

ENGINEERING

# Analysis of the electrical properties of pork to discriminate between fresh and frozen/thawed pork

Jun-Hwi So<sup>1</sup>, Seon Ho Hwang<sup>1</sup>, Sung Yong Joe<sup>2</sup>, Seung Hyun Lee<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

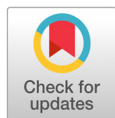
<sup>2</sup>Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

\*Corresponding author: seunglee2@cnu.ac.kr

## Abstract

The thawing process is usually essential for imported pork because this product is typically distributed frozen. Consumers prefer fresh pork because discoloration, nutrient spills, and microbial contamination are high during the thawing process. The illegal act of selling frozen pork by disguising it as fresh pork through various methods can occur for the benefit of the difference in the sales price. However, there is some difficulty in securing systematic and objective data, as sensory tests are generally performed on imported pork. In the experiment conducted here, the electrical conductivity and dielectric properties of pork neck and pork belly products were measured. The amounts of change before and after freezing were compared through a statistical analysis, and a new method for determining frozen meat was proposed based on the analysis results. The weight was reduced compared to that before freezing due to the outflow of drips from the thawing process, but there was no difference in the drip loss level due to the thawing method. Vacuum packaging was found to lead to more drip loss than regular packaging, but the difference was not statistically significant. Frozen pork neck meat can be determined by measuring the electrical conductivity in the lean parts and the dielectric characteristic in the fatty parts. Frozen pork belly is determined by measuring the dielectric constant of the part closest to the outer fat layer.

**Keywords:** dielectric properties, electrical conductivity, frozen pork, pork determination



**OPEN ACCESS**

**Citation:** So JH, Hwang SH, Joe SY, Lee SH. Analysis of the electrical properties of pork to discriminate between fresh and frozen/thawed pork. Korean Journal of Agricultural Science 48:739-752. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20210062>

**Received:** August 11, 2021

**Revised:** October 01, 2021

**Accepted:** October 05, 2021

**Copyright:** © 2021 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## Introduction

우리나라는 1970년대 급속한 경제성장으로 국민 소득이 향상되어 국민 식생활이 서구화, 고급화되면서 주식이었던 쌀과 함께 채소의 비중이 높았던 우리나라 전통 식생활에서 육류의 비중이 상당히 높아졌다(Seo et al., 2008; Lee and Cho, 2012). 육류 중 돼지고기는 포화 지방산 함량이 다른 육류에 비해 높아 성인병의 원인이 되기도 하지만, 비타민 B1과 필수 아미노산 함량이 높아 훌륭한 영양 공급원으로 섭취되고 있다. 또한 돼지고기는 조직이 부드럽고, 맛이 좋고, 비교적 값이 싸기 때문에 국내에서 가장 많이 섭취된다(Yang and Ko, 2010; Kim et

al., 2013). 돼지고기 소비가 증가함에 따라 시장이 활성화되어 FTA 무역협정으로 인한 해외 시장 개방 이후 매년 수입량은 증가하여 수입산의 국내 유통 비율이 증가하였다(Ahn et al., 2009; Park, 2016; Kim, 2017; Moon et al., 2018; Lee et al., 2019). 일반적으로 수입산 돼지고기는 미생물의 성장과 품질 저하 방지를 위하여 냉동 상태로 유통된다(Choe et al., 2018). 그러므로 수입산 돼지고기는 해동 과정이 필수적이며, 해동으로 인한 변색, 영양소 유출 및 미생물에 의한 오염 가능성이 높아 소비자는 국내산 냉장 돼지고기를 선호하는 경향이 있다(Yun et al., 1998; Kang et al., 2007; Kim et al., 2014). 그렇기 때문에 냉동 여부 및 가축 질병 발생 등 돈육의 품질은 소비자들의 돈육 구매 의사 결정에 큰 영향을 주게 된다. 따라서 국내에서는 돼지고기 유통의 투명성 및 안전성 확보를 위해 이력제, 원산지 표시 등의 제도를 시행하고 있다(Lee et al., 2005; 2007; 2012). 그러나 수입산과 국내산 돈육의 판매가격 차이, 냉장 돼지고기를 선호하는 소비자들의 심리를 이용하여 냉동 돼지고기를 다양한 해동 방법을 통해 생고기와 비슷하게 보이게 만들어 판매 및 유통하는 불법행위가 성행하고 있다. 국립농산물품질관리원에 의하면 돼지고기는 2016과 2017년에 원산지 표시 위반 품목 중 1위를, 2018년과 2019년에는 2위를 기록한 것으로 조사되었다(NAQS, 2020, P.3). 이처럼 불법 행위를 통한 수입산 돼지고기의 판매가 계속 이루어질 경우 소비자들의 국내 유통 돼지고기에 대한 신뢰 하락과 더불어 수요 감소로 나타날 수 있다. 아직까지 수입산 돼지고기에 대한 검사방법으로는 일반적으로 표본 조사가 이루어지고 있어 체계적이고 객관적인 데이터 확보에 어려움이 있다. 또한, 과학적으로 규명할 수 있는 분석기구나 기술이 부족하여 관능 검사에만 의존하고 있기 때문에 더욱 고도화되고 있는 불법행위를 적발하는데 한계가 있다.

최근 국립농산물품질관리원에서 쇠고기에 대하여 육질의 차이에 따른 DNA 동일성 검사를 통해 국산과 수입산 고기를 판별하는 연구를 진행하였으며, 유기 성분 및 무기 성분의 함량 차이를 활용하여 이화학적 분석기술을 기반으로 한 돼지고기 판별 기술을 개발하였다(NAQS, 2014, P.1). 하지만 돼지는 통상 전 세계적으로 육성하는 품종이 동일하기 때문에 유전자 분석만으로 수입산 냉동 돼지고기를 판별하기에는 어려움이 있을 것으로 예상된다. 전기적 특성은 물질이 가지고 있는 고유한 성질 중 하나이며, 다양한 분야에서 전기적 특성을 활용한 판별 및 분석 등이 이루어지고 있다(Hlaváčová, 2018). 특히 열에 민감하거나 비파괴적으로 품질을 구명해야 하는 식품 분야에서 전기적 특성을 활용하는 연구가 많아지고 있다(Wei et al., 2017; Sun et al., 2018; Huh et al., 2021). 식품의 전기적 특성은 크게 전기전도도와 복소 유전율로 구분할 수 있다(Jha et al., 2011). 대부분의 식품에는 소금 및 산과 같이 전해질 역할을 수행하는 이온성 물질이 포함되어 있기 때문에 전기를 가하게 되면 식품내부에서 전류가 흐르게 된다. 전기전도도는 식품에 전류가 흐르는 정도를 나타내며 온도, 수분함량, 재료의 성분 및 구조에 의해 영향을 받는다(Halden et al., 1990; Castro et al., 2003). 복소 유전율은 식품과 같은 유전체가 전자계 내에 있을 때 에너지의 상호작용을 나타내며, 식품의 구성성분, 함수율, 주파수 및 형상에 의해 크게 변화한다(Nelson and Bartley Jr, 2000; Sosa-Morales et al., 2010). 유전 특성을 측정하는 방법으로는 coaxial probe 방법, transmission line 방법, free space 방법, resonant cavity 방법이 있으며, 식품의 복소 유전율은 주로 coaxial probe 방법으로 측정하고 있다(Nelson, 1991; Hong et al., 1996; Sosa-Morales et al., 2010). 해외에서는 복소 유전율을 통한 돼지고기 품질 구명 및 첨가된 수분함량 측정과 육류 분류 기술에 관한 연구 등이 진행된 바 있다(Kent et al., 2002; Ngadi et al., 2015; Abidin et al., 2016). 하지만 아직까지 국내의 돼지고기 품질 검사에 관한 연구로는 성분 분석, 물리적 특성 측정, 관능 평가 등을 통한 품질 특성 연구가 주를 이루고 있으며, 전기적 특성을 활용한 연구 및 기술 개발은 미비한 실정이다(Moon et al., 2001; Cho et al., 2007; Bae et al., 2018).

본 연구에서는 자체 제작된 전기전도도 측정 시스템과 Vector Network Analyzer를 사용하여 냉장 상태와 해동 조건에 따른 돼지고기의 전기전도도 및 복소 유전율을 측정하였으며, 측정된 돼지고기의 전기적 특성 변화를 활용하여 기존 검사 방법들을 대체 할 수 있는 과학적이고 객관적인 검사결과를 바탕으로 한 새로운 냉동육 판별 방법을 제시하고자 하였다.

## Material and Methods

### 시료 준비

돼지고기의 전기적 특성 구명을 위해 냉동되지 않은 일반 돼지고기 목살 및 삼겹살을 대전 유성구 소재의 정육점에서 구입하였다. 삼겹살과 목살은 1.5 cm 두께로 절단되었으며, 각 부위의 지방은 따로 제거되지 않았다. 구매 즉시 무게를 측정하고, 측정 후 Fig. 1과 같이 근육 조직 및 지방 비율에 따라 삼겹살은 4영역, 목살은 3영역으로 구분하여 전기적 특성을 측정하였다. 전기적 특성 측정이 완료된 돼지고기는 가정용 진공 포장기(MEVS-6610W, Magic Chef Korea, Yongin, Korea)를 사용하여 진공 포장 후 약  $-30^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 냉동시켰다. 냉동된 돼지고기는 약  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 상온과 약  $4^{\circ}\text{C}$ 의 냉장상태에서 해동되었으며, 각 해동 방법 및 측정 부위에 따라 전기적 특성을 측정하여 분석하였다.

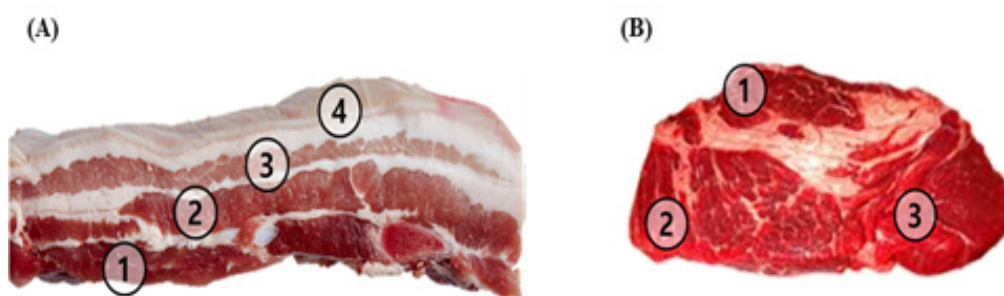


Fig. 1. Electrical characteristic measurement points for each meat part. (A) Pork belly. (B) Pork neck.

### 전기전도도 측정 장치

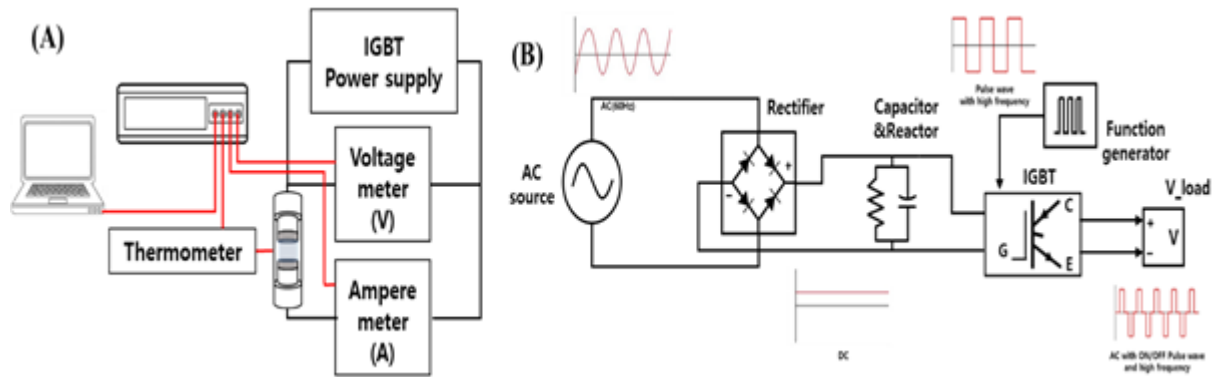
돼지고기의 전기전도도는 부위에 따른 측정 영역별로 직경 2 cm 및 길이  $1.0 \pm 0.2$  cm의 원통 형태로 절단된 후, 직경 2 cm, 높이 1 cm로 제작된 측정 cell (Teflon, Polytetrafluoroethylene)에 삽입되어 일정한 조건에서 측정되었다. 시료의 초기 내부 온도는  $22^{\circ}\text{C}$ 에서  $26^{\circ}\text{C}$ 까지로 차이가 크게 나타났으며, 이에 따라  $30^{\circ}\text{C}$ 의 전기전도도를 초기 기준 값으로 정하였다. 또한 전기전도도 측정 중 시료가 일정 온도 이상 도달하게 되면 시료에 흐르는 전류가 급속하게 증가하게 되고 증가한 전류에 의해 내부 온도가 빠르게 증가하였다. 돼지고기의 급속한 온도변화는 단백질 변성을 야기하였으며, 이는 일정 온도 이상에서 해동 방법에 상관없이 동일한 전기전도도 값을 나타내었다. 따라서 해동 방법에 따른 전기전도도 차이를 분석하기 위해  $60^{\circ}\text{C}$ 까지 측정된 전기전도도 값을 비교하였다.

전기전도도를 측정하기 위한 장치는 Fig. 2의 (A)와 같이 구성되어 있으며, 자체 제작된 insulated gate bipolar transistor power supply와 function generator (33220A0, Agilent technologies, Santa Clara, CA, USA), Variac (3KVA, Han Chang Transformer, Busan, Korea)으로 이루어져있다. IGBT Power supply는 Fig. 2의 (B)에서 보이는 바와 같이 조정 가능한 전압(최대 150 V 및 15 A), 주파수(최대 20 kHz) 및 듀티 사이클을 갖춘 펄스 구형 파형을 제공 할 수 있게 설계되었으며, 교류전압을 rectifier를 통해 DC전압으로 바꾸어 준 뒤, 이를 IGBT에 인가하였으며, IGBT에 인가된 전압을 function generator를 통해 사용자의 요구에 맞게 주파수 및 duty cycle을 조작하여 저항체에 출력될 수 있도록 설계되었다.

본 실험에서는 냉동 돼지고기와 냉장 돼지고기의 전기적 특성 차이 분석을 위해 function generator를 이용하여 고정 duty cycle (50%) 및 주파수(15 kHz)를 인가하였으며, 40 V의 전압이 공급되었다. 측정 cell 양 끝에 전극 판(SUS 304)을 설치하여 시료에 전류가 흐를 수 있도록 하였고, 시료의 중심 온도를 측정하기 위해 측정 cell 중앙에 Thermocouple (K-type, Omega Engineering Inc., Norwalk, CT, USA)를 연결하였다. 공급되는 전압은 differential probe (PR-60, BK Precision, Yorba Linda, CA, USA)으로 측정되었고, 시료에 흐르는 전류는 Wideband Current Monitor (169820, Pearson Electronics, Palo Alto, CA, USA)로 측정하였다. 온도(°C)와 처리 전압(V)과 전류(A) 데이터는 PC가 연결된 Data logger (34970A, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)로 수집하였다. 수집된 데이터는 아래의 방정식을 이용하여 전기전도도를 계산하였다.

$$\sigma = \frac{LI}{AV} \tag{1}$$

$\sigma$ 는 시료의 전기전도도( $S \cdot m^{-1}$ )이며, A는 오믹히터의 내부 단면적( $m^2$ ), L은 전극 사이의 간격(m), V는 전극 사이에 인가되는 전압(V), I는 시료를 통과하는 전류(A)를 나타낸다(Castro et al., 2004).



**Fig. 2.** (A) Electrical conductivity measurement system (B) insulated gate bipolar transistor power supply configuration. AC, alternating current; G, gate; C, collector; E, emitter.

### 유전 특성 측정 장치

유전 특성은 다음과 같이 실수부와 허수부로 표현된다(Nelson and Bartley Jr, 2000).

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \tag{2}$$

실수부( $\epsilon'$ )는 유전 상수로서 유전체가 전기에너지를 저장하는 능력을 의미하며, 허수부인 유전 손실 계수( $\epsilon''$ )는 유전체 내에서 전기에너지의 손실, 즉 변환되는 열을 의미한다.  $j$ 는  $\sqrt{-1}$ 을 나타낸다(Wang et al., 2003). 유전 특성은 상온(22 - 24°C) 및 대기압(1 atm) 조건에서, 해동 방법에 관계없이 시료 내부온도가 4°C에 도달하였을 때 측정하였다. 측정 부위는 Fig. 1과 같이 목살 3영역, 삼겹살 4영역으로 구분하여 수행하였다.

Fig. 3은 돼지고기 유전 특성 측정을 위해 구성된 유전 특성 측정 장치이다. 유전율 프로브(85070E Performance Probe, Keysight Technologies Co., Santa Rosa, CA, USA)와 회로망분석기(Vector Network Analyzer [VNA] N9923A, Keysight Technologies Co., Santa Rosa, CA, USA)로 구성되었다. Network Analyzer는 무선(Radio Frequency/Microwave) 회로소자의 동작 파라미터를 측정하여 분석하는 장치이다. 단일기기 내 주파수발생원(source) 및 주파수분석(Spectrum Analyzer) 장치가 내장되어 있으며, 2 MHz부터 6 GHz까지의 범위에서 입사파, 반사파, 투과파를 모두 관

찰하며 Radio Frequency 및 Micro-wave 진폭 및 위상 등을 측정할 수 있다. 본 실험에서는 유전 특성 측정을 위해 coaxial probe방법을 사용하였으며 측정 프로브로는 500 MHz - 50 GHz의 측정 주파수 대역을 가진 Keysight사의 85070E Dielectric Probe (Performance probe)를 사용하였다. Performance 프로브를 Network Analyzer와 연결하여 유전체의 입력단 반사계수를 측정하였으며, Keysight사에서 제공하는 85070E software를 이용하여 복소 유전율을 계산하였다. 네트워크 분석기를 1시간이상 안정화하고, calibration 유효성 확인을 위해 주기적으로 공기와 물의 유전 특성을 측정하며 실험을 진행하였다.

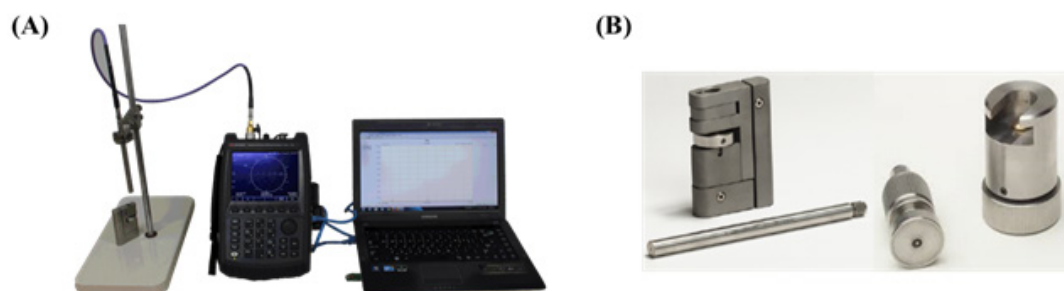


Fig. 3. (A) Dielectric properties measurement device (B) performance probe.

### Drip loss 측정

냉동육 해동 시 일부 육색소 및 영양소가 식품에 흡수되지 못하고 외부로 흘러나오는 현상을 drip loss 라 부르며 (Kang et al., 2008), 이 현상은 돼지고기의 근섬유 파괴 및 단백질의 변형을 일으킨다(Leygonie et al., 2012). 본 실험에서는 돼지고기의 냉동 및 해동 방법에 따른 drip loss (육즙 손실)를 측정하였다. 생고기 상태에서 삼겹살과 목살의 무게를 측정하고 -30°C에서 24시간 냉동시킨 후 냉동된 돼지고기를 상온 및 냉장 조건에서 해동하였다. 돼지고기의 표면 온도가 0°C에 도달하였을 때, 표면의 수분을 제거한 무게를 정밀 저울(PAG2102C, Ohaus, Parsippany, NJ, USA)을 사용하여 측정하였다. 해동 시 발생하는 drip loss는 다음과 같은 방정식을 사용하여 계산하였다.

$$\text{Drip loss} = \frac{\text{Raw meat weight (g)} - \text{Thawed meat weight (g)}}{\text{Raw meat weight (g)}} \quad (1)$$

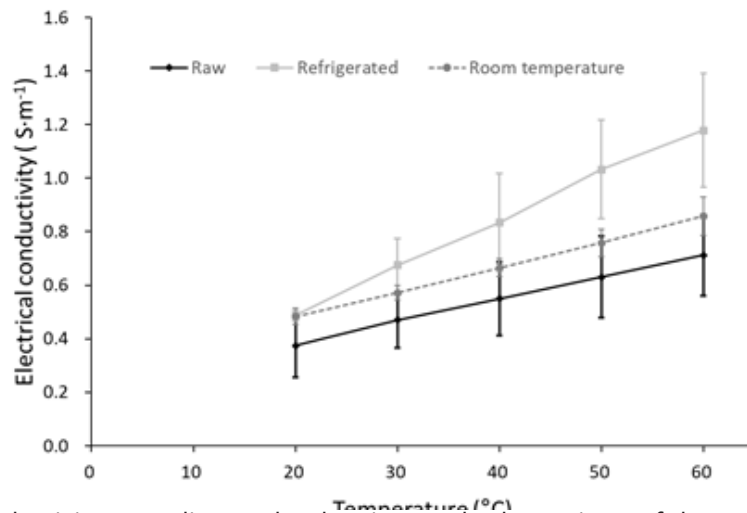
### 통계 분석

IBM SPSS Statistics 26.0 소프트웨어(SPSS Inc., Chicago, NY, USA)를 사용하여 측정된 돼지고기의 전기적 특성을 비교 분석하였다. 계산된 drip loss는 Mann-Whitney U test를 통해 분석하였다. 전기전도도 및 유전 특성은 일원배치 분산분석(ANOVA)을 통하여 분석되었으며, 시료 간의 유의성 검정을 위해 Turkey's HSD 다중 비교 검정을 수행하였다. 평균값의 차이는  $p < 0.05$ 에서 유의한 것으로 정의하였다.

## Results and Discussion

### 해동 방법에 따른 전기전도도 특성

돼지고기의 저장 상태 및 해동 방법에 따른 전기전도도를 Table 1에 나타내었다. 측정된 전기전도도는 온도가 올라감에 따라 선형적으로 증가하였는데, 이는 전기전도도는 온도에 비례하는 성질을 가지고 있기 때문인 것으로 나타났다(Cevik and Icier, 2018). 생고기 상태 목살 부위의 전기전도도는 1번 영역에서  $0.47 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ , 2번 영역에서  $0.55 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ , 3번 영역에서  $0.64 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 각 측정 영역마다 약  $0.1 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 차이가 나타났지만 통계적으로는 유의하지 않았다( $p > 0.05$ ). 생고기 상태 삼겹살의 전기전도도는 1번 영역에서  $0.65 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ , 2번 영역에서  $0.55 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ , 3번 영역에서  $0.68 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ , 4번 영역에서  $0.56 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ 이 측정되었으며, 목살과 마찬가지로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 해동된 삼겹살의 전기전도도는 모든 측정 영역에서  $30^\circ\text{C}$ 의 경우  $0.55 - 0.7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $60^\circ\text{C}$ 의 경우 약  $0.88 - 1.14 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 해동 조건에 따른 유의한 차이가 나타나지 않았다. 하지만 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 해동된 목살 1번 영역에서 냉장 해동 방법의 전기전도도는 생고기 및 상온 해동 방법의 전기전도도와 큰 차이를 나타내었으며, 3번 영역의 전기전도도 분석결과 생고기와 상온 해동 상태가 확연히 구별 가능하였다.



**Fig. 4.** Electrical conductivity according to the thawing method at point 1 of the pork neck. Values are expressed as the mean  $\pm$  standard deviation. Raw, raw meat; Refrigerated, refrigerated thawed meat ( $4^\circ\text{C}$ ); Room temperature, room temperature thawed meat ( $25^\circ\text{C}$ ).

### 해동 방법에 따른 유전 특성

500 MHz에서 3 GHz의 주파수 범위에서 측정된 돼지고기 목살 및 삼겹살의 유전 상수 및 유전 손실 계수를 Table 2 부터 Table 5에 걸쳐 나타내었다. Table 2는 목살의 유전 상수를 나타내며, 1번과 2번 측정 영역에서는 주파수가 증가할수록 유전 상수가 감소하였지만 모든 주파수 범위에서 생고기와 해동육의 차이는 유의하지 않았다( $p > 0.05$ ). 하지만 목살 3번 영역에서 2.5 GHz 이후 생고기와 상온 해동 방법 사이에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. Table 3은 목살의 유전 손실 계수를 나타낸다. 유전 상수 결과와 마찬가지로 1번과 2번 측정 영역에서는 모든 측정 조건에서 유전 손실 계수가 유의한 차이를 나타내지 않았지만, Fig. 5에 나타난 것과 같이 3번 영역에서 1.25 GHz이하 일 때 생고기는 해동 방법에 관계없이 냉동 전과 냉동되었던 상태가 확연히 구분 가능 하였으며, 1.5 GHz 이후의 유전 손실 계수는 상온 해동된 돼지고기를 정확하게 판별할 수 있었다. 목살의 유전 특성은 전기전도도와 비슷한 결과를 보

여주었다. Table 4는 삼겹살의 유전 상수를 나타내며, Table 5는 삼겹살의 유전 손실 계수를 나타낸다. 삼겹살 1번 영역의 경우 모든 측정 조건 및 측정 주파수에서 유전 상수와 유전 손실 계수의 유의적인 차이가 없었다. 2번 영역에서는 2.5 GHz 이후 해동 방법에 따라 유전 손실 계수의 차이가 유의적으로 증가하였다. 3번 영역의 경우 2.25 GHz 이후의 유전 상수 및 유전 손실 계수 모두에서 사용된 해동 방법이 무엇인지 구분 지을 수 있었으며, 4번 영역에서 1.25 GHz 이하의 유전 상수 차이를 사용하여 상온 해동된 돼지고기를 판별할 수 있었다.

**Table 1.** Electrical conductivity according to sample type and thawing method at measure point.

Sample	Measure point	Temperature (°C)	Electrical conductivity (S·m <sup>-1</sup> )		
			Raw	CT <sup>y</sup>	RT <sup>z</sup>
Pork neck	1	30	0.47 ± 0.10a	0.67 ± 0.10b	0.57 ± 0.03ab
		60	0.71 ± 0.15a	1.18 ± 0.21b	0.86 ± 0.07a
	2 <sup>NS</sup>	30	0.55 ± 0.16	0.61 ± 0.02	0.64 ± 0.08
		60	0.90 ± 0.36	0.94 ± 0.06	0.92 ± 0.14
	3	30 <sup>NS</sup>	0.64 ± 0.05	0.61 ± 0.03	0.60 ± 0.06
		60	1.00 ± 0.07a	0.92 ± 0.04ab	0.87 ± 0.06b
Pork belly <sup>NS</sup>	1	30	0.65 ± 1.32	0.70 ± 0.04	0.62 ± 0.11
		60	0.93 ± 0.10	1.14 ± 0.08	0.89 ± 0.18
	2	30	0.55 ± 0.28	0.67 ± 0.07	0.69 ± 0.12
		60	0.88 ± 0.52	1.11 ± 0.12	1.01 ± 0.22
	3	30	0.68 ± 0.09	0.68 ± 0.10	0.65 ± 0.02
		60	1.00 ± 0.11	1.01 ± 0.11	0.94 ± 0.01
	4	30	0.56 ± 0.06	0.67 ± 0.10	0.64 ± 0.11
		60	1.04 ± 0.32	1.09 ± 0.27	0.91 ± 0.15

<sup>y</sup> Refrigerated thawed meat (4°C).

<sup>z</sup> Room temperature thawed meat (25°C).

a, b: Mean within row unlike superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ).

<sup>NS</sup> No significant.

**Table 2.** Dielectric constant of pork neck according to thawing method and measure point.

Frequency (GHz)	Dielectric constant								
	1 <sup>x NS</sup>			2 <sup>NS</sup>			3		
	Raw	CT <sup>y</sup>	RT <sup>z</sup>	Raw	CT	RT	Raw	CT	RT
0.5	62.83 ± 1.92	61.59 ± 0.96	61.41 ± 2.24	61.33 ± 3.18	61.22 ± 1.79	60.29 ± 4.40	61.95 ± 2.74	59.68 ± 1.75	59.49 ± 3.86
0.75	62.33 ± 2.22	61.24 ± 2.32	59.96 ± 2.59	61.02 ± 3.28	60.88 ± 0.76	58.81 ± 4.75	61.62 ± 2.44	59.25 ± 1.36	57.97 ± 4.19
1	59.75 ± 1.85	58.63 ± 0.83	58.26 ± 2.31	58.31 ± 3.15	58.33 ± 1.70	57.08 ± 4.39	58.76 ± 2.60	56.66 ± 1.56	56.22 ± 3.75
1.25	59.77 ± 2.02	58.76 ± 1.90	57.60 ± 2.56	58.49 ± 3.17	58.47 ± 0.52	56.39 ± 4.65	58.98 ± 2.35	56.77 ± 1.19	55.54 ± 4.01
1.5	58.08 ± 1.84	57.04 ± 0.95	56.52 ± 2.35	56.75 ± 3.11	56.78 ± 1.26	55.27 ± 4.39	57.20 ± 2.40	55.07 ± 1.22	54.44 ± 3.71
1.75	57.78 ± 1.93	56.78 ± 1.48	55.95 ± 2.45	56.48 ± 3.09	56.51 ± 0.64	54.67 ± 4.49	56.92 ± 2.26	54.77 ± 1.01	53.87 ± 3.82
2	56.88 ± 1.88	55.74 ± 1.14	55.15 ± 2.36	55.56 ± 2.98	55.39 ± 0.98	53.87 ± 4.33	55.88 ± 2.24	53.65 ± 0.99	53.03 ± 3.69
2.25	56.00 ± 1.87	55.05 ± 1.12	54.42 ± 2.33	54.70 ± 2.82	54.60 ± 0.91	53.23 ± 4.26	55.15 ± 2.32	52.95 ± 0.95	52.24 ± 3.61
2.5	55.64 ± 1.88	54.56 ± 1.25	53.72 ± 2.29	54.41 ± 2.85	54.12 ± 0.65	52.58 ± 4.19	54.68 ± 2.17a	52.49 ± 0.92ab	51.47 ± 3.54b
2.75	54.32 ± 1.82	53.28 ± 0.80	52.94 ± 2.08	53.19 ± 2.73	53.01 ± 1.46	51.83 ± 3.98	53.40 ± 2.29	51.42 ± 1.33	50.73 ± 3.29
3	54.46 ± 1.83	53.25 ± 1.11	52.48 ± 2.18	53.41 ± 2.82	53.01 ± 0.87	51.38 ± 4.11	53.61 ± 2.23a	51.46 ± 1.13ab	50.31 ± 3.46b

<sup>x</sup> Measure point of sample.

<sup>y</sup> Refrigerated thawed meat (4°C).

<sup>z</sup> Room temperature thawed meat (25°C).

<sup>NS</sup> No significant.

a, b: Mean within same point and row unlike superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ).

**Table 3.** Dielectric loss factor of pork neck according to thawing method and measure point.

Frequency (GHz)	Dielectric constant								
	1 <sup>xNS</sup>			2 <sup>NS</sup>			3		
	Raw	CT <sup>y</sup>	RT <sup>z</sup>	Raw	CT	RT	Raw	CT	RT
0.5	32.54±1.75	30.55±1.80	32.01±1.07	32.27±2.12	31.00±1.53	31.02±2.05	33.49±1.50a	30.82±0.85b	31.14±1.90b
0.75	25.98±1.79	24.58±2.43	24.81±0.89	25.76±1.89	24.84±1.32	24.18±1.69	26.75±1.25a	24.69±0.82b	24.25±1.71b
1	22.40±1.33	21.35±1.83	21.42±0.76	22.21±1.51	21.48±0.92	20.97±1.40	22.95±1.00a	21.29±0.52b	20.99±1.46b
1.25	20.08±0.82	19.36±0.85	19.59±0.66	19.81±1.18	19.48±0.55	19.26±1.21	20.47±0.85a	19.28±0.32b	19.23±1.25b
1.5	20.18±1.37	19.49±2.00	18.94±0.78	20.01±1.55	19.56±1.19	18.68±1.34	20.64±1.05a	19.31±1.03ab	18.62±1.39b
1.75	18.62±0.59	18.12±0.40	18.33±0.67	18.36±1.08	18.27±0.64	18.07±1.08	18.85±0.86a	17.98±0.62ab	18.06±1.06b
2	19.79±1.40	19.27±1.92	18.55±0.86	19.56±1.63	19.41±1.14	18.23±1.29	20.07±1.11a	19.02±1.07ab	18.29±1.34b
2.25	18.72±0.58	18.42±0.59	18.44±0.80	18.32±1.16	18.49±0.72	18.12±1.05	18.87±0.88a	18.06±0.61ab	18.20±1.09b
2.5	19.95±1.24	19.75±1.92	18.80±0.91	19.53±1.46	19.62±0.93	18.51±1.24	20.04±0.96a	19.17±1.04ab	18.47±1.31b
2.75	19.29±0.61	19.27±0.72	18.86±0.75	18.87±1.00	19.11±0.62	18.63±0.98	19.20±0.80a	18.61±0.51ab	18.45±0.97b
3	20.30±0.89	20.28±1.28	19.21±0.64	20.00±1.20	20.13±0.76	19.01±1.01	20.28±0.79 a	19.55±0.75b	18.76±1.03b

<sup>x</sup> Measure point of sample.

<sup>y</sup> Refrigerated thawed meat (4°C).

<sup>z</sup> Room temperature thawed meat (25°C).

<sup>NS</sup> No significant.

a, b: Mean within same point and row unlike superscripts are significantly different (p < 0.05).

**Table 4.** Dielectric constant of pork belly according to thawing method and measure point.

Frequency (GHz)	Dielectric constant											
	1 <sup>xNS</sup>			2 <sup>NS</sup>			3			4		
	Raw	CT <sup>y</sup>	RT <sup>z</sup>	Raw	CT	RT	Raw	CT	RT	Raw	CT	RT
0.5	63.52±2.17	63.13±1.10	62.38±3.99	64.35±2.74	64.92±1.48	62.86±2.68	63.74±1.57ab	64.62±0.60a	61.21±3.39b	61.50±3.88	61.71±1.11	56.32±6.16
0.75	63.22±3.03	62.56±1.98	61.03±4.40	64.30±3.15	64.74±1.42	61.40±3.05	63.64±2.36a	64.09±2.25a	59.77±3.74b	61.54±5.02a	61.25±1.56ab	55.03±6.29b
1	60.31±2.08	59.89±1.02	59.00±3.9	61.25±2.58	61.60±1.40	59.67±2.57	60.54±1.50ab	61.45±0.52a	58.01±3.27b	58.45±3.84	58.72±1.13	53.35±5.96
1.25	60.5±2.69	59.87±1.57	58.49±4.19	61.52±2.94	61.93±1.16	59.02±2.90	60.89±2.10a	61.42±1.77a	57.37±3.56b	58.95±4.69a	58.77±1.20ab	52.82±6.08b
1.5	58.67±2.12	58.09±0.92	57.18±3.86	59.60±2.67	59.85±1.21	57.91±2.59	58.95±1.54a	59.65±0.68a	56.23±3.23b	57.03±3.99	57.08±0.96	51.75±5.83
1.75	58.38±2.35	57.73±1.13	56.67±3.94	59.4±2.70	59.61±1.00	57.33±2.70	58.73±1.81a	59.27±1.16a	55.66±3.32b	56.87±4.30	56.77±0.90	51.28±5.83
2	57.36±2.18	56.58±0.88	55.77±3.85	58.38±2.55	58.22±1.12	56.54±2.52	57.72±1.67a	58.16±0.76a	54.87±3.20b	55.91±4.06	55.67±0.93	50.56±5.76
2.25	56.49±2.08	55.81±0.89	55.04±3.82	57.46±2.34	57.32±1.00	55.83±2.34	56.93±1.54a	57.42±0.78a	54.24±3.12b	55.13±3.91	55.00±0.90	50.01±5.70
2.5	56.26±2.40	55.30±1.00	54.34±3.83	57.28±2.43	56.81±0.94	55.14±2.23	56.72±1.87a	56.90±1.04a	53.62±3.11b	54.95±4.27	54.50±0.86	49.43±5.63
2.75	54.91±1.78	54.07±1.05	53.43±3.56	55.81±2.17	55.49±1.63	54.36±1.91	55.23±1.42a	55.64±0.72a	52.89±2.84b	53.44±3.65	53.34±1.34	48.74±5.45
3	55.16±2.31	53.89±1.10	53.11±3.69	56.17±2.47	55.49±1.13	53.92±2.11	55.61±1.86a	55.46±0.77a	52.47±3.00b	53.81±4.27	53.15±1.03	48.36±5.52

<sup>x</sup> Measure point of sample.

<sup>y</sup> Refrigerated thawed meat (4°C).

<sup>z</sup> Room temperature thawed meat (25°C).

<sup>NS</sup> No significant.

a, b: Mean within a same point and row unlike superscripts are significantly different (p < 0.05).



**Table 5.** Dielectric loss factor of pork belly according to thawing method and measure point.

Frequency (GHz)	Dielectric constant											
	1 <sup>x NS</sup>			2 <sup>NS</sup>			3			4		
	Raw	CT <sup>y</sup>	RT <sup>z</sup>	Raw	CT	RT	Raw	CT	RT	Raw	CT	RT
0.5	32.74±1.91	32.90±2.08	30.67±0.96	32.74±1.91	32.90±2.08	30.67±0.96	32.53±1.80	31.97±3.29	33.13±2.31	31.88±2.45	31.70±2.01	32.58±1.98
0.75	26.36±1.98	25.75±1.82	24.83±1.66	26.36±1.98	25.75±1.82	24.83±1.66	25.23±1.67	26.15±1.46	26.40±1.94	24.77±2.07	25.52±1.46	26.00±1.92
1	22.75±1.57	22.26±1.61	21.74±1.34	22.75±1.57	22.26±1.61	21.74±1.34	21.82±1.43	22.85±0.99	22.83±1.56	21.43±1.73	22.33±1.19	22.52±1.54
1.25	20.29±1.07	20.26±1.36	19.88±0.69	20.29±1.07	20.26±1.36	19.88±0.69	19.97±1.16	20.76±0.78	20.58±1.06	19.61±1.41	20.39±0.62	20.32±1.00
1.5	20.60±1.71	19.68±1.63	20.06±1.76	20.60±1.71	19.68±1.63	20.06±1.76	19.34±1.42	21.22±1.42	20.65±1.74	19.00±1.61	20.55±1.77	20.40±1.74
1.75	18.79±0.83	18.77±1.31	18.85±0.51	18.79±0.83	18.77±1.31	18.85±0.51	18.70±1.13	19.69±0.62	19.18±0.95	18.33±1.24	19.29±0.44	18.92±0.84
2	20.15±1.63	19.12±1.59	19.98±1.70	20.15±1.63	19.12±1.59	19.98±1.70	18.93±1.50	21.20±1.39	20.31±1.78	18.54±1.51	20.39±1.85	20.00±1.74
2.25	18.80±0.75	18.80±1.31	19.16±0.54	18.80±0.75	18.80±1.31	19.16±0.54	18.84±1.26ab	20.02±0.63a	19.31±1.05b	18.40±1.21	19.60±0.55	19.03±0.90
2.5	20.24±1.44	19.28±1.52	20.39±1.49	20.24±1.44ab	19.28±1.52a	20.39±1.49b	19.22±1.38ab	21.44±1.42a	20.44±1.59b	18.80±1.39	20.86±1.82	20.19±1.63
2.75	19.40±0.87	19.05±1.30	20.09±0.59	19.40±0.87ab	19.05±1.30a	20.09±0.59b	19.28±0.99ab	20.88±0.31a	19.91±0.96b	18.86±1.13	20.57±0.85	19.75±1.09
3	20.55±1.17	19.42±1.27	21.23±1.27	20.55±1.17ab	19.42±1.27a	21.23±1.27b	19.64±0.88ab	22.31±1.16a	20.91±1.35b	19.24±1.10	21.71±1.72	20.72±1.57

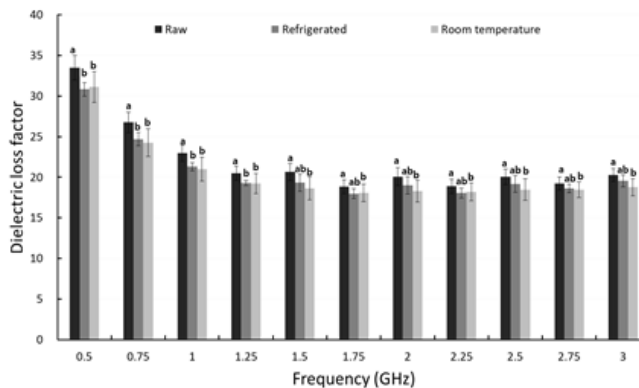
<sup>x</sup> Measure point of sample.

<sup>y</sup> Refrigerated thawed meat (4°C).

<sup>z</sup> Room temperature thawed meat (25°C).

<sup>NS</sup> No significant.

a, b: Mean within a same point and row unlike superscripts are significantly different (p < 0.05).



**Fig. 5.** Dielectric loss factor at point 3 of pork neck according to frequency. Values are expressed as the mean ± standard deviation. a, b: Different letters above each bar graph are significantly different (p < 0.05). Raw, raw meat; Refrigerated, refrigerated thawed meat (4°C); Room temperature, room temperature thawed meat (25°C).

### 돼지고기의 drip loss

냉동 전 돈육의 무게 대비 유출된 육즙의 양을 Table 6에 나타내었다. 목살의 경우 냉동 전 110 - 140 g의 무게가 측정되었고, 삼겹살은 160 - 200 g이 측정되었다. Ko와 Yang (2001) 및 Lee 등(1999)은 drip loss는 짧은(약 7일이하) 기간에서는 진공 포장된 돈육이 일반 포장된 돈육보다 drip loss가 높았다고 보고하였다. 목살의 경우 진공 포장된 돈육에서는 약 3.4%, 일반 포장된 돈육은 약 1.9%의 drip loss가 발생하였고, 삼겹살은 진공 포장한 경우 약 1.9%, 일반 포장의 경우 1.8%로 나타났으며, 목살 및 삼겹살 모두 진공 포장인 더 많은 Drip loss를 나타냈지만, 통계적으로는 유의하지 않았다(p > 0.05). 또한 해동 방법에 따른 drip loss는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Ku 등(2014)은 해동 방법에 따른 drip loss 차이는 크지 않다고 보고하였다. Kang 등(2008) 및 Mortensen 등(2006)에 따르면 초기의 냉동 온도는 drip loss에 큰 영향을 미친다고 보고하였다. 즉, drip loss의 양이 적고, 해동 방법 및 포장 방법에 따라 큰 차이가 없는 것은 시료에 대하여 동일한 냉동 방법과 짧은 저장 기간 때문인 것으로 판단된다.

**Table 6.** Drip loss before refrigeration and after freezing according to thawing and packing method.

Sample	Thawing method	Mean drip loss (%)	
		Vacuum <sup>y</sup>	Plastic <sup>z</sup>
Pork neck	CT <sup>w</sup>	3.55 ± 1.49a	1.83 ± 0.24a
	RT <sup>x</sup>	3.29 ± 2.53a	1.96 ± 0.04a
Pork belly	CT	1.92 ± 0.73b	1.72 ± 0.08b
	RT	1.92 ± 0.53b	1.86 ± 0.09b

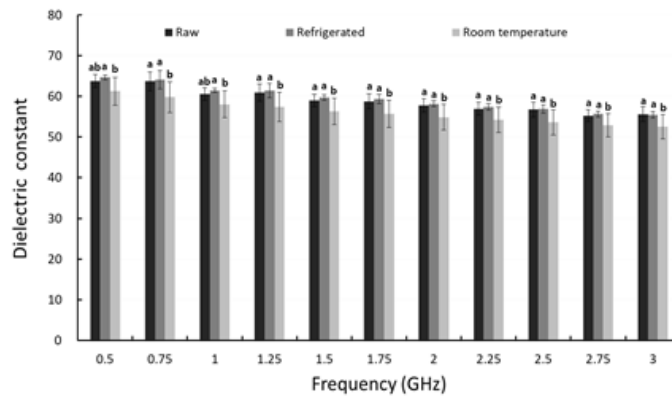
<sup>w</sup> Refrigerated thawed meat (4°C).

<sup>x</sup> Room temperature thawed meat (25°C).

<sup>y</sup> Vacuum packaging method.

<sup>z</sup> Plastic packaging method.

a, b: Mean with same superscripts in the same sample are not different ( $p > 0.05$ ).



**Fig. 6.** Dielectric constant at point 3 of pork belly according to frequency. Values are expressed as the mean ± standard deviation. a, b: Different letters above each bar graph are significantly different ( $p < 0.05$ ). Raw, raw meat; Refrigerated, refrigerated thawed meat (4°C); Room temperature, room temperature thawed meat (25°C).

## Conclusion

냉동된 돼지고기를 해동할 경우 해동 과정에서 발생하는 drip loss로 인하여 냉동 전보다 무게가 감소하였으나, 해동 방법에 따른 drip loss 차이는 나타나지 않았다. 진공 포장의 경우 일반 포장보다 많은 drip loss가 측정되었지만 통계적으로는 유의하지 않았다. 돼지고기의 전기적 특성은 지방 및 근육의 비율, 밀도, 수분함량에 따라 다르게 나타나는데, 그 중 유전 특성은 수분 함량에 크게 영향을 받는다. 본 실험에서는 구분된 영역별로 drip loss의 수분 함량의 차이가 발생하였으며, 이로 인해 전기적 특성이 다르게 나타난 것으로 판단된다. 돼지고기의 전기전도도는 온도에 따라 선형적으로 증가하였다. 목살의 경우 1번 영역에서 0.1 S·m<sup>-1</sup>부터 0.4 S·m<sup>-1</sup>까지 냉동 전과 해동 후의 전기전도도 차이가 크게 나타났다. 하지만, 삼겹살에서는 모든 측정 영역 및 측정 조건에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 목살의 유전 특성 분석결과, 지방이 많은 3번 영역에서 유전 손실 계수의 차이가 높게 나타났으며 1.25 GHz 이하의 유전 손실 계수를 비교하였을 때 생고기와 해동된 고기의 판별이 가능하였다. 삼겹살의 경우 Fig. 6에서 보는 것과 같이 3번 영역에서 가장 큰 유전 상수의 차이가 나타났으며, 모든 측정 주파수 범위에서 해동 방법에 따라 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 특히 1.25 GHz 이후의 유전 상수를 비교하였을 때, 상온 해동과 냉장 해동의 정확한 구분이 가능하였다. 결과적으로 목살의 경우 살코기가 많은 부분에서는 전기전도도를 측정하고 지방이 많은 부분에서는 유전 특성을 측정함으로써 통해 냉동육 판별이 가능할 것으로 판단되며, 삼겹살의 경우에는 바깥 지방층과 가까운 부분의 유전율을 측정함으로써 냉동육 판별이 가능할 것으로 판단된다.

## Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## Acknowledgements

본 연구는 충남대학교 연구장려장학금에 의해 지원되었음.

## Authors Information

Jun-Hwi So, <https://orcid.org/0000-0001-9479-6000>

Seon Ho Hwang, <https://orcid.org/0000-0002-0736-0370>

Sung Yong Joe, <https://orcid.org/0000-0002-8482-9777>

Seung Hyun Lee, <https://orcid.org/0000-0002-2096-3053>

## References

- Abidin ZZ, Omar FN, Biak DRA, Man YC. 2016. Alternative for rapid detection and screening of pork, chicken, and beef using dielectric properties in the frequency of 0.5 to 50 GHz. *International Journal of Food Properties* 19:1127-1138.
- Ahn BI, Jo YD, Jo BY. 2009. Analysis of the impacts of korea-US FTA on the pork market in Korea. *Journal of Agriculture & Life Science* 43:55-64. [in Korean]
- Bae IK, Kim KJ, Choi JS, Jung JH, Choi YI. 2018. Comparison of quality characteristics of pork loin among domestic purebred Pigs. *Bullein of Animal Biotechnology* 10:13-18. [in Korean]
- Castro I, Teixeira JA, Salengke S, Sastry SK, Vicente AA. 2003. The influence of field strength, sugar and solid content on electrical conductivity of strawberry products. *Journal of Food Process Engineering* 26:17-29.
- Castro I, Teixeira JA, Salengke S, Sastry SK, Vicente AA. 2004. Ohmic heating of strawberry products: Electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5:27-36.
- Cevik M, Icier F. 2018. Effects of voltage gradient and fat content on changes of electrical conductivity of frozen minced beef meat during ohmic thawing. *Journal of Food Process Engineering* 41:1-13.
- Cho SH, Park BY, Kim JH, Kim MJ, Seong PN, Kim YJ, Kim DH. 2007. Carcass yields and meat quality by live weight of Korean native black pigs. *Journal of Animal Science and Technology* 49:523-530. [in Korean]
- Choe JH, Kim KT, Lee HJ, Oh JM, Park HC, Park BJ, Choi YI, Jo CR. 2018. Storage stability of dry-aged beef: The effects of the packaging method and storage temperature. *Korean Journal of Agricultural Science* 45:211-218.
- Halden K, De Alwis AAP, Fryer PJ. 1990. Changes in the electrical conductivity of foods during ohmic heating. *International Journal of Food Science & Technology* 25:9-25.
- Hlaváčová Z. 2018. Low frequency electric properties utilization in agriculture and food treatment. *Research in Agricultural Engineering* 49:125-136.
- Hong SI, Lee BY, Park DJ, Oh SY. 1996. Dielectric properties of fresh ginseng determined by an open-ended coaxial probe technique. *Korean Journal of Food Science and Technology* 28:470-474. [in Korean]
- Huh SI, Kim HJ, Lee SA, Cho JW, Jang AR, Bae JS. 2021. Utilization of electrical impedance spectroscopy and image classification for non-invasive early assessment of meat freshness. *Sensors* 21:1001.

- Jha SN, Narsaiah K, Basediya AL, Sharma R, Jaiswal P, Kumar R, Bhardwaj R. 2011. Measurement techniques and application of electrical properties for nondestructive quality evaluation of foods-a review. *Journal of Food Science and Technology* 48:387-411.
- Kang BS, Kim DH, Lee OS. 2008. A study on the changes of pork quality by freezing and thawing methods. *Culinary Society of Korea* 14:286-292. [in Korean]
- Kang MJ, Lee JY, Shin JH, Choi SY, Lee SJ, Yang SM, Sung NJ. 2007. Feeding effects of houttuynia cordata thunb powder on the quality property of pork loin at chilled storage. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 36:222-227. [in Korean]
- Kent M, Peymann A, Gabriel C, Knight A. 2002. Determination of added water in pork products using microwave dielectric spectroscopy. *Food Control* 13:143-149.
- Kim CB, Yang CJ, Shim KH, Jung HS, Choi OJ. 2013. Feeding effects of zeolite on the Qquality property of pork loin. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 42:2028-2034. [in Korean]
- Kim GW, Kim MJ, Ok YS, Kim HY. 2014. Analysis of consumer preferences for branded and imported pork. *Journal of The Korean Society of Food Culture* 29:342-347.
- Kim WT. 2017. Examination of factor affecting change in demand for meat using almost ideal demand system model. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy* 44:389-409. [in Korean]
- Ko MS, Yang JB. 2001. Effects of wrap and vacuum packaging on shelf life of chilled pork. *Korean Journal of Food and Nutrition* 14:255-262. [in Korean]
- Ku SK, Jeong JY, Park JD, Jeon KH, Kim EM, Kim YB. 2014. Quality evaluation of pork with various freezing and thawing methods. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 34:597-603.
- Lee DH, Kim WH, Cho YG, Weon DH, Irvine LB, Irvine LB, Seo KS. 2019. Estimation of genetic parameters for meat quality traits and correlation sensory traits and meat quality traits in purebred duroc pigs. *Annals of Animal Resource Sciences* 30:145-155. [in Korean]
- Lee GI, Jeon SG, Kim SH, Jo SH. 2012. Analysis of the social welfare impact of the labeling of the country of origin of agricultural and livestock products. *Journal of Rural Development* 35:49-67. [in Korean]
- Lee GS, Yoon T, You CY, Kang KS. 2007. A study on establishment and application of domestic livestock tracking system. *Journal of the Korea Safety Management & Science* 9:235-256. [in Korean]
- Lee JW, Yook HS, Kim SA, Sohn CB, Byun MW. 1999. Effect of gamma irradiation on the physicochemical properties of pork loin. *Korean Journal of Food Science and Technology* 31:705-711. [in Korean]
- Lee KJ, Cho MS. 2012. Transition of Korean meat consumption and consumption trends after modern Times - Focused on beef and pork -. *Journal of the Koran Society of Food Culture* 27:422-433. [in Korean]
- Lee SG, Song WI, Hong YS, Park MH, Im HJ, So HG, Lee HG, Choi KD, Jeon GJ. 2005. Production history management system for tracking and managing the origin of domestic livestock products. *Korean Society for Food Science of Animal Resources* 2005:274-277. [in Korean]
- Leygonie C, Britz TJ, Hoffman LC. 2012. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Science* 91:93-98.
- Moon HP, Jeon HJ, Yoon JY, Lee HY, Park JW, Lim CH, Han BH. 2018. US-China trade dispute and major agricultural and livestock products (soybean, pork) supply and demand outlook. *Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea.* [in Korean]
- Moon YH, Kim YK, Jung IC. 2001. Effect of aging time and cooking temperature on physicochemical and sensory characteristics of pork neck. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 30:70-74. [in Korean]
- Mortensen M, Andersen HJ, Engelsen SB, Bertram HC. 2006. Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities. *Meat Science* 72:34-42.
- NAQS (National Agricultural Products Quality Management Service). 2014. Development of a new identity test method for beef traceability. NAQS, Gimcheon, Korea. [in Korean]
- NAQS(National Agricultural Products Quality Management Service). 2020. Development of an on-site inspection kit for pork origin using antibody analysis. p. 55. NAQS, Gimcheon, Korea. [in Korean]

- Nelson SO. 1991. Dielectric properties of agricultural products. *IEEE transactions on Electrical Insulation* 26:845-869.
- Nelson SO, Bartley Jr PG. 2000. Measuring frequency and temperature-dependent dielectric properties of food materials. *Transactions of the ASAE* 43:1733-1736.
- Ngadi M, Dev SRS, Raghavan VGS, Kazemi S. 2015. Dielectric properties of pork muscle. *International Journal of Food Properties* 18:12-20.
- Park HZ. 2016. A study on the consumption pattern of meat in Korea. *Local community issues and discourse* 15:119-133. [in Korean]
- Seo SH, Lee EJ, Kim JW. 2018. A study on the changes of dietary life in Korea and overseas. *The Journal of Korea Elementary Education* 19:31-55. [in Korean]
- Sosa-Morales ME, Valerio-Junco L, López-Malo A, García HS. 2010. Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st century and their potential applications. *LWT-Food Science and Technology* 43:1169-1179.
- Sun J, Zhang R, Zhang Y, Liang Q, Li G, Yang N, Xu P, Guo J. 2018. Classifying fish freshness according to the relationship between EIS parameters and spoilage stages. *Journal of Food Engineering* 219:101-110.
- Wang Y, Wig TD, Tang J, Hallberg LM. 2003. Dielectric properties of foods relevant to RF and microwave pasteurization and sterilization. *Journal of Food Engineering* 57:257-268.
- Wei R, Wang P, Han M, Chen T, Xu X, Zhou G. 2017. Effect of freezing on electrical properties and quality of thawed chicken breast meat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 30:569-575.
- Yang JB, Ko MS. 2010. Physicochemical changes in pork boston butts by different cooking methods. *Korean Journal of Food Preservation* 17:351-357. [in Korean]
- Yun CG, Lee DH, Park JY. 1998. Ohmic thawing of a frozen meat chunk. *Korean Journal of Food Science and Technology* 30:842-847. [in Korean]