

전자레인지 서셉터 패키징 기술개발 현황

이우석¹ · 최정욱² · 송혁환² · 고성혁^{1*}

¹연세대학교 패키징학과

²한국식품산업클러스터진흥원 식품패키징팀

Mini Review: A Current Status of Microwave Susceptor Packaging

Wooseok Lee¹, Jungwook Choi², Hyuk-Hwan Song², and Seonghyuk Ko^{1*}

¹Department of Packaging, Yonsei University, Wonju 26493, Korea

²Food Packaging Team, The Food Industry Promotional Agency of Korea, Iksan 54576. Korea

Abstract As HMR (home meal replacement) food market grows rapidly, a new packaging with more HMR specialized functions is highly required to promote consumers' convenience. A susceptor is defined as a material generating heat by absorbing electromagnetic energy such typically as radiofrequency or microwave radiation. In microwave cooking, susceptors are made of conductive metal thin film deposited on paper or plastic sheet and have generally been used to help crisp or brown foods by converting microwave energy into heat. This mini review article deals with current status of microwave susceptor packaging including commercial products, technical theory, types of susceptor and a test method for heating performance.

Keywords Home meal replacement, Susceptor, Microwave packaging

서 론

가정간편식(HMR, Home meal replacement)은 가정에서 식사대용으로 별도의 조리 과정 없이 그대로 섭취하거나, 단순 조리 과정을 거쳐 섭취할 수 있도록 편의성을 갖춘 식품이다. 이러한 특성은 1-2인 가구의 증가 및 편리함을 추구하는 소비 문화의 변화와 맞물려 가정간편식 시장이 크게 성장하는 요인으로 작용하고 있다. Global Market Data 및 Global Data Intelligence의 2018년 보고에 따르면 2017년 기준 세계 가정간편식 시장 규모는 약 202조 원으로 집계되었으며, 2022년 약 241조 원까지 성장할 것으로 전망하였다.¹⁾ 국내 가정간편식 시장의 경우, 연평균 18.9% 성장률을 기록하며 2018년 3조 7천억 원의 시장 규모를 달성하였고, 2022년 출하액은 약 5조 원에 달할 것으로 보고되었다.²⁾

가정간편식은 식품의 섭취를 위해 필요한 준비 수준에 따라 4가지 등급으로 구분할 수 있다.³⁾ 사전 준비 과정이 필요한 RTE(ready to eat), 소비 전 간단한 가열이 필요한 RTH(ready to heat), 소비 전 기구를 사용해 충분한 가열이 필요한 RTC(ready to cook) 및 직접 요리를 위해 최소한으로 처리된 RTP(ready to prepared) 등이 있다. 이 중 RTH, RTC 식품이 전체 가정간편식 시장규모의 61.9%를 차지하고 있으며⁴⁾, 2013-2017년 기준 가정간편식 중 가장 높은 성장률을 나타내고 있다.²⁾ 이는 패키징 기술의 발달 및 전자레인지 등 조리의 신속·편리함에 기인¹⁾한 것으로 이러한 추세에 따라 전자레인지 제품 유형의 다변화·다양화 노력과 함께 전자레인지 패키징의 중요성 또한 지속적으로 높아지고 있다.

전자레인지 패키징은 전자레인지에서 포장된 상태 그대로 조리할 수 있도록 내열성 및 마이크로파 투과성을 갖춘 패키징으로 이러한 제품의 가열에 사용되는 전자레인지는 가열 속도가 빠르고 취급에 용이한 장점이 있으나 식품의 가열온도 불균일성, 식품에 따른 가열 시간 증가 및 과도한 증기 발생 등의 문제점이 존재한다. 이는 식품 구성물의 유전손실 및 마이크로파 투과율에 의존하는 전자레인지 특

*Corresponding Author : Seonghyuk Ko
Department of Packaging, Yonsei University, 1 Yonseidaegil, Wonju-si, Gangwon-do 26493, Korea
Tel : +82-33-760-2299
E-mail : s.ko@yonsei.ac.kr

유의 가열 방식에 기인한 것으로, 전자레인지 패키징 제품의 크기, 중량 및 종류를 제한하는 원인이 된다.

이를 개선하기 위해 마이크로파 가열의 효율을 높이고 가열온도의 균일한 분포 및 식품의 품미 보존을 목적으로 전자레인지 발열체(서셉터, susceptor)가 적용된 패키징이 개발되었다. 서셉터는 전자기파 에너지를 흡수한 후 열의 형태로 변환하여 방출시키는 물질로, 이러한 물질을 적용한 발열 기능성을 갖춘 서셉터 패키징은 전자레인지 조리 시 마이크로파에 의한 식품 자체발열에 추가적인 열원으로써 작동하여 식품 온도의 불균일성을 해결할 수 있다. 또한, 서셉터의 특성에 따라 200-260°C까지 온도를 상승시켜 일반적인 전자레인지 조리에서 얻을 수 없는 브라우닝(browning) 및 바삭함(crispness) 등 가열조리 특유의 효과를 얻을 수 있다.

본 총설은 능동적 패키징에 사용되는 전자레인지 서셉터의 효율적인 제작 및 개발을 위한 기초 이론적 배경 및 소재를 정리하였으며, 최근 서셉터 패키징의 개발 동향을 살펴보고, 또한, 서셉터 제작 후 서셉터의 발열 성능 및 효과를 측정하기 위한 서셉터 패키징 시험 방법을 조사하였다.

서셉터 기초 이론

서셉터는 활성화 층에 존재하는 마이크로파 상호작용 물질의 반응을 통해 열을 발생시킨다. 이러한 상호작용은 일반적으로 전도 물질의 내부 혹은 전도 물질 간에 발생하는 전류를 뜻하며, 전류가 흐르는 과정에서 나타나는 전도 손실이 주된 열원으로 작용한다.

Fig. 1에 서셉터 활성화 층의 금속물질이 마이크로파와

상호작용하는 과정을 나타내었다. (a)와 같은 서셉터 금속에 마이크로파를 가할 경우 (b)와 같이 자유전자가 전기장을 따라 이동한다. 전도도가 높은 금속의 내부에서 전기장이 약해지면 (c)와 같이 다시 반대 방향의 유도 전류가 형성된다. 이러한 현상이 반복되는 과정에서 전자는 관성, 탄성 및 마찰 등 다양한 상호작용에 의해 이동을 방해 받으며, 이동 저항에 따른 에너지 손실이 (d)와 같이 금속 내부에서 열의 형태로 나타난다.⁵⁾

서셉터는 마이크로파와 상호작용하는 활성화 층의 제작 방식에 따라 구분되며, 금속 증착을 통해 얇은 전도성 층을 만드는 박막 서셉터와 전도성 물질과 절연체를 도포 혹은 압출·사출 하여 활성화 층을 구성하는 입상 서셉터가 존재한다.⁶⁾

박막 서셉터는 현재 상용화된 서셉터 패키징에서 가장 많이 사용되는 종류로 기저층, 박막층, 접착층 및 지지층으로 구성된다.^{7,8)} Fig. 2의 (a)는 일반적인 박막 서셉터의 구조를 나타내었다. 박막층은 경제성과 발열 성능을 고려하여 알루미늄 등의 금속을 사용하며 마이크로파를 효율적으로 흡수하기 위해 10 nm 이하의 두께로 기저층 위에 증착된다. 기저층은 CPET(crystalline polyethylene terephthalate) 등 금속 증착에 요구되는 내열성 필름을 사용하며, 약 25µm의 두께로 이루어진다. 접착층은 지지층과 기저층을 사이를 연결한다. 지지층은 발열시 서셉터의 형태를 유지하고, 발열 작용에 따른 과한 열 발생을 조절하기 위해 1 mm 이하 두께의 판지나 종이류를 사용한다.

현재 금속 박막의 표면저항에 따른 마이크로파의 상호작용이 이론적으로 밝혀졌으며,⁹⁾ 서셉터 제작 시 발열 성능 조절이 용이한 장점이 있다. 그러나, 서셉터의 모서리나 접

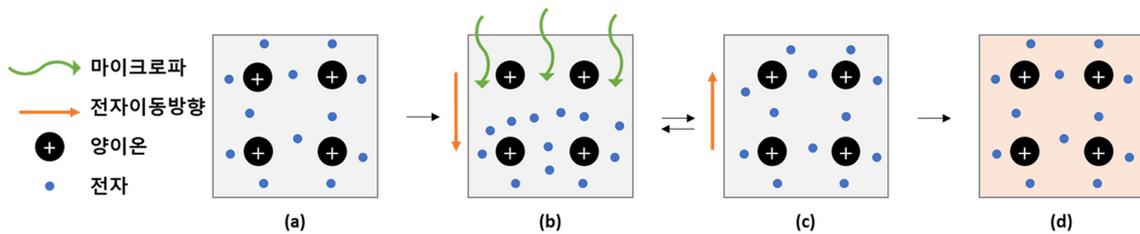


Fig. 2. 전도손실에 의한 서셉터의 발열 메커니즘

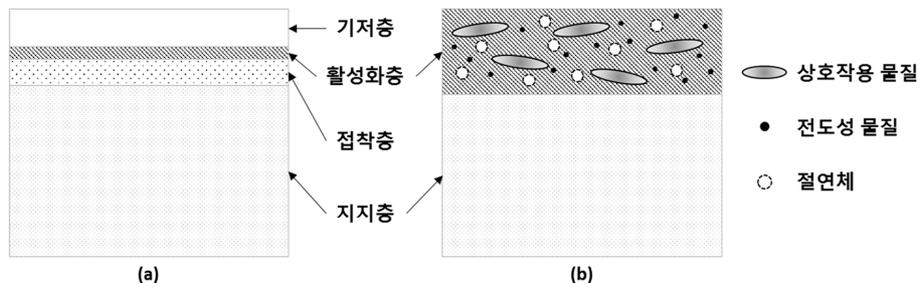


Fig. 2. 서셉터의 구조 (a) 박막 서셉터, (b) 입상 서셉터.

히는 부분에서 발생하는 아크 전류로 인한 화재 위험성과 가열 시 지지층의 수축으로 인한 금속 박막층의 붕괴와 이로 인한 가열 온도의 상한점 등의 단점이 존재한다.⁷⁾

입상 서셉터는 활성화 층 내부에 마이크로파와 상호작용하는 개별적인 입자가 불연속적 혹은 연속적으로 위치하여 박막 서셉터의 단점을 극복할 수 있다.¹⁰⁾ Fig. 2의 (b)에 입상 서셉터 구조의 예시를 나타내었다. 일반적인 구조는 활성화 층에서 금속 분말 및 금속 박편(flake) 등 마이크로파 상호작용 물질이 발열 반응을 발생시킨다. 이 과정에서 카본 블랙(carbon black) 등의 전도성 물질을 첨가할 경우 전기적으로 연속적인 입상 서셉터가 제작된다. 점토, 유리, 실리카 및 탄산칼슘 등의 절연체 물질들은 입상 서셉터의 발열반응을 조절하기 위해 첨가된다. 마지막으로 활성화 층은 압출·사출을 위한 PS(polystyrene) 등의 고분자 레진 및 도포를 위한 용매와 바인더 등으로 구성된다.¹¹⁾

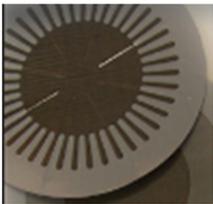
Parks와 Wolfe¹²⁾는 그래파이트(graphite) 입자를 마이크로파 상호작용 물질로 사용하여 알코올류 용매 및 니트로셀

룰로오스계열 바인더와 혼합한 후 종이에 잉크 형태로 도포하는 서셉터를 제시하였다. 입상의 마이크로파 상호작용 물질을 사출 형태의 폴리머에 적용한 특허가 Silberline Manufacturing사에 의해 제시되었다.¹⁰⁾ 알루미늄 박편과 카본 블랙을 전도성 물질로 사용하였으며, 이와 함께 유리구체, 실리카 및 고령토 등의 절연 물질을 PS 레진과 혼합하여 사출 성형된 디스크를 제작하였다. 그러나 이러한 입상 서셉터는 열폭주(thermal runaway)현상이 발생할 수 있어 온도 조절이 어려우며, 입자들의 분산성에 따른 서셉터의 불균일한 온도분포 등의 문제로 인해 상업적으로 사용된 사례가 드물다.^{6,9)}

전자레인지 서셉터 패키징 현황

가정용 전자레인지에서 옥수수 낱알에 고온을 가해 팝콘을 제작하는 팝콘 패키징은 상용화된 서셉터 패키징의 대표적인 예라 할 수 있으며, 현재까지 핫도그, 피자 및 라자

Table 1. 국내외 서셉터 패키징 적용 사례

구분	상품명(기업)	패키징 구조	서셉터 예	식품 유형
국외	Superceptor™ Micro-Grill™ (Inline Packaging®)	발열판 트레이 상자 슬리브		피자 샌드위치 팝콘 등
	Sira-Crisp™ (Sirane®)	트레이 슬리브		피자 감자 파니니 등
	Huhtamaki BCP®	트레이 슬리브		피자 샌드위치 바게트빵 소시지를 등
국내	고XXXXXX (C사)	발열판		피자
	갓!XXXX (S사)	발열판		만두
	을X XXXXXX (S사)	트레이		생선구이

나 등의 식품에 서셉터가 적용된 사례가 있다.¹³⁾ 현재 국내의 서셉터 패키징 적용 제품 현황의 예를 Table 1에 나타내었다. 국내의 경우 최근 C사에서 서셉터 관련 특허를 국내 최초로 등록¹⁴⁾하고, 전자레인지용 서셉터 패키징을 적용한 냉동피자제품을 출시하였다. S사는 자체 개발한 서셉터가 적용된 구운만두제품을 출시하고 “발열패드 및 이의 제조방법” 특허를 출원하였다.¹⁵⁾ 또한, 서셉터 기능이 있으나 아크 발생 위험이 있는 알루미늄 용기를 가공해 위험성을 제거하고, 이를 활용한 전자레인지 조리용 생선구이 제품을 개발하였다.

반면 국외의 경우 Online Packaging®(미국)은 서셉터(Superceptor™, Micro-Grill™)를 트레이, 튜브, 상자 및 봉지 등 다양한 형태의 종이포장 내부에 부착하여 서셉터 패

키징을 제작하였으며, 이를 피자, 샌드위치, 빵, 파이, 팝콘 등의 식품에 적용하였다. Sirane®(영국)은 자체 개발 서셉터(Sira-Crisp™)를 종이와 필름에 부착하여 피자, 구운 감자, 파니니 등의 식품에 사용하였다. Huhtamaki BCP®(영국)는 서셉터를 종이에 적용하고 슬리브 형태의 포장형태로 핫도그, 패스트리 등 빵 종류의 식품군에 적용하였다.

현재까지 상용화된 서셉터 패키징은 단순히 발열판 구조를 활용한 봉투, 쟁반, 판지 상자 및 슬리브와 같이 일반적인 패키징에 발열 기능을 추가한 수준으로 최근 서셉터 개발은 기본 발열성능에 더하여 조리의 효율성을 향상시킬 수 있는 부가적인 기능성과 조리기법을 제공할 수 있도록 연구되고 있다. Table 2에 일반적인 서셉터 패키징과 달리 새로운 기능성을 갖춘 서셉터 개발 내용을 정리하였다. Cole

Table 2. 전자레인지 서셉터 특허 현황

번호	특허명(특허번호)	그림	비고	Ref
1	Microwave cooking packages and methods of making thereof		설명 : 서셉터를 통한 식품 가열 후 공기층을 형성하여 단열재 및 구조를 형성하는 서셉터 포장재 서셉터 : 금속 증착 형태 : 발열판, 트레이, 랩 포장지, 상자 등	16)
2	Packaging comprising a heat shrinking film		설명 : 서셉터와 식품을 밀착시키기 위해 수축필름을 적용한 포장재 서셉터 : 금속 증착 형태 : 롤, 슬리브	17)
3	Multi-layer polymeric film for packaging ovenable meals		설명 : 증기 방출기능을 가진 서셉터 포장재 서셉터 : 50 μm 이하의 두께를 가진 증착 금속층 형태 : 포장재 혹은 포장재 뚜껑으로 사용되는 필름	18)
4	전자레인지용 패키지 및 식품		설명 : 식품의 굽는 효과를 부여한 서셉터 포장재 서셉터 : 증착 금속층(50-500μm), 폴리머 필름 형태 :	19)
5	Microwave oven cooking process		설명 : 건조튀김(dry-fry)을 위한 서셉터 포장재 서셉터 : 금속 증착 형태 : 서셉터를 적용한 슬리브, 트레이, 접시, 상자 등	20)
6	Package for combined steam and microwave heating of food		설명 : 서셉터를 사용한 찜기 기능이 있는 포장재 서셉터 : 금속 증착, 도포재 및 박편 등의 전도성 물질 형태 : 원통형, 사각형의 찜기 형태,	21)

등¹⁶⁾은 발열 반응 시 서셉터 내부에 공기층을 형성하여 포장재가 팽창하는 서셉터 패키징을 제시하였는데 이러한 경우 서셉터가 식품과 밀착하여 가열 효율이 증가할 뿐만 아니라 식품의 모양을 고정하는 효과를 기대할 수 있다고 보고하였다. 이와 유사하게 수축성 필름을 사용하여 서셉터를 식품과 밀착하여 가열 효율을 향상시키는 특허가 Antoine Bontemps¹⁷⁾에 의해 개발되었으며 Dawes¹⁸⁾는 용기의 뚜껑으로 사용 가능하고 증기 배출 기능을 추가하여 식품 내 발생한 증기를 일정한 압력으로 유지하는 서셉터 패키징을 개발하였다.

또한, 서셉터를 활용하여 전자레인지에서 다양한 조리방법을 적용하는 연구가 진행되고 있다. URIBE 등¹⁹⁾은 일반적인 서셉터 제품에서 사용하는 식품이 아닌 베이컨과 같은 육류를 전자레인지에서 구울 수 있는 서셉터 패키징 제품으로, 이러한 종류의 식품에서 발생할 수 있는 기름을 효과적으로 제거할 수 있는 패드나 지지구조를 제시하였다. Young과 Kools²⁰⁾은 전자레인지로 튀김을 요리할 수 있는 다양한 튀김용 서셉터 패키징 도안을 소개하였다. Sloat와 Resurreccion²¹⁾은 전자레인지 서셉터를 활용하여 다층형 접기를 개발하였으며, 효율적인 가열을 위해 서셉터 패턴을 사용하였다.

발열성능 평가 방법 및 온도 측정

서셉터의 발열 성능을 평가하는 방법이 ASTM F874-9822) “Standard test method for temperature measurement and profiling for microwave susceptors”에 기술되어 있다. 이 규격은 서셉터와 식품이 접촉한 상태에서 전자레인지 조리시 나타나는 온도 정보를 온도측정센서를 통해 수집하는 방법을 나타낸다.

전자레인지 조리 전 온도 측정을 원하는 서셉터 부위에 온도측정센서를 평행하게 부착하고, 식품의 영향 및 전자기장의 영향을 파악하기 위해 서셉터의 모서리나 가장자리 부분에도 센서를 설치한다. 팝콘과 같이 패키징 내부에 서셉터가 있는 경우, 패키징에 0.1 in 이하의 구멍을 천공하여 통과시킨 온도측정센서를 고정한다. 식품에 기름기가 없는 경우, 정확한 온도 측정을 위해 실리콘을 센서에 도포한다. 식품의 전자레인지 조리 환경에서 15초 미만의 간격으로 온도 정보를 수집하여 서셉터의 시간에 따른 온도를 측정한다.

서셉터 서셉터 계면의 온도를 직접 측정하는 것은 쉬운 방법이지만, 실제 식품의 부분별 위치에 따른 유전을 차이 및 초기 온도 등의 변수를 다루지 못하는 단점이 있으며,²³⁾ 이는 실제 서셉터의 발열성능 측정을 방해하는 요소로써 작용한다.

이러한 단점으로 인해 일정한 유전을 및 복소 유전율을

가진 식품 혹은 식품을 모사하는 용매를 사용하여 온도 측정의 안정성을 높인 방식이 제시되었다. 이러한 방식은 식품 내에서 열의 흡수, 저장 및 전달이 일정하기 때문에 서셉터의 온도 모델링 연구에 적합하며 저민 고기²⁴⁾, 파이 반죽²⁵⁾ 및 젤라틴 겔²⁶⁾ 등의 물질이 식품 및 유사용매로써 사용된다. Swain 등²⁷⁾은 전자레인지 조리시 냉장 식품을 모사할 수 있는 유사 용매로 패스트 푸드를 모사한 으갠 감자, 수프의 유사용매인 전분용액 및 고기류를 대체하는 트립신 등을 보고하였다.

일반적으로 서셉터 발열성능 평가에서 실제 서셉터의 온도 측정은 온도측정센서와 적외선 열화상 촬영을 통해 이루어진다. 온도측정센서는 열전대 센서와 광섬유 센서가 있다. 합금으로 이루어진 열전대 센서는 접점에서 온도차이에 의해 나타나는 전압을 통해 온도를 측정하며, 넓은 온도 측정 범위 및 경제성 등의 장점이 있다. 그러나 금속은 마이크로파를 흡수하는 대표적인 물질로, 전자레인지 사용조건에서는 열전대 센서 자체가 발열하거나 아크 발생 및 전자기장을 방해할 수 있어 정확한 온도 측정이 어렵다.²⁸⁾

반면, 광섬유 센서는 센서에 부착된 magnesium fluorogermanate와 같은 열반응성 광발광 물질이 나타내는 인광을 측정하는 방식이며, 열전대 센서의 전자기파 흡수 문제를 극복할 수 있다.²⁹⁾ 따라서, 서셉터의 온도 측정은 열전대 센서보다 신뢰성이 높은 광섬유 센서를 주로 사용한다. 그러나 광섬유 센서와 같은 온도측정센서는 한 지점에서 온도 측정은 유리하지만, 전체적인 온도 분포를 파악하는 것은 어렵다. 이를 극복하기 위해 다수의 광섬유 센서를 사용하여 다양한 지점의 온도를 동시에 측정한다.

적외선 열화상 촬영은 물질이 자연적으로 발산하는 열복사를 감지하여 온도를 측정하는 측정기법으로,²⁹⁾ 전자레인지 내부와 같은 넓은 면을 측정하는데 유용하다. 그러나 적외선 열화상 촬영은 표면의 열복사를 관측하기 때문에 온도 측정 깊이가 얇고, 온도 측정의 분해능이 낮아 측정 오차가 발생할 수 있다.³⁰⁾ 따라서 서셉터 패키징의 발열을 모델링하는 연구²⁴⁻²⁶⁾에서는 광섬유 센서를 사용하여 특정 지점의 온도를 측정하는 동시에 적외선 열화상 촬영을 통해 전체 표면 온도를 분석한다. 윤 등²⁸⁾은 패키징의 전자레인지 조리시 열전대, 광섬유 및 열화상 카메라 온도 측정 방법을 비교하였으며, 광섬유 센서가 가장 높은 민감성과 정확도를 나타낸 것으로 보고하였다.

결 론

가정간편식 시장의 확대와 함께 전자레인지의 편의성을 활용한 패키징이 주목받고 있으며, 특히 새로운 기능성을 갖춘 고효율 서셉터의 개발이 요구되고 있다. 본 총설에서는 서셉터 패키징의 효율적 개발을 위한 기초 이론과 구성

요소를 정리하였으며, 상업적 현황을 조사하였다. 서셉터의 발열효과는 마이크로파가 전도성 물질과 접촉하였을 경우 발생하는 전도손실을 통한 유도효과에 기인하며 현재까지 입상 혹은 박막 형태의 서셉터 제작 방법이 알려져 있다. 최근의 서셉터 개발은 기본적인 발열성능뿐만 아니라 가열 효과를 증대시키면서 가열조리의 보조적 기능까지 수행할 수 있도록 하는 방법이 제시되고 있다. 한편, 서셉터의 발열 성능의 평가는 식품의 전자레인지 조리 조건에서 온도의 상승과 분포를 계속하며, 이러한 과정은 광섬유 센서와 적외선 열화상 카메라를 동시에 사용하여 측정의 신뢰도와 정확성을 향상시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 한국식품산업클러스터진흥원 우리식품세계로 기술지원 사업의 연구개발비로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 농림축산식품부 2019. 가공식품 세분시장 현황 (간편식시장). 한국농촌경제연구원 연구보고서: 1-159.
2. 이용선 2020 식품산업 전망.
3. 김태경, 최희돈, 김영봉, 전기홍 and 최윤상 2017. 가정식 대체식품 (Home Meal Replacement) 의 현황 및 기술동향. 식품산업과 영양 22: 1-7.
4. 식품의약품안전처 2019. 2018 식품 및 식품첨가물 생산실적.
5. Mishra, R. R. and Sharma, A. K. 2016. Microwave-material interaction phenomena: Heating mechanisms, challenges and opportunities in material processing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 81: 78-97.
6. Company, M. 1999. Microwave heatable material. KR0156412.
7. Perry, M. and Lentz, R. 2009. Susceptors in microwave packaging. Development of packaging and products for use in microwave ovens. Elsevierpp. 207-236.
8. Mehdizadeh, M. 2015. Chapter 5 - Microwave multimode cavities for material heating. In: Mehdizadeh, M. (Ed.), *Microwave/RF Applicators and Probes (Second Edition)*. William Andrew Publishing, Boston, pp. 153-183.
9. Datta, A. K. 2001. Handbook of microwave technology for food application. CRC Press2001.
10. Inc, S. M. C. 2006. 요리 및 굽기의 응용을 위한 마이크로파 서셉터. KR20060104940A.
11. 최광용. 2014. 전자레인지용 발열 식품포장재 및 그 제조방법. KR101395010B1.
12. Parks, C. J. and Wolfe, K. J. 1990. Press applied susceptor for controlled microwave heating.
13. Regier, M. 2014. Chapter 20 - Microwavable Food Packaging. In: Han, J.H. (Ed.), *Innovations in Food Packaging (Second Edition)*. Academic Press, San Diego, pp. 495-514.
14. 심아영. 2006. Toasted Bun Package Using Susceptor Packaging. KR200431742.
15. 주식회사신세계푸드. 2018. 발열패드 및 이의 제조방법. 1020190079533.
16. Cole, L. R., Bohrer, T. H., Middleton, S. W., Robison, R. G., Lafferty, T. P., O'hagan, B. R. and Wnek, P. H. 2013. Microwave cooking packages and methods of making thereof. US Patent 8,440,275.
17. Antoine Bontemps, L. F. 2013. Packaging comprising a heat shrinking film. US Patent 8,425,958.
18. Dawes, M. E. 2010. Multi-layer polymeric film for packaging ovenable meals. US Patent 7,824,749.
19. Travis Dillion URIBE, J. M. P. 2018. Microwavable packages and food products. PCT/US2017/063359.
20. Young, R. C. and Kools, J. 2006. Microwave oven cooking process. US Patent 7,038,182.
21. Sloat, J. T. and Resurreccion, F. P. 2019. Package for combined steam and microwave heating of food. US Patent 10,301,100.
22. ASTM International. ASTM F874-98, 2019, Standard Test Method for Temperature Measurement and Profiling for Microwave Susceptors
23. Raghavan, G. V., Orsat, V. and Meda, V. 2005. Microwave processing of foods. *Stewart Postharvest Review* 3: 1-7.
24. Wang, X., Wang, X., Muhoza, B., Feng, T., Xia, S. and Zhang, X. 2020. Microwave combined with conduction heating effects on the tenderness, water distribution, and microstructure of pork belly. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*: 102344.
25. Chen, F., Warning, A. D., Datta, A. K. and Chen, X. 2017. Susceptors in microwave cavity heating: Modeling and experimentation with a frozen pie. *Journal of Food Engineering* 195: 191-205.
26. Pitchai, K., Birla, S., Raj, J. D., Subbiah, J. and Jones, D. D. 2011. Modeling of Susceptor Assisted Microwave Heating in Domestic Ovens.
27. Swain, M. V. L., Russell, S. L., Clarke, R. N. and Swain, M. J. 2004. The development of food simulants for microwave oven testing. *International journal of food science & technology* 39: 623-630.
28. 윤찬석, 이화신, 조아름, 문상권 and 이근택 2016. 전자레인지의 가열조리 시 포장재의 열변형 원인 규명을 위한 온도 측정 방법 비교. *한국식품저장유통학회지* 23: 422-431.
29. Knoerzer, K., Regier, M. and Schubert, H. 2017. Measuring temperature distributions during microwave processing. *The microwave processing of foods*. Elsevierpp. 327-349.
30. Cuccurullo, G., Berardi, P., Carfagna, R. and Pierro, V. 2002. IR temperature measurements in microwave heating. *Infrared physics & technology* 43: 145-150.