

식품 및 화장품 포장을 위한 숯의 이용

Utilization of Charcoal for Food and Cosmetic Packaging

최신식^{1,*}, 김경목², 박행수²
Shin Sik Choi^{1,*}, Gyoung Mok Kim², Haeng Su Park²

¹명지대학교 식품영양학과, ²(주)케이씨티
¹Department of Food and Nutrition, Myongji University ²Korea Composite Technology Co., Ltd.

I. 서론

1. 숯의 정의와 종류

숯이란 나무가 불완전 연소 후 남은 검회색의 잔여물을 일컫는다. 숯이 만들어지는 과정에서 나무가 가지고 있었던 수분, 휘발성 물질이나 동물 유래의 성분 등이 모두 제거되고 탄소와 회분(ash)이 주요 성분으로 남아있게 된다. 숯이 만들어지는 과정을 열분해(pyrolysis)라고 하며, 열분해란 산소가 없이 고온에서 나무와 같은 유기물이 화학적으로 분해가 되는 비가역적인 과정을 말한다. 나무와 같은 고체 연료물질은 보통 200-300°C에서 열분해가 일어나기 시작하며, 열분해가 일어나는 동안 가스와 액체가 생성되면서 증발하고 최종 고체 성상의 물질만이 남게 된다. 이 고체 물질에 주로 탄소가 남게 되어 이러한 열분해 과정을 탄화(carbonization)라고 한다. 즉, 숯은 나무가 열분해 또는 탄화되어 생기는 탄소 주성분의 고체이다(1).

숯은 크게 백탄, 검탄, 활성탄의 3 종류로 나뉜다. 백탄

과 검탄의 재료는 나무인 반면, 활성탄은 목재 외에 다른 성분이 들어간 폐자재나 광물, 플라스틱 등으로도 만들어진다. 백탄은 주로 참나무를 1000°C 이상의 온도로 천천히 가열하여 만드는 고 순도의 숯으로 탄소 함량이 95%, 회분 함량이 2% 내외이며 전기 전도성을 갖는다. 검탄은 700°C 이하의 온도에서 제조되며 유황 등의 유해 가스를 함유하고 있다. 백탄에 비해 화력이 좋아 주로 연료용으로 쓰이는 숯이 검탄이며 탄소 함량이 80% 정도로 전기 전도성을 갖지는 못한다. 활성탄은 숯을 염화아연이나 인산 등을 이용해서 건조한 후에 기체 흡착을 더 많이 할 수 있도록 활성화 시킨 것을 말한다(2).

2. 숯의 구조와 기능

숯의 대표적인 기능은 흡착 능력이며 이러한 특성은 숯이 가지는 다공성 구조에서 비롯된다. 그림에서 볼 수 있듯이, 숯은 직경 수 마이크로미터 크기의 기공을 다수 포함하고 있다(그림 1)(3). 이러한 다공성 구조는 넓은 표

*Corresponding author: Shin Sik Choi
Department of Food and Nutrition, Myongji University, San 38-2, Nam-dong, Cheoin-gu, Yongin, Gyeonggi-do 449-728, Korea
Tel: +82-31-330-6478
Fax: +82-31-330-6200
E-mail: sschoi@mju.ac.kr

면적을 제공하게 되는데, 1 g의 숯이 약 300 m²의 공기 접촉 표면적을 가진다고 하니 기체 흡착 능력을 이 면적 값을 통해서 알 수 있다. 활성탄은 이러한 표면적을 극대화하여 그람 당 표면적이 10배 이상 증가하게 된다(4,5).

숯이 가진 물리, 화학, 생물학적 기능은 매우 다양하다. 그러나 이러한 기능들의 대부분은 앞서 언급한 숯의 다공성 넓은 표면적 구조에서 기인한다. 첫 번째 기능은 정화 기능으로서 숯이 필터 역할을 하는 것이다. 즉 숯은 분자와 분자 사이의 인력에 의한 물리적 흡착 능력이 뛰어나 물이나 공기 중의 오염물질과 쉽게 흡착을 해서 정화하는 기능을 제공하게 된다. 또한 이러한 물리적 흡착은 공기 중의 수증기에도 적용이 되어 습도를 낮추어 주는 제습 효과를 숯은 지니게 된다. 이외에도 음이온 방출, 원적외선 방출과 같은 여러 기능이 있지만, 물리적 흡착에 의한 기능 외의 다른 기능은 과학적으로 쉽게 증명되기 힘든 어려움이 있다.

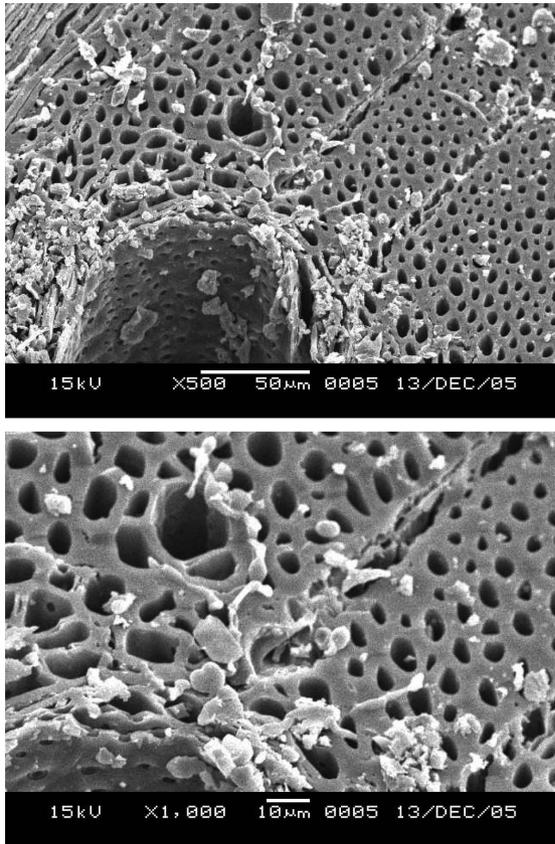


그림 1. 숯의 다공성 구조 SEM 사진(3).

숯은 그동안 식품 분야에 이러한 기능을 이유로 많이 사용되어 왔다. 간장을 담글 때, 항아리 안에 숯을 넣는 것을 많이 볼 수 있다. 최근에는 냉장고 등 식품을 보관하거나 음식 냄새가 발생하는 곳에 이러한 숯을 활용하고 있다. 그러나 이러한 숯을 과거와 똑같이 큰 덩어리로 이용하는 데에는 한계가 있으며, 이러한 숯의 기능을 숯 형태를 변모시켜 식품 분야에 활용한다면 매우 큰 이점이 있음은 자명하다. 따라서 본 논문에서는 숯을 식품이나 화장품 포장하는 고분자에 함유시켜 숯이 가지는 기능을 활용하는 연구를 소개하고자 한다.

II. 숯이 함유된 식품, 화장품 포장재 원료의 제조 및 물리적 성상

1. 숯 플라스틱의 제조 공정

참나무를 6시간동안 약 1400°C에 가열하게 되면 표면이 검은 색이 아닌 연회색을 띄게 된다. 이때 참나무는 살짝 건드려도 쉽게 부서지는 정도이다. 일반적으로 사용하는 참나무 숯 분말의 크기는 보통 325 mesh (43 µm)을 사용하지만 정밀한 가공이 용이하도록 하는 크기는 1000 mesh (13 µm)를 주로 사용하기 때문에 1000 mesh를 기준으로 한다. 숯의 고운 분말가루는 기계적 가공 공정(볼 밀, ball-milling)으로 이루어진다. 숯의 분말의 정도를 높이기 위해 피드백 시스템 (Feed Back System)을 사용하기도 한다(그림 2).

숯을 산업용으로 사용하기 위해서는 숯 자체로 사용하는 것은 부적당하다. 특히나 다른 물질과 혼합하여 사용하는 경우에는 더욱 큰 어려움이 따른다. 숯은 비중이나 밀도가 보통의 다른 물질보다 낮기 때문에 혼합에 부적당한 면이 있다. 숯 분말을 플라스틱 원료나 유리성형 원료 등과 혼합하기 위해서는 그 자체로 혼합사용 할 수 없기 때문에 또 다른 형태의 가공이 필요하게 된다. 이를 위해 개발한 것이 플라스틱 펠릿이다. 이는 숯과 플라스틱의 혼합 가공에서 유용하게 사용되는 기술로 다른 물질과의 혼합을 용이하게 하기 위해 만든 재료로써 이를 만드는 방법은 용융가공과 액상가공 그리고 혼합가공 등이 있으나 가장 경제적인 가공법으로 용융가공을 주로 사용하고 있다.

숯은 앞의 서론에서 언급했듯이, 그 구조의 특이성이 다공성 구조로 이루어져 있다는 점이다. 이런 다공성 구



그림 2. 숯 플라스틱 칩 및 제품 제조 공정. 참나무를 1400°C 이상의 온도에서 가열하여 백탄을 얻는다. 볼밀 공정을 통해 참숯을 직경 마이크로미터 사이즈의 미세분말로 가공한다. 이러한 미세분말과 플라스틱 원료를 혼합하여 밀리미터 크기의 칩 상태로 제조한다. 이 칩을 재료로 하여 여러 성상의 포장용기 제품으로 성형을 한다.

조는 1 g의 숯 분말의 단면적을 계산하면 약 90평 (300 m²) 정도 된다. 이는 숯의 효능을 나타내는 주요인이지만 한편으로는 산업화의 응용에 상당한 어려움을 주는 요인으로 작용한다. 이를 개선하기 위해 플라스틱 펠릿을 만든다.

플라스틱 펠릿이 식품 보관 포장 용기로 사용될 수 있도록 하기 위해 용기로 많이 사용되는 에폭시와 혼합하는 공정을 예로 들어보자. 에폭시와 혼합이 용이하게 되게 하기 위해 표면활성제를 넣는다. 먼저 플라스틱 펠릿의 표면개질을 위해 일반적으로 표면처리에 많이 사용하는 산처리를 한다. 황산용액 (H₂SO₄-H₂O)에 일정시간 담그고 이후 일부 재료를 2차적으로 표면처리를 위해 황산칼륨 수용액 (K₂SO₄-H₂O)에 표면처리를 하고 일부는 황산 용액에 재처리를 한다. 이와 같은 방식으로 황산칼륨 용액과 황산 용액에 번갈아 재처리를 한다. 이런 형식으로 처리한 재료의 표면 활성화 정도를 알아보기 위해 증류수에 담아 빛의 산란을 측정한다. 이는 초음파로 빛의 분산을 측정하고 24시간 동안 놓아둔 후 광학 분석기를 통해 빛의 산란을 측정한다.

2. 숯 플라스틱의 물리적 성상

플라스틱 포장재는 경량성, 기밀성 등의 포장재로 적합한 물성, 뛰어난 가공성, 경제성 등의 장점을 지니고 있어 오늘날 포장재로 널리 사용되고 있다. 최근에는 플라스틱 포장재에 단순한 포장 기능 외에 내용물 (식품 등)의 부패 억제, 신선도 유지 등의 기능성을 부가시키는 시도가 이루어지고 있다(6). 예를 들어, 내용물(식품 등)의 신선도를 오래 유지시키기 위해 필름에 미세한 친공을 만드는 방법, 필름에 여러 기능성 물질(예를 들어, 무기질, 광물, 분말 숯, 향료 등)을 함유시키는 방법 등이 시도되고 있다(7).

상기한 기능성 물질 중에서도 분말 숯은, 부패균의 발생 억제, 오염입자 및 냄새 흡착능, 원적외선 및 음이온 방사능, 정전기 방지 등의 여러 가지 장점을 지니고 있어 주목되고 있다. 한국등록특허 10-0302957호에서는 폴리에틸렌 또는 폴리프로필렌 수지에 입자크기 20 μm 이하인 숯 분말을 1~40%의 부피비율로 혼합시켜 펠릿 형태의 칩을 만든 후 이 칩을 원료로 하여 사출 또는 블로우 성형 방법으로 숯을 함유하는 플라스틱 용기를 제조하는 방법을 공지하고 있다(8). 한국등록특허 10-0828585호에서는 숯을 500~4000 mesh 정도의 크기로 분쇄하여 분말화한 후, 이 숯 분말에 레진과 분산제를 혼합하고 수분을 제거 한 후 칩으로 성형하고, 이 칩을 압출 성형하여 필름형태의 비닐을 제조하는 방법을 공지하고 있다(9). 한국등록특허 10-0623495호에서는 황토와 숯을 분쇄하여 분말화한 후 분산제와 함께 레진에 혼합하여 칩화시키고, 이 칩을 다시 레진과 그 밖의 첨가물에 혼합하는 방식으로 비닐 필름을 제조하는 방법을 공지하고 있다(10).

그러나 합성수지를 원료로 하여 분말 숯이 함유된 포장재를 성형하게 되면 분말 숯 입자와 고분자 수지 사이의 계면에서 찢어짐이 자주 발생하고, 성형 불량도 발생하거나, 용융수지의 유동성을 떨어뜨려 분말 숯이 특정부위에 집중되는 등의 품질불량 문제가 생기게 된다. 이러한 원인은 분말 숯의 내부가 다공성 구조로 되어 있는 친수성 (hydrophilic) 물질로 겉보기 비중 (Bulk Density)이 약 0.3으로 낮은 반면, 플라스틱 수지는 높은 점도를 갖는 소수성 (hydrophobic) 물질로서 비중이 0.9~1.2로 높아, 분말 숯과 플라스틱 수지의 혼화성 (Compatibility)이 좋지 않다는데 있다. 따라서 이와 같은 두 물질을 단순히 혼합

시켜 주는 방법으로는 분말 숲을 합성수지에 균일하게 분산시켜 줄 수 없다.

한국등록특허 10-0302957호는 수지와 혼화되는 숲의 입자크기를 20 μm 이하로 미세분말화 함으로써 이러한 문제점을 상당부분 해결하고, 특히 숲의 함유로 인한 기공 발생의 문제점을 해결하고 있다. 그러나 한국등록특허 10-0302957호의 방법에도 불구하고 숲과 수지의 혼화성 부족으로 인한 문제점은 여전히 남아 있으며, 특히 분말 숲 입자와 고분자 수지 사이의 계면에서의 찢어짐이나, 성형 불량, 분말 숲이 특정부위에 집중되는 품질불량 등의 문제점이 여전히 나타나는데, 이러한 문제점은 특히 필름형태의 비닐에서 더욱 두드러지게 나타나고 있다(11).

III. 숲이 함유된 식품, 화장품 포장재의 기능성 및 효과

1. 숲 플라스틱의 항균 기능성

숲이 함유된 포장재는 부패균억제, 오염입자 및 냄새 흡착, 원적외선 및 음이온 방사, 정전기 방지 등의 기능성을 기대할 수 있다. 숲의 기능이 포장재에서도 구현이 된다면, 음식물로부터 발생되는 악취 및 암모니아 가스를 현저히 감소시킬 수 있고, 부패의 진행 속도를 늦추는 신선보관 및 항균보관 용도로 사용될 수 있으며, 특히 사과나 배를 비롯한 여러 과일의 숙성을 억제하고, 과일로부터 나오는 에틸렌 가스를 흡착하여 신선도를 유지시키는 기능성 포장재(난좌 등)로 활용될 수 있다. 또한, 숲 플라스틱 포장재는 통상적인 비닐제품에 많이 발생하는 정전기 문제가 숲의 함유로 해결되어 그 동안 식자재 등의 자동포장을 위해 별도의 대전방지 처리를 하고 있는 일반 비닐 포장재를 대체하여 완벽한 대전방지 기능이 있는 자동포장용 비닐 포장재로 사용될 수 있다.

폴리에틸렌 수지에 함유되는 분말 숲의 함량만 0 중량%, 0.1 중량%, 0.3 중량%, 0.5 중량%, 1 중량%로 하여 비닐 포장백을 제조한 후 숲 함유량에 따른 항균력 효과를 비교 시험하였다. 항균력은 가압밀착법을 이용하여 세균감소율을 측정하였다(12). 시험균액을 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 정치 배양 후 균수를 측정하였으며, 시료 면적은 60 cm^2 로 하였고 사용 공시균주는 대장균 (*Escherichia coli*)로 하였다. 그림 3a에서와 같이, 숲 0.1% 함유시 항균력 40%, 0.5% 함유시 항균력 81%, 1% 함유시 항균력 93%로, 분

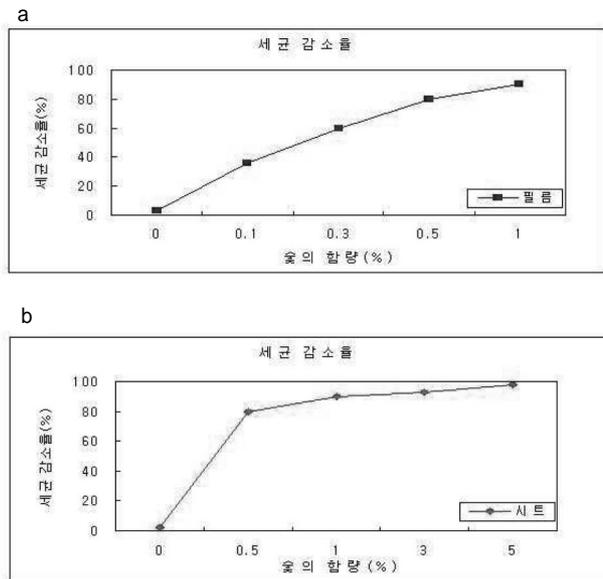


그림 3. 포장재에서 숲의 함량에 따른 항균력. (a) 필름 포장재에서 세균 감소율. (b) 시트 포장재에서 세균 감소율.

말 숲의 함유량이 증가함에 따라 세균 감소율도 크게 증가하였으며, 숲 함량 0.5% 이상에서 한계 항균력이 체감되었다. 한편 숲의 함량이 높아짐에 따라 내용물 확인이 어려워 정도로 제품의 투명도가 떨어지게 되었다. 따라서 제품의 상품성을 고려할 때 숲의 함량은 수지 중에 0.2~1 중량% 정도가 적절한 것으로 판단되었다.

폴리에틸렌 수지에 함유되는 분말 숲의 함량만 0 중량%, 0.5 중량%, 1 중량%, 3 중량%, 및 5 중량%로 하여 시트를 제조한 후 숲 함유량에 따른 항균력을 비교 시험하였다. 살균력은 가압밀착법을 이용하여 세균 감소율을 측정하였다. 시험균액을 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 정치 배양 후 균수를 측정하였으며, 시료 면적은 60 cm^2 로 하였고 사용 공시균주는 대장균 (*Escherichia coli*) 으로 하였다. 그림 3b에서와 같이, 필름과 마찬가지로 분말 숲의 함유량이 증가함에 따라 세균 감소율도 증가하였다. 숲의 함량은 수지 중에 1~5 중량% 정도가 적절한 것으로 판단되었다. 한편 숲의 함량이 높아짐에 따라 제품의 투명도가 떨어지게 되는데, 2.4 중량% 이하에서 최소한의 투명성을 확보할 수 있었다.

2. 숯 플라스틱의 탈취 효과

폴리에틸렌 수지에 함유되는 분말 숯의 함량만 1 중량%로 하여 만든 비닐 포장재(포장재)과 숯이 함유되지 않은 일반 포장재의 암모니아 가스 탈취 효과를 경과시간에 따라 비교하였다. 시험방법은 숯이 함유된 포장재와 일반 포장재를 탈취용기 5 L에 담아 암모니아를 150 ppm을 넣고 120분 후, 경과시간에 따른 탈취율을 가스검지관법으로 측정하였다(13). 그림 4에서 보는 바와 같이, 일반 포장재의 경우 120분경과 후 암모니아가스 농도가 145 ppm 인데 비해 숯이 함유된 포장재의 경우 4 ppm으로 암모니아가스 탈취율이 무려 97%에 달해 매우 양호한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 본 발명의 숯이 함유된 포장재가 악취제거 및 육류보관에 매우 유용함을 시사한다.

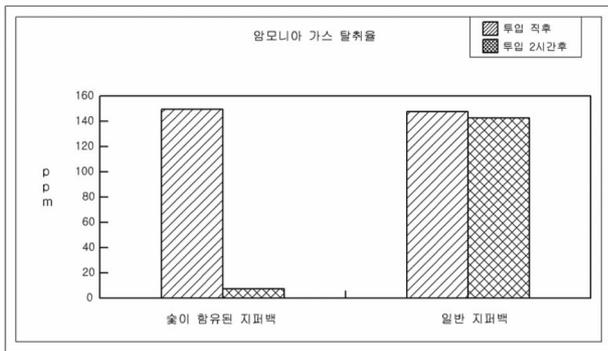


그림 4. 숯이 함유된 포장재와 일반 포장재의 경과시간에 따른 암모니아 가스 탈취 효과.

3. 숯 플라스틱의 에틸렌 가스 흡착 기능

폴리에틸렌 수지에 함유되는 분말 숯의 함량을 각각 0.5 중량%, 1 중량%로 하여 만든 비닐포장백과 숯이 함유되지 않은 비닐(resin)를 대상으로 에틸렌가스 흡착 기능을 비교 시험하였다(14-16). 먼저 시험을 위해 숯이 함유되지 않은 비닐("resin"으로 표시: 대조군) 및 숯 함유 포장재 2종(각각 분말 숯 0.5%, 1% 함유)을 동일한 규격(15 × 15 cm)으로 절단한 후, 2 L 밀폐용기에 각각 넣고 가스포집용 주사기를 이용하여 에틸렌가스 180 ppm을 용기 내에 주입하였다. 이후, 상온에서 10시간 동안 용기 내의 에틸렌 함량 변화를 조사하였다. 용기 내 에틸렌 함량

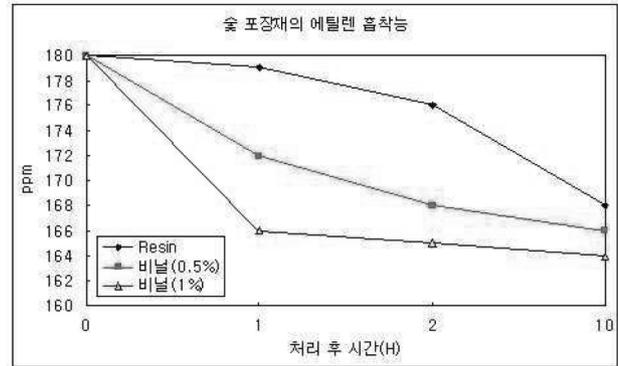


그림 5. 포장재에서 숯의 함량과 경과시간에 따른 에틸렌가스의 탈취 효과.

은 GC (Hewlett Packard 5890 II)를 이용하여 측정하였다. 조건은 column oven 온도 200°C, FID detector 온도 200°C에서 0.5 mL씩 주입하여 측정하였고, column은 carboxen 1006PLOT, 30 m × 0.53 mm (SUPELCO Inc., USA)를 사용하였다.

그림 5에서 보는 바와 같이, 용기 내의 에틸렌 함량은 저장 1시간 후, 대조군에서는 179 ppm으로 소폭 감소한 반면, 분말 숯 0.5% 함유 비닐에서는 172 ppm, 그리고 1% 함유 비닐에서는 166 ppm으로 큰 폭으로 감소하였다. 이러한 결과는 에틸렌이 상품의 품질에 영향을 미치는 초기에(1시간 전후) 흡착 또는 제거하였을 때 장기 보존율을 높일 수 있다는 기존의 연구 결과에 비추어 볼 때 (16-18), 숯 함유 포장재를 사용할 경우 현저한 신선도 우위를 나타낼 수 있음을 의미한다. 또한 저장기간이 연장됨에 따라 에틸렌 함량이 전 처리군에서 큰 폭으로 감소하는 것도 확인되었는데, 이는 포장재 자체의 기체투과도에 의한 것으로 파악된다.

IV. 결론

본 연구논문에서는 숯이 함유된 플라스틱 포장재의 제조방법과 그 기능성에 대해서 알아보았다. 이러한 연구는 숯과 수지간의 혼화성 부족으로 발생하는 기계적 물성 부족, 뭉침 현상 및 이물감, 성형불량, 품질불량 등의 문제점을 해결하고, 플라스틱 포장재로서의 일반적인 품질이 우수하면서도 동시에 숯을 함유하여 부패균억제, 오염입자 및 냄새 흡착, 원적외선 및 음이온 방사, 정전기 방지

등의 기능성을 갖는 플라스틱 포장재를 제조할 수 있었다. 본 연구를 통해, 숯이 함유된 플라스틱을 제조하는 과정에서 성형되는 플라스틱 포장재의 두께에 따라 수지와 혼합되는 분말 숯의 입자크기, 수지에 대한 사용량, 입자크기의 균일도를 조절한 플라스틱 포장재의 제조방법이 식품 산업에 널리 활용되기를 희망한다.

V. 감사의 글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the government of Korea (MEST) (NRF-2011-32A-B00239), grant of the Korea Healthcare technology R&D Project, Ministry of Health & Welfare (Grant No. A103017) and 2012 research fund of Myongji University.

참고문헌

1. Chyka, P. and D. Seger. 1997. Position statement: single-dose activated charcoal. American Academy of Clinical Toxicology; European Association of Poisons Centres and Clinical Toxicologists. *J Toxicol Clin Toxicol* 35: 721.
2. Falkowski, J. F. and F. X. Aherne. 1984. Fumaric and citric acid as feed additives in starter pig nutrition. *Journal of Animal Science* 58: 935-938.
3. <http://rutor.egloos.com/2006906>.
4. Huh, M. W., I. K. Kang, D. H. Lee, W. S. Kim, L. S. Park, K. E. Min, and K. H. Seo. 2001. Surface characterization and antibacterial activity of chitosan-grafted poly (ethylene terephthalate) prepared by plasma glow discharge. *Journal of applied polymer science* 81: 2769-2778.
5. Johnson, J. and M. Sparberg. 1977. Try activated charcoal for ostomates. *Patient Care* 21: 152.
6. Lange, J. and Y. Wyser. 2003. Recent innovations in barrier technologies for plastic packaging-a review. *Packaging Technology and Science* 16: 149-158.
7. MCCURDY, A. R. 2006. Novel Food Packaging Techniques. *Journal of Food Processing and Preservation* 30: 379-379.
8. 한국등록특허, 숯이 함유된 플라스틱 포장재 및 이의 제조방법, 10-0302957.
9. 한국등록특허, 숯을 함유한 플라스틱 용기의 제조방법 및 그 용기, 10-0828585.
10. 한국등록특허, 숯을 포함한 플라스틱 용기의 제조방법, 10-0623495.
11. 한국등록특허, 기능성 식품 포장재 및 이의 제조방법, 10-0302957.
12. Kim, D. S. and S. Y. Kwak. 2008. Photocatalytic Inactivation of *E. coli* with a Mesoporous TiO₂ Coated Film Using the Film Adhesion Method. *Environ Sci Technol* 43: 148-151.
13. Oya, A. and W. G. Iu. 2002. Deodorization performance of charcoal particles loaded with orthophosphoric acid against ammonia and trimethylamine. *Carbon* 40: 1391-1399.
14. Panasik, C. M. 2000. Low cost packaging for thin-film resonators and thin-film resonator-based filters. Google Patents.
15. Rogosic, J., J. A. Pfister, F. D. Provenza, and D. Grbesa. 2006. The effect of activated charcoal and number of species offered on intake of Mediterranean shrubs by sheep and goats. *Applied Animal Behaviour Science* 101: 305-317.
16. Shepherd, G. M. 1949. Colorimetric gas detection. Google Patents.
17. Sorrentino, A., G. Gorrasi, and V. Vittoria. 2007. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Science & Technology* 18: 84-95.
18. Yang, F. C., K. H. Wu, M. J. Liu, W. P. Lin, and M. K. Hu. 2009. Evaluation of the antibacterial efficacy of bamboo charcoal/silver biological protective material. *Materials Chemistry and Physics* 113: 474-479.