



## Conveyer 이동 속도를 달리한 전자선 조사가 돈육의 냉장 중 산화와 미생물적 안정성에 미치는 영향

황 기

계명대학교 식품가공학과

### Effect of Different Conveyer Speed of Electron Beam Irradiation on the Oxidative and Microbiological Stability of Ground Pork during Refrigeration

Key Whang\*

Department of Food Science and Technology, Keimyung University

#### Abstract

Fresh ground pork was irradiated with the electron beam(3.0 and 5.0 kGy) using 2 different conveyer speeds (10 and 20 Hz), respectively, in order to determine the effect of conveyer speeds on the development of lipid oxidation and microbial stability. During refrigerated storage, the development of lipid oxidation decreased significantly ( $p<0.05$ ) with the increase in the electron beam conveyer speed from 10 to 20 Hz. The ground pork with electron beam inhibited the growth of total aerobic bacteria and mesophiles. The inhibitory effect increased when the electron beam dose increased from 0 to 5.0 kGy. The finding that higher speed(20 Hz) of electron beam had some antioxidative effect is very promising, however, other means to control the lipid oxidation must also be employed to fully utilize the sterilization effect of electron beam in ground pork.

**Key words** : electron beam, conveyer speed, lipid oxidation, total plate counts, mesophiles

#### 서 론

식품의 안전성(food safety)에 관한 소비자들의 관심이 매우 높아지고 있다. 최근 발생한 광우병, 구제역, dioxin 파동을 비롯하여 외식 산업과 편이 식품의 범람, 또한 이들 식품의 적절치 못한 품질관리로 인해 발생하는 각종 세균성 식중독균에 의한 오염 등이 그 주범이다. 이러한 병원균과 부패 미생물의 번식을 억제하기 위하여 전통적으로 가열 살균법을 많이 채택해 왔으나 이 방법은 가열 과정에서 지방이나 단백질이 산화, 변성되고 비타민 같은 영양소들이 파괴되며

과실이나 야채의 경우는 향이 소실되기 때문에 이런 단점을 보완할 수 있는 비가열 살균(non-thermal pasteurization) 방법이 등장하고 있다. 그 중 하나가 방사선의 조사인데 식품의 방사선 조사(irradiation)는 미국과 유럽에서 1950년대 초부터 사용되어 왔고 저 선량의 조사는 식품의 안전성이나 안정성의 증진에 크게 이바지하고 있다. 현재 35개국에서 최소한 1개 품목 이상의 방사선 처리가 허용되고 있고 28개국에서 방사선 처리된 식품이 유통 중에 있으며 18개국에서 한 종류 이상의 육에 방사선 사용을 허용하고 있다(Johnson and Marcotte, 1999; Olson, 1998; Thayer and Rajkowski, 1999).

그러나 소비자들의 방사선에 대한 미지의 두려움은 상존하고 있으며 바로 이 때문에 방사선의 대안으로 전자선(electron beam) 조사가 주목을 받기 시작하고 있다. 전자선은 고전압 전자빔 가속기(high voltage electron beam accelerator)의 직류 고전압 발생 회로를 이용하여 얻을 수 있는데

\*Corresponding author : Key Whang, Department of Food Science and Technology, Keimyung University, Shindang-dong, Dalseo-gu, Daegu 704-701, Korea. Tel: 82-53-580-5542, Fax: 82-53-580-5164, E-mail: kwchang@kmu.ac.kr

그 활용이 점차 증대되고 있다. 1999년 12월 USDA의 Food Safety & Inspection Service가 냉장, 냉동육에 ionizing radiation을 살균, 저장성 증진과 유통기한 연장의 목적으로 허용하였다. 2000년 5월에는 미국 Minnesota의 한 회사가 처음으로 전자선 조사된 냉동 우육 patty를 출시한 결과 소비자들의 반응이 매우 긍정적이었다(Hermelstein, 2000a). 그 밖에 여러 회사에서 가금육과 사전 가열 가공 식품의 살균에도 전자선을 처리하기로 결정하였으며(Hermelstein, 2000a), 특히 하와이에서 미국 본토로 수송해오는 파파야의 살충을 위해 전자선을 처리하여 첫 제품이 2000년 7월 미국 본토에서 성공적으로 출시된 바 있다(Hermelstein, 2000a). 그 외 2001년 여름, 전자빔 가속기 제조사인 SureBeam은 Texas A&M 대학과 산학 교류 협정을 맺고 식품 분야에만 전적으로 대규모의 투자를 약정함으로써(Hermelstein, 2000b) 향후 전자선을 이용한 식품의 조사가 본격적으로 궤도에 오르게 되었다. 전자선 처리의 이점으로는 처리 후에도 식품에 방사능을 유발하지 않으며, 처리 시간이 몇 초 정도로 매우 짧고, 처리 후 식품의 온도 변화가 거의 없으며 그리고 처리 효과가 높은 매우 환경 친화적인 수단이라는 것이다(Johnson and Marcott, 1999; Thayer and Rajkowski, 1999). 전자선의 식품 처리도 방사선 처리와 마찬가지로 주로 살균, 살충, 발아억제와 속도 조절 등이 그 활용의 주목적이지만 현재는 식품의 살균에 그 용도가 집중되고 있다.

한편 살균 효과가 우수한 것으로 판명된 전자선의 조사가 지방 산화를 촉진시킨다는 보고가 있다(Ahn et al., 1998a, 1998b; Ahn et al., 1999; Du et al., 2001; Heath et al., 1997; Hwang and Maerker, 1993; Koh and Whang, 2002; Luchsinger et al., 1996; Nam et al., 2001; Whang, 2002). 전자선에 의한 살균의 목적을 달성하고 전자선 처리를 상용화하기 위해서는 동시에 식품의 지방 산화를 억제시켜야 하는 필요성이 절실히 대두되는 것이다. 본 실험에서는 전자선 선량의 조사 시 conveyer 이동 속도를 조절하여 지방 산화를 억제하면서 동시에 살균 효과를 얻을 수 있는지 확인하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험육의 준비

본 실험의 실험육으로는 돈육의 어깨살(boston shoulder)을 지역의 정육센터에서 구입하여 사용하였다. 돈육은 도살 후 24 시간이 경과하지 않은 신선육을 구입하였고 눈에 띄는 지방 조직은 제거하고 살코기 부분만 분쇄(grinding)하여 시료로 준비하였다. 실험육들은 전자선 처리시 까지 냉장(4℃) 상태로 유지하였고 전자선 처리 후 냉장 저장하면서 대조구와 함께 전자선 조사량과 conveyer 이동 속도를 달리한 전자선

처리구의 안정성을 측정 비교하였다. 모든 실험육은 냉장 저장하면서 0, 2, 4 그리고 6일에 정기적으로 미생물 검사와 산패치를 측정하였다. 각 실험육들은 전자선의 투과(평균 투과 두께 약 2 mm)가 육을 완전히 관통하여 이루어지도록 최대한 얇게 펼쳐서 PVC 랩으로 싼 후에 전자선으로 처리하였다.

### 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 3.0과 5.0 kGy이었고 각각의 beam current는 0.30과 0.50 mA이었다. 본 실험의 주 관찰 대상인 conveyer 이동 속도는 10 Hz(2.87 cm/s) 와 20 Hz(5.85 cm/s)로 조절하여 수행하였다. 따라서 실험육의 종류는 전자선 무처리구와 함께 2가지 conveyer 이동 속도로 각각 조사한 3.0과 5.0 kGy 조사구 실험육을 포함한 모두 5개였다. 실제 전자선의 조사 시간은 몇 초에 불과하였으나 선량을 맞추기 위해서 시스템을 조절할 때까지 약 10 내지 15분 정도의 시간이 경과하였다. 이 동안 시료는 실온에 방치되었으나 전자선 처리 후 실험육의 온도 변화는 거의 없이 4℃로 유지되었고 전자선 처리 후 바로 얼음에 채워 냉장 온도를 유지시키면서 실험실로 이동하여 다음 실험 시까지 냉장 저장하였다.

### 미생물 검사

전자선 처리 후 대조구를 포함하여 각각 2 가지의 conveyer 이동 속도로 처리된 3.0과 5.0 kGy 처리육 등 5개의 처리육은 냉장(4℃) 저장하면서 0, 2, 4 일과 6일 째에 주기적으로 시료를 취하여 일반 세균, 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 35℃에서 48 시간 저온균은 5℃에서 48 시간 배양한 후 발견된 colony 수를 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 시료를 배지에 접종하여 평판을 만들고 배양하였다. 생성된 colony는 30 내지 300개의 집락을 갖는 평판을 선택하여 계수 측정하였고 모든 수치는 2회 반복의 결과를 평균치로 계산하였다.

### 산패도의 측정

각 실험육의 산패도는 Tarladgis 등(1960)의 증류법을 약간 수정하여 측정하였으며 2-thiobarbituric acid reactive substances(TBARS) 흡광도로 보고하였다. 대략의 실험 과정은 다음과 같았다. 즉, 각각의 실험육에 증류수를 채우고 균질화한 후 염산을 첨가하여 pH를 1.5로 조절하였다. 균질액은 가열되면서 증류 장치를 통과하고 이때 냉각관에서 응축된 일정분의 응축액을 모아 TBA와 함께 35 분간 끓는 물에서 반응시켜 얻은 색의 흡광도를 분광광도계(UVICON 922, Kontron Instrument, Italy)로 532 nm에서 측정하였다.

### 통계처리

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

## 결과 및 고찰

전자선 주사속도를 달리한 실험육의 일반세균 증식

Table 1에서 보는 바와 같이 실험육들의 일반세균은 냉장 기간이 길어질수록 뚜렷이 증가하는 추세였고 이 추세는 대조구의 경우 더욱 뚜렷하여 6일째에는 그 수치가 5.72 log CFU/g에 이르렀다. 또한 전자선 무처리구보다는 3.0 kGy 처리구가, 또 3.0 kGy 처리구보다는 5.0 kGy 처리구가 일반 세균의 증식 억제에 탁월한 효과가 있음이 확인되었다. 특히 5.0 kGy로 전자선을 처리하고 conveyer 이동 속도를 10 Hz로 하였을 때 실험육은 냉장 6일간 일반세균의 증식이 전혀 검출되지 않았으며 다른 전자선의 처리육 역시 2일이나 4일 냉장 시까지 일반세균의 증식이 발견되지 않은 경우가 있었다. 실험 첫날의 세균수(3.78 log CFU/g)를 감안할 때 그 후

**Table 1. Total aerobic bacteria<sup>1)</sup> of ground pork during storage at 4°C after irradiation with different conveyer speed of electron beams**

Treatments	Days			
	0	2	4	6
Control	3.78±0.34	4.18±0.29	4.72 <sup>a</sup> ±0.29	5.72 <sup>a</sup> ±0.36
3.0 kGy(10 Hz)		-	-	4.14 <sup>c</sup> ±0.27
3.0 kGy(20 Hz)		-	4.08 <sup>b</sup> ±0.21	4.71 <sup>b</sup> ±0.30
5.0 kGy(10 Hz)		-	-	-
5.0 kGy(20 Hz)		-	-	4.04 <sup>c</sup> ±0.25

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

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

- : not detected.

의 일부 일자에서 세균 증식이 전혀 발견되지 않았다는 사실은 전자선의 살균 효과를 다시 한번 확인시키는 것이며 5.0 kGy 까지 조사 선량을 증가시켰을 때 살균 효과는 같이 증가하는 것으로 밝혀졌다. 전자선 처리에 의한 세균 증식 억제는 현재까지 많은 예가 보고되었으며 (Bagorogoza et al., 2001; Farkas, 1998; Kim et al., 1998; Kwon et al., 2001; Lee et al., 1998; Shamsuzanman et al., 1995; 이, 1995), 전자선의 처리는 세균의 DNA 구조를 손상하거나 파괴하여 살균 효과를 갖는 것으로 보고된 바 있다(Clark, 2002).

반면 전자선 처리구의 경우 conveyer 이동 속도를 10에서 20 Hz로 증가시켰을 때 3.0과 5.0 kGy 처리구 공히 냉장 6 일째 일반세균의 증식은 유의성 있게 증가하는(p<0.05) 것으로 나타났다(Table 1). 같은 전자선 조사량으로 처리하고 conveyer 이동 속도를 10에서 20 Hz로 증가시켰을 경우 실험육이 단위 시간과 단위 면적당 받는 전자선 에너지의 양은 거의 2배정도 증가함을 고려할 때 이는 예상외의 결과였다. 따라서 전자선의 conveyer 이동 속도와 그 살균 효과는 오히려 반비례하는 것으로 확인되었다. 같은 조사 선량으로 처리한 경우 단위 시간과 면적당 실험육이 받는 전자선의 에너지량이 증가하면 살균 효과가 더 증가할 것으로 예상했지만 그 결과는 정반대로 나타났으며 그 이유는 앞으로 명확히 밝혀져야 할 것이다.

### 전자선 conveyer 이동 속도를 달리한 실험육의 중온균 증식

실험육들의 중온균 역시 일반세균과 마찬가지로 냉장 중 그 수치는 뚜렷하게 증가하였으며 전자선 무처리구의 경우 냉장 2일째부터 그 수는 4.18 log CFU/g에 이르렀으며 6일째에는 5.85를 기록하였다(Table 2). 전자선 처리에 의한 중

**Table 2. Mesophilic bacteria<sup>1)</sup> of ground pork during storage at 4°C after irradiation with different conveyer speed of electron beams**

Treatment	Days			
	0	2	4	6
Control	3.48±0.41	4.18 <sup>a</sup> ±0.19	4.90 <sup>a</sup> ±0.36	5.85 <sup>a</sup> ±0.45
3.0 kGy(10 Hz)		-	3.11 <sup>b</sup> ±0.39	4.08 <sup>c</sup> ±0.31
3.0 kGy(20 Hz)		-	3.08 <sup>b</sup> ±0.24	4.51 <sup>b</sup> ±0.36
5.0 kGy(10 Hz)		3.48 <sup>b</sup> ±0.18	3.00 <sup>b</sup> ±0.18	3.11 <sup>d</sup> ±0.18
5.0 kGy(20 Hz)		3.48 <sup>b</sup> ±0.24	3.00 <sup>b</sup> ±0.19	4.51 <sup>b</sup> ±0.32

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

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

- : not detected.

온균의 증식 억제 효과 역시 3.0과 5.0 kGy 처리구가 대조구에 비하여 유의성 있게( $p<0.05$ ) 높았다. 냉장 2일 째에는 3.0 kGy 처리구의 살균력이 높았으며 냉장 4일 째의 3.0 kGy 와 5.0 kGy 처리구 간에는 살균 효과에서 큰 차이를 나타내지 않은 것으로 확인되었다. 6일 째에는 5.0 kGy와 10 Hz의 주사 속도 처리구의 증온균 증식 억제 효과가 3.0 kGy 처리구보다 높은 것으로 확인되었다. 한편 3.0 kGy 처리구는 2 일 째까지 증온균의 증식이 발견되지 않는 경우가 있었으며 증온균의 경우도 일반세균과 마찬가지로 전자선 처리에 의한 살균 효과가 탁월하다는 사실이 확인되었다.

동일한 전자선량으로 조사하고 conveyer 이동 속도를 10에서 20 Hz로 증가시켰을 때 증온균도 일반세균과 비슷한 패턴으로 살균 효과가 감소하였는데(증온균은 오히려 더 증식) 이 경향은 냉장 6일 째에 뚜렷하게 나타났다. 같은 선량으로 처리하고 conveyer 이동 속도를 증가시켜 단위 면적당 시간당 받는 에너지량을 증가시켰을 때 오히려 증온균의 증식이 더 증가되는 현상은 일반 세균과 비슷한 경향이며 앞으로 밝혀내야 할 숙제이다. 반면 저온균의 생육은 모든 실험구에서 발견되지 않았다.

### 냉장 중 산패의 진행

Table 3에서 보는 바와 같이 실험육의 냉장 중 산패도를 2-TBARS로 측정된 결과 각 실험육의 지방 산패도는 저장 기간이 길어질수록 또는 전자선의 조사량이 증가할수록 같이 증가하는 것으로 나타났다. 5.0 kGy와 10 Hz의 속도로 처리한 실험육의 경우 냉장 6일 째에 TBARS 값이 0.2331로 높게 나타났고 거의 전 실험구에 걸쳐(특히 10 Hz의 경우) 대조구는 3.0 kGy 처리구보다 또 3.0 kGy 처리구는 5.0 kGy 처리구보다 TBARS 값이 유의성 있게( $p<0.05$ ) 높은 것으로 밝혀졌다(Table 3). 이는 전자선이 에너지 형태로 실험육에 투입되어 화학 반응인 산화 반응을 촉진시킨 것으로 충분히 예상할 수 있는 사실이다. 전자선의 처리는 과산화물이나 많

은 유리기들을 생산해 내는 것으로 알려져 있다(Du et al., 2001; Hwang and Maerker, 1993; Luchsinger et al., 1996; Nam et al., 2001). 따라서 전자선 처리 시 지방의 산화를 억제하는 문제는 매우 중요하게 다루어져야 할 문제이며 이 문제가 해결되지 못하면 전자선의 식육이나 다른 지질 식품에의 활용은 큰 문제에 봉착하게 될 것이다.

한편 동일한 전자선량으로 처리하고 전자선의 conveyer 이동 속도를 10에서 20 Hz로 증가시켰을 경우 3.0 Kgy와 5.0 Kgy 처리구 모두 산패치가 유의성 있게( $p<0.05$ ) 감소하고 있는 것으로 확인되었다. 전자선의 선량은 똑같이 하고 conveyer 이동 속도를 증가시키는 경우 단위 시간과 면적당 실험육이 받는 에너지의 밀도(density)가 증가하는 것으로 미루어 볼 때 미생물 실험 결과와 마찬가지로 의외의 결과이다. 이는 에너지의 투입 속도와 관련이 있는 것으로 생각되며 과거 열에너지의 투입 속도가 높을수록 산패가 억제된다는 문헌(Chen et al., 1984)의 결과와 비슷한 예로 여겨진다. Chen등(1984)은 가열 속도가 증가할수록 육의 myoglobin의 변성이 신속히 이루어져서 myoglobin의 내부에 존재하는 철이 유리되지 못하여 철의 산화 촉진 작용이 억제된다고 보고하였는데 전자선의 투입도 단백질인 myoglobin의 변성과 관련이 있을지는 확실하지 않다. 결론적으로 전자선의 conveyer 이동 속도를 증가시키면 같은 전자선량으로 조사하였을 때 뚜렷한 항산화 효과가 나타난다는 것이 확인되었고 이는 매우 주목할 만한 사실이다.

## 요 약

신선 돈육을 준비하여 두 가지의 conveyer 이동 속도(10과 20 Hz)로 전자선을 조사(3.0 과 5.0 kGy)한 후 저장 중 돈육의 지방 산화와 일반 세균 그리고 증온균의 증식 억제를 비교하여 측정하였다. 본 실험 결과를 종합하여 볼 때 전자선의 처리는 확실하고 뚜렷한 살균 효과가 있는 것으로 밝혀

**Table 3.** 2-Thiobarbituric acid reactive substances absorbances<sup>1)</sup> of ground pork during storage at 4°C after irradiation with different conveyer speed of electron beams

Treatments	Days			
	0	2	4	6
Control	0.0286±0.010	0.0221 <sup>a</sup> ±0.0014	0.0230 <sup>a</sup> ±0.0016	0.1060 <sup>a</sup> ±0.0085
3.0 kGy(10 Hz)		0.0932 <sup>c</sup> ±0.0020	0.0989 <sup>c</sup> ±0.0021	0.1279 <sup>b</sup> ±0.0027
3.0 kGy(20 Hz)		0.0665 <sup>b</sup> ±0.0019	0.0706 <sup>b</sup> ±0.0030	0.0876 <sup>a</sup> ±0.0069
5.0 kGy(10 Hz)		0.0819 <sup>d</sup> ±0.0025	0.1013 <sup>d</sup> ±0.0027	0.2331 <sup>c</sup> ±0.0054
5.0 kGy(20 Hz)		0.0756 <sup>c</sup> ±0.0023	0.0794 <sup>b</sup> ±0.0030	0.0830 <sup>a</sup> ±0.0064

<sup>1)</sup> Means of 2 replicates ± standard deviations.

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

졌으며 대체적으로 3.0 보다는 5.0 kGy 처리육의 살균 효과가 훨씬 우수하였다. 지방의 산화는 전자선 조사에 의해서 촉진되는 것으로 확인되었기 때문에 전자선을 돈육에 활용하려면 전자선 처리에 의한 지방의 산화를 억제해야 하는 필요성이 절실하게 대두되고 있다. 전자선의 conveyer 이동 속도를 10에서 20 Hz로 증가시켰을 때 살균 효과가 감소한다는 사실은 의외의 결과이나 전자선의 조사가 대조구에 비해 일반세균과 중온균의 증식은 억제하였다. 한편 conveyer 이동 속도를 10에서 20 Hz로 증가시킨 경우 돈육의 산화가 억제된다는 사실은 매우 고무적이며 전자선 처리에 의한 살균 효과를 식육에서 극대화하기 위하여는 본 실험에서 확인된 전자선 조사 속도의 증가에 의한 항산화 작용 이외에 더 추가적으로 탈기 변형 포장 방법 등을 도입하여 산화를 더욱 억제하여야 할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

이 논문은 2002년도 식품의약품안전청 용역 연구 개발 사업의 지원으로 이루어진 결과로서 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Ahn, D. U., Sell, J. L., Jo, C., Chen, X., Wu, C., and Lee, J. I. (1998a) 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., 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**, 15-19.
- 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.
- Bagorogoza, K., Bowers, J., and Okot-Kotber, 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.
- Chen, C. C., Pearson, A. M., Gray, J. I., Fooladi, M. H., and Ku, P. K. (1984) Some factors influencing the nonheme iron content of meat and its implications in oxidation. *J. Food Sci.* **49**, 581-587.
- Clark, J. P. (2002) Processing papers and exhibits-electronic irradiation system. *Food Technol.* **56(5)**, 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.
- Farkas, J. (1998) Irradiation as a method for decontaminating food. *Intl. J. Food Microbiol.* **44**, 189-204.
- Heath, J. L., Owens, S. L., Tesch, S., and Hannah, K. W. (1997) Effect of high-energy electron irradiation 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.
- Hermelstein, N. H. (2000b) New E-Beam Research facility exemplifies the value of pilot plant. *Food Technol.* **54(10)**, 96-98.
- Hwang, K. T. and Maerker, G. (1993) Quantification of cholesterol oxidation products in unirradiated and irradiated meats. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **70**, 371-375.
- Johnson, J. and Marcotte, M. (1999) Irradiation control of insect pests of dried fruits and walnuts. *Food Technol.* **53(6)**, 46-51.
- Kim, W. S., Chung, M. S. and Ko, Y. T. (1998) Effect of low dose gamma ray and electron beam irradiation on the growth of microorganism beef during refrigerated storage. *Kor. J. Food Sci.* **18(3)**, 232-239.
- Koh, K. H. and Whang, K. (2002) Effect of electron beam irradiation on the oxidative and microbiological stability of ground pork during storage. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **22(4)**, 316-321.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Olson, D. C. (1998) Irradiation of food. *Food Technol.* **52(1)**, 56-65.
- SAS(1996) SAS/STAT software for PC. Release 6.11, SAS Institute, Cary, NC. U.S.A.
- Shamsuzzanman, K., Lutch, L., and Chuaqui-Offermanns, 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.
- 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.
- Thayer, D. W. and Rajkowski, K. T. (1999) Developments in irradiation of fresh fruits and vegetables. *Food Technol.* **53(11)**, 62-65.
- Whang, K. (2002) Combination effect of modified atmosphere packaging and electron beam irradiation on the oxidative and microbiological stability of ground pork during storage. *Kor. J.*

*Food Sci. Ani. Resour.* **22(4)**, 322-329

25. 이무하 (1995) 전자선을 이용한 신선 근육식품의 저수준 방사선  
照射. 식품과학과 산업 **28(2)**, 13-22.

---

(2003. 2. 20 접수; 2003. 3. 10 채택)