-heating)

자가 발열 포장은 칼슘 또는 산화마그네슘이 물과 발열반응을 일으키는 것을 이용하는데 커피 캔, 군인 식량, on-the-go meal platter 등에 사용된다(2). 하지만, 가열 부분이 포장 부피의 많은 부분을 차지한다는 단점이 있다.

III. 능동 식품 포장의 미래

능동 식품 포장의 발전은 식품의 질과 안전성을 향상시키는데 많은 공헌을 해왔다. 특히, 산화 저해와 수분이동, 미생물 생장, 호흡속도, 그리고 휘발성 향기성분의 조절 부분에 있어 많은 발전을 보여 왔다. 능동

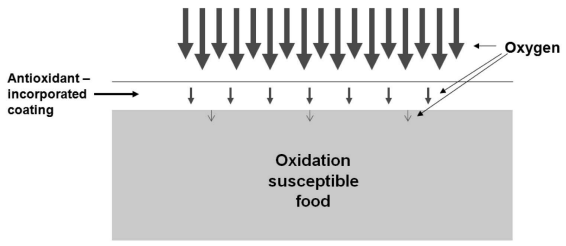

그림 4. 항산화 필름으로 코팅된 식품으로의 산소 투과

식품 포장의 방법적 측면에서도 많은 발전이 있었고, 또한 그 포장법들이 실제 식품에 어떻게 작용하여 어떤 결과를 가져왔는지를 보여주는 많은 연구결과들도 발표되었다.

능동 식품 포장은 생명과학기술, 센서기술, 정보기술, 나노기술 등이 접합되어 더욱 더 많은 발전이 가능하다. 예를 들어, 식중독균 검출 효율에는 생명과학기술과 센서기술, 포장재의 방벽 특성과 인장 특성 향상 등에서 나노기술의 적용이 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

천연 항균제를 사용하는 항균 필름 개발에 있어서는 대부분의 천연 항균제의 가격이 매우 높기 때문에 그 사용량을 매우 획기적으로 줄이기 전에는 천연 항균제 가식성 필름은 경제성 문제로 인해 실용화되기 어려울 것이다. 또한 천연물질의 향과 색이 적용되는 식품의 관능적 특성에 어떻게 영향을 주는지 또는 향의 경우에는 식품 고유 향에 대해 향 강화 효과가 있는지에 대해서도 더욱 더 많은 연구가 필요하다.

능동 식품 포장의 상업적 적용은 법적 규제, 소비자들의 비선호, 기업의 능동 식품 포장의 효과와 경제성 및 환경에 대한 영향 등에 대한 낮은 관심 등에 의해 제한을 받는다(44). 소비자들이 능동 식품 포장에 사용되는 물질들이 해롭거나 섭취하기 적당하지 않다고 생각할 수 있다는 것이 기업에서 능동 식품 포장을 식품에 적용하는데 큰 걸림돌이 될 수 있는데, 공신력이 있는 정보채널을 통해 소비자들에게 올바른 정보가 전달된다면 실제 안전한 능동 식품 포장 적용에 대한 소비자들의 인식이 바뀔 수 있을 것이며, 그에 따라서 기업에서도 능동 식품 포장의 적용을 늘릴 수 있게 되어 그 수요가 높아질 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0077723).

참고문헌

1. Vermeiren L, Devlieghere F, van Beest M, de Kruijf N, Debevere J. Developments in the active packaging of foods. Trends Food Sci Technol. 10: 77-86 (1999)
2. Brody AL, Bugusu B, Han JH, Sand CK, Mchugh TH. IFT Scientific Status Summary 2008: Innovative food packaging solutions. J. Food Sci. 73: R107-R116 (2008)
3. Floros JD, Dock LL, Han JH. Active packaging technologies and applications. Food Cosmetics and Drug Packaging. 20: 10-17 (1997)
4. Darex technical information. Active packaging technology. Darex Container Products. WR Grace and Co., USA (1998)
5. Day BPF. Active packaging of foods. In: New Technologies Bulletin, no. 17. Campden and Chorleywood Food Research Association, UK. pp. 23 (1998)
6. Rooney ML. Active packaging in polymer films. In: Active Food packaging. Rooney ML (ed). Blackie Academic and Professional, London, UK. pp. 74-110 (1995)
7. Smith JP, Ooraikul B, Koersen WJ, Jackson ED, Lawrence RA. Novel approach to oxygen control in modified atmosphere packaging of bakery products. Food Microbiol. 3: 315-320 (1986)
8. Lopez-Rubio A, Almenar E, Hernandez-Munoz P, Lagaron JM, Catala R, Gavara R. Overview of active polymer-based packaging technologies for food applications. Food Rev Int. 20: 357-387 (2004)
9. Labuza TP. An introduction to active packaging for foods. Food Technol. 50: 68-71 (1996)
10. Anon. Ensuring product freshness with new desiccant product. Food Marketing and Technology. 10: 75-77 (1995)
11. Labuza TP, Breene WM. Applications of active packaging for improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf-life foods. J. Food Process. Preserv. 13: 1-69 (1989)
12. Min S, Harris LJ, Krochta JM. Inhibition of *Salmonella enterica* and *Escherichia coli* O157:H7 on roasted turkey by edible whey protein coatings incorporating the lactoperoxidase system. J. Food Prot. 69: 784-793 (2005)
13. Cooksey K. Utilization of antimicrobial packaging films for inhibition of selected microorganism. pp. 17-25. In: Food Packaging: testing methods and applications. Risch SJ (ed). American Chemical Society, Washington DC, USA (2000)
14. Cagri A, Ustunol Z, Ryser ET. Antimicrobial edible films and coatings. J. Food Prot. 67: 833-848 (2004)
15. Lee CH, An DS, Park HJ, Lee DS. Wide-spectrum antimicrobial packaging material incorporating nisin and chitosan in the coating. Packaging Technology and Science. 16: 99-106 (2003)
16. Wilhoit DL, film and method for surface treatment of foodstuffs with antimicrobial compositions. U.S. patent5,573,797 (1996)
17. Wilhoit DL, Antimicrobial compositions, film and method for surface treatment of foodstuff. E.U. patent EPO 750 853 A2 (1997)
18. Appendini P, Hotchkiss JH. Immobilization of lysozyme on

food contact polymers as potential antimicrobial films. Packaging Technology and Science. 10: 271-279 (1997)
19. Padgett T, Han IY, Dawson PL. Incorporation of food-grade antimicrobial compounds into biodegradable packaging films. J. Food Prot. 61: 1330-1335 (1998)
20. Coma V, Sebti I, Pardon P, Deschamps A, Pichavant H. Antimicrobial edible packaging based on cellulosic ethers, fatty acids, and nisin incorporation to inhibit *Listeria innocua* and *Staphylococcus aureus*. J. Food Prot. 64: 470-475 (2001)
21. Ko S, Janes ME, Hettiarachchy NS. Johnson MG. Physical and chemical properties of edible films containing nisin and their action against *Listeria monocytogenes*. J. Food Sci. 66: 1006-1011 (2001)
22. Coma V, Martial-Gros A, Garreau S, Copinet A, Salin F, Deschamps A. Edible antimicrobial films based on chitosan matrix. J. Food Sci. 67: 1162-1169 (2002)
23. Cha DS, Choi JH, Chinnan MS, Park HJ. Antimicrobial films based on Na-alginate and κ-carrageenan. Lebensm. Wiss. Technol. 35: 715-719 (2002)
24. Dawson PL, Carl GD, Acton JC, Han IY. Effect of lauric acid and nisin-impregnated soy-based films on the growth of *Listeria monocytogenes* on turkey bologna. Poult. Sci. 81: 721-726 (2002)
25. Sebti I, Ham-Pichavant F, Coma V. Edible bioactive fatty acid-cellulosic derivative composites used in food-packaging applications. J. Agr. Food Chem. 50: 4290-4294 (2002)
26. Eswaranandam S, Hettiarachchy NS, Johnson MG. Antimicrobial activity of citric, lactic, malic, or tartaric acids and nisin-incorporated soy protein film against *Listeria monocytogenes, Escherichia coli* O157:H7, and *Salmonella gaminara*. J. Food Sci. 69: FMS79-FMS84 (2004)
27. Kim HW, Kim KM, Ko EJ, Lee SK, Ha SD, Song KB, Park SK, Kwon KS, Bae DH. Development of antimicrobial edible film from defatted soybean meal fermented by *Bacillus subtilis*. J. Microbiol. Biotechnol. 14: 1303-1309 (2004)
28. Kandemir N, Yemenicioglu A, Mecitoglu C, Elmacı ZS, Arslanoglu A, Göksungur Y, Baysal T. Production of antimicrobial films by incorporation of partially purified lysozyme into biodegradable films of crude exopolysaccharides obtained from Aureobasidium pullulans fermentation. Food Technol. Biotechnol. 43: 343-350 (2005)
29. Min S, Han JH, Krochta JM. *Listeria monocytogenes* inhibition by whey protein films and coatings incorporating lysozyme. J. Food Prot. 68: 2317-2325 (2005)
30. Min S, Harris LJ, Krochta JM. Antimicrobial effects of lactoferrin, lysozyme, and the lactoperoxidase system and edible whey protein films incorporating the lactoperoxidase system against *Salmonella enterica* and *Escherichia coli* O157:H7. J. Food Sci. 70: M332-M338 (2005)
31. Min S, Harris LJ, Krochta JM. *Listeria monocytogenes* inhibition by whey protein films and coatings incorporating the lactoperoxidase system. J. Food Sci. 70: M317-M324 (2005)
32. Pranoto Y, Rakshit SK, Salokhe VM. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbat and nisin. LWT-Food Science and Technology. 38: 859-865 (2005)
33. Pranoto Y, Salokhe VM, Rakshit SK. Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. Food Res. Int. 38: 267-272 (2005)
34. Zivanovic S, Chi S, Draughon AF. Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. J. Food Sci. 70: M45-M51 (2005)
35. Cagri A, Ustunol Z, Ryser ET. Antimicrobial, mechanical, and moisture barrier properties of low pH whey protein-based edible films containing p-aminobenzoic or sorbic acids. J. Food Sci. 66: 865-870 (2001)
36. Chen MJ, Weng YM, Chen W. Edible coating as preservative carriers to inhibit yeast on Taiwanese-style fruit preserves. J. Food Saf. 19: 89-96 (1999)
37. Gill AO, Holly RA. Surface application of lysozymes, nisin, and EDTA to inhibit spoilage and pathogenic bacteria on ham and bologna. J. Food Prot. 63: 1338-1346 (2000)
38. Yaman ö, Bayındırη L. Effects of an edible coatings, fungicide and cold storage on microbial spoilage of cherries. Eur. Food Res. Technol. 213: 53-55 (2001)
39. Cagri A, Ustunol Z, Ryser E T. Inhibition of three pathogens on bologna and summer sausage using antimicrobial edible films. J. Food Sci. 67: 2317-2324 (2002)
40. Ouattara B, Giroux M, Smoragiewicz W, Saucier L, Lacroix M. Combined effect of gamma irradiation, ascorbic acid, and edible coating on the improvement of microbial and biochemical characteristics of ground beef. J. Food Prot. 65: 981-987 (2002)
41. Cagri A, Ustunol Z, Osburn W, Ryser E T. Inhibition of *Listeria monocytogenes* on hot dogs using antimicrobial whey protein-based edible casings. J. Food Sci. 68: 291-299 (2003)
42. Debeaufort F, Quezada-Gallo JA, Voilley A. Edible films and coatings: Tomorrow's packagings: A review. Crit Rrev Food Sci Nutr. 38: 299-313 (1998)
43. Min S, Krochta JM. Ascorbic Acid-Containing Whey protein film-coatings for control of peanut oxidation. J. Agrl. Food Chem. 55: 2964-2969 (2007)
44. Mikkola V, Lähteenmäki L, Hurme E, Heiniö R, Kääriänen T, Ahvenainen R. Consumer attitudes towards oxygen absorbers in food packages. VTT research notes 1858. Espoo, Finland. pp. 3-34 (1997)