

## 전자선 조사가 건조 오징어의 미생물학적 안전성 및 품질에 미치는 영향 - 연구노트 -

고종관 · 마유현 · 송경빈<sup>†</sup>  
충남대학교 식품공학과

### Effect of Electron Beam Irradiation on the Microbial Safety and Qualities of Sliced Dried Squid

Jongkwan Ko, Yuhyun Ma and Kyung Bin Song<sup>†</sup>

Dept. of Food Science & Technology, College of Agriculture & Life Sciences,  
Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

#### Abstract

Electron beam irradiation was applied to examine the microbial safety and qualities of sliced dried squid. Sliced dried squid was irradiated at dose of 2, 4, 8, 12, and 16 kGy. Microorganisms contaminated in sliced dried squid were significantly decreased by irradiation. Decimal reduction dose ( $D_{10}$  value) of total bacteria count, yeast and mold, coliforms in sliced dried squid were 8.57, 4.60, and 8.10 kGy, respectively. Electron beam irradiation caused negligible changes in Hunter color L, a, and b value. Sensory evaluations of irradiated sliced dried squid showed that there were no significant changes among the samples. These results indicate that electron beam irradiation improves the microbial safety and qualities of sliced dried squid.

**Key words:** electron beam, sliced dried squid,  $D_{10}$  value

#### 서 론

생활수준의 향상과 사회적 환경의 변화로 소비자들의 식품 품질에 대한 관심이 높아지고 있고, 특히 식품의 안전성 및 위생적 품질에 대한 관심의 증대로 인해 선진국에서는 식품의 위생 관리에 노력하고 있다(1). 일반적으로 식품의 변패 및 손실은 온도, pH, 수분 등의 물리 화학적 요인 및 해충이나 설치류 등에 의한 피해에 의해 발생하기도 하지만 주로 미생물에 의한 오염으로 인해 발생한다(2-4). 식품 산업에서 식품은 제조 및 가공과정에서 미생물의 오염가능성으로 인해 미생물학적 안전성이 요구된다(5). 특히 건어물의 경우 가공, 저장 과정에서 대기에 노출되어 있어 미생물 오염으로 인한 변질 가능성이 높아 살균 처리에 의한 오염 미생물 감소가 필요하다(6). 현재 식품의 저장성 개선을 위해 주로 이용되고 있는 살균 처리 기술에는 가열 처리나 자외선 조사, 훈증제 처리, 화학 약품 처리, microwave 처리 등이 있다. 하지만 이러한 살균 처리 기술은 고온에 의한 식품의 일반 성분의 변화 및 손실을 가져오거나 화학 성분의 잔류 및 유해 물질의 생성에 따른 여러 문제점을 야기하고 또한 미생물 살균 효과도 떨어져 효과적인 대체 기술 개발의 개발이 필요하다(7). 최근 여러 대체 기술 중 하나로 방사선 에너지

의 이용이 효과적인 것으로 인식되고 있다. 일반적으로 식품의 살균 처리를 위해 사용되고 있는 조사 가능한 에너지의 형태는 감마선, 전자선 (10 MeV 이하), 그리고 X선의 3가지가 있다(8). 식품의 살균 처리에 이용 가능한 방사선 에너지의 안전성에 대해서는 관련 국제기구인 IAEA 및 FDA에서 승인하여 현재 선진국에서는 이미 산업화하여 실용화되고 있으며 그 이용성이 확대되고 있다(9,10). 최근 감마선 조사 기술의 이용성 증대를 위한 연구와 함께 전자선의 이용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(11-14). Lee 등(15-17)과 Kwon 등(18)은 분말 고추, 인삼 분말, 생강 분말 등에 전자선을 조사하여 살균 효과와 품질에 미치는 영향에 대해 실험하여 관련 국제기구에서 승인된 조사선량인 10 kGy 이하에서 미생물학적 품질 개선이 가능하다고 보고하였다. 또한, Hong(19)은 주요 건조 수산물 및 혼합 조미료의 위생적 살균 처리 방법으로 ethylene oxide에 의한 훈증 처리와 감마선 조사와의 비교를 통해 주요 건조 수산물의 저장성 및 품질 개선에 대한 감마선의 우수성을 확인하였다고 보고하고 있다. 하지만 현재 국내에서는 아직 건어물에 대한 전자선의 조사가 이루어졌다는 보고가 없어 이에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 건어물의 위생학적 품질 개선 및 저

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: kbsong@cnu.ac.kr  
Phone: 82-42-821-6723, Fax: 82-42-825-2664

장성 증대를 위해 건조된 오징어에 전자선을 조사하여 전자선에 의한 미생물학적 안전성 확보 가능성을 확인하고, 색도 측정과 관능 평가를 통해 품질에 미치는 영향을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용된 건조된 오징어는 대전 소재 마트에서 시판되고 있는 제품을 구입하여 사용하였다.

### Electron-beam irradiation

전자선 조사는 electron-beam accelerator(Model ELV-4, 1 MeV, Eb-Tech)를 이용하여 low density polyethylene (LDPE) bag에 시료의 크기가 60 mm(length)×60 mm (width)가 되도록 진공 포장하고, 가속 전류 2~8 mA, beam dimension 600 mm(length)×600 mm(width), velocity 5~10 m/min의 선량률로 총 흡수선량이 2~16 kGy가 되도록 조사하였다. 이 때의 흡수선량은 cellulose triacetate(CTA) dosimeter로 확인하였다.

### 미생물 배양 및 D<sub>10</sub> value

전자선 조사된 각 시료 5 g과 멸균 처리한 0.1% peptone water 45 mL을 분쇄기(Model MCH600SI, Tong Magic Co., Seoul, Korea)에 넣고 30 sec 동안 분쇄한 후 멸균 bag에 넣고 3 min 동안 stomacher(MIX 2, AES Laboratoire, France)를 이용하여 처리하였다. 이것을 cheese cloth를 이용하여 거르고 0.1% sterile peptone water를 이용하여 희석한 후 각각의 배지에 분주하였다. 미생물 측정은 American Public Health Association(APHA) 표준 방법(20)에 따라 실시하여 colony forming unit(CFU)로 표기하였다. 호기성 세균은 plate count agar(PCA, Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37°C에서 2일 동안 배양한 후 colony를 계수하였고, 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar(PDA, Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 35°C에서 3일 동안 배양한 후 colony를 계수하였다. 대장균 군은 Chromogenic *E. coli*/Coliform Medium(EC, Oxoid Ltd., Basingstoke, Hants., England)을 이용하여 37°C에서 2일 동안 배양한 후 생성된 자색 colony를 계수하였다. Decimal reduction dose(D<sub>10</sub> value, kGy)는 각 시료에 대한 조사선량에 따른 생존 곡선으로부터 계산하였다(21).

### 색도 측정

전자선 조사된 시료 및 대조구에 대한 색도는 색차계(CR-300 Minolta Chroma Meter, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 사용하여 Hunter 색차계의 L, a, b 값을 5회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다. 각각의 L, a, b 값은 0 (black), -100(White), -80(greenness), -100(redness), -80 (blueness), -70(yellowness)을 나타내고, 이 때 사용된 표준 백판의 L, a, b 값은 각각 L=98.34, a=-0.03, b=1.62이었다.

### 관능 검사

전자선 조사가 품질에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 선 발된 panel 요원 10명에 의해 조사된 시료의 색, 냄새, 맛 및 종합적 기호도에 대한 관능검사를 실시하였다. 이 때 각 조사된 시료에 대한 평점은 선정된 기준에 의거한 5단계 평점으로 관능검사를 실시하였으며 조사되지 않은 시료를 대조구로 하여 비교 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 시료의 초기 미생물 분석

시료에 대한 초기 미생물 수는 총 호기성 세균, 효모와 곰팡이, 대장균 군이 각각 6.68, 6.28, 4.66 log CFU/g이었다. 국내 식품 제조업체에서 통용되고 있는 미생물 규격은 총 세균 수  $5 \times 10^4$ /g 이하, 그리고 대장균 군, *Bacillus cereus*, 효모와 곰팡이, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* 등은 각각 음성으로 국내 식품 공전에 규정되어 있다(22). 본 실험 결과 건조된 오징어의 초기 미생물 수를 감안할 때, 살균 처리에 의한 미생물학적 안전성의 확보가 필요한 것을 확인하였다.

### Electron-beam irradiation에 의한 살균 효과

전자선 조사된 시료의 각 선량에 따른 미생물의 살균 효과를 확인한 결과, 총 호기성 세균, 효모와 곰팡이 및 대장균 군은 조사선량이 증가함에 따라 미생물의 survival plot이 전형적인 1st order 유형을 나타내었다(Fig. 1). 본 연구에서 건조된 오징어에 존재하는 미생물의 사멸된 정도를 확인한 결과, 8 kGy의 전자선에 의해 1~2 log 정도의 감균 효과를 가져왔다(Fig. 1). Louise 등(23)에 따르면 전자선 조사에 의해 미생물 세포 내 에너지가 증가함으로써 세포의 항상성 불균형이 발생하게 되어 DNA에 damage를 주어 미생물의 사멸을 일으키게 된다고 보고하고 있다. 또, Calenberg 등(7)은 shrimp에 존재하는 미생물이 5 kGy 전자선 조사로 1 log 정도 유의적으로 감소함을 확인하였다. 본 실험의 결과는 문헌에서 보고된 여러 전자선 조사실험 결과와 비슷한 살균 효과를 나타내었다. 현재 IAEA 및 FDA에서 승인된 전자선 조사는 식품의 안전성이 확보된 10 kGy 이하로 조사선량을 규정하고 있는데, 본 실험의 결과, 전자선 조사에 의해 건조된 오징어에 존재하는 미생물의 감소는 8 kGy 전자선 조사에서 1~2 log 정도의 살균 효과를 나타낼 수 있었다.

### D<sub>10</sub> value

방사선 감수성(D<sub>10</sub> value)은 미생물 생존 곡선을 이용하여 미생물 수가 1 log 감소하는 전자선의 조사선량을 계산한 것으로, 건조된 오징어에 존재하는 호기성 세균, 곰팡이와 효모 및 대장균 군 각각의 D<sub>10</sub> value를 Table 1에 나타내었다. 본 연구 결과, Calenberg 등(7)의 shrimp에 존재하는 미생물에 대한 D<sub>10</sub> value에 비해 높게 나타났다. 곰팡이와 효모

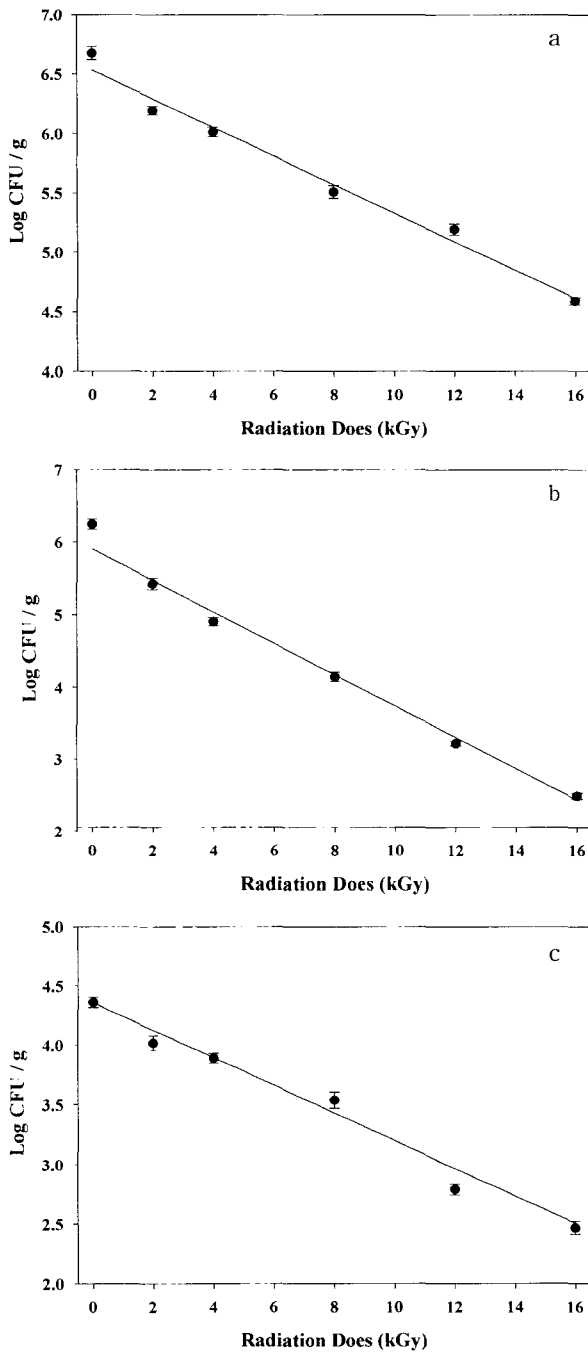


Fig. 1. Effect of electron beam irradiation on the survival of microorganisms in sliced dried squid. a: total aerobic bacteria, b: yeast and mold, c: coliforms. Bars represent standard error.

Table 1. Radiosensitivity of microorganisms contaminated in sliced dried squid

Media	D <sub>10</sub> value <sup>1)</sup> (kGy)
Total aerobic bacteria	8.57
Yeast and mold	4.60
Coliforms	8.10

<sup>1)</sup>Decimal reduction dose.

의 경우 다른 미생물에 비해 D<sub>10</sub> value가 낮게 나타났는데, 미생물의 D<sub>10</sub> value는 조사 시료의 두께에 의해 그 차이가 발생할 수 있고 또한 시료에 존재하는 초기 미생물의 농도, 시료의 물리 화학적 상태, 매개체의 이화학적 성질, 조사 환경 및 조사 후 저장 조건 및 조사 선원 등에 따라 달라진다고 알려져 있다(13). 특히 미생물의 방사선에 대한 감수성이나 저항성이 주변 환경, 특히 수분 활성도에 의해 크게 영향을 받는 것으로 보고되어 있다(24). 따라서 본 연구에서 건조된 오징어에 존재하는 미생물의 D<sub>10</sub> value가 높게 측정된 것은 건조오징어에 대한 전처리 없이 전자선 조사만으로 살균 처리를 하였기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 또한, 곰팡이와 효모의 D<sub>10</sub> value가 낮게 나타난 결과는 주변 환경에 의한 미생물의 오염도, 즉 초기 미생물 수, 조사 시 시료의 물리 화학적 상태, 조사 선원 및 미생물 자체의 방사선 감수성의 차이에 의해서 나타난 결과로 판단된다(13,25).

#### 색도 및 관능검사

전자선 조사된 시료 및 대조구에 대한 색도를 색차계를 사용하여 측정한 결과, 전자선 조사로 건조된 오징어의 색도의 변화는 Jaczynski와 Park(26), Lee 등(27)의 실험 결과와 같이 L, a, b value에 있어서 차이가 없는 것으로 나타났다 (Table 2). 현재 살균 처리에 일반적으로 이용되고 있는 훈증제 처리(ethylene oxide)나 고선량의 감마선 조사는 L, a value를 저하시키거나 b value를 증가시키는 것으로 알려져 있다(14,27-29). 본 연구 결과, 전자선 조사는 훈증제 처리나 고선량의 감마선 조사에 비해 색도의 변화에 있어서 안정한 것으로 확인되었다. 또한 전자선 조사로 건조된 오징어의 관능적 품질에 대해 관능검사를 실시한 결과, 모든 조사선량에서 조사된 시료와 대조구 사이에 있어서 색, 냄새, 맛 및 종합적 기호도면에서 유의적 차이가 없는 것으로 나타났다 (Table 3).

현재 주요한 살균 처리 기술로 이용되고 있는 훈증제 처리나 고선량의 감마선 처리는 식품 고유의 색이나 냄새 성분을

Table 2. Changes in Hunter color values of electron beam irradiated sliced dried squid

Color parameter	Irradiation dose (kGy)					
	Control	2	4	8	12	16
L	48.476 <sup>a1)</sup>	48.352 <sup>a</sup>	48.546 <sup>a</sup>	48.454 <sup>a</sup>	48.578 <sup>a</sup>	48.554 <sup>a</sup>
a	-1.132 <sup>a</sup>	-1.296 <sup>b</sup>	-1.370 <sup>b</sup>	-1.304 <sup>b</sup>	-1.380 <sup>b</sup>	-1.386 <sup>b</sup>
b	17.748 <sup>a</sup>	17.616 <sup>a</sup>	17.814 <sup>a</sup>	17.836 <sup>a</sup>	18.148 <sup>b</sup>	18.234 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Any means in the same row followed by the same letter are not significantly ( $p < 0.05$ ) different by Duncan's multiple range test.

Table 3. Sensory evaluation of electron beam irradiated sliced dried squid

Irradiation dose (kGy)	Color	Odor	Taste	Overall acceptability
0	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
2	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
4	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
8	4.67±0.52	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
12	4.67±0.52	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00
16	4.67±0.52	4.67±0.52	4.67±0.52	4.67±0.52

변화시키거나 제거한다고 알려져 있다(7,14,27-29). 따라서 본 연구에서 사용된 전자선 조사는 식품 성분의 변화 없이 미생물학적 안전성을 보장할 수 있어 기존의 살균 처리에 대한 대체 기술로써 산업적 이용의 확대가 가능할 것으로 판단된다.

## 요 약

전자선 조사가 건조된 오징어의 미생물학적 안전성과 품질에 미치는 영향을 확인하였다. 전자선은 2~16 kGy의 선량으로 각각 조사하여 대조구와 비교하였다. 실험 결과 전자선에 의해 건조된 오징어에 존재하는 미생물 수가 유의적으로 감소하는 것을 확인하였다. 건조된 오징어에 존재하는 총 호기성 세균, 곰팡이와 효모, 대장균 군의  $D_{10}$  value는 각각 8.57, 4.60, 8.10 kGy로 나타났다. 전자선 조사된 시료 및 대조구에 대한 Hunter 색차계의 L, a, b 값을 측정된 결과 유의적 차이가 없는 것으로 나타났고, 관능검사의 경우도 조사된 시료와 대조구와의 큰 변화는 나타나지 않았다. 따라서 전자선 조사로 인해 건조된 오징어의 미생물학적 안전성과 품질 개선의 가능성을 확인하였다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구 개발 사업의 지원으로 이루어진 것이며 이에 감사를 드립니다.

## 문 헌

- Kwon JH. 1994. Advances in food irradiation and its potential roles in Korea. *J Food Hygiene and Safety* 9: 35-49.
- Parish ME, Sadler GD, Wicker L. 1990. Viability of *Lactobacillus plantarum* in orange juice under low pH and temperature conditions. *J Food Sci* 55: 1023-1025.
- Wei CI, Chen CM, Koburger JA, Otwell WS, Marshall MR. 1990. Bacterial growth and histamine production on vacuum packaged tuna. *J Food Sci* 55: 59-63.
- Okereke A, Beelman RB, Doores S. 1990. Control of spoilage of canned mushrooms inoculated with *Clostridium sporogenes* PA 3679 spores by acid-blanching. *J Food Sci* 55: 1331-1333.
- Kwon JH, Byun MW, Cha BS, Yang JS, Cho HO. 1988. Improvement of hygienic quality of vegetable mixed condiments using gamma irradiation. *Korean J Food Hygiene* 3: 233-239.
- Lee HJ, Kim JK, Lee SJ, Cho HO. 1993. Microbial growth in dried fishes during preservation. *Korean J Food Hygiene* 8: 135-140.
- Van Calenberg S, Vanhaelewyn G, Van Cleemput O, Callens F, Mondelaers W, Huyghebaert A. 1998. Comparison of the effect of X-ray and electron beam irradiation on some selected spices. *Lebensm-Wiss u-Technol* 31: 252-258.
- Jongen Y, Abs M, Genin F, Nguyen A, Capdevila JM, Defrise D. 1993. The Rhodotron, a new 10 MeV, 100 Kw, cw metric wave electron accelerator. *Nuclear Instruments and Methods* 79: 865-870.
- Byun MW. 1997. Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci and Industry* 30: 89-100.
- Kilcast D. 1996. Food irradiation: current problems and future potential. *International Biodeterioration & Biodegradation* 36: 279-296.
- Kwon JH, Byun MW, Cho HO. 1992. Development of food irradiation technology and consumer attitude toward irradiation food in Korea. *Radioisotopes* 41: 654-662.
- Ito H, Islam S. 1994. Effect of dose rate on inactivation of microorganism in spices by electro-beams and gamma-rays irradiation. *Radiat Phys Chem* 43: 545-550.
- Lee MK, Lee MH, Kwon JH. 1998. Sterilizing effect of electron beam on ginseng powders. *Korean J Food Sci Technol* 30: 1362-1366.
- Lee JE. 1997. Effect of electron-beam irradiation on quality attributes of powdered red pepper and ginger. *MS thesis*. Kyungpook National University, Daegu, Korea.
- Lee JE, Kwon OJ, Kwon JH. 2000. Effect of electron beam irradiation on microbiological and organoleptic qualities of powdered red pepper and ginger. *Korean J Food Sci Technol* 32: 380-386.
- Lee JE, Lee MH, Kwon JH. 2000. Effect of electron beam irradiation on physicochemical qualities of red pepper powder. *Korean J Food Sci Technol* 32: 271-276.
- Lee MK, Kwon JH, Do JH. 1998. Effect of electron-beam irradiation on color and organoleptic qualities of ginseng. *J Ginseng Res* 22: 252-259.
- Kwon H, Lee JE, Kim JS, Kwon JH. 2000. Effect of electron beam irradiation on the quality of Kochujang powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 655-662.
- Hong WJ. 1990. Sanitary sterilization of dried fishes and mixed condiments. *Korean J Soc Food Sci* 6: 97-104.
- APHA. 2001. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. American Public Health Association, Washington DC, USA.
- IAEA. 1982. Training manual on food irradiation technology and techniques. Technical report series. No 114, 2nd ed. Vienna. p 43-60.
- The Ministry of Health and Welfare in Korea. 1997. Food standard code. Seoul, Korea. p 507-550.
- Louise MF, Paul EC, Alistair SG. 1997. The effect of electron beam irradiation, combined with acetic acid, on the survival and recovery of *Escherichia coli* and *Lactobacillus curvatus*. *Int J Food Microbiol* 35: 259-265.

24. Ma K, Maxcy RB. 1981. Factors influencing radiation resistance of vegetative bacteria and spores associated with radappertization of meat. *J Food Sci* 46: 612-616.
25. Chung SS, Han YS. 2003. Consumer's recognition, nutrient composition, and safety evaluation of commercial Sunsik and Saengsik. *Korean J Food Culture* 18: 235-243.
26. Janczynski J, Park JW. 2003. Physicochemical properties of surimi seafood as affected by electron beam and heat. *J Food Sci* 68: 1626-1630.
27. Lee JH, Sung TH, Lee KT, Kim MR. 2004. Effect of gamma-irradiation on color, pungency, and volatiles of Korean red pepper powder. *J Food Sci* 69: 585-592.
28. Wetzel K, Huebner G, Baer M. 1985. International symposium on food irradiation processing. IAEA/FAO, Washington DC, USA. p 13.
29. Cho HO, Kwon JH, Byun MW, Kim YJ, Yang JS. 1986. Effect of ethylene oxide fumigation and gamma irradiation on the quality of ground red and black peppers. *Korean J Food Sci Technol* 18: 294-300.

(2005년 1월 3일 접수; 2005년 2월 28일 채택)