



# 전자선 조사가 분쇄 돈육의 저장 중 산화와 미생물적 안정성에 미치는 영향

고 광 환 · 황 기<sup>†</sup>  
계명대학교 식품가공학과

## Effect of Electron Beam Irradiation on the Oxidative and Microbiological Stability of Ground Pork during Storage

Kwang-Hwan Koh and Key Whang<sup>†</sup>

Department of Food Science and Technology, Keimyung University

### Abstract

Fresh ground pork was irradiated with the electron beam, and the microbiological and oxidative stability of ground pork was examined during refrigerated and frozen storage. During both storage, with the increase in the irradiation dose from 0 to 3.0 kGy, the inhibition effect of the growth of the total aerobic bacteria and the mesophiles also increased. Psychrotrophic bacteria were not detected at all in the whole experiment. On the other hand, electron beam irradiation promoted the oxidative rancidity of ground pork during refrigerated and frozen storage. The catalytic effect of oxidation was more pronounced with the electron beam dose of 3.0 than that of 1.5 kGy. As a result, the control of lipid oxidation must be achieved to fully utilize the sterilization effect of electron beam in the ground pork.

**Key words :** electron beam, microbiological stability, oxidative stability, total aerobic bacteria, mesophiles.

### 서 론

최근 전세계적으로 광우병, 구제역, 다이옥신(dioxin) 파동 등 식품과 관련된 굵직한 사건들이 계속해서 발생하고 있고 외식 산업이나 단체 급식의 팽창과 함께 편이 식품이 범람하고 있으며 적절히 품질 관리를 수행치 못했을 경우 *Salmonella*나 *E. coli* 0157:H7 같은 세균성 식중독균에 의한 집단 감염이 생길 수 있기 때문에 소비자들의 식품의 안전성에 대한 의식은 매우 높아졌다고 할 수 있다. 이러한 병원균과 부패 미생물의 번식을 억제하기 위하여 전통적으로 가열 살균법을 많이 채택해 왔으나 이 방법은 지방이나 단백질이 산화 및 변성되고 비타민 같은 영양소들의 파괴되며 과실이나 야채의 경우는 향이 소실되기 때문에 이런 단점을 보완할 수 있는 비가열 살균 방법이 등장하고 있다.

식품의 방사선 조사는 미국과 유럽에서 1950년대 초부터 사용되어 왔고 저 선량의 조사는 식품의 안전성의 증진에 크게 이바지하고 있다. 1992년 미국에서 방사선 처리된 식품이 처음으로 출시된 이후 국내외적으로 이를 이용한 식품의 조사 예는 급증하는 추세이며 미국에서는 1997년 12월, 미국 식품 및 의약품 안전청(Food and Drug Administration, FDA)가 적육에 방사선 조사를 허용하기에 이르렀고 현재 35개국에서 최소한 1개 품목 이상의 방사선 처리가 허용되고 있고, 28개국에서 방사선 처리된 식품이 유통 중에 있으며, 18개국에서 최소한 1가지 육에 방사선 사용을 허용하고 있다 (Johnson and Marcott, 1999; Thayer and Rajkowski, 1999; Olson, 1998). 이렇게 안전하다는 결론 하에 방사선 사용량은 계속 증가할 것으로 예상하지만 소비자들의 미지의 두려움은 상존하고 있으며 바로 이 때문에 방사선의 대안으로 전자선 조사(electron beam irradiation)가 주목을 받고 있고 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 전자선의 활용에 관한 연구는 돈육(Du et al., 2001; Nam et al., 2001; Ahn et al., 2000; Nanke et al., 1999; Ahn et al., 1998a, 1998b; Nanke et al.,

<sup>†</sup>Corresponding author : Key Whang, Department of Food Science and Technology, Keimyung University, 1000 Shindang-dong, Dalseo-gu, Daegu, Korea, 704-701, Tel: 82-53-580-5542, Fax: 82-53-580-5164, e-mail: kwchang@kmu.ac.kr

1998; Luchsinger et al., 1996), 우육(Du et al., 2001; Nanke et al., 1999; Kim et al., 1998; Nanke et al., 1998; Lee and Parrish Jr., 1996), 칠면조육(Bagorogoza et al., 2001; Du et al., 2001; Nanke et al., 1999; Nanke et al., 1998; Ahn et al., 1998c; Ahn et al., 1997), 계육(Hansen et al., 1998; Hashim et al., 1995; Shamsuzzanman et al., 1995; Heath et al., 1990), 가열 소시지(Ahn et al., 1995), 근육식품(이, 1995) 등 축산 식품에 집중되어 왔으며 메주(Kwon et al., 2001)나 인삼 분말(Kim et al., 1998) 등 많은 분야에 그 사용이 확대되어 연구되고 있다. 전자선은 고전압 전자빔 가속기(high voltage electron beam accelerator)의 직류 고전압 발생 회로를 이용하여 얻을 수 있다. 가속기에서 형성된 전자는 광속도에 가깝게 가속되며 물체와 수없이 충돌하면서 더 많은 양의 전자와 에너지를 내게 된다. 전자선은 주로 비 식품 분야에서 공업용 목적으로 많이 이용되어 왔으나 살균, 살충 등의 효과가 확인되면서 식품에도 그 사용이 증가할 것으로 예상된다. 전자선은 방사선과는 달리 처리 후에도 식품에 방사능을 유발하지 않으며 처리 시간이 몇 초 정도로 매우 짧고 처리 후 식품의 온도 변화가 거의 없으며 처리 효과가 높은 매우 환경 친화적인 수단이다(Johnson and Marcott, 1999; Thayer and Rajkowski, 1999).

1999년 12월 미국 농무성의 식품안전 및 조사국(Food Safety & Inspection Service, FSIS)이 냉장, 냉동육에 ionizing radiation을 살균, 저장성 증진과 유통기한 연장의 목적으로 이용하였고 2000년 5월 미국 Minnesota의 한 회사가 처음으로 전자선 조사된 냉동 우육 patty를 출시한 결과 소비자들의 반응이 매우 긍정적이었다(Hermelstein, 2000a). 그밖에 여러 회사에서 가금육과 사전자열 가공식품의 살균에도 전자선을 처리하기로 결정하였으며(Hermelstein, 2000a) 특히 Hawaii에서 미국 본토로 수송해 오는 papaya의 살충을 위해 전자선을 처리하여 첫 제품이 2000년 7월 성공적으로 미국 본토에서 출시된 바 있다(Hermelstein, 2000a). 이외에 2001년 여름, 미국의 전자빔 가속기 제조사인 SureBeam은 Texas A&M 대학과 산학 교류 협정을 맺고 대학 당국에 10년간 전자빔 가속기 2대, X-ray 가속기 1대를 포함한 1000 만 달러 상당의 연구비를 식품 분야에만 전적으로 투자하기로 약정함으로써(Hermelstein, 2000b) 향후 전자선을 이용한 식품의 조사가 본격적으로 궤도에 오를 전망이다.

전자선의 식품 처리도 방사선 처리와 마찬가지로 주로 살균, 살충, 발아억제, 속도 조절 등이 그 활용의 주목적이며 본 실험에서는 전자선의 처리가 많은 육 제품의 원료가 되는 냉동 돈육의 저장 중 산화적, 미생물적 안정성에 미치는 영향을 살펴보고 향후 전자선의 이용에 관한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험육의 조제

본 실험에서 사용한 시료는 돈육의 목심(boston shoulder)으로서 대구지역의 정육센터에서 구입하였다. 돈육은 도살한지 24 시간이 경과하지 않은 신선육을 선택하였고 지방 조직은 제거하고 살코기 부분만 분쇄하고 비닐 랩으로 잘 싼 후 시료로 준비하였다. 각 실험육들은 전자선 처리시까지 냉장(4℃) 상태에서 유지하였으며 전자선 처리 후 시료를 반으로 나누어 받은 냉장하고 다른 반은 냉동(-15℃)하면서 각각의 저장 상태에서 대조구와 전자선 처리구의 안정성을 측정 비교하였다. 냉장 저장육은 0, 2, 4 및 6일에 그리고 냉동 저장육은 0, 1, 2 및 3 개월 째에 정기적으로 미생물 검사와 산패치를 측정하였다. 각 실험육들은 전자선의 투과(평균 투과 두께 약 2 mm)가 육을 완전히 관통하여 이루어지도록 최대한 얇게 펼쳐서 염화비닐(polyvinyl chloride, PVC)랩으로 싼 후 전자선으로 조사하였다.

### 전자선의 조사

전자선의 조사는 Cockraft-Walton 직류형 고전압 전자빔 가속기(최대 빔 에너지 1.0 MeV, 영남대학교 전자빔 가속기실)를 사용하여 수행하였다. 돈육에 조사한 선량은 1.5와 3.0 kGy이었고 각각의 beam current는 0.15 와 0.30 mA이었으며 conveyer 속도는 10 Hz(2.87 cm/s)이었다. 실제 전자선의 조사 시간은 몇 초에 불과하였으나 선량을 맞출 때까지 시스템을 조절할 때까지 걸리는 시간은 약 10~15분 정도이었다. 이 동안 시료는 실온에 방치되었으며 전자선 처리 후 실험육의 온도는 거의 없이 4℃로 유지되었고 처리 후 바로 얼음에 채워 냉장 온도를 유지시키면서 실험실로 이동하였다.

### 미생물 검사

전자선 처리 후 대조구를 포함한 1.5, 3.0 kGy 처리육 등 3개의 처리육은 냉장(4℃) 그리고 냉동(-15℃) 저장하면서 정기적으로(냉장 : 0, 2, 4, 6 일, 냉동 : 0, 1, 2, 3 개월) 일반세균, 중온균 그리고 저온균 수를 측정하였다.

일반세균 수의 측정은 식품 공전 상의 표준 평판법으로 수행하였으며 배지는 standard plate count agar(Difco, Detroit, MI)를 사용하였다. 중온균과 저온균은 tryptic soy agar(Difco, Detroit, MI)를 이용하였으며 일반세균과 중온균은 3~5℃에서 48 시간 저온균은 5℃에서 48 시간 배양한 후 측정하였다. 각 실험육 1 g을 멸균 flask에 넣고 멸균 증류수를 전체 용량이 100 mL가 되게 가한 후 20분간 잘 shaking 하여 충분히 혼합하고 시료로 사용하였다. 혼합액의 상등액 1 mL를 취하여 10 단계씩 100,000 배까지 희석하여 희석된 시료

를 배지에 접종하여 평판을 만들고 배양하였다. 생성된 colony는 30 내지 300개의 집락을 갖는 평판을 선택하여 계수 측정하였고 모든 수치는 2회 반복의 결과를 평균치로 계산하였다.

#### 산패치의 측정

각 실험육의 산패치는 Tarladgis 등(1960)의 증류법을 약간 수정하여 측정하였으며 2-thiobarbituric acid reactive substances(TBARS) 흡광도로 보고하였다. 즉, 각 실험육에 증류수를 채우고 균질화한 후 염산을 첨가하여 pH를 1.5로 조절하였다. 균질액은 가열되면서 증류 장치를 통과하고 이때 냉각관을 지나면서 응축된 일정분의 응축액과 TBA를 35 분간 끓는 물에서 반응시켜 얻은 색의 흡광도를 분광광도계(UVI-CON 922, Kontron Instrument)로 532 nm에서 측정하였다.

#### 통계처리

각 실험결과의 수치들은 SAS program(1996)의 Analysis of Variance로 분석하였고 수치간의 유의성은 Student Newman-Keuls test로 검증하였다.

### 결과 및 고찰

#### 냉장 중 미생물 검사

냉장 중 시간이 경과함에 따라 일반세균과 중온균의 번식은 증가하는 추세를 보였다(Table 1). 반면 1.5와 3.0 kGy로 조사된 실험육의 일반세균, 중온균의 번식은 전자선 무처리 대조구에 비하여 대부분 유의성 있게( $p < 0.05$ ) 감소하였는데 전자선의 세균 증식 억제 효과는 이미 여러 문헌에 보고된

바 있다(Bagorogoza et al., 2001; Lee et al., 1998; Kim et al., 1998; Shamsuzzanman et al., 1995). 이러한 전자선의 살균 효과는 세균의 DNA 구조를 파괴함으로써 이루어지는 것으로 알려졌다(Clark, 2002). 대조구의 경우 일반세균은 2일 째에 이미  $10^6$ (log scale로 6) 이상을 기록하였고 전자선 처리구도 4일 이후에는 일반세균 수가  $10^6$  이상으로 측정되었다. 중온균의 경우 모든 수치는 일반세균의 수치보다는 낮지만 4일 이후 그 수치가  $10^5$ (log scale로 5) 이상을 기록하였다. 국내에서 식육에 대한 일반세균의 허용치가 제시되고 있지는 않지만 일반적으로 식육의 부패 시점으로 보는 일반세균의 수가  $10^7$ (Kim et al., 1998) 혹은  $10^5$ (Choi et al., 1998; Whang and Kim 1998) 등으로 보고되어 있는 기준에 따르면 본 실험의 대부분의 실험육들이 이 범위 내에 속하여 안전해 보이거나 약간 수치가 초과하고 있다. 반면 저온균의 생육은 모든 실험구에서 발견되지 않아 본 실험에서 식육의 부패는 중온균이 주도하는 것으로 밝혀졌다.

#### 냉동 중 미생물 검사

냉동 3 개월 중 일반세균과 중온균의 증식은 꾸준히 이루어졌으나 그 수준은 냉장 6일간 저장한 돈육보다는 낮은 상태이었다(Table 2). 일반세균의 경우 냉동 저장 시에도 냉장 중에서도 비슷하게 1.5, 3.0 kGy로 처리된 실험육이 전자선 무처리 대조구에 비해 유의성 있게( $p < 0.05$ ) 낮은 수치를 보이고 있어 전자선 처리의 살균 효과가 다시 한번 입증되었다. 중온균의 경우도 일반세균과 비슷하게 전자선 처리구들이 대조구보다 대부분의 경우 유의성 있게( $p < 0.05$ ) 낮은 수치를 기록하였으며 냉동 중에서도 저온균의 증식은 발견되지 않았다. 한편 냉동된 실험육에서는 저장 기간이 길어질수

Table 1. Microbial numbers<sup>1)</sup> of electron beam irradiated ground pork during storage at 4°C

Microbial groups	Treatments	Days			
		0	2	4	6
Total aerobes	Control	3.48±0.26	6.32 <sup>a</sup> ±0.30	6.43 <sup>a</sup> ±0.15	6.55 <sup>a</sup> ±0.14
	1.5 kGy		5.18 <sup>b</sup> ±0.27	6.19 <sup>b</sup> ±0.19	6.37 <sup>ab</sup> ±0.18
	3.0 kGy		5.00 <sup>b</sup> ±0.35	6.13 <sup>b</sup> ±0.20	6.21 <sup>b</sup> ±0.16
Mesophiles	Control	3.06±0.17	4.02 <sup>a</sup> ±0.19	5.54 <sup>a</sup> ±0.09	5.61 <sup>a</sup> ±0.21
	1.5 kGy		4.00 <sup>a</sup> ±0.27	5.50 <sup>ab</sup> ±0.14	5.55 <sup>ab</sup> ±0.16
	3.0 kGy		3.78 <sup>b</sup> ±0.14	5.31 <sup>b</sup> ±0.07	5.37 <sup>b</sup> ±0.11
Psychrotrophs	Control	-	-	-	-
	1.5 kGy	-	-	-	-
	3.0 kGy	-	-	-	-

<sup>1)</sup> Log colony forming units/g, all the values are means of 2 replicates ± Standard deviations.

<sup>a,b</sup> Means in the same column bearing different superscripts are different ( $p < 0.05$ ).

- : not detected.

**Table 2. Microbial numbers<sup>1)</sup> of electron beam irradiated ground pork during storage at -15°C**

Microbial groups	Treatments	Months			
		0	1	2	3
Total aerobes	Control	3.48±0.26	3.70 <sup>a</sup> ±0.30	5.04 <sup>a</sup> ±0.41	5.65 <sup>a</sup> ±0.45
	1.5 kGy		3.48 <sup>ab</sup> ±0.17	3.54 <sup>b</sup> ±0.27	4.75 <sup>b</sup> ±0.47
	3.0 kGy		3.11 <sup>b</sup> ±0.15	3.20 <sup>b</sup> ±0.32	4.20 <sup>c</sup> ±0.40
Mesophiles	Control	3.06±0.17	3.40 <sup>a</sup> ±0.20	4.66 <sup>a</sup> ±0.31	5.69 <sup>a</sup> ±0.42
	1.5 kGy		3.08 <sup>b</sup> ±0.18	3.69 <sup>b</sup> ±0.35	4.29 <sup>b</sup> ±0.27
	3.0 kGy		3.02 <sup>b</sup> ±0.19	3.62 <sup>b</sup> ±0.36	4.24 <sup>b</sup> ±0.39
Psychrotrophs	Control	-	-	-	-
	1.5 kGy	-	-	-	-
	3.0 kGy	-	-	-	-

<sup>1)</sup> Log colony forming units/g, all the values are means of 2 replicates ± Standard deviations.

<sup>c</sup> Means in the same column bearing different superscripts are different(p<0.05).

- : not detected.

후 약간의 변색은 발생하였으나 완전 해동하였을 때 부패나 산패취는 나타나지 않았다.

#### 냉장 중 산패의 진행

2-thiobarbituric acid reactive substance 치로 측정된 각 실험육의 지방 산패도는 Table 3에서 보는 바와 같이 저장 기간이 길어질수록 또 전자선의 조사량이 증가할수록 같이 증가하는 것으로 나타났다. 전자선 조사량의 증가에 따른 산패치의 증가는 뚜렷하게 관찰되었는데 특히 1.5 kGy 처리구의 1일째와 3.0 kGy 처리구의 4일, 6일째 TBARS 값은 0.1을 초과하기에 이르렀다. 냉장 저장 중 대부분의 일자에서 대조구보다는 1.5 kGy 처리구가 또 1.5 kGy 처리구보다는 3.0 kGy 처리구가 유의성 있게(p<0.05) TBARS 값이 높은 것으로 나타났다(Table 3). 이는 전자선이 하나의 강력한 에너지 형태이므로 지방에 전자선을 조사하면 화학 반응인 지방의 산화는 더욱 촉진될 것이기 때문이다. 전자선의 처리는 과산화물이나 많은 자유기(free radical)들을 생산해 낼 수 있다고 보고된 바 있다(Du et al., 2001; Nam et al., 2001; Luchsinger

et al., 1996). 따라서 식육을 비롯한 모든 식품에 전자선을 처리할 때 지방을 비롯한 산화의 억제가 가장 경계해야 하고 주의해야 할 중요한 관심사로 떠오르게 되었다. 본 실험 결과를 종합하여 보면 실험육의 변패에는 지방의 산패와 미생물에 의한 부패가 모두 관여하는 것으로 밝혀졌다.

#### 냉동 중 산패의 진행

냉동 중에도 각 실험육의 TBARS 값은 냉동 기간이 길어질수록 또 전자선의 조사량이 증가할수록 같이 증가하는 추세였으나 대부분 실험육의 TBARS 값은 냉장 저장 중의 수치보다 훨씬 낮은 값을 기록하였다(Tables 3, 4). 3.0 kGy 처리구의 3 개월 냉동 후 TBARS 값은 0.05 미만이었으며(Table 4) 위에서도 지적하였듯이 산패취나 부패취는 발견되지 않았다. 냉동 1, 2, 3 개월 후의 TBARS 값은 대부분 대조구보다는 1.5 kGy 처리구가 1.5 kGy 처리구 보다는 3.0 kGy 처리구가 유의성 있게(p<0.05) 높은 값을 유지하였으나 전반적인 TBARS 수치는 매우 낮은 수준에 머물러 있었다.

**Table 3. 2-thiobarbituric acid reactive substances absorbances<sup>1)</sup> of electron beam irradiated ground pork during storage at 4°C**

Treatments	Days			
	0	2	4	6
Control	0.0088±0.0012	0.0158 <sup>a</sup> ±0.0020	0.0154 <sup>a</sup> ±0.0019	0.0210 <sup>a</sup> ±0.0017
1.5 kGy		0.0658 <sup>b</sup> ±0.0024	0.0752 <sup>b</sup> ±0.0027	0.1062 <sup>b</sup> ±0.0030
3.0 kGy		0.0706 <sup>b</sup> ±0.0035	0.1061 <sup>c</sup> ±0.0032	0.1496 <sup>c</sup> ±0.0039

<sup>1)</sup> Means ± standard deviations. All the values are means of 2 replicates.

<sup>a-c</sup> Different superscripts in the same column are different(p<0.05).

**Table 4. 2-thiobarbituric acid reactive substances absorbances<sup>1)</sup> of electron beam irradiated ground pork during storage at -15°C**

Treatments	Months			
	0	1	2	3
Control	0.0088±0.0012	0.0266 <sup>a</sup> ±0.0010	0.0232 <sup>a</sup> ±0.0015	0.0306 <sup>a</sup> ±0.0025
1.5 kGy		0.0225 <sup>a</sup> ±0.0014	0.0305 <sup>b</sup> ±0.0019	0.0397 <sup>b</sup> ±0.0037
3.0 kGy		0.0384 <sup>b</sup> ±0.0018	0.0469 <sup>c</sup> ±0.0024	0.0483 <sup>c</sup> ±0.0029

<sup>1)</sup> Means ± standard deviations. All the values are means of 2 replicates.

<sup>a-c</sup> Different superscripts in the same column are different(p<0.05).

## 요 약

본 실험 결과를 종합하여 불 때 전자선의 처리는 돈육의 냉장, 냉동 중 일반세균과 중온균의 증식 억제에 효과가 있는 것으로 밝혀졌으며 전자선의 조사량이 증가할수록(1.5에서 3.0 kGy로) 그 효과는 더욱 커지는 것으로 나타났다. 본 실험에서 사용한 전자선 1.5와 3.0 kGy는 그 조사량이 매우 낮은 수준이므로 조사량을 증가시키면 살균효과는 증대될 것으로 예상된다. 반면 전자선의 처리가 지방의 산패를 촉진한다는 결과는 충분히 예상한 결과였고 본 실험에서도 전자선의 조사량이 증가할수록(1.5에서 3.0 kGy로) 산패는 더욱 촉진되었다. 따라서 전자선 처리의 살균 효과를 극대화하기 위하여는 전자선을 조사하여도 돈육의 산패도는 전자선을 조사하지 않은 돈육의 수준으로 유지시킬 수 있는 방법이 필수적으로 연구되어야 할 것이다. 이러한 방법으로는 전자선의 조사 속도를 조절한다든지 공기조절 포장 방법(N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) 과의 병용 등을 들 수 있을 것이다. 전자선을 식품에 활용하는 작업은 그 유용성이 무궁 무진 할 수 있으므로 앞으로도 그 활용이 기대되며 우선적으로 해결해야 할 문제는 전자선 조사에 의한 지방의 산패를 억제할 수 있는 방법을 강구하는 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2002년도 식품 의약품 안전청 용역 연구 개발 사업의 지원으로 이루어진 연구 결과로서 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Ahn, D. U., Jo, C. and Olson, D. G. (2000) Analysis of volatile components and the sensory characteristics of irradiated raw pork. *Meat Sci.*, **54**, 209-215.
- Ahn, D. U., Olson, D. G., Jo, C., Love, J. and Jin, S. K. (1999) Volatiles production and lipid oxidation in irradiated cooked sausage as related to packaging and storage. *J Food Sci.*, **64**(2), 226-229.
- Ahn, D. U., Olson, D. G., Jo, C., Chen, X., Wu, C. and Lee, J. I. (1998a) Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties. *Meat Sci.*, **49**, 27-39.
- Ahn, D. U., Olson, D. G., Lee, J. I., Jo, C., Wu, C. and Chen, X. (1998b) Packaging and irradiation effects on lipid oxidation and volatiles in pork patties. *J. Food Sci.*, **63**(1), 15-19.
- Ahn, D. U., Sell, J. L., Jo, C., Chen, X., Wu, C. and Lee, J. I. (1998) Effects of dietary vitamin E supplementation on lipid oxidation and volatiles content of irradiated, cooked turkey meat patties with different packaging. *Poult. Sci.*, **77**, 912-920.
- Ahn, D. U., Sell, J. L., Jeffery, C., Chen, X., Wu, C. and Lee, J. I. (1997) Dietary vitamin E affects lipid oxidation and total volatiles of irradiated raw turkey meat. *J. Food Sci.*, **62**, 954-958.
- Bagorogoza, K., Bowers, J. and Okot-Kotther, M. (2001) The effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the quality of intact chill-stored turkey breast. *J. Food Sci.*, **66**(2), 367-372.
- Choi, S. K., Lee, M. S., Lee, K. H., Lim, D. S., Lee, K. H., Choi, K. H. and Kim, C. H. (1998) Change in quality of hamburger and sandwich during storage under simulated temperature and time. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.*, **18**(1), 27-34.
- Clark, J. P. (2002) Processing papers and exhibits - electronic irradiation system. *Food Technol.*, **56**(5), 101-110.
- Du, M., Nam, K. C. and Ahn, D. U. (2001) Cholesterol and lipid oxidation products in cooked meat as affected by raw-meat packaging and irradiation by cooked meat packaging and storage time. *J. Food Sci.*, **66**(9), 1396-1401.
- Hansen, T. J., Chen, G. and Shieh, J. J. (1987) Volatiles in skin of low-dose irradiated fresh chicken. *J. Food Sci.*, **52**(5), 1180-1182.
- Hashim, I. B., Resurreccion, A. V. A. and MacWatters, K. H. (1995) Disruptive sensory analysis of irradiated frozen or refrigerated chicken. *J. Food Sci.*, **60**, 664-666.
- Heath, J. L., Owens, S. L., Tesch, S. and Hannah, K. W. (1990) Effect of high-energy electron radiation of chicken on thiobarbituric acid values, shear values, odor, and cook yield. *Poult. Sci.*, **69**, 313-319.
- Hermelstein, N. H. (2000a) E-Beam-Irradiated beef reaches the market, papaya and Gamma-Irradiated beef to follow. *Food Technol.*, **54**(7), 88-92.

5. Hermelstein, N. H. (2000b) New E-Beam Research facility exemplifies the value of pilot plant. *Food Technol.*, **54**(10), 96-98.
16. Johnson, J. and Marcotte, M. (1999) Irradiation control of insect pests of dried fruits and walnuts. *Food Technol.*, **53**(6), 46-51.
17. Kim, W. S., Chung, M. S. and Ko, Y. T. (1998) Effector of low dose gamma ray and electron beam irradiation on the growth of microorganism in beef during the refrigerated storage. *Kor. J. Food Sci.*, **18**(3), 232-239.
18. Kwon, H., Lee, J. E. and Kwon, J. H. (2001) Effects of electron beam irradiation on microbiological and physicochemical qualities of powdered Meju and soybean paste. *Food Sci. Biotechnol.*, **10**(2), 95-100.
19. Lee, M. K., Lee, M. H. and Kwon, J. H. (1998) Sterilizing effect of electron beam on ginseng powders. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, **30**, 1362-1366.
20. Lee, M., Sebranker, K. and Parrish, Jr. F. C. (1966) Accelerated postmortem aging of beef utilizing electron beam irradiation and modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.*, **61**(1), 133-141.
21. Luchsinger, S. E., Kropf, D. H., Garcia-Zepeda, C. M., Hunt, M. C., Marsden, J. L., Rubiocanas, E. J., Kastner, C. L., Kuecher, W. G. and Mata, T. (1996) Color and oxidative rancidity of gamma and electron beam irradiated boneless pork chops. *J. Food Sci.*, **61**, 1000-1005, 1093.
22. Nam, K. C., Ahn, D. U. and Jo, C. (2001) Lipid oxidation, color, volatiles, and sensory characteristics of aerobically packaged and irradiated pork with different ultimate pH. *J. Food Sci.*, **66**(8), 1225-1229.
23. Nanke, K. E., Sebranek, J. G. and Olson, D. G. (1999) Color characteristics of irradiated, aerobically packaged pork, beef, and turkey. *J. Food Sci.*, **64**(2), 272-278.
24. Nanke, K. E., Sebranek, J. G. and Olson, D. G. (1998) Color characteristics of irradiated vacuum-packaged pork, beef and turkey. *J. Food Sci.*, **63**, 1001-1006.
25. Olson, D. C. (1998) Irradiation of food. *Food Technol.*, **52**(1), 56-65.
26. SAS(1996) SAS/STAT software for PC. Release 6.11, SAS Institute, Cary, NC, U.S.A.
27. Shamsuzzanman, K., Lutch, L. and Chuaqui-Offermans, N. (1995) Effects of combined electron-beam irradiation and sous-vide treatments on microbiological and other qualities of chicken breast meat. *J. Food Prot.*, **58**(5), 497-501.
28. Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T. and Dugan, L. R. (1960) : A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **37**, 44-50.
29. Thayer, D. W. and Rajkowski, K. T. (1999) Developments in irradiation of fresh fruits and vegetables. *Food Technol.*, **53**(11), 62-65.
30. Whang, K. and Kim, H. I. (1998) Microbiological and oxidative stability of low fat ground beef during refrigeration. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.*, **18**(4), 301-306.
31. 이무하 (1995) 전자선을 이용한 신선 근육식품의 저수준 방사선照射. *식품과학과 산업*, **28**(2), 13-22.

---

(Accepted November 18, 2002)