pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 41, No. 1, pp. 24~31 (2026)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2026.41.1.24

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

전자레인지 조리방법에 따른 냉동식품의 품질 및 온도변화 특성

김동수* · 김세훈 · 김평원 · 김태석
풀무원 기술원 품질기술센터

Effects of Microwave Cooking Methods on Quality and Temperature Changes of Frozen Foods

Dong Soo Kim*, Se Hun Kim, Pyeong Won Kim, Tae Seok Kim
Food Quality Technology Center, Pulmuone Co. Ltd., Cheongju, Korea

(Received December 29, 2025/Revised February 9, 2026/Accepted February 11, 2026)

ABSTRACT - This study quantified the surface and core temperature changes in frozen ready-to-heat foods during microwave cooking to assess the feasibility of achieving microbiological safety and to support improved consumer cooking guidance. Hot dogs, cheese balls, rice balls, and dumplings manufactured and distributed in Korea (January 2023 to December 2024) were selected (2-3 products per category) and stored at -18°C. The samples were placed in paper containers lined with polylactide, glass containers, or polypropylene containers and heated in a household microwave oven (700 W, 2,450 MHz) for the minimum cooking time stated on the label. The surface temperature was measured at five predefined points using an infrared thermal imaging camera, and the core temperature was continuously recorded at the geometric center using an optical fiber temperature logger. Data were analyzed using analysis of variance, followed by Duncan's multiple range test. Across all products, paper containers produced significantly higher surface temperatures than glass or polypropylene containers (P<0.05). When products were grouped by animal-derived ingredient content, the low-content group showed significantly higher surface and core temperatures, whereas the high-content group exhibited relatively lower core temperatures, indicating increased heating nonuniformity (P<0.05). Notably, the high-content group showed a delayed core temperature increase, despite surface heating, suggesting that the microwave heating behavior depends on the ingredient composition and product structure. Overall, label-stated minimum cooking times may be insufficient to achieve adequate core temperatures for some products, and frozen foods with higher animal-derived ingredient contents may retain residual safety risks because of cold-spot formation. Therefore, differentiated microwave cooking conditions and consumer instructions that consider the product composition, shape, and container materials are required.

Key words: Frozen foods, Microwave heating, Core temperature, Food safety

최근 몇 년간 급격한 소득 수준의 변화, 가족 구조의 소형화, 그리고 COVID-19 팬데믹의 발생 등 다양한 환경 변화에 따라 국민의 생활양식에서도 크고 작은 변화[1]가 나타났다. 이러한 환경 변화는 외식에 대한 인식과 행동양식에도 직접적인 영향을 미치며, 외식산업 및 식문화 트렌드에 새로운 방향으로 작용하고 있다. Lee 등[2]에 따르면 COVID-19 이후 집안에서 요리하는 문화가 확산되었고, 전기오븐, 인덕션 등 주방가전 수요가 크게 증가하였다. 특히 가정 간편식(Home Meal Replacement, HMR)과 냉동식품 등 비축형 식품의 소비가 큰 폭으로 증가한 것으로 확인되었다.

식품공전[3]에서 정의하는 냉동식품은 장기보존을 목적으로 냉동처리 후 냉동 상태로 보관하는 포장식품을 의미한다. 섭취방법에 따라 가열섭취 냉동식품, 비가열 섭취 냉동식품으로 정의할 수 있고, 품질 관점에서는 전처리 냉동식품, 급속동결 냉동식품, 용기포장 냉동식품 등으로 세분화할 수 있다[4]. 냉동식품은 가공 후 신선한 상태로 급

*Correspondence to: Dong Soo Kim, Food Quality Technology Center, Pulmuone Co., Ltd., 29, Osongsaengmyeong 10-ro, Osong-eup, Heungdeok-gu, Cheongju, Chungbuk 28220, Korea
Tel: +82-10-3159-8127, Fax: +82-2-6499-0131
E-mail: dskimaa@pulmuone.com

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

속 냉동되어 품질 변화가 적고, 짧은 시간 내에 조리할 수 있는 장점을 보유하고 있어 소비자들의 선호도가 높다[5]. 이러한 냉동식품의 높은 선호도는 냉동식품 수요 확대로 이어졌으며, 유통부터 소비까지 온도유지를 통해 제품 안전성을 보장하는 콜드체인 물류시스템[6] 확산을 촉진하는 계기가 되었다.

그러나 냉동식품의 저장단계에서는 미생물이 사멸하지 않은 상태이므로 생물학적 오염 개연성과 조리과정에서 위해인자 발생 위험성이 항상 존재한다. Hong 등[7]의 선행연구에 따르면 축산물 원료가 포함된 냉동식품에서 *Listeria monocytogenes*로 인한 식중독균 오염 가능성이 보고되었고, Park 등[8]의 연구결과에서는 냉동식품을 직화, 전자레인지 등의 고온조리 과정에서 인체발암 추정물질 중 하나인 아크릴아마이드(acrylamide)가 생성될 수 있음을 언급하였다.

가정에서 널리 사용되는 전자레인지는 현대인의 식생활에서 필수적인 조리기기로 자리잡고 있다. 특히 미국은 가정 내 전자레인지 보급률이 약 95%에 달할 정도로, 조리과정에서 가장 보편화된 주방기기로 평가받고 있다[9]. 전자레인지 가열원리[10]는 일반적인 전도·대류식 열전달과 달리 교류 전자기장에 반응하는 극성분자가 마찰열을 발생시켜 내부에서 직접 가열되는 방식이다. 이러한 내부 가열방식은 전체 조리시간을 단축할 수 있으며, 표면 과열을 억제하고 열손실이 최소화됨으로써 에너지 효율을 향상시키는 장점을 지닌다. 이에 따라 전자레인지 가열 기술은 조리뿐 아니라 해동, 건조, 살균 등 다양한 식품가공 공정에 활용되며, 에너지 절감형 가열기술로서 식품산업 전반에서 활용범위가 확대되고 있다. 이러한 전자레인지 가열 특성을 제품에 효과적으로 적용하기 위해 식품업계에서는 전자레인지 조리에 적합한 전용제품을 개발하고 있으며, 이 과정에서 polyethylene terephthalate (PET), Cast Polypropylene Film (CPP) 등과 같은 전자레인지 전용 포장재[11]를 함께 사용하고 있다.

전자레인지 가열기술의 활용성과는 반대로 일부 한계점 또한 보고되고 있다. 특히 식품의 물성 및 성분조성에 따라 전자레인지 조리과정에서 열전달이 균일하게 이루어지지 않을 수 있으며, 이로 인해 식품 부위별 온도 편차가 발생[12,13]하는 것으로 알려져 있다. 이러한 가열 불균일은 전자레인지 가열의 대표적인 한계로 지적되며, 조리 제품의 품질저하 뿐만 아니라 식품의 미생물학적 안전성에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다[14]. 특히 육류원료 비율이 높은 냉동식품의 경우, 조리 과정에서 충분한 열처리가 이루어지지 않을 경우 잔존 미생물이 충분히 사멸되지 않을 가능성[15]이 있으며, 이는 식중독과 같은 위해요인[16]으로 이어질 가능성이 있다.

이와 같은 위험성에도 불구하고, 전자레인지 조리 과정에서의 냉동식품 온도 변화 특성과 식품 안전성을 평가한 체계적인 연구는 아직 제한적인 실정이다. 특히 국내에서 제조 및 유통되는 냉동식품을 대상으로 실제 전자레인지 조리조건을 반영하여 연구했던 사례는 매우 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 제조·유통되는 냉동식품을 대상으로 전자레인지 조리과정 중 온도 변화를 모니터링하고, 이를 바탕으로 전자레인지 가열 시 미생물학적 안전성 확보 가능성을 평가함으로써, 전자레인지 조리식품의 안전성 관리 및 소비자 조리지침 설정을 위한 기초자료로 제시하고자 한다.

Materials and Methods

조사대상 선정 및 분석기간

본 연구에서 분석 시 사용된 시료는 2023년 1월부터 2024년 12월까지 국내에서 제조·유통되는 냉동식품 중 일부 제품을 ㈜풀무원(Pulmuone, Cheongju, Korea)으로부터 제공받아 사용하였다. 사용된 모든 시료는 표시사항에 명시된 보관조건에 따라 -18°C 이하의 냉동상태로 보관하였으며, 분석 시 해당 보관조건을 유지하여 사용하였다.

식품위생법 제7조[17]에서는 식품의 기준과 규격을 규정하고 있으나, 냉동식품을 별도의 식품유형으로 정의하고 있지는 않다. 반면 식품공전[3]에서는 냉동식품을 섭취방법에 따라 가열하여 섭취하는 냉동식품과 가열하지 않고 섭취하는 냉동식품으로 구분하고 있다. 이에 본 연구에서는 가열하여 섭취하는 냉동식품 중 전자레인지 조리방법이 표시사항에 명시된 제품(냉동 핫도그, 치즈볼, 볶음밥, 만두)을 연구 대상으로 선정하였다.

냉동 제품은 원료함량 및 구성 비율에 따라 전자레인지 조리과정 중 온도변화 양상에 영향이 발생할 수 있으므로 본 연구에서는 각 식품 유형별로 최소 2-3종 이상의 제품을 선정하여 분석에 활용하였다.

전자레인지 조리 시 표면온도 측정 방법

전자레인지 조리 시 사용된 용기는 시판중인 전자레인지 전용용기를 구입 후 사용하였으며, 용기 재질에 따라 종이(내면: polylactide, PLA), 유리(glass), 폴리프로필렌(polypropylene, PP)로 Table 1과 같이 구분하였다. 분석시료는 전자레인지 전용용기에 시료를 넣고, 가정용 전자레인지(HM04, Hanmac Electronics Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 조리하였다. 전자레인지 정격 출력은 700 W, 주파수는 2,450 MHz이며, 조리 시간은 제품 표시사항에 기재된 최소 조리시간을 적용하였다.

전자레인지 조리 시 표면온도 변화는 열화상 카메라(VarioCAM HD head, InfraTec GmbH, Dresden, Germany)을 사용하였다. 측정지점은 제품표면의 좌측, 우측, 상부, 하부, 중심부의 다섯 지점으로 설정하였으며, 추가로 제품 전체표면을 대상으로 원형 영역(region of interest, ROI)을

Table 1. Information on packaging materials used for microwave cooking

Type of package	Manufacturer	Temperature range (℃)
Paper	SP Korea Package (Seoul, Korea)	-
Glass	Glasslock (Seoul, Korea)	-20 to 120
Polypropylene	Glasslock (Seoul, Korea)	-20 to 120

설정하여 온도를 분석하였다. 각 측정지점의 표면온도는 평균값, 최대값 및 최소값으로 구분하여 산출하였다.

획득한 열화상 이미지는 전용 소프트웨어(IRBIS 3.1, InfraTec GmbH, Dresden, Germany)를 활용하여 온도 정보를 수치화하였으며, 이를 통해 전자레인지 조리 과정 중 시간 경과에 따른 표면온도 변화를 정량적으로 평가하였다.

냉동식품의 심부온도 측정

냉동제품의 심부온도 측정은 표면온도 측정과 동일한 조건하에서 모든 분석대상 제품을 대상으로 수행하였다. 심부온도 측정에 사용된 시료는 앞서 기술한 동일한 전자레인지 전용용기(종이, 유리, 폴리프로필렌)를 사용하였으며, 가정용 전자레인지(HM04, Hanmac Electronics Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 실험을 진행하였다. 조리조건은 각 제품의 표시사항에 명시된 최소 권장 조리시간을 기준으로 설정하였다.

심부온도는 전자레인지 환경에서 전자기 간섭을 최소화하기 위해 섬유광학식 온도로거(Optical Fiber Temperature Sensor, Hanarotr Co., Ltd., Suwon, Korea)를 사용하여 측정하였다. 온도 센서는 각 시료의 중심부에 로거센서를 삽입하여 고정한 후 전자레인지 조리과정 동안 시간에 따른 심부온도 변화를 연속적으로 기록하였다. 기록된 온도변화 데이터는 온도로거 전용 소프트웨어를 이용하여 수집한 후 분석자료로 활용하였다.

통계자료 분석

모든 분석과정에서 얻어진 온도 측정값(표면온도 및 심부온도 데이터)은 Excel 2021 (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA)을 이용하여 정리하였다. 측정된 데이터는 IBM SPSS Statistics ver. 28.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 분석하였으며, 각 시료의 평균값과 표준편차(mean ± SD)를 산출하였다. 제품 종류 및 용기 재질에 따른 온도 차이의 유의성을 검증하기 위해 분산분석(analysis of variance, ANOVA)을 수행하였고, Duncan 사후검정(Duncan's multiple range test, $P<0.05$)를 통해 평균 간의 통계적 차이를 검증하였다.

Results and Discussion

분석시료 기본사항

본 연구에 사용된 분석시료의 기본정보는 Table 2와 같이 제시되었다. 분석 대상인 핫도그, 치즈볼, 주먹밥, 만두 제품군의 전자레인지 조리시간은 40초부터 3분 범위로 각 제품의 표시사항에 명시되어 있으며, 본 연구에서는 해당 조리조건을 준수하여 실험을 수행하였다.

동물성 원료 함량비율은 제품 유형에 따라 차이를 보였다. 핫도그 제품의 경우 상대적으로 높은 수준인 약 35% 수준을 나타낸 반면, 주먹밥, 치즈볼 및 만두 제품군에서는 이보다 낮은 동물성 원료 함량을 보였다. 또한, 모든 시료는 제조과정 중 열처리 공정을 거친 제품으로써 제조

Table 2. Basic information of frozen HMR products used for analysis

Products		Microwave cooking time	Animal ingredient ratio (%)	Heating process during manufacturing	Manufacturing process maximum temperature
Hot-dog	A	1 min	36.75	○	170°C
	B	1 min	31.18	○	170°C
	C	1 min	40.15	○	170°C
Cheese ball	D	50 sec	18.51	○	180°C
	E	40 sec	18.51	○	180°C
Rice balls	F	2 min	8.1	○	80°C
	G	2 min	44.93	○	80°C
	H	2 min	23.89	○	80°C
Dumplings	I	3 min	15.93	○	75°C
	J	3 min	16.89	○	75°C

공정 정보에 따른 최대 가열온도는 75°C부터 최대 180°C 범위까지 제품의 특성에 따라 다양하게 나타났다.

이러한 제조 공정상의 가열온도 차이는 제품 유형에 따른 조리특성을 반영한 결과로 판단된다. 핫도그, 치즈볼 제품의 경우 분말 원료(예: 빵가루)를 도포 후 고온의 튀김공정을 거쳐 제조되는 반면, 주먹밥, 만두 제품은 증기 또는 솥을 이용한 가열방식으로 제조가 진행된다. 이러한 제조공정 차이는 제품의 성상(예: 수분함량, 밀도, 원료 비율)에 영향을 미칠 수 있으며, 이는 전자레인지 조리 시 열전달 특성 및 표면온도 분포에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 작용할 가능성이 있다.

조리용기별 표면온도 측정결과

전자레인지 조리 후 용기 종류에 따른 제품 표면온도 측정결과는 Table 3과 같이 제시되었다. 분석 결과 Sample I(Circle max temperature)를 제외한 모든 제품군에서 종이 재질 용기를 사용하여 조리한 제품의 표면온도가 유리 및 폴리프로필렌 용기에 비해 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05). 평균 표면온도(circle average temperature)는 대부분의 시료에서 종이 용기를 사용한 경우 약 30-41°C 범위로 가장 높았고, 유리 용기와 폴리프로필렌 용기는 제품에 따라 약 2-4°C 온도 차이가 발생하였다.

최대 표면온도(Circle max temperature)에서도 종이 용기에서 가장 높은 표면온도 측정값을 보였으며, 일부 시료에서는 50°C 이상의 표면온도가 측정되었다. 반면 유리 용기는 전반적으로 낮은 최대온도가 나타났고, 폴리프로필렌 용기는 유리 용기보다 약간 높은 측정값을 보였으나 종이 용기보다는 유의적으로 낮은 온도차이를 보였다(P<0.05).

이러한 결과는 전자레인지 조리 시 용기재질에 따른 열전달 효율 특성[18]에 기인한 결과로 해석될 수 있다. 종이 재질 용기는 상대적으로 열전도율[19]이 낮고, 내부는 수분함량이 적어 조리과정 중 식품 자체에서 발생한 열이 표면부에 집중되기 쉬운 특성을 가진다. 반면 유리[20]는 전자파를 거의 흡수하지 않아 가열과정에 직접적으로 관여하지 않으므로 식품 표면온도 상승이 제한적인 것으로 알려져 있다. 폴리프로필렌 용기는 유리 용기와 종이 용기의 중간적 특성을 보인다. 이러한 결과는 전자레인지 조리 시 용기 특성에 따라 식품의 열 분포[21]에 영향을 미친다는 선례 연구결과와 일부 일치하는 내용이다.

Table 3. Surface temperature (average and maximum) of frozen HMR products during microwave cooking using different container materials

Treatment		Paper	Glass	Polypropylene
Circle average temperature	Sample A	30.05±4.98^{A}	28.42±4.03^{B}	27.74±4.09^{B}
	Sample B	30.27±4.71^{A}	27.77±3.61^{B}	27.69±3.86^{C}
	Sample C	30.82±4.85^{A}	27.73±3.64^{C}	29.46±4.06^{B}
	Sample D	30.74±5.36^{A}	28.67±3.36^{C}	29.78±3.12^{B}
	Sample E	32.13±3.93^{A}	30.25±2.52^{B}	29.49±2.16^{C}
	Sample F	36.94±8.48^{A}	31.50±8.35^{C}	34.73±9.22^{B}
	Sample G	39.79±7.62^{A}	33.84±7.63^{C}	36.51±9.00^{B}
	Sample H	39.44±6.52^{A}	34.62±8.35^{B}	34.71±7.82^{B}
	Sample I	37.07±8.67^{A}	31.14±7.51^{C}	33.14±7.96^{B}
	Sample J	41.91±9.79^{A}	33.58±10.85^{C}	35.66±10.26^{B}
Treatment		Paper	Glass	Polypropylene
Circle max temperature	Sample A	41.19±6.00^{A}	40.30±10.29^{A}	37.38±9.69^{B}
	Sample B	41.68±6.00^{A}	37.76±7.36^{B}	36.05±7.41^{C}
	Sample C	44.36±4.26^{A}	37.55±7.61^{B}	36.42±7.03^{B}
	Sample D	52.85±7.76^{A}	37.68±9.56^{B}	36.00±6.15^{B}
	Sample E	41.69±5.07^{A}	37.00±3.56^{B}	34.72±2.69^{C}
	Sample F	54.45±12.16^{A}	47.94±13.92^{C}	50.17±14.26^{B}
	Sample G	55.80±9.33^{A}	50.51±13.24^{B}	47.13±11.27^{C}
	Sample H	55.78±7.94^{A}	51.87±13.91^{B}	47.56±12.68^{C}
	Sample I	54.41±11.44^{C}	54.08±15.46^{A}	53.37±15.61^{B}
	Sample J	54.13±9.94^{A}	54.22±14.13^{A}	55.56±16.06^{A}

$^{A-C}$Values (Means±S.D.) with different superscripts in the same row differ significantly (P<0.05).

본 연구에서 사용한 종이 용기는 PLA 재질로 구성되어 있다. PLA 재질은 미생물에 의해 분해[22]가 가능하여 다른 포장용기와 다르게 자원순환이 가능한 장점을 보유하고 있다. 다만, 본 연구에서 확인된 PLA 재질의 표면온도 상승 결과만을 근거로 해당 용기를 전자레인지 조리용 용기로서 우수한 소재라고 단정하기에는 한계가 있다. Wilairat 등[23]은 전자레인지 가열 조건에서 PLA 재질 포장재는 가열시간이 경과할수록 변형과 휘어짐이 관찰되었으며, 특히 수분이 존재하는 조건에서 가수분해로 인한 구조적 열화가 발생할 수 있음을 보고하였다. 또한 Kim 등[24]은 PLA 재질이 고온 조건에서 금속성 불순물이 용출될 가능성이 있다고 보고하며, 전자레인지 조리 환경에서 주의가 필요함을 경고하였다.

이러한 선행연구를 종합해 볼 때, PLA 재질은 특정 조건에서는 비교적 안정적인 온도상승 특성을 보일 수 있으나, 고온 또는 수분이 많은 전자레인지 조리 환경에서는 재질의 구조적 안정성이 충분히 확보되지 않을 가능성이 존재한다. 따라서 PLA 재질을 전자레인지 조리용 용기로 활용하기 위해서는 고온 조건에서의 물성 변화와 가수분해 반응 등을 포함한 추가적인 안전성 검증 연구가 필요하다.

동물성 원료 함량별 표면온도 측정결과

제품별 동물성 원료 함량에 따른 그룹 구분은 Table 4와 같으며, 그룹별 표면온도 측정결과는 Table 5에 나타내었다. 분석대상 제품은 동물성 함량비율을 기준으로 고함량(≥30%), 중간함량(15-29%), 저함량(<15%)의 세 그룹으로 분류하였다. 제품별 동물성 함량은 최소 8.1%부터 최대 44.93%로 비교적 넓게 분포하였다.

일반적인 식품에 대한 분류는 NOVA 식품 분류체계[25,26]에 따라 가공진행 정도를 기준으로 구분되며, 동물성 원료함량을 기준으로 한 분류 체계는 현재까지 명확히 수립되어 있지 않다. 다만 NOVA 분류체계에서 제시한 초가공식품(ultra-processed foods)은 일반적으로 열량 밀도가 높고, 지방함량이 많은 특성을 가진 것으로 보고되고 있어 본 연구에 사용된 핫도그, 치즈볼, 주먹밥 및 만두 제품군은 이런 특성에 부합되는 가공식품이라 판단되어 동물성 원료 함량에 따라 그룹을 구분하였다.

표면온도 분석 결과, 동물성 원료 함량이 낮은 제품군에서 평균 및 최대 표면온도가 유의적으로 높게 나타났으며(P<0.05), 반대로 고함량 제품군에서는 상대적으로 낮은 표면온도 분포를 보였다. 특히 동물성 원료 저함량 그룹에서 가장 높은 최대 표면온도가 측정된 반면, 고함량 그룹에서는 평균 표면온도(41.47±9.47°C)와 최대 표면온도(58.00±9.96°C)가 가장 낮게 나타났다. 저함량 그룹과 고함량 그룹 간 평균 표면온도 및 최대 표면온도 차이는 각각 약 12°C와 13°C로 나타나, 동물성 원료 함량에 따른 가열 특성 차이가 뚜렷하게 나타났다.

일반적으로 전자레인지 조리과정은 식품 내부조직[27] 구조의 변화를 유도하는 것으로 알려져 있다. Park 등[28]의 연구결과에서는 냉동 소고기를 전자레인지로 해동할 경우 표면 경도가 변화되고, 조직 불균형이 증가하는 것으로 보고하였으며, Kum 등[29]의 연구결과에서는 전자레인지 가열과정에서 내부 수분 팽창으로 다공성 구조로 변화할 수 있음을 제시하였다.

이러한 연구결과는 냉동식품의 수분함량, 단백질, 지방 등의 비율과 조직 밀도와 같은 조성 차이가 전자레인지 가열 특성에 직접적인 영향을 끼친다는 이전 연구결과[30]와 일치한다. 또한, 동물성 원료함량이 높은 제품일수록 내부 조직 밀도가 높고 열확산이 제한되어 전자레인지 조리 시 표면부에 비해 심부 가열이 상대적으로 지연되는 특성을 나타냈다는 이전 연구결과[31]와도 부합하고 있다.

종합적으로 볼 때, 냉동식품의 동물성 원료 함량은 전

Table 4. Grouping of frozen HMR products by animal ingredient ratio

Products		Microwave cooking time	Animal ingredient ratio (%)
High animal ingredient group[1)]	Sample A	1 min	36.75
	Sample B	1 min	31.18
	Sample C	1 min	40.15
	Sample G	2 min	44.93
Medium animal ingredient group[2)]	Sample D	50 sec	18.51
	Sample E	40 sec	18.51
	Sample H	2 min	23.89
	Sample J	3 min	16.89
Low animal ingredient group[3)]	Sample F	2 min	8.1
	Sample I	3 min	15.93

[1)] Animal ingredient ratio ≥30% (High animal ingredient group).
[2)] Animal ingredient ratio 15-29% (Medium animal ingredient group).
[3)] Animal ingredient ratio <15% (Low animal ingredient group).

Table 5. Surface temperature (average and maximum) of frozen HMR products according to animal ingredient ratio groups

Treatment	High animal ingredient group	Medium animal ingredient group	Low animal ingredient group
Circle average temperature	41.47±9.47^{C}	47.37±11.67^{B}	53.61±5.26^{A}
Circle max temperature	58.00±9.96^{C}	64.57±14.64^{B}	71.00±5.29^{A}

$^{A-C}$Values (Means±S.D.) with different superscripts in the same row differ significantly (P<0.05).

Table 6. Core temperature (average and maximum) of frozen HMR products according to animal ingredient ratio groups

Treatment	High animal ingredient group	Medium animal ingredient group	Low animal ingredient group
Core temperature	46.79±7.50^{C}	60.83±5.67^{B}	82.25±3.12^{A}

$^{A-C}$Values (Means±S.D.) with different superscripts in the same row differ significantly (P<0.05).

자레인지 조리 과정에서 가열 특성과 표면온도 분포에 유의적인 영향을 미치는 요인으로 작용함을 시사하고 있다. 따라서 전자레인지 조리조건 설정 시 제품의 원료 조성에 따른 가열 특성을 고려한 식품 안전성 평가가 필요하며, 이를 기반으로 한 조리조건 가이드라인 마련이 요구된다.

동물성 원료 함량별 심부온도 측정결과

동물성 원료 함량에 따른 심부온도 측정결과는 Table 6과 같다. 표면온도 측정결과 추세와 유사하게 동물성 원료 함량이 낮은 제품군에서 심부온도가 유의적으로 높게 나타났으며(P<0.05), 반대로 고함량 제품군에서는 상대적으로 낮은 심부온도가 측정되었다. 특히 저함량 그룹과 고함량 그룹 간 평균 심부온도 편차는 약 35°C 이상 크게 발생되어, 동물성 원료함량에 따른 전자레인지 가열 특성 차이가 심부온도에서도 명확하게 확인되었다.

이러한 결과를 종합해 볼 때, 심부온도 도달 여부는 전자레인지 조리 식품의 미생물학적 안전성 확보에 있어 핵심적인 요소로 작용한다. 식품공전[3]에서 제시한 미생물 제어를 위한 가열기준으로 중심부 온도를 63°C 이상에서 30분 이상 유지하거나, 동등한 가열조건을 적용할 것을 제시하고 있다. 또한, 미국 농무부(United States Department of Agriculture, USDA)[32]에서는 전자레인지 조리 시 육류는 71°C, 가금류는 74°C 이상의 심부온도를 유지해야 안전한 섭취가 가능하다고 권고하고 있으며, 영국 식품기준청(Food Standards Agency, FSA)[33] 역시 조리 식품의 안전 기준으로 중심부 70°C에서 2분 이상 또는 이와 상응하는 시간과 온도조건 조합을 권장하고 있다.

일반적으로 식중독을 유발하는 *Salmonella spp., Listeria monocytogenes, Escherichia coli* O157:H7 등의 병원성 미생물은 가열 온도와 시간에 따라 사멸 속도가 달라지며, 65-75°C 범위에서 급격한 사멸이 발생하는 것으로 보고되고 있다[34,35]. 그러나 전자레인지 가열 특성상 식품 내부의 가장 늦게 가열되는 지점(cold spot)에서는 충분한 심부온도에 도달하지 못할 가능성이 존재하며, 이러한 경우 표면온도만을 기준으로 조리완료 여부를 판단할 경우 미생물학적 위해가 잔존할 수 있다.

본 연구 결과를 종합해 볼 때, 냉동식품의 동물성 원료 함량은 전자레인지 조리 시 심부온도 도달 여부에 직접적인 영향을 미치는 주요 요인으로 작용하는 것으로 판단된다. 특히 동물성 원료 함량이 높은 제품군일수록 표면온도 상승에도 불구하고, 심부온도가 상대적으로 낮게 유지되는 경향을 보이며, 이는 표시된 조리 시간만을 기준으로 조리를 완료할 경우 미생물학적 안전성이 충분히 확보되지 않을 가능성이 존재한다.

또한, 전자레인지 조리 식품의 안전성 평가 시 표면온도 또는 외관적 조리 상태만으로는 충분하지 않으며, 제품의 원료조성과 가열 특성에 따른 심부온도 도달 여부를 함께 고려해야 함을 시사한다. 나아가 동물성 원료함량이 높은 냉동식품의 경우, 균일한 가열을 준수하기 위한 조리시간 조절, 조리 후 섭취방법의 보완 등의 개선된 조리지침이 필요할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서 도출된 결과는 전자레인지 조리 냉동식품의 안전성 확보를 위한 과학적 근거를 제공하고, 향후 제품 유형 및 원료 조성에 따른 차별화된 조리조건 설정과 소비자 조리 가이드라인 개선을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 (주)풀무원의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

국문요약

본 연구는 전자레인지 조리방법에 따른 냉동식품의 표면 및 심부온도 변화를 분석하고, 이를 기반으로 미생물학적 안전성 확보 가능성을 검토하여 소비자 조리지침 개선을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다. 2023년 1월부터 2024년 12월까지 국내에서 제조·유통되는 가열섭취 냉동식품(핫도그, 치즈볼, 주먹밥, 만두)을 유형별로 2-3종 이

상 선정하여 -18°C 이하에서 보관 후 실험에 사용하였다. 시료는 종이(내면: polylactide, PLA), 유리, 폴리프로필렌 용기에 담아 가정용 전자레인지(700 W, 2,450 MHz)로 표시사항의 최소 조리시간 조건 하에서 가열하였으며, 표면온도는 열화상 카메라로 5개 지점을 기반으로 분석하고, 심부온도는 섬유광학식 온도로거를 이용해 중심부 온도 변화를 연속 측정하였다. 통계분석은 ANOVA 및 Duncan 사후검정(P<0.05)을 적용하였다. 그 결과, 모든 제품군에서 종이 용기 사용 시 표면온도가 유리 및 폴리프로필렌 대비 유의적으로 높게 나타났으며(P<0.05), 동물성 원료 함량에 따른 그룹 비교에서는 저함량군에서 표면온도와 심부온도가 유의적으로 높고, 고함량군에서 상대적으로 낮은 심부온도를 나타내어 가열 불균일 가능성이 확인되었다(P<0.05). 특히 고함량군은 표면 가열에도 불구하고 심부온도 상승이 지연되는 경향을 보여 전자레인지 가열 특성이 원료조성 및 제품 구조에 의해 좌우됨을 시사하였다. 종합해 볼 때, 냉동식품의 전자레인지 조리 시 표기된 조리 시간만으로는 제품별로 심부온도 도달이 불충분할 수 있으며, 특히 동물성 원료비율이 높은 제품에서 cold spot 발생에 따른 안전성 위험이 잔존할 수 있다. 따라서 전자레인지 조리식품의 안전성 확보를 위해서 제품 조성·형상 및 용기 재질을 반영한 차별화된 조리조건 설정과 균일가열을 유도하는 소비자 조리지침의 개선이 필요하다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Dong Soo Kim https://orcid.org/0009-0003-7247-9508
Se Hun Kim https://orcid.org/0009-0009-7717-6745
Pyeong Won Kim https://orcid.org/0009-0001-5584-9912
Tae Seok Kim https://orcid.org/0009-0008-8994-1128

References

1. Lee, H.J., Market segmentation by level of change in food expenditure per channels since the COVID-19 outbreak:an analysis of consumers in their 20's to 50's. *Korean Soc. Consum. Policy Educ*., **17**, 1-28 (2021).
2. Lee, H.S., Kim, J.H., Analysis of food consumption behavior due to COVID-19: focusing on MZ generation. *J. Digit. Converg*., **19**, 47-54 (2021).
3. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2025, November 1). Korean food code. Retrieved from https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC?searchNm=%EB%83%89%EB%8F%99%EC%8B%9D%ED%92%88&itemCode=FC0A005001002A025
4. Lee, Y.J., Current status and prospects of frozen food distribution. *Korean J. Air-Cond. Refrig. Eng.*, **45**, 26-33 (2016).
5. Kim, J.H., Min, S.G., Choi, M.J., Yoo, S.M., Jo, Y.J., Chun, J.Y., Effect of various freezing and thawing methods on physicochemical characterization of carrot. *Food Eng. Prog*., **19**, 306-312 (2015).
6. Ryu, H.Y., Han, H.N., Kim, Y.J., A domestic and international comparative study on food cold chain. *Korea Logist. Rev*., **32**, 23-39 (2022).
7. Hong, C.H., Sim, W.C., Chun, S.J., Kim, Y.S., Oh, D.H., Ha, S.D., Choi, W.S., Bahk, G.J., Predictive growth model of native isolated *listeria monocytogenes* on raw pork as a function of temperature and time. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **37**, 850-855 (2005).
8. Park, J.Y., Kim, H.Y., Lee, J.O., Chung, S.Y., So, Y.S., Kim, C.M., Oh, S.S., Preliminary acrylamide monitoring of domestic heat-treated food products. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **35**, 748-751 (2003).
9. Gulum, S., A review on microwave baking of foods. *Int. J. Food Sci. Technol*., **36**, 117-127 (2001).
10. Thostenson, E.T., Chou, T.W., Microwave processing: fundamentals and applications. *Compos. Part A: Appl. Sci. Manuf*., **30**, 1055-1071 (1999).
11. Lee, H.S., Cho, A.R., Moon, S.K., Yoon, C.S., Lee, K.T., Investigation on the heating patterns depending on the packaging materials during microwave cooking. *Korean J. Packag. Sci. Tech.,* **21**, 27-34 (2015).
12. Yoon, C.S., Lee, H.S., Pfeiffer T., Cho, A.R., Moon, S.K., Lee, K.T., Comparison of temperature measurements methods to investigate the causes of deformation of packaging materials during microwave heating. *Korean J. Food Preserv*., **23**, 422-431 (2016).
13. Yoon, C.S., Hong, S.I., Cho, A.R., Lee, H.S., Park, H.W., Lee, K.T., Analysis of the causes of deformation of packaging materials used for ready-to-eat foods after microwave heating. *Korean J. Food Sci. Technol*., **47**, 63-69 (2015).
14. Santos, M.V., Zaritzky, N., Califano, A., A control strategy to assure safety conditions in the thermal treatment of meat products using a numerical algorithms. *Food Control*, **21**, 191-197 (2010).
15. Kim, J.G., Kim, J.S., Effect of cooking on the food safety of cutlet - Changes of internal temperature, color, and indicator organisms. *J. Environ. Health Sci*., **41**, 82-89 (2015).
16. Lee, H.A., Ko, Y.E., Lee, D.Y., Yun, K.A., Kim, H.J., Kim, O., Park, J.H., Analysis of the causes of a large food poisoning outbreak attributable to *Bacillus cereus*. *J. Food Hyg. Saf*., **39**, 102-108 (2024).
17. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2025, November 5). Food sanitation act, article 7. Retrieved from https://www.law.go.kr/법령/식품위생법
18. Asakuma, Y., Yakata, R., Hyde, A., Phan, C., Hoang, S.A., Influence of the shape factor on the heating of an aqueous solution by microwave. *Microwave*, **1**, 10 (2025).
19. Gray-Stuart, E.M., Bronlund, J.E., Navaranjan, N., Redding, G.P., Measurement of thermal conductivity of paper and cor-

rugated fibreboard with prediction of thermal performance for design applications. *Cellulose*, **26**, 5695-5705 (2019).
20. Mishra, R.R., Sharma, A.K., Microwave-material interaction phenomena: heating mechanisms, challenges and opportunities in material processing. *Compos. Part A: Appl. Sci. Manuf.*, **81**, 78-97 (2016).
21. Frankiewicz, P., Wollschlaeger, M., The effects of container materials on food microwave heat times. *J. Emerg. Investig.*, **4**, 1-4 (2021).
22. Filiciotto, L., Rothenberg, G., Biodegradable plastics: standards, policies, and impacts. *ChemSusChem*, **14**, 56-72 (2021).
23. Supmak, W., Buchatip, S., Opaprakasit, M., Petchsuk, A., Opaprakasit, P., Star polylactide and its stereocomplex blends with enhanced heat stability triggered by microwave heating for degradable packaging. *Sci. Rep.*, **15**, 17401 (2025).
24. Kim, H.U., Park, S.Y., Jo, Y.E., Park, Y.C., Park, S.J., Kim, M.H., Monitoring of heavy metals migrated from polylactide (PLA) food contact materials in Korea. *J. Food Hyg. Saf.*, **33**, 102-109 (2018).
25. Moubarac, J.C., Parra, D.C., Cannon, G., Monteiro, C.A., Food classification systems based on food processing: significance and implications for policies and actions: a systematic literature review and assessment. *Curr. Obes. Rep.*, **3**, 256-272 (2014).
26. Monteiro, C.A., Cannon, G., Levy, R., Moubarac, J.C., Jaime, P., Martins, A.P., Canella, D., Louzada, M., Rarra, D., NOVA. The star shines bright: food classification. *World Nutr.*, **7**, 28-38 (2016).
27. Deng, X., Huang, H., Huang, S., Yang, M., Wu, J., Ci, Z., He, Y., Wu, Z., Han, L., Zhang, D., Insight into the incredible effects of microwave heating: driving changes in the structure, properties and functions of macromolecular nutrients in novel food. *Front. Nutr.*, **9**, 941527 (2022).
28. Park, M.H., Kim, M., Effects of thawing conditions on the physicochemical and microbiological quality of thawed beef. *Prev. Nutr. Food Sci.*, **29**, 80-86 (2024).
29. Kum, J.S., Park, K.J., Lee, C.H., Kim, Y.H., Changes in saponin composition and microstructure of ginseng by microwave vacuum drying. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **31**, 427-432 (1999).
30. Datta, A.K., Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. I: Problem formulations. *J. Food Eng.*, **80**, 80-95 (2007).
31. Pathare, P.B., Roskilly, A.P., Quality and energy evaluation in meat cooking. *Food Eng. Rev.*, **8**, 435-447 (2016).
32. United States Department of Agriculture Food Safety and Inspection Service (USDA FSIS), (2025, December 23). Cooking with microwave ovens. Retrieved from https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/food-safety-basics/cooking-microwave-ovens
33. Food Standards Agency, (2025, December 23). Cooking your food. Retrieved from https://www.food.gov.uk/safety-hygiene/cooking-your-food
34. Murphy, R.Y., Martin, E.M., Duncan, L.K., Beard, B.L., Marcy, J.A., Thermal process validation for *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* in ground turkey and beef products. *J. Food Prot.*, **67**, 1394-1402 (2004).
35. Osaili, T., Griffis, C.L., Martin, E.M., Beard, B.L., Keener, A.J., Marcy, J.A., Thermal inactivation studies of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat chicken-fried beef patties. *J. Food Prot.*, **69**, 1080-1086 (2006).