

즉석편의 식품용 포장재의 전자레인지 가열에 의한 변형 원인 분석

윤찬석 · 홍승인 · 조아름 · 이화신¹ · 박현우¹ · 이근택^{1,*}

CJ제일제당 포장연구센터, ¹강릉원주대학교 식품가공유통학과

Analysis of the Causes of Deformation of Packaging Materials Used for Ready-to-Eat Foods after Microwave Heating

Chan Suk Yoon, Seung In Hong, Ah Reum Cho, Hwa Shin Lee¹, Hyun Woo Park¹, and Keun Taik Lee^{1,*}

Packaging Research Center, CJ Cheiljedang

¹Department of Food Processing and Distribution, Gangneung-Wonju National University

Abstract The aim of this study was to investigate the deformation of packaging materials used for ready-to-eat (RTE) foods after the retort process and microwave heating. From the multilayer films consisting of polyethylene terephthalate (PET), polyamide (PA), and cast polypropylene (CPP) in a stand-up pouch form used for RTE foods, some deformation of the CPP layer, which was in direct contact with the food, was observed after the retort process and microwave heating. The damage was more severely caused by microwave heating than by the retort process. This may be attributed to diverse factors including the non-uniform heating in a microwave oven, the sorption of oil into the packaging film, and the different characteristics of food components such as viscosity, salt and water content. The development of heat-resistant packaging materials and systems suitable for microwave heating of RTE foods is required for the safety of consumers.

Keywords: RTE foods, microwave oven, packaging material, deformation

서 론

전자레인지의 마이크로파에 의하여 식품 중 음전하와 양전하를 띠는 분자들의 전계 방향이 바뀔 때 발생하는 마찰에너지를 열원으로 사용하는 가열조리 기구이다. 마이크로파의 주파수는 300 MHz에서 30 GHz 범위 대를 의미하는데, 전자레인지에 적용하는 주파수는 국가마다 다소 차이가 나며, 세계적으로 가정용 전자레인지에는 2,450 MHz의 주파수가 통용된다(1,2). 전자레인지 가열의 효율성 관점에서는 물질의 이온전도와 쌍극자 회전 특성이 중요하게 작용한다. 즉, 전자레인지를 통해 가열이 가능한 물질은 전기적 에너지를 흡수할 수 있는 유전체이며, 전기 에너지가 물질을 투과해 버리는 절연체나 마이크로파에 의한 에너지를 반사시키는 금속과 같은 물질들에서는 가열이 이루어지지 않는다(1). 이와 같이 전자레인지는 물질을 선택적으로 가열할 수 있고, 다른 가열 조리 기구에 비하여 낮은 에너지로 높은 효율을 가질 뿐만 아니라, 가열속도가 빠르고 취급이 용이하다는 장점이 있다(1).

최근 핵가족화 또는 1인 가구의 증가뿐 아니라 간편한 조리를 선호하는 현대인들의 식생활 패턴의 변화 추세에 따라 전자레인지의 편의성이 부각되기 시작하였고, 이로 인하여 다양한 즉석편

의식품의 개발과 소비가 촉진되었다. 전자레인지용 포장재의 매출에 관한 통계 자료에 의하면, 국내 전자레인지용 식품포장재의 판매액은 2005년 약 15.6백만불이었으나, 2009년에는 26.8백만불로 약 1.71배 증가하였다. 세계적으로는 2005년 424.7백만불에서 2009년 716.7백만불로 매출액이 약 1.68배 증가한 것으로 조사되었는데, 2018년에는 1,821.7백만불까지 비약적으로 증가할 것으로 전망되고 있다(3).

그러나 전자레인지 조리 시에는 내용물이 불균일하게 가열되거나 식품 내부의 온도 편차가 크게 발생하는 문제점들이 제기되고 있다. 예를 들어, meat batter나 소스를 전자레인지에 가열하는 과정 중 내부 온도의 변화를 조사한 결과, cold spot과 hot spot이 발생하는 것이 확인되었다(4,5). 이러한 내부 온도 편차는 열원의 세기와 냉각 팬의 조건, 마그네트론의 위치, cavity의 크기나 형태 자체가 원인이 되기도 하고(6-9), 포장의 형태 및 포장 재질의 종류, 그리고 식품 내용물의 포장 내 위치와 식품의 성분 및 조성 등에 영향을 받는 것으로 조사되고 있다(4,10).

전자레인지 가열 조리용으로 적용되는 포장재들은 고온에서의 손상 및 이행을 고려하여 내열성이 높은 재질을 선택하는 것이 특징이다(11). 또한 전자레인지 가열 조리식품들은 냉동식품이나 장기보존 식품들이 주를 이루고 있어 가공, 유통 또는 소비 단계에서 가혹한 환경 조건에 노출되므로, 수증기 및 기체 차단성, 인장강도, 충격강도, 파열강도나 봉합성 등의 제반 물리적 성질이 우수한 다층 재질로 설계되어야 한다. 따라서 전자레인지 포장재로는 차단층에 oriented nylon (ONY)이나 산화알루미늄(Al_2O_3) 혹은 실리콘 옥사이드(SiO_2)가 증착된 polyethylene terephthalate (PET) 필름이 주로 사용되고, 열봉합성과 내열성을 확보하기 위하여 cast polypropylene (CPP)이 식품과 직접 접촉하는 내면 재질로 사용되고 있다. 그리고 전자레인지 조리 시 내용물의 균일

*Corresponding author: Keun Taik Lee, Department of Food Processing and Distribution, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Gangwon 210-702, Korea
Tel: 82-33-643-2333
Fax: 82-33-647-4559
E-mail: leekt@gwnu.ac.kr
Received July 1, 2014; revised January 13, 2015;
accepted January 16, 2015

한 가열과 포장재의 열 변형 방지를 위하여 이에 영향을 미칠 수 있는 내용물의 성분 및 조성 변경, 전자레인지 발열체와 같은 액티브 패키징 개념의 도입, 또는 전자파 발생원의 변경 등 다양한 방안이 제안되어 왔다(9,12-15). 그럼에도 불구하고, 현재 국내의 일부 전자레인지용 가열조리 식품에 사용된 포장재에서 열 변형 현상이 관찰되어 소비자 클레임 및 안전성 문제가 제기되고 있다. 따라서 본 연구는 전자레인지 가열에 따른 포장재의 열 변형 현상을 관찰하고 이의 발생 원인을 분석함으로써, 전자레인지 포장재의 열 안정성 및 위생 안전성을 확보하고자 수행되었다.

재료 및 방법

재료

국내에서 전자레인지 가열 조리용 식품으로 판매 유통되고 있는 제품들에 대하여 시장 조사한 후 관련 제품들을 구매하여 공시시료로 사용하였다(Table 1). 공시 포장재 시료들의 열 변형 여부를 확인하기 위하여 전자레인지(M-M270FP, LG Electronics Inc., Changwon, Korea)를 이용하여 Table 1에 조사된 바와 같이 각 제품의 조리 매뉴얼에 가장 공통적으로 제시된 700 W/2분 조건으로 가열하였다. 이 때 스탠딩 파우치에 포장된 제품은 포장재 상단 모서리 부분을 약 3 cm 가량 자른 후, 그리고 용기 형태의 제품은 리드 필름을 3 cm 가량 연 상태로 전자레인지로 가열하였으며, 삼방 파우치에 포장된 제품의 경우에는 모서리 부분을 약 3 cm 가량 자른 다음 종이 받침대에 세운 상태로 가열하였다.

점도와 염도가 전자레인지 가열 중 포장재의 열 변형에 미치는 영향에 대한 모델 실험을 위하여 xanthan gum (ESFood, Gunpo, Korea)과 NaCl을 사용하여 시험 용액을 제조하였다. 즉, 0.5% (w/w) xanthan gum 수용액과 NaCl 0, 2와 4% (w/w) 수용액을 각각 제조하였다. 또한 점도와 염도의 상호작용을 확인하기 위하여 0.5% xanthan gum 수용액에 NaCl을 0, 2와 4% (w/w)씩 각각 혼합한 시험 용액들을 제조하였다.

포장재질 분석

Table 1과 같이 시중에서 수집한 다양한 전자레인지 식품의 포장에 사용된 파우치 및 리드(lid)지의 다층필름을 1.5 cm×10 cm 크기로 자른 다음, 시편의 끝 2 cm를 ethyl acetate (Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Pyeongtaek, Korea)에 12시간 이상 담가서 접착제 층을 용해, 박리시켰다. 박리된 개별 층의 재질 구성은 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) (FT/IR-460, Jasco, Tokyo, Japan)를 이용하여 확인하였다.

필름 단면 촬영

합지된 포장재의 각 층의 두께는 상기와 같은 과정으로 공시 필름의 층을 분리한 후 인쇄면은 ethyl acetate (Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Pyeongtaek, Korea)로 닦아낸 다음, 현미경 (BX50, Olympus, Tokyo, Japan)으로 측정하였다. 또한 전자레인지 가열 조리 후 포장재의 손상 부위의 깊이를 확인하기 위하여 현미경을 이용하였다. 즉, 시편은 빛을 투영시키기 위하여 microtome (HM340E, Thermo Scientific, Walldorf, Germany)을 이용하여 1 mm 이하의 두께로 자른 다음 스테인레스 바에 양면테이프 로 고정할 후 관찰하였다. 시편은 접안 렌즈(WHN10x/22 UIS2, Olympus, Tokyo, Japan)를 통하여 10배, 그리고 대물렌즈 (PlanN20x/0.40 ∞ /0.17/FN22, Olympus, Tokyo, Japan)를 이용하여 20배로 각각 확대한 후 관찰하였으며, 카메라(U-CMAD3, Olympus, Tokyo, Japan)로 촬영된 사진은 solution lite (IMT i-Solution Inc., New York, NY, USA) 프로그램을 이용하여 확인 및 편집되었다.

포장재 내 지방 추출 실험

레토르트와 전자레인지 가열 전, 후 등 시료 제품이 처리되는 각 단계별로 나누어 포장재에 흡착된 지방 함량을 측정하였다. 이 때 매운 덮밥소스를 파우치(PET/PET/PET/PP)에 충전 후 40°C에서 24시간 방치시킨 시료와 레토르트 처리(121°C/16분)한 시료, 그리고 레토르트 처리 후 전자레인지(M-M270FP, LG Electronics Inc., Changwon, Korea) 가열 조리(700 W/2분)된 시료를 각각 조사하였다. 덮밥소스 제품이 담겼던 각 포장재 시료들을 CEN의 EN 1186-2의 방법(16)에 따라 10×10 cm (1 dm²) 크기로 잘라 원통여과지에 넣고 *n*-pentane 150 mL를 넣은 다음, 속실텀 장치에서 7시간 동안 추출하였다. 추출한 액을 농축한 후 KOH 용액 10 mL를 넣고 응축기(Eyela N-N series, Tokyo Rikakikai Co., Ltd., Tokyo, Japan)에 연결하여 가열한 다음 BF₃ (boron trifluoride 150 g/L in methanol) 5 mL를 가한 후 2분 동안 가열한 뒤 방냉시켰다. 방냉한 시료에 15-20 mL의 포화 무수황산나트륨 (Na₂SO₄) 수용액을 첨가하고 잘 흔들어 반응을 종료시킨 후 플라스크의 목 부분까지 포화 무수황산나트륨 수용액으로 채웠다. 이 액을 층이 분리될 때까지 실온에서 방치한 다음 상층액 1 mL를 직경 0.45 μ m의 PVDF membrane filter로 여과하여 vial에 담은 다음 GC (7890A GC, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)를 이용하여 다음 Table 2의 조건으로 분석하였다.

온도 측정

포장된 시료의 전자레인지 가열 조리 시 온도 변화를 관찰하

Table 1. Microwavable ready-to-eat meals purchased from Korean market

Sample No	Food type	Food	Packaging type	Composition of packaging	Recommended cooking condition
1	Panboiled food	Chicken/Sausage	Lid Tray	PET/EVOH/Ny/EPL PP	700 W/1.5 min
2	Stew	Red bean/Abalone	Stand-up pouch	PET/Ny/PP	700 W/2-3 min
3	Soup	Meat	Stand-up pouch	Ny/PP	700 W/4-5 min
4	Boiled sauce for rice	Chicken/Octopus	3-Side seal pouch	PET/PET/PP	700 W/2 min
5	Boiled sauce for rice	Kimchi, tuna or pork	3-Side seal pouch	PET/PET/PP	700 W/2 min
6	Curry	Vegetable	3-Side seal pouch	PET/Ny/PP	700 W/2 min
7	Curry	Chicken	3-Side seal pouch	PET/PET/PP	700 W/2 min
8	Curry	Chicken	Stand-up pouch	PET/PET/PP	700 W/2 min

Table 2. Conditions of GC-FID for the analysis of lipid content absorbed into a retort pouch film

Model	Agilent 7890A GC coupled with flame ionized detector
Column	Agilent HP-5 (30 m×0.25 mm×0.25 μm)
Injection temperature	220°C
Injection volume	1 μL
Split ratio	10:1
Oven temperature	140°C (5 min) - 20°C/min - 200°C (1 min) - 10°C/min - 250°C (3 min)
Detector temperature	270°C

기 위하여 열화상카메라(TH7102MV, NEC-Sanei, Tokyo, Japan)와 광섬유온도계(OSR-8, FISO Technologies Inc., Quebec, Canada)를 사용하였다. 열화상카메라는 피사체의 적외선 반사에 의한 온도를 측정하는 장치이므로 측정 오류를 최대한 줄이기 위하여 전자레인지 전면의 강화유리를 제거한 후 약 30 cm의 간격을 두고 설치한 상태로 온도를 측정하였다.

광섬유온도계는 probe (FOT-L-SD, FISO Technologies Inc., Quebec, Canada)를 포장재 내 소스의 중앙과 가장자리(sealing)에 의하여 생긴 모서리 및 액위선 부분에 투명실과 테이프를 이용하여 각각 부착 고정된 후, 전자레인지(NN-S763WF, Panasonic, Tokyo, Japan)에서 700 W/2분의 조건으로 가열하면서 온도 변화를 측정하였다.

수분함량 측정

전자레인지로 가열 조리된 매운 소스의 상, 하층을 구분하기 위해 분액 깔때기에 시료를 넣은 다음 상층은 스포이드로 채취하고 아래층은 분액깔때기로 분리 채취하여 공시 시료로 사용하였다. 분취된 상층과 하층의 시료들은 식품공전의 방법(17)에 따라 105°C 상압가열 건조법을 이용하여 수분함량을 분석하였다.

당도 및 pH 측정

시료를 No. 6 표준체(Chung gye Industrial MFG, Co., Seoul, Korea)로 여과한 후 당도계(PAL-1, ATAGO Co. Ltd., Tokyo, Japan)와 pH meter (S20, Mettler Toledo Co., Ltd., Greifensee, Switzerland)를 이용하여 당도와 pH를 각각 측정하였다.

점도 측정

시료의 겔보기 점도(apparent viscosity)는 Brookfield viscometer (DV-II, Brookfield Eng., Middleboro, MA, USA)를 사용하여 spindle No. 5로 20 rpm의 회전속도에서 측정하였다. 점도 측정 시 spindle의 회전에 방해되는 물질이 없도록 시료는 사전에 No. 6 표준체로 여과한 후 항온조(IB-25G, JEIO TECH Co., LTD, Daejeon, Korea)에서 25°C로 유지하였다.

염도 측정

시료들의 염도는 굴절률에 대한 영향을 최소화하기 위하여 No. 6 표준체로 미리 여과한 후, 시료 5 g을 증류수 45 g으로 희석한 다음 염도계(TM-30D, Takemura Electric Works Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

통계처리

각 실험에서 얻어진 결과값의 유의성 검증은 SAS (Version 9.1,

Statistical Analytical System, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 ANOVA 분산분석과 Duncan의 다중 범위검정법으로 시행하였다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

포장재 분석

본 연구에서 조사된 시료들의 식품 유형과 포장 형태, 다층필름의 재질 구성 및 조리 조건을 Table 1에 제시하였다. 수집된 제품들은 레토르트 처리된 제품들로서 냉장 또는 상온에서 6개월 내지 1년의 유통기한을 갖는 제품들로서, 국류, 죽류, 덮밥 소스류, 커리류와 볶음밥류로 구분되었다. 포장은 다층구조로 이루어진 용기, 스탠딩 파우치와 삼방 파우치 형태로 구분되었다. 포장재질 구성을 FTIR로 확인한 결과 용기 형태로 포장된 매운 양념 볶음 닭이나 소시지 제품(No. 1)의 리드 필름의 재질은 기본 차단층으로 PET가, 그리고 열봉합층으로 EPL (easy peel layer)가, 포장재의 충격강도 등 물리적 강도를 보강하기 위하여 Ny이, 그리고 산소 차단성 향상을 위한 목적으로 EVOH (ethylene vinyl alcohol)가 사용되었음이 확인되었다. 콩을 원료로 한 스투 제품(No. 2)과 고기 스프 제품(No. 3)의 포장은 스탠딩 파우치 형태로 재질은 PET/Ny/ CPP 혹은 Ny/ CPP로 이루어진 것으로 분석되었다. 한편, 덮밥류(No. 4, 5)에는 삼방 포장 혹은 스탠딩 포장이 사용되었고 포장재질 구성은 PET/Ny/ CPP로 확인되었다. 그리고 카레제품(No. 6-8)은 삼방 포장 혹은 스탠딩 포장 형태로서 사용된 재질은 PET/Ny/ CPP 또는 PET/PET/ CPP로 구성되어 있음이 확인되었다.

전자레인지 조리 시 레토르트 포장재의 열 변형

레토르트 가열 조리 시 내용물의 색, 조직감이나 향미 등 식품의 관능학적 품질 변화뿐 아니라 내용물 성분이 포장재로 흡착되어 오렌지필(orange peel) 현상이나 내면 식품접촉층 또는 접착층의 물성 저하가 야기되기도 한다. Lakshmana 등(18)은 다층 레토르트 파우치 포장재가 레토르트 처리 후 인장강도, 절단강도, 연신율 및 sealing 강도가 약해진다는 결과를 보고하였다. 또한 Lee와 Lee(19)는 삼계탕 제품의 레토르트 파우치는 멸균하기 전에 열봉합 강도가 9.0 kgf이였으나 멸균 후에는 8.3 kg로 약 7.9% 정도 감소한 것으로 확인한 바 있다.

본 연구에서는 Table 1에서 제시된 바와 같이 수집된 제품들에 대하여 전자레인지 조리 전후 포장재의 변화를 관찰하였다. 전자레인지 조리 전 수집된 모든 제품들에서 이미 다소간의 오렌지 필이 발생하였음이 확인되었다(Fig. 1 중 B-1). 오렌지 필은 레토르트 처리시 발생하는 높은 열과 압력에 의하여 내면 CPP 층의 부피팽창에 따라 지방이나 색소성분이 포장재로 흡착되고, 이후 냉각과 함께 수축되어 차단성이 높은 알루미늄 층과 수축된 CPP층 사이에 흡착된 식품 성분들이 포장재 내에 갇혀 오렌지 껍질과 같은 모양으로 외관 변형이 발생하는 현상으로 추정되고 있으나, 때로는 지방 흡착과는 관계없이 나타나기도 하는 등 정확한 원인은 아직 밝혀지지 않고 있다.

조사된 대부분의 제품 포장재는 전자레인지 조리를 하더라도 열 변형이 크게 발견되지 않았다. 그러나 일부 매운 소스 제품에서는 중에 국소적 열 변형을 보이는 경우가 있었으므로, 이러한 제품들을 대상으로 열 변형의 발생 현상과 원인에 대하여 추가적으로 조사하였다. Fig. 1은 레토르트 살균처리 전후와 전자레인지 조리 후 관찰된 포장재의 변화를 보여주고 있다. Fig. 1의 B-1과 C-1에 나타난 바와 같이 레토르트 처리 후 포장재 내면의

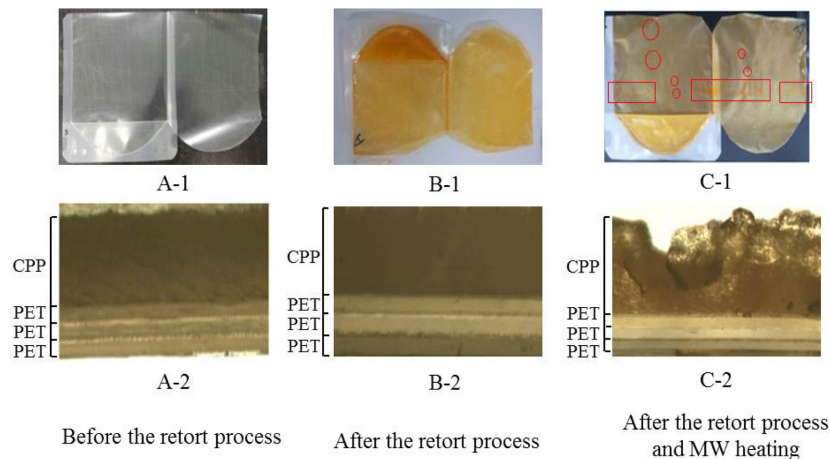


Fig. 1. Effect of retort process and microwave (MW) heating on physical changes of packaging film layers with hot spicy sauce (A-1, B-1, and C-1: surface change of retort pouches, A-2, B-2 and C-2: Cross sectional observation of film layers using a microscope).

착색과 오렌지필 현상이 확인되었다. Fig. 1의 C-1은 전자레인지 조리 후 손상된 포장재 내면을 보여주는데, 국소적으로 심각한 열 변형이 발생하는 것으로 확인되었다. 포장재의 열 변형은 주로 소스의 액위선 부분과 sealing 부위에서 심하게 발생되었으며, headspace층에 나타난 손상은 가열 과정 중 튀어 오른 내용물에 의하여 발생하는 것으로 확인되었다.

전자레인지 가열 단계에서 나타난 포장재 표면의 열 변형에 의한 손상 깊이와 그 정도를 확인하고자 손상 부위의 단면을 전자현미경을 이용하여 확인하였다(Fig. 1, A-2, B-2, C-2). Fig. 1의 B-2에서 보여주는 바와 같이 레토르트 처리 후 내면 CPP층의 손상이 확인되었으며, 전자레인지 조리 후 CPP층에서 심한 손상이 발생된 것이 관찰되었다(Fig. 1의 C-2). 현미경 단층사진을 통해 포장재 표면의 손상은 CPP층에만 국한된 것으로 확인되었으며 층간 박리는 관찰되지 않았다. 내면재질로 사용된 CPP의 용융점은 통상 160-170°C 수준으로 일반적인 레토르트 처리조건인 120°C 온도 대에서는 손상이 거의 발생하지 않았을 것으로 판단되나, 전자레인지 조리 시에는 국소적으로 CPP의 용융점 이상으로 온도가 상승하여 포장재 표면의 열손상을 심화시킨 것으로 판단된다. 그러나 조사된 시료에 사용된 CPP층의 두께가 70-100 μm 수준으로 전자레인지 가열 시간 내 전체 CPP층의 손상을 입히기에는 불충분했던 것으로 사료된다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 레토르트 처리와 전자레인지 가열 조리 후에 나타난 착색 현상은 포장된 식품 중 고추장 또는 고춧가루에 함유되어 있는 붉은 색소 성분에 기인한 것으로 판단된다. 한편 식품으로부터 포장재로 흡착된 성분을 예비 실험에서 조사한 결과 주 성분은 지방으로 파악되었다. 매운 소스를 포장하여 하루 방치한 시료와 레토르트 처리한 시료, 전자레인지 가열 조리까지 이루어진 시료 각각에서 포장재에 흡착된 지방의 함

량을 측정된 결과를 Table 3에 제시하였다. Table 3에서 보는 바와 같이, 레토르트 처리와 전자레인지 조리에 의하여 포장재에 흡착되는 지방 함량이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 레토르트 처리 후 흡착된 지방함량은 레토르트 처리 전 보다 112배 증가되는 것으로 확인되었다. 한편, 레토르트 처리한 다음 전자레인지 조리 후 흡착되는 지방함량은 전자레인지 조리 전과 비교하여 약 1.2배 높은 것으로 확인되었다. 따라서 레토르트 처리된 포장재와 레토르트 처리 없이 전자레인지 가열만 이루어진 포장재에서의 지방 흡착량을 비교해 본 결과, 레토르트 처리된 제품에서 포장재의 지방 흡착이 약 20배 정도 더 많이 일어나는 것으로 확인되었다. 따라서, 레토르트 처리과정 중 이미 지방 흡착이 이루어진 포장재의 경우에도 전자레인지 조리에 의하여 추가적으로 지방 흡착이 이루어질 수 있다는 사실이 확인되었다. 이와 같이 포장된 식품의 가열 과정 중 포장재 내부로 식품 성분이 흡착되는 현상은 포장재 열 변형을 야기시키는 원인의 하나가 될 것으로 사료되는데, 이는 포장재 성분이 식품으로 이행됨에 따라 발생할 수 있는 안전성 측면에서도 중요하게 고려되어야 할 사항이라 판단된다(12).

전자레인지 가열 패턴에 의한 포장재 열 변형 원인 조사

전자레인지 조리 후 포장재의 열 변형 발생 원인을 파악하기 위하여 전자레인지 가열 시 온도변화 패턴과 내용물에 따른 영향을 조사하였다. 스탠딩 파우치에 담긴 소스가 전자레인지에 가열되는 동안 열화상카메라를 이용하여 표면에서 감지되는 온도 변화 및 분포에 대하여 관찰하였고, 이러한 가열시간에 따른 온도 변화 및 패턴을 Fig. 2에 제시하였다. 그 결과 포장 내에서 온도가 가장 먼저 상승되는 곳은 소스가 없는 headspace 부분(①)이었으며, 그 중에서도 파우치가 터지는 것을 방지하기 위하여

Table 3. Effect of retort process and microwave heating on lipid content adsorbed into the retort pouch film with hot spicy sauce during the retort process and microwave heating

Food sample	Before the retort process (mg/dm ²)		After the retort process (mg/dm ²)	
	Before MW heating	After MW heating	Before MW heating	After MW heating
Hot spicy sauce	5.6±0.4 ^{a1)}	30.8±0.1 ^c	630.7±54.3 ^b	766.0±64.4 ^a

¹⁾Values are means of triplicate determinations±SD.

^{a,b}Means with different letters in same column are significantly different by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

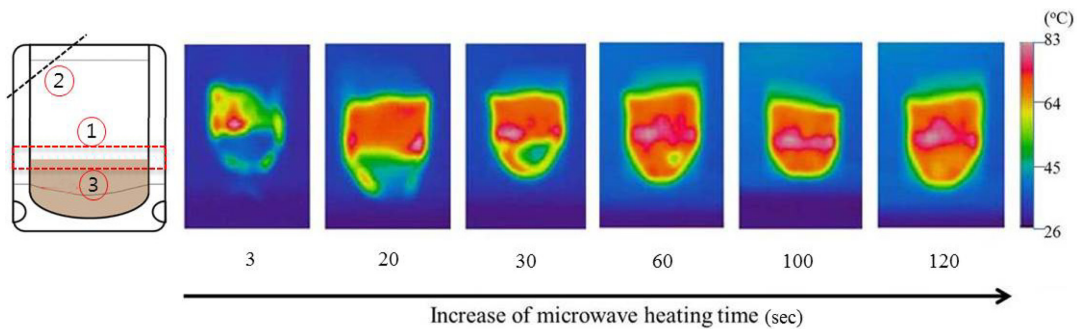


Fig. 2. Changes of temperature distribution in the hot spicy sauce samples measured by using an infra-red thermal-imaging camera during microwave heating (1: headspace, 2: cutting part, 3: sauce (dotted red line: the highest temperature zone by microwave heating)).

절단한 모서리 부분(②)에서 가장 먼저 온도가 상승하였다. 그 후 내용물의 가장자리에서부터 중심 쪽(③)으로 가열이 이루어졌으며, 가장 온도가 높고 올라가는 부분은 내용물의 충전 경계인 액위선과 sealing된 모서리 쪽인 반면, 소스의 중앙 부분은 가장 낮게 올라가는 것을 확인할 수 있었다.

열화상 카메라는 시료가 가열되는 전자레인지 외부에서 적외선의 반사에 의하여 측정되는 원리를 이용하는 것인데, 전자레인지의 경우 기기의 문에 달린 철망과 유리 등 반사를 방해하는 장치들로 인하여 실제 가열되는 식품의 온도가 정확히 측정되지 않는 것으로 판단되었다. 그럼에도 불구하고 열화상카메라는 전자레인지 내 가열되는 식품에서의 온도 분포와 상승 속도를 파악하는 용도로는 활용될 수 있는 것으로 판단되었다.

그러나 열화상카메라의 한계를 극복하고 전자레인지 조리 중 포장내부의 내용물의 가열패턴을 좀 더 정확히 관찰하기 위하여 광섬유 온도계를 이용한 온도측정을 시도하였다. 이때 광섬유 온도센서는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 열화상 카메라 측정에서 확인된 가장 높은 온도 상승 지점인 액위선과 sealing에 의해 형성된 가장자리 부위, 그리고 가열 균일성의 척도가 되는 내용물 중심부에 장착하여 관찰하였다. 그 결과 초기 온도 상승 속도가 가장 빠른 가장자리 sealing면 부위 (T1)에서 3-4초 만에 110°C까지 상승한 후 이 온도대를 유지하였는데, 일부 시료에서는 순간적으로 190°C까지 상승하는 현상도 확인되었다. 액위선 부위(T2와 T3)의 온도는 가장자리 sealing 부위와 비교하여 상승 속도는 느렸지만 가열 후 20초 만에 100-120°C에 가깝게 온도 상승이 일어났으며, 가열시간이 증가할수록 더 높은 온도까지 상승된다는 것을 확인할 수 있었다. Ohlsson과 Bengtsson(13)은 포장재가 sealing되어 접힌 측면이나 모서리 부위가 전자파를 모으는 안테나와 같은 역할을 하여 다른 부위에서보다 온도가 더 상승할 수 있다고 보고한 바 있다. 반면 내용물 중앙(T4)에서는 2분의 가열 시간 동안 최대 온도가 55°C까지 상승하였으며, 초기 온도 상승 속도도 0.13°C/sec으로 다른 부위에 비하여 상대적으로 느리게 관찰되었다.

본 연구에서 확인된 바와 같이 다른 여러 연구에서도 전자레인지 조리 시 포장 내용물의 가열이 매우 불균일하게 일어난다고 보고한 바 있다(4,5,14). 이와 같은 전자레인지 가열 시 온도의 불균일성은 포장 내부의 특정 부위가 이상적으로 과열되어 용융점이 160-170°C로 비교적 높은 편인 CPP 재질이 식품과 접촉하는 내면 재질로 사용되었음에도 불구하고 국소적인 포장재 열 변형 현상이 야기될 수 있는 것으로 판단된다. 식품 내 불균일한 가열과 국소적 과열 현상의 원인으로는 전자레인지 가열 중 전자파가 모일 수 있는 모서리나 접힌 부분의 존재 등 포장 형태

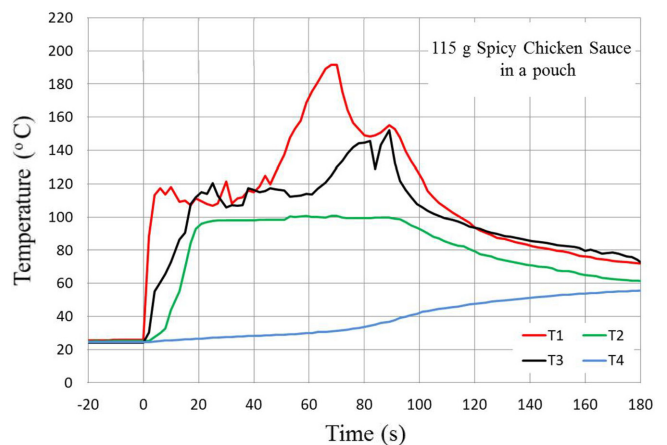


Fig. 3. Temperature measurement in the stand-up pouch filled with hot spicy sauce by using a fiber optical thermometer during microwave heating (T1: corner side of sealing layer of pouch near filling level, T2: front inside surface layer of pouch at filling level, T3: back inside surface of pouch at filling level, T4: middle of sauce).

도 한 원인이 될 수 있을 것으로 추정되므로, 전자레인지 가열 조리용 제품의 포장 설계 시 균일한 전자파의 분포가 이루어질 수 있도록 이를 고려하여야 할 것이다.

식품 성분에 의한 포장재의 열 변형 원인 조사

Table 1에 제시된 시료들 중 포장재의 열 변형이 나타나는 매운 소스 제품에 공통적으로 사용된 식재료들을 조사한 결과, 소금, 설탕, 마늘, 생강, 후추와 고추분인 것으로 확인되었다. 그러나 이러한 식재료들을 포함하고 있는 모든 제품에서 전자레인지 가열 조리 후 포장재의 열 변형이 나타난 것은 아니었다(data not shown). 따라서 유사한 식재료로 생산된 제품들만을 분류하여 전자레인지 가열 후 식품의 형상과 점도, 염도, pH 및 당도를 측정 비교해 보았다(Table 4).

전자레인지 가열 후 포장재의 열 변형 현상이 나타난 매운 소스 제품의 경우 열 변형이 나타나지 않은 제품과 비교하여 내용물의 표면층이 건조되어 분리되는 현상을 확인할 수 있었다. 표면이 다소 건조된 상층부와 유동성이 있는 하층부의 수분 함량을 각각 측정된 결과, 각각 66%와 71%로 확인되었다. Ni 등(20)도 전자레인지 조리 시 불균일한 가열에 의하여 수분이 손실되어 품질 저하가 발생한다는 것을 보고한 바 있다. 표면의 수분 손실은 내용물의 품질 저하뿐만 아니라 가열 패턴을 변화시키는

Table 4. Physicochemical characteristics of some spicy foods for microwave cooking

Sample	Viscosity (cP)	Salinity (%)	pH	°Bx (%)	Damage of packaging
A	16,667±2858 ¹⁾	2.9±0.4 ^{a1)}	5.1±0.0 ^{b1)}	23.7±1.5 ^{a1)}	○ ²⁾
B	4,433±551	2.1±0.1 ^b	5.4±0.0 ^a	16.0±0.0 ^b	× ²⁾
C	1,667±153	1.9±0.0 ^{bc}	5.0±0.0 ^c	13.6±0.1 ^c	×
D	2,267±58	1.7±0.0 ^c	5.5±0.1 ^a	14.2±0.5 ^c	×

¹⁾Values are means of triplicate determinations±SD.

²⁾O, Damages of packaging film are observed; X, Damages of packaging film are not observed.

^{a-c}Means with different letters in same row are significantly different by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

Table 5. Initial heating rates at hot and cold spots formed during heating in a microwave oven with 700 W for 2 min in the water and 0.5% xanthan gum solutions with different NaCl concentrations

Solution type	NaCl concentration (%)	Heating rates		
		Hot spot (°C/s)	Cold spot (°C/s)	Relation ¹⁾
Water	0	0.93	0.93	1
	2	12	0.5	24
	4	23	0.37	60
0.5% Xanthan gum solution	0	1.3	1.3	1
	2	23	0.02	1100
	4	70	0.01	7000

¹⁾Relation=heating rate of hot spot/heating rate of cold spot.

요인으로도 작용한다고 보고되고 있다(21). 즉, 전자레인지는 마이크로파와 수분의 상호작용에 의하여 열을 발생시키며(22), 수분은 이온화 물질을 녹이는 용매 역할을 함으로써(4), 물질의 유전적 특성에 영향을 미치기도 한다. Chandrasekaran 등(23)은 빵이나 밀가루와 같은 식품의 유전특성이 수분함량에 의존적이라고 보고하였다. Guardeo 등(5)은 자유수에 의하여 전자레인지 가열 효율에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다. 그러므로, 식품 중 수분 함량의 분포가 전자레인지 가열 패턴 중 중요하게 고려되어야 하며, 특히 다른 물질과의 상호 작용에 의하여 중요한 요인으로 작용할 것으로 판단된다. Koskimiemi(24)도 수분뿐만 아니라 염 또는 회분이 전자기장 상호 작용과 직접 관련이 있는 성분들이며, 당, 전분, 펙틴 및 기타 다른 탄수화물과의 상호 작용에 의해서도 물질의 유전적 특성에 영향을 미칠 수 있음을 보고한 바 있다.

Table 4의 결과를 보면, 전자레인지 가열 조리 후 포장재 열 변형을 나타낸 A제품의 경우 그렇지 않은 제품들과 비교하여 점도와 염도, 당도가 모두 높게 나타나는 경향이 나타났다. 전자레인지 가열 시 내용물의 점도 상승은 자연 대류를 감소시켜 균일한 가열을 방해함에 따라 최종 온도가 낮아져 cold spot이 발생할 수 있다는 보고가 있다(15). 또한, 식품의 내용물 중 소금은 전자파의 침투 깊이를 감소시켜 전자파에 의한 내용물의 균일한 가열을 어렵게 한다고 보고되었다(5,24). 그리고 식품 중 설탕 농도가 높아질수록 전자파가 유전체에 조사될 때 열 에너지로 전환되는 정도를 나타내는 유전손실 값이 낮아진다는 보고가 있다(22). 이와 같은 선행 연구와 본 연구 결과들을 고려하였을 때 내용물의 불균일한 가열은 점도와 염도에 의해 주로 영향을 받을 것으로 판단되어, 이에 대한 검증을 위하여 내용물의 점도와 염도를 조절한 모델 실험을 수행하였다.

Xanthan gum과 NaCl로 점도와 염도를 조절한 시료액들이 전자레인지에서 가열되는 동안 hot spot과 cold spot에서의 초기 온

도 상승 속도를 비교한 결과는 다음 Table 5와 같다. Hot spot과 cold spot에서의 온도 상승 속도의 비율이 1.0에 가까운 값을 가질수록 가열 패턴이 균일함을 의미하는데, 염의 함량이 증가할수록 hot spot과 cold spot에서의 온도 상승 속도 비율이 높아져 불균일한 가열이 이루어짐을 확인할 수 있었다. 본 모델 실험에서 확인된 바와 같이 염 농도에 의한 가열상승 속도의 차이는 염에 의한 전자파의 침투 깊이의 감소에 기인한 것으로 판단된다(5,24). Table 5에서 보는 바와 같이 xanthan gum의 첨가는 첨가되지 않은 시료와 비교하여 hot spot에서의 온도 상승이 빠르게 나타남을 확인할 수 있었다. 특히 2%와 4%의 염이 함유된 xanthan gum 혼합 용액에서 염 농도가 증가할수록 hot spot 현상은 급격히 증가하는 것으로 확인되었다. 반대로 cold spot에서의 온도 상승은 예상대로 정체되어 포장재 내 내용물이 균일하게 가열되지 않는다는 것을 확인하였다. 4% 혼합 염용액에서 hot spot과 cold spot 부분의 온도 상승률은 약 7,000배 정도의 차이가 발생하는 것으로 확인 되었다. 본 모델 실험을 통하여 포장된 내용물의 점도와 염 함량은 전자레인지 조리 시 내용물의 불균일한 가열과, 이로 인하여 국소적으로 포장 내 온도가 급격하게 상승되어 발생하는 hot spot이 주요 원인을 확인할 수 있었다. Guardeo 등(5)은 제품의 물성 중 점도에 영향을 주는 성분인 전분과 카라기난은 이온적 특성이 다르기 때문에 내용물의 유전성질을 변화시킬 수 있다고 보고하였고, Chandrasekaran 등(23)은 점도뿐 아니라 내용물의 입자 크기나 구조 등도 포장된 식품의 불균일한 가열에 영향을 줄 수 있다고 보고하였다.

본 연구를 통하여 확인된 전자레인지 가열 조리 시 발생하는 포장재 열 변형은 식품에 함유된 당, 수분과 염과 같은 성분들이 내용물의 점도에 영향을 미치면서 유전 특성의 변화, 자연 대류의 억제, 그리고 전자파 침투 깊이의 감소와 같이 내용물 가열 시 열의 고른 분포를 방해하는 환경이 조성되어 발생하는 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 Hegenbart(25)도 유사하게 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서 확인된 내용 이외에도 식품의 구성 성분간의 복합적 상호 작용에 의한 불균일한 가열 패턴과 이로 인하여 야기되는 포장재의 열 변형의 원인에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

전자레인지 가열조리용 편의식품류는 레토르트 처리되어 장기간 저장 안정성이 부여되는 장점이 있는 반면, 높은 가열 조건으로 인하여 식품의 품질 저하뿐 아니라 내용물의 흡착에 의한 포장재의 착색이나 오렌지필과 같은 물리적 변화가 발생되기도 한다. 일부 매운 소스 제품들의 전자레인지 가열 조리 시 특정 부위에서 심한 포장재의 열 변형 현상이 확인되었다. 열화상카메라와 광섬유온도계를 이용하여 전자레인지 가열 중 포장재 내부의 온도 분포 및 변화 패턴을 관찰한 결과 내용물의 충전 경계인 액

위선과 양 모서리 *sealing* 부위의 온도가 가장 높게 상승하여 *hot spot*이 형성되는 것을 확인하였고, 이때 온도는 순간적으로 최대 190°C까지 상승하였다. 반면 내용물의 중심부에서는 온도 상승이 매우 느리게 이루어져 *cold spot*이 생성되었으며, 700 W에서 2분 조리 후 도달 온도는 약 55°C였다. 특히, 전자레인지 가열 시 내용물의 균일한 가열패턴을 보여주는 *hot spot*과 *cold spot* 사이의 온도 상승률은 최대 7,000배까지 차이를 보였다. 따라서 전자레인지 조리 시 내용물의 불균일한 가열로 특정 부위에 열이 집중되는 *hot spot*의 생성이 포장재 열 변형의 주요 원인으로 판단되었다. 이러한 가열 불균일성은 포장된 내용물에 함유된 당, 염, 수분과 같은 성분들이 점도에 영향을 주는 것에 기인하는 것으로 추측된다. 이러한 점도 변화는 궁극적으로 내용물의 물리적 또는 이온적 특성의 변화를 야기하고, 결과적으로 전자파가 내용물 내부로 침투하는 깊이가 감소되고, 이에 따라 내용물의 유전 특성과 대류 현상에 영향을 주는 것으로 판단된다. 그러나 전자레인지 조리 시 포장재 열 변형 문제의 완전한 해결을 위해서는 향후 포장된 내용물의 세부 성분 별 유전 특성에 대한 보다 세밀한 분석이 필요하며, 아울러 *hot spot*의 원인이 되는 식품 성분들의 적절한 함량 조절과 함께 포장재, 포장 형태 및 가열 조건 등에 대한 보다 포괄적이고 안정적인 포장시스템 설계와 개발이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 고부가가치식품기술개발사업(관리번호 113031-2)을 통한 지원으로 연구되었으므로 감사드립니다.

References

- Haque KE. Microwave energy for mineral treatment processes. *Int. J. Miner. Process.* 57: 1-24 (1999)
- Decareau RV. Background of the development of microwave heating technology. pp. 3-4. In: *Microwaves in the Food Processing Industry.* Academic Press Inc., Ltd., London, UK (1985)
- GIA. Microwave Packaging; A Global Strategic Business Report. *Global Industry Analysts, Inc., Kawasaki, Japan.* pp. II-70-71, III-89-90 (2013).
- Zhang L, Lyng JG, Brunton NP. The effect of fat, water and salt on the thermal and dielectric properties of meat batter and its temperature following microwave or radio frequency heating. *J. Food Eng.* 80: 142-151 (2007)
- Guardeño LM, Catalá-Civeira JM, Plaza-González P, Sanz T, Salvador A, Fiszman SM, Hernando I. Dielectrical, microstructural and flow properties of sauce model systems based on starch, gums and salt. *J. Food Eng.* 98: 34-43 (2010)
- Choi YH, Kim DK. Temperature distributions of inner microwave for various working conditions. *J. Korean Soc. Mar. Eng.* 34: 792-797 (2010)
- Datta AK, Geedipalli SSR, Almeida MF. Microwave combination heating. *Food Technol.* 59: 36-40 (2005)
- Geedipalli SSR, Rakesh V, Datta AK. Modeling the heating uniformity contributed by a rotating turntable in microwave ovens. *J. Food Eng.* 82: 359-368 (2007)
- Lobo S, Datta AK. Characterization of spatial non-uniformity in microwave reheating of high loss foods. *J. Microwave Power E.* 33: 158-166 (1998)
- Ryynänen S. Microwave heating uniformity of multicomponent prepared foods. PhD thesis, University of Helsinki, Helsinki, Finland (2002)
- Schiffmann RF. Microwave technology; A half-century of progress. Available from: <http://www.foodproductdesign.com>. Accessed May. 01, 2014.
- Alin J. Migration from plastic food packaging during microwave heating. PhD thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden (2012)
- Ohlsson T, Bengtsson N. Microwave technology and foods. *Adv. Food Nutr. Res.* 43: 65-140 (2001)
- Jeong JY, Lee ES, Choi JH, Choi YS, Yu LH, Lee SK, Lee CH, Kim CJ. Cooking pattern and quality properties of ground pork patties as affected by microwave power levels. *Korean J. Food Sci. An.* 29: 82-90 (2009)
- Datta AK. Fundamentals of heat and moisture transport of microwaveable food product and process development. pp. 115-172. In: *Handbook of Microwave Technology for Food Applications.* Datta AK, Anantheswaran RC (eds), Marcel Dekker Inc., New York, NY, USA (2001)
- CEN EN 1186-2. Materials and article in contact with foodstuffs-Plastics-; Part 2: Test methods for overall migration into olive oil by total immersion. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium (2002)
- Korean Food and Drug Administration. Korean Food Code, Chapter 9. Common test method, Article 1. Test method for food constituents. Available from: <http://fse.foodnara.go.kr>. Accessed Oct. 21, 2014.
- Lakshmana JH, Jayaprahash C, Kumar R, Kumaraswamy MR, Kathiravan T, Nadasabapathi S. Development and evaluation of shelf stable retort pouch processed ready-to-eat Tender Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) curry. *J. Food Process. Technol.* 4: 274-279 (2013)
- Lee JH, Lee KT. Studies on the improvement of packaging of retorted *samgyetang*. *J. Korea Soc. Packag. Sci. Technol.* 15: 49-54 (2009)
- Ni H, Datta AK, Torrance KE. Moisture transport in intensive microwave heating of biomaterials: A multiphase porous media model. *Int. J. Heat Mass Tran.* 42: 1501-1512 (1999)
- Giese J. Advanced in microwave food processing. *Food Technol.* 46: 118-123 (1992)
- Puligundla P, Abdullah SA, Choi W, Jun S, Oh SE, Ko S. Potentials of microwave heating technology for select food processing applications-A brief overview and update. *Food Process. Technol.* 4: 278-286 (2013)
- Chandrasekaran S, Ramanathan S, Basak T. Microwave food processing-A review. *Food Res. Int.* 52: 243-261 (2013)
- Koskineniemi CB. Development of a 915 MHz continuous microwave process for pasteurization of packed acidified vegetables. MS thesis, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA (2010)
- Hegenbart S. Microwave quality: coming age. *Food Product Design* 17: 29-52 (1992)