

## 감마선조사 천연케이싱의 사용이 소시지의 제조적성에 미치는 영향

조철훈 · 이주운 · 육홍선 · 김동호 · 변명우<sup>†</sup>

한국원자력연구소 방사선식품 · 생명공학기술개발팀

### Quality Properties of Sausage Prepared with Gamma-Irradiated Natural Casing

Cheorun Jo, Ju Woon Lee, Hong Sun Yook, Dong Ho Kim and Myung-Woo Byun<sup>†</sup>

Team for Radiation Food Science and Biotechnology,  
Korea Atomic Energy Research Institute, Taejeon 305-353, Korea

#### Abstract

Quality changes in sausage stuffed into irradiated natural pork and lamb intestine were studied. Total aerobic bacteria of the sausage prepared with irradiated natural pork and lamb casing were significantly lower than those of nonirradiated casing and the  $D_{10}$  value of those sausages were 1.71 and 1.58 kGy, respectively. The sausages in pork intestine, vacuum-packaged and stored in a 4°C refrigerator showed negligible change in the 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value during storage except for 10-day when the TBARS value was higher than other storage days. Total working force for shear value of the sausages were lower with both irradiated casings but sensory evaluation showed no difference between treatments. As a result, the gamma irradiation was effective for sanitizing the natural pork and lamb casings, thereby preparing high quality sausages.

**Key words:** gamma irradiation, natural casing, sanitation, quality

#### 서 론

소시지는 고대로부터 천연장(natural intestine)인 돼지의 위나 소장, 대장과 방광 그리고 소의 소장과 맹장, 직장 등에 충전하여 사용되어 왔다. 그러나 제품의 대량생산 기술의 발달로 인해 지금은 돼지나 면양의 소장 점막을 가공한 천연장 케이싱을 비롯하여 동물의 젤라틴을 사용한 천연장과 비슷한 강도를 가지면서 규격이 일정하고 가식성과 통기성을 갖도록 만든 콜라겐케이싱, 그리고 식물섬유를 이용한 cellulose 또는 fibrous케이싱도 많이 쓰이고 있다(1). 그러나 식생활 고급화에 따른 천연식품의 요구 증가로 인해 천연장소시지의 수요도 점차 증가되고 있으며 차별화된 시장을 형성하고 있다.

천연장으로 만든 casing은 주로 염을 첨가하고 건조하여 소시지를 충전하는데 쓰이고 있으나 병원성 미생물에 오염되기 쉬워 유통시 좋은 위생상태를 유지하기가 어렵다. 천연장에 존재하거나 외부로부터 오염되는 미생물은 피할 수 없을 뿐만 아니라 가공중에 비위생적인 취급과 높은 저장온도 등으로 인하여 필연적으로 오염미생물의 양은 증가하게 된다. 이러한 미생물의 오염을 줄이기 위하여 실시되는 고농도의 염첨가와 건조를 통한 수분함량의 감소는 미생물의 확실

한 사멸을 보장하지 못함은 물론 소비자의 기호와도 멀어지게 된다.

천연장의 미생물학적 관점에서의 품질향상은 Gabis와 Silliker(2)가 acetic acid나 sodium hydroxide로 pH를 조절 한 소금물로 *Salmonella*를 사멸시키는 것을 시점으로 lactic acid, tartaric acid 또는 citric acid, hydrogen peroxide 및 ethanol 등의 화학물질을 단독으로 또는 혼합하여 미생물 수를 줄이는 연구들이 진행되어왔다. 그러나 이러한 화학물질들은 잔류독성의 문제나 케이싱에 견고성이나 신축성과 같은 물리적 성질을 저하시키는 문제를 야기하여 그 적용이 국한되고 있다(3). 화학물질의 사용을 대체하기 위해 60°C의 물에 둔장을 살균하는 기술이 제기되었으나 이 또한 널리 사용되지 않는 실정이다(4).

식품에 대한 방사선 조사는 대장균 O157:H7, 살모넬라 등과 같은 식중독균으로부터 야기되는 식중독을 방지할 수 있는 적절한 식품처리기술이다(5). 이 기술은 국제기구(FAO/WHO/IAEA)와 선진 여러 나라에서 이미 그 건전성과 경제성이 공인되어 각국 보건당국에 의해 허가되어 이용되고 있으며(6), 미국 FDA와 USDA의 식육에 방사선 처리 허가를 기점으로 세계적으로 그 이용이 증가될 것으로 예상된다. 그러나 방사선을 이용하여 천연케이싱을 위생화하는 연구는 거

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: mwbyun@kaeri.re.kr  
Phone: 82-42-868-8060, Fax: 82-42-868-8043

의 이루어지지 않은 실정으로, 본 연구에서는 보다 위생적이고 고품질의 소시지를 제조하기 위하여 천연 돈장 및 양장 케이싱을 감마선 조사하여 소시지를 제조하고 저장기간에 따른 품질변화를 관찰하였다.

## 재료 및 방법

### 시료 및 감마선 조사

천연 돈장 및 양장은 Woosung, Co. Ltd.(Seoul)에서 구입하였으며 돈장과 양장의 직경은 각각 2.2 cm와 1.2 cm였다. 돈장과 양장은 증류수를 이용하여 깨끗하게 세척한 후 polyethylene 포장지에 포장하여 한국원자력연구소의 선원 100,000 Ci, Co-60 감마선 조사시설(AECL, IR-79, Nordion International Co. Ltd., Canada)을 이용하여 조사하였다. 감마선 조사는 실온에서 분당 70 Gy의 선량률로 각각 0, 3, 그리고 5 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter를 사용하였고 총 흡수선량의 오차는  $\pm 0.2$  Gy였다. 감마선 조사된 천연 돈장 및 양장은 유탄형 소시지를 제조할 때 케이싱으로 이용하였다.

### 유탄형 소시지의 제조

유탄형 소시지는 Table 1과 같은 배합비로 제조하였다. 육육을 세절기(Silent Cutter, C-75, Fatosa, Barcelona, Spain)에 넣고 낮은 속도로 혼합하면서 소금과 인산염을 첨가하고 1분간 혼합세절한 다음 준비된 얼음의 50%를 첨가하고 고속으로 세절을 실시하였다. 세절기의 온도가 1~2°C 정도까지 내려갔을 때 분쇄한 돼지 등지방을 첨가하고 세절기의 온도가 10°C에 도달했을 때 나머지 얼음을 첨가하여 계속 세절하면서 설탕, monosodium glutamate(MSG), 아스콜빈산, 복합항산화제를 첨가하고 세절기 내부의 온도가 13°C에 도달했을 때 유탄을 종결시켰다. 이때 소요된 시간은 약 10분 정도이고 작업장의 온도는 16°C였다. 고기유탄물을 감마선 조사된 천연 돈장 및 양장 케이싱에 충전한 후 각각의 무게를 측정하는 다음, 물의 온도가 85°C로 고정된 수조에서 제품의 중심 온도가 70°C가 될 때까지 가열처리를 실시하였다. 가열에 소요된 시간은 돈장소시지는 약 30분, 양장소시지는 약 15분이었다. 가열 처리가 끝난 제품에 찬물로 분무하여 냉각시키면서 표면의 수분을 건조시켰다. 건조가 끝난 제품은 진공

포장기(Leepack, 한국전자공업, 부천)를 이용하여 진공포장하고 4°C 냉장고에서 저장하면서 5일 간격으로 실험을 실시하였다.

### 조직감 측정

제조된 소시지의 조직감은 Smulders 등(7)의 방법에 의해 texture analyzer(TA-XT2i, Stable Micro Systems, England)를 사용하여 total working force for shear값을 측정된 peak의 면적을 계산하여 측정하였다. 두께 5.0 cm로 소시지를 가로로 절단한 후 6.8 cm 길이의 shear knife와 Warner-Bratzler blade, blade holder, slotted blade insert로 구성된 blade set을 장착하고 pretest speed가 2.0 mm/sec, test speed가 5.0 mm/sec, post speed가 5.0 mm/sec, 이동거리가 30.0 mm, 시간이 10초, 단위는 N/mm·sec로 프로그램하여 감마선 조사 직후의 전단력을 동심원방향으로 측정하였다. 모든 측정은 8회 반복한 후 평균값으로 나타내었다.

### 총미생물수

Dymysza 등(8)의 방법을 변형하여 미생물 검사를 실시하였다. 무균적으로 10 g의 분석시료를 취한 후 미리 준비된 멸균 생리식염수에  $10^{-4}$ 까지 희석하고 일반평판배지(plate count agar)에 접종한 후 37°C에서 24~36시간 배양한 다음 생성된 균락의 수를 시료 1 g당 균락형성단위(CFU/g)로 나타내었다. 미생물 검사는 시료를 4°C에서 저장 30일째까지 실시하였다.

### 지방산패도

지방산패도는 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)법을 spectrophotometer(UV-1601PC, Shimadzu, Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 Ahn 등(9)의 방법으로 측정하였다. 즉 시료 5 g을 시험관(50 mL)에 취하여 실험 진행과정 중 지방산화를 중지시키기 위하여 50  $\mu$ L의 BHA(7.2% in ethanol)를 넣은 후 homogenizer(DIAX 900, Heidolph, Co., Ltd., Germany)로 균질화시켰다. 균질물 1 mL를 취하여 15 mL 시험관에 넣고 TBA/TCA 용액(20 mM TBA in 15% TCA) 2 mL를 넣은 후 혼합하고 끓는물에서 15분간 가열하였다. 그 후 10분간 냉수에 냉각한 후 다시 혼합하고 원심분리기(UNION 5KR, Hanil Science Industrial, Co., Ltd., Inchun, Korea)를 이용하여 2,000 rpm에서 15분간 원심분리하였다. 원심분리된 상층액 1 mL를 취하여 532 nm에서 흡광도를 측정 후 검량선을 이용하여 malondialdehyde의 농도를 구하였으며 mg malondialdehyde/kg meat(wet basis)으로 표시하였다.

### 관능검사

4°C에서 4일간 저장된 소시지의 관능평가는 Civile와 Szczesniak(10)의 방법을 사용하여 실시하였다. 관능평가원은 육제품 관능평가를 4번 이상 경험한 연구원들로 구성되었으며, 5점 평가 평점은 관능평가원의 기호도가 1, 매우 나쁨;

Table 1. Formula for emulsion-type sausage

Materials	Composition (%)
Pork	60
Pork back fat	20
Iced water	20
NaCl <sup>1)</sup>	1.5
Phosphate <sup>1)</sup>	0.2
Ascorbic acid <sup>1)</sup>	0.01
Spice mix <sup>1)</sup>	0.5

<sup>1)</sup>Contents of additives were calculated as percentage to sum of meat and water.

2, 나쁨; 3, 보통; 4, 좋음; 5, 아주 좋음으로 나타내었다. 향미, 색, 조직감 및 종합적 기호도를 측정하였다.

**통계분석**

실험설계는 우선적으로 천연케이싱에 감마선 조사의 효과를 보도록 설계되었다. 3회의 반복실험을 하였으며 SAS software(11)를 이용하여 분산분석을 하였다. Student-Newman-Keul's(SNK) 다중검정법을 이용하여 각 평균값에 대한 유의차를 조사하였고 유의수준은 5% 이내로 하였다. 각 실험치의 평균값과 표준오차(standard errors of the mean)를 보고하였다.

**결과 및 고찰**

**총미생물수**

감마선 조사된 양장 및 돈장을 이용하여 제조된 소시지의 총균수는 Fig. 1과 같다. Ayres(12)는 총미생물수가  $10^7/cm^2$ 에 이를 경우 식육의 표면에 불쾌취가 발생하며  $10^8/cm^2$ 가 넘을 경우 식육으로부터 진액이 형성된다고 하였다. 따라서, 총미생물수가  $10^7/cm^2$ 을 일반적인 저장기간의 한계로 본다면 감마선 비조사구의 경우 돈장이나 양장을 케이싱으로 사용한 소시지에서 모두 최대 10일의 저장기간을 갖는다. 감마선 조사된 케이싱으로 만든 소시지는 미생물수의 현저한 감소효과와 더불어 그 저장기간이 5 kGy의 경우 최대 20일 이상까지 연장되었다. 계산된  $D_{10}$ 값의 경우 돈장소시지는 1.71 kGy, 양장소시지는 1.58 kGy를 나타내었다. Trigo와 Fraqueza(4)는 돼지의 소장과 대장으로부터 얻은 돈장케이싱만을 조사한 결과  $D_{10}$ 값을 1.54와 1.65 kGy를 얻었다. 저장기간에 따른 돈장과 양장케이싱으로 제조한 소시지의 총미생물수는 비슷한 양상으로 증가하였다. 염지육제품 제조시나 유통형 소시지 제조시 그 초기 미생물수가  $10^2$  단위 이하인데 반하여(13)

천연케이싱을 이용하여 제조한 소시지는 가열 후에도  $10^3$  단위 이상의 미생물수를 나타내어 천연케이싱의 초기오염도가 제품 생산 후에도 현저히 영향을 준다고 판단된다. Byun 등(14)에 의하면 감마선 조사된 햄의 총균수가 저장 20일째에 3 kGy 감마선 조사구에서 4 log cycle의 감소를 보였고, 5 kGy의 경우 미생물이 발견되지 않았던 것에 비추어 본 실험 결과는 초기오염에 의해 감마선 조사효과에도 영향을 받았다고 할 수 있다. 이러한 이유는 천연케이싱의 위생화에 초점을 맞추어 감마선 조사를 케이싱에만 국한하여 시행하였고, 소시지 제조시 사용된 돈육은 감마선을 조사하지 않은 시중 유통 돈육을 사용하였기 때문에 사용된 돈육이나 등지방, 향신료 등의 미생물오염도 크기 때문이라고 생각된다.

**지방산패도**

감마선 조사된 돈장 및 양장 케이싱으로 제조된 소시지의 지방산패도는 저장 20일까지 5일 간격으로 측정하였으며, 그 결과는 Table 2에 나타내었다. 돈장 케이싱으로 제조된 소시지의 감마선 조사 영향은 저장 10일째에 감마선 조사구가 비조사구에 비해 높은 TBARS값을 나타내었으나 그 외에는 영향을 받지 않았다. 이는 감마선 조사가 케이싱에만 국한되었고 많은 부분이 감마선 조사와 영향이 없는 돈육이었기 때문으로 판단된다. 저장기간도 감마선 조사된 돈장소시지의 경우 10일째가 0 또는 5일자의 TBARS값보다 높게 나타났으나 10일째를 제외한 나머지 저장기간은 전체적으로 유의적인 차이가 없었다( $p < 0.05$ ). 일반적으로 합기포장의 경우 지방 및 콜레스테롤 산화가 촉진되며(15), 더욱이 감마선은 지방산화를 가속시킨다(13,14). 본 실험의 경우 감마선 조사된 케이싱을 제조한 후 진공포장하여 산소의 존재가 차단됨으로써 지방산패가 더 이상 일어나지 않았던 것으로 사료된다. 신선육이나 소시지를 이용한 연구들(16-18)에서는 진공포장이나 가스치환포장한 경우 방사선을 조사한 경우에도 지방

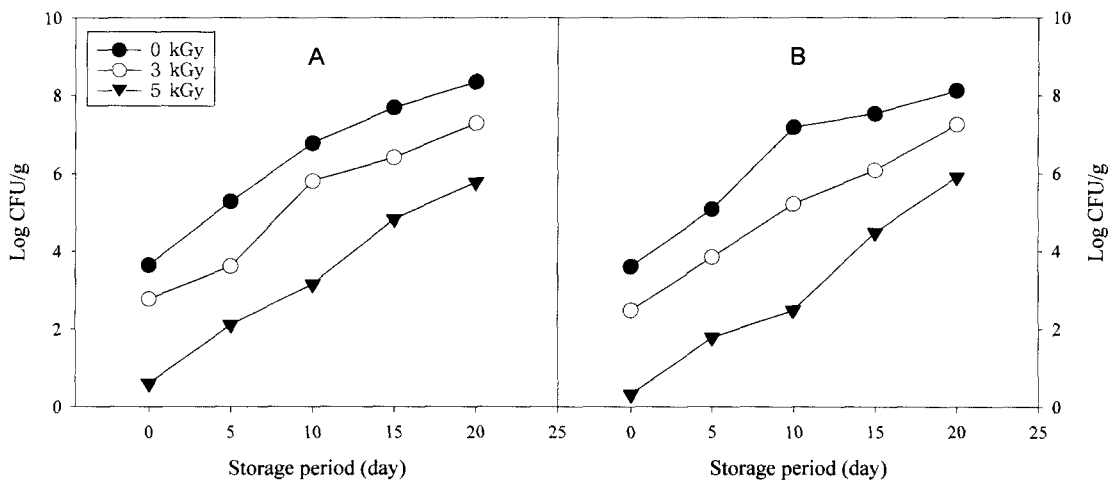


Fig. 1. Number of total bacterial count (log CFU/g) of sausage stuffed with irradiated natural pork (A) and lamb (B) casing at 4°C.

**Table 2. TBARS value (mg malondialdehyde/kg meat) of sausage stuffed with irradiated natural casings during storage at 4°C**

Casing	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)					SEM <sup>3)</sup>
		0	5	10	15	20	
Pork	0	0.84	0.99	0.93 <sup>y</sup>	0.92	0.89	0.04
	3	0.85 <sup>b1)</sup>	0.87 <sup>b</sup>	1.03 <sup>ax2)</sup>	0.93 <sup>ab</sup>	0.93 <sup>ab</sup>	0.03
	5	0.81 <sup>b</sup>	0.85 <sup>b</sup>	1.01 <sup>ax</sup>	0.92 <sup>ab</sup>	0.92 <sup>ab</sup>	0.03
	SEM	0.03	0.04	0.02	0.04	0.04	
Lamb	0	0.84 <sup>a</sup>	0.72 <sup>by</sup>	0.94 <sup>a</sup>	0.89 <sup>a</sup>	0.98 <sup>a</sup>	0.03
	3	0.82	0.87 <sup>x</sup>	0.87	0.93	0.90	0.03
	5	0.79	0.90 <sup>x</sup>	0.97	0.93	0.89	0.04
	SEM	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	

<sup>1)</sup>Means within a row with no common superscript differ ( $p < 0.05$ ).

<sup>2)</sup>Means within a column with no common superscript differ ( $p < 0.05$ ).

<sup>3)</sup>SEM: Standard errors of the mean ( $n=12$ ).

산패를 억제시켰다는 사실이 확인된 바 있으며, Jo와 Ahn (17)은 저장기간 중 신선육의 지방산패도를 촉진시키는 것에는 산소와의 노출이 방사선 조사보다도 더 중요한 요소라고 결론지었다.

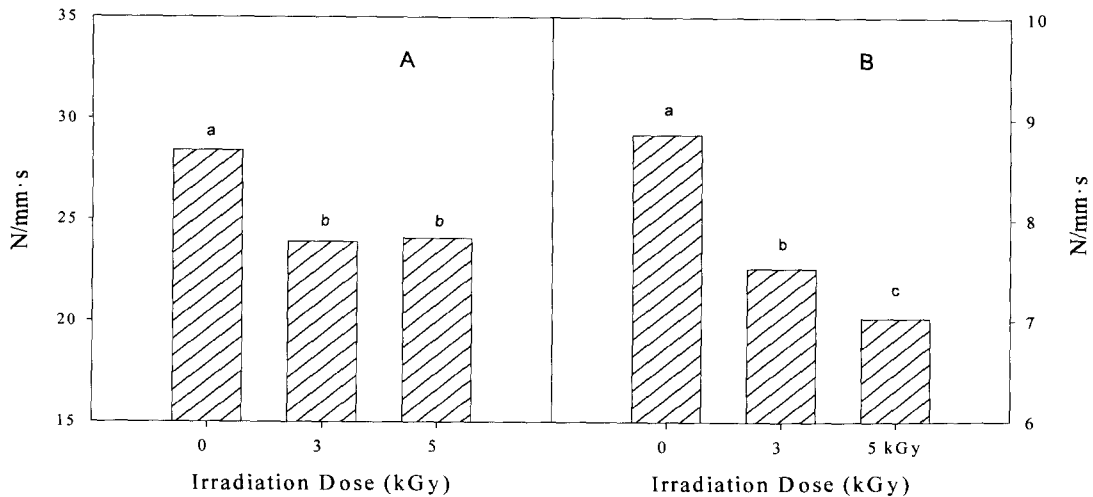
양장 케이싱으로 제조된 소시지의 경우도 둔장 케이싱과 비슷한 결과를 나타내었다. 저장 5일째에서 감마선 조사구가 비조사구에 비하여 높은 TBARS값을 나타내었고 저장기간 동안의 변화는 감마선 비조사구의 5일째가 다소 낮게 나타났다. 이 경우도 양장 케이싱만 감마선 조사했기 때문에 산패도의 차이가 거의 없었으며 게다가 진공포장처리로 지방산화가 더욱 억제되었기 때문으로 생각된다.

**전단력 및 관능적 품질**

감마선 조사된 둔장 및 양장 케이싱으로 제조된 소시지의 전단력을 측정된 결과 감마선 조사구가 비조사구에 비하여 낮은 전단력을 나타내었다(Fig. 2). 이와같은 결과는 소시지

의 품질특성을 고려해 볼 때 둔장의 경우 연도와 씹힘성을 좋게하여 관능적 품질을 높이게 된다고 사료된다. Lee 등(19)의 연구에서 진공포장된 우육의 전단력이 감마선 조사에 의해 낮게 나타났으며, 연도를 향상시켜 육질을 개선한다고 보고하였다. 감마선 조사에 의한 근육내 단백질인 titin과 nebulin, 그리고 대부분이 콜라겐으로 이루어진 perimysium과 endomysium의 파괴속도가 빠르게 진행된다는 Horowitz 등(20)과 Yook 등(21)의 결과는 본 실험에 사용된 케이싱이 동물의 소장으로부터 제조된 것이며, 이 동물의 소장은 결체조직이 규칙적으로 짜여진 구조를 가지고 있다(22)는 것에 근거하면 감마선 조사에 의해 결체조직이 파괴되어 연도를 증진시킨다는 결론과 일치한다. 양장의 경우에는 비조사구의 전단력이 둔장의 것보다 상당히 낮게 나타났으며, 감마선 조사에 의해서도 감소하였다. 이는 양장이 둔장보다 강도가 약하기 때문일 것이다.

관능평가는 감마선 조사에 의한 관능요소의 변화를 측정하기 위하여 7일째에 4가지의 요소를 가지고 측정하였으며 그 결과는 Table 3과 같다. 둔장 케이싱으로 제조한 소시지의 경우 풍미, 색, 조직감 및 종합적 기호도가 3.1~3.5점의 관능평점을 나타내고 감마선 조사에 의한 영향은 없었다. 양장의 경우도 비조사구가 풍미에서 조사구에 비하여 낮은 수치를 나타내었으나 이 또한 통계적으로 유의적인 차이가 없었다. Byun 등(13)은 원료육에 5 kGy나 더 낮은 수준의 감마선 조사가 햄 제조 후의 관능적 성질에 영향을 주지 않았다고 보고했다. 그러나 Hashim 등(23)은 원료 닭가슴육이나 다리육에 감마선을 조사했을 때 특유의 "bloody and sweet" 냄새가 나며 닭다리육의 경우 가열조리된 후에도 그 냄새가 남아있다고 보고했다. Ahn 등(16)도 또한 돈육 등심육을 전자선 조사했을 때 강한 조사취가 발생하였다고 보고했으나 이러한 조사취가 소비자 기호도에는 영향을 미치지 않았다고 하였다. 그러나 본 연구에서 감마선을 조사한 케이싱으로 제조한 소시



**Fig. 2. Total working force (N/mm·s) for shear of sausage stuffed with irradiated natural pork (A) and lamb (B) casing.**

<sup>1)</sup>Means within the same casing with no common superscript differ ( $p < 0.05$ ).

**Table 3. Sensory evaluation of sausage stuffed with irradiated natural casings after 7 day storage at 4°C**

Casing	Irradiation dose (kGy)	Sensory score <sup>1)</sup>			Overall acceptance
		Flavor	Color	Texture	
Pork	0	3.1	3.1	3.2	3.2
	3	3.2	3.2	3.4	3.4
	5	3.0	3.5	3.4	3.4
	SEM <sup>2)</sup>	0.19	0.28	0.27	0.26
Lamb	0 kGy	2.8	3.2	3.5	3.4
	3 kGy	3.2	3.2	3.5	3.5
	5 kGy	3.2	3.3	3.5	3.5
	SEM <sup>2)</sup>	0.18	0.23	0.22	0.22

<sup>1)</sup>Fifteen semi-trained panels were used by 5-point scale sensory analysis: 1, very poor; 2, poor; 3, normal; 4, good; 5, very good.

<sup>2)</sup>SEM: Standard errors of the mean. n=12.

지의 경우 그러한 특유의 조사취는 나타나지 않았다.

### 요 약

고품질의 위생적인 소시지를 제조하기 위하여 천연 돈장 및 양장에 감마선을 조사하고 조사된 천연장을 케이싱으로 하여 고급유화형 소시지를 제조한 후 저장기간에 따른 품질 변화를 조사하였다. 감마선 조사된 천연케이싱으로 제조된 소시지의 총균수는 돈장과 양장 구분없이 현저하게 감소되었고, 계산상의 D<sub>10</sub>값은 돈장소시지는 1.71 kGy, 양장소시지는 1.58 kGy였다. 감마선 조사 및 비조사 돈장과 양장으로 제조하여 진공포장으로 4°C 냉장한 소시지의 지방산패는 저장 10일째 다소 증가하는 경향이 있었으나 그 외에는 유의적인 차이가 없었다. 소시지의 전단력은 감마선 조사로 인하여 낮은 값을 나타내었고, 관능검사에서는 감마선 조사구와 비조사구간에 차이를 보이지 않았다. 따라서 감마선을 조사한 천연 돈장 및 양장으로 제조한 소시지는 위생적 품질특성을 유지하면서 고급육제품을 제조하는데 매우 효과적이었다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

### 문 헌

1. Lee, C.L.: Delicatessen technology workshop. p.53-57 (1995)  
 2. Gabis, D.A. and Silliker, J.H.: *Salmonella* in natural animal casings. *Applied Microbiol.*, **27**, 66-71 (1974)

3. Labie, C.: Les contaminants des boyaux naturels. *Viande et Produits Carnes*, **8**, 73-79 (1987)  
 4. Trigo, M.J. and Fraqueza, M.J.: Effect of gamma radiation on microbial population of natural casings. *Radiat. Phys. Chem.*, **52**, 125-128 (1998)  
 5. Olson, D.G.: Irradiated food. *Food Technol.*, **52**, 56-62 (1998)  
 6. Byun, M.W.: Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci. Ind.*, **30**, 89-100 (1997)  
 7. Smulders, F.J.M., Marsh, B.B., Swartz, D.R., Russel, R.L. and Hoenecke, M.E.: Beef tenderness and sarcomere length. *Meat Sci.*, **28**, 349-363 (1990)  
 8. Dymrza, H.A., Lee, C.M., Saibu, L.O., Haun, J., Silverman, G.L. and Josephson, E.S.: Gamma irradiation effects on shelf life and gel forming properties of washed red hake (*Urophycis chuss*) fish mince. *J. Food Sci.*, **55**, 1745-1748 (1990)  
 9. Ahn, D.U., Jo, C. and Olson, D.G.: Headspace oxygen in sample vials affects volatile production of meat during the automated purge and trap/GC analysis. *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 2776-2781 (1999)  
 10. Civille, G.V. and Szczesniak, A.S.: Guidelines to training a texture profile panel. *J. Texture Study*, **6**, 19-28 (1973)  
 11. SAS: *SAS User's Guide*. SAS Institute, Inc, Cary, NC, USA (1989)  
 12. Ayres, J.C.: Temperature relationships and some other characteristics of the microbial flora developing on refrigerated beef. *Food Res.*, **25**, 1-18 (1960)  
 13. Byun, M.W., Lee, J.W., Yook, H.S., Lee, K.H. and Kim, K.P.: The improvement of color and shelf life of ham by gamma irradiation. *J. Food Prot.*, **62**, 1162-1166 (1999)  
 14. Byun, M.W., Cho, O.K., Lee, J.W., Kim, J.H., Kim, K.P. and Kim, Y.J.: Effect of gamma irradiation on shelf life of pork loin. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.*, **6**, 16-22 (1999)  
 15. Nam, K.C., Du, M., Jo, C. and Ahn, D.U.: Cholesterol oxidation products in irradiated raw meat with different packaging and storage time. *J. Food Sci.*, in press.  
 16. Ahn, D.U., Jo, C. and Olson, D.G.: Analysis of volatile components and the sensory characteristics of irradiated raw pork. *Meat Sci.*, **54**, 209-215 (1998)  
 17. Jo, C. and Ahn, D.U.: Volatiles and oxidative changes in irradiated pork sausage with different fatty acid composition and tocopherol content. *J. Food Sci.*, **65**, 270-275 (2000)  
 18. Lee, M., Sebranek, J. and Parrish Jr, F.C.: Accelerated post-mortem aging of beef utilizing electron-beam irradiation and modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.*, **61**, 133-136 (1996)  
 19. Lee, J.W., Yook, H.S., Kim, S.A., Shon, C.B. and Byun, M.W.: Effect of gamma irradiation on the physicochemical properties of pork loin. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **31**, 705-711 (1999)  
 20. Horowitz, R., Kempner, E.S., Bisher, M.E. and Podolsky, R.J.: A physiological role for titin and nebulin in skeletal muscle. *Nature*, **323**, 160-164 (1986)  
 21. Yook, H.S., Lee, J.W., Lee, K.H., Kim, M.K., Song, C.W. and Byun, M.W.: Effect of gamma irradiation on the microstructure and anaerobic metabolism of postmortem bovine muscle. *Radiat. Physic. Chem.*, in press.  
 22. Bailey, A.J. and Light, N.D.: *Connective tissues in meat and meat products*. Elsevier Applied Science, New York, p.23 (1989)  
 23. Hashim, I.B., Resurreccion, A.V.A. and MaWatters, K.H.: Disruptive sensory analysis of irradiated frozen or refrigerated chicken. *J. Food Sci.*, **60**, 664-666 (1995)

(2000년 11월 13일 접수)