감마선 조사 냉동비빔밥의 미생물 및 관능적 품질특성

박재남 · 송범석 · 윤영민 · 최수정 · 박종흠 · 김재경
변의백 · 이주운 · 한인준 · 손희숙[1] · 김재훈*

한국원자력연구원 첨단방사선연구소,
[1]전북대학교 생활과학대학 식품영양학과

Microbiological and Sensory Characteristics of Gamma-irradiated Frozen *Bibimbap*

Jae-Nam Park, Beom-Seok Song, Young-Min Yoon, Soo-Jeong Choi,
Jong-Heum Park, Jae-Kyung Kim, Eui-Baek Byun, Ju-Woon Lee, In-Jun Han,
Hee-Sook Sohn[1] and Jae-Hun Kim*

Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup 580-185, Korea
[1]*Department of Food Science & Human Nutrition, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756, Korea*

Abstract - This study was conducted to evaluate the effect of gamma irradiation on the microbiological and sensory characteristics of frozen *Bibimbap*. Frozen *Bibimbap* vegetables were contaminated by microbial levels of 2.70～6.67 log CFU g^{-1} in total aerobic bacteria. Frozen *Bibimbap* was contaminated by microbial levels of 4.8 log CFU g^{-1} in total aerobic bacteria, but microorganisms in gamma-irradiated samples at above 25 kGy were not found at detection limit less then 1 log CFU g^{-1}. Sensory characteristics of the gamma-irradiated *Bibimbap* were decreased depending upon the irradiation dose, and sensory scores of the samples irradiated with doses higher than 10 kGy were significantly decreased. Therefore, the application of combination of the various food processing technology should be considered for the sterilization of *Bibimbap*, without any deterioration of quality occurred by high dose irradiation.

Key words : Frozen *Bibimbap*, Gamma irradiation, Microbial safety, Sterilization

서 론

비빔밥은 화려한 시각적 요소와 맛으로 우리나라를 방문하는 외국인들이 가장 선호하는 일품음식으로 2000년 서울시 주관의 한 신문사가 외국인관광객 700명을 대상으로 한 조사에서 가장 선호하는 음식으로 뽑히기도 하였다. 또한, 비빔밥은 여러 가지 나물을 비벼먹는 것으로 각 지방마다 특산 농산물의 사용을 바탕으로 발전되어 왔으며 특히 전주에서 향토명물 음식으로 발전하였다(Kim *et al.* 2004).

이처럼 비빔밥은 불고기, 김치와 더불어 한국을 대표

* Corresponding author: Jae-Hun Kim, Tel. +82-63-570-3205, Fax. +82-63-570-3207, E-mail. jaehun@kaeri.re.kr

하는 전통식품으로 자리매김하고 있다. 우리의 대표적 전통음식인 비빔밥에 대한 연구는 국제화 흐름과 같이 하여 맛과 재료의 다양성을 향상시켜 비빔밥을 편의식으로 개발하는 연구(Ju *et al.* 1998; Han *et al.* 2008), 비빔밥의 위생학적 안전성 연구(Han and Park 2001)와 비빔밥의 여러 가지 채소로부터 pytochemical한 성분들의 기능성 입증연구가 대부분이다(Mun *et al.* 1994; Kim *et al.* 2004; Kang *et al.* 2004). 일부 연구에서는 비빔밥을 우주식품과 같은 특수목적 식품으로 개발하고자 비빔밥을 동결건조한 후 방사선을 조사하여 우주환경에서도 취식이 가능하도록 개발한 연구가 보고된 바 있다(Lee *et al.* 2011). 그러나 일품요리 식품인 비빔밥은 식사하기에 매우 간편하고 맛과 영양적인 면에서 매우 우수함에도 불구하고 건조품을 제외하고 비빔밥을 상온에서 저장할 수 있도록 하고 즉석취식이 가능하도록 개발하고자 하는 연구는 거의 없는 실정이다. 한편 세계 각국에서 식품에 사용되는 보존제로 ethylene dibromide, ethylene oxide, methyl bromide 등의 훈증처리가 유해성분의 생성 및 잔류로 발암성 등 건강장해와 환경공해를 일으킬 수 있기 때문에 그 사용이 금지되거나 제한되고 있다. 반면 방사선 조사는 비열처리 살균방법으로 제품의 품질에 크게 영향을 주지 않으면서도 효과적으로 식품의 미생물학적 안전성을 확보하는 기술로 평가되고 있다(FAO/IAEA/WHO Study group 1999).

따라서 본 연구는 시판되고 있는 냉동비빔밥에 감마선을 조사하여 미생물학적 안전성을 확보하고 나아가 백혈병 등 면역결핍환자에게 제공할 수 있는 식품으로서 개발가능성을 확인하고자 하였다. 이를 위해 냉동비빔밥에 감마선을 조사한 후 저장 중 미생물학적 안전성 평가와 관능적 품질변화를 평가하였다.

재료 및 방법

시료의 준비

실험에 사용한 냉동비빔밥은 K 社 제품을 지역 대형 마트에서 구입하여 사용하였다. 이때 비빔밥은 냉동된 상태였고, 각각의 채소 재료는 분리되어 있었다.

방사선 조사

시료의 감마선 조사는 11.1 PBq, Co-60 감마선 조사시설(IR-221 gamma irradiator, MDS Nordion, Canada)을 이용하여 실온(20±2°C)에서 시간당 10 kGy h^{-1}의 선량률로 흡수선량이 각각 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 kGy가 되도록 조사하였으며 흡수선량의 확인은 방사선 선량계(Ceric cerous dosimeter, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 총 흡수선량의 오차를 계산하였다.

저장성 평가

가속저장 시험은 저장 온도를 높여 미생물의 생육과 품질변화 속도를 증가시켜 단시간 내에 저장 및 유통 중 식품의 품질변화 양상, 오염미생물의 생육과 부패도달 속도 및 저장가능 기간을 측정하거나 예측하는 데 사용되는 방법으로 가속저장 시험을 통해 즉석 햄버거스테이크(Park *et al.* 2004) 및 고추장(Lee *et al.* 1997)의 저장 중 품질변화와 유통기한을 예측한 연구가 보고된 바 있다. 즉, 방사선 조사 후 시료를 가속조건 온도인 35°C Incubator (Fisher Isotemp, Fisher Scientific Inc., Pittsburgh, PA, USA)에서 저장하며 미생물 및 관능적 품질변화 시험을 실시하였다. 실험은 감마선 조사 직후 및 저장 0, 1, 3, 5, 7일에 실시하였다.

미생물 생육 시험

냉동비빔밥의 저장 중 미생물 생육 시험을 위해 시료 10 g을 clean bench 내에서 멸균 nylon bag (10×15 cm; Sunkyung Co., Ltd., Korean)에 담아 시료 중량의 9배의 멸균 peptone 수(0.1% 함유, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 넣고 Stomacher Lab Blender (Model 400, Tekmar Co., USA)로 1분간 균질하여 시험액으로 사용하였다. 시험액을 Plat Count Agar (Difco Co., Detroit, USA)에 접종하고 37°C 배양 온도에서 2～4일간 배양하여 생성된 colony의 수를 colony counter (IPI Inc., Microcount 1008, CA, USA)를 이용하여 계수하였다. 미생물 수는 시료 1 g당 colony forming unit (CFU)로 나타내었다. 검출을 위한 최소 계수 한계치는 1 log CFU g^{-1}이었다.

관능검사

관능검사를 위한 panel은 식품을 전공하는 석·박사 연구원 10인을 대상으로 하였으며 나이·성별 등을 기록하고 각 시료는 물 컵, 시료를 뱉는 컵, 정수기에서 받은 물을 시료 사이에 제공하였으며, 검사 중의 영향을 최소화하기 위해 total session은 10～12분으로 정하였다. 이때의 평가항목은 외관(appearance), 경도(texture), 맛(taste), 향(flavor), 종합적인 기호도(overall acceptability)에 대하여 7점 척도법으로 평가하였다. 이때 매우 좋아한다(강하다): 7점, 좋지도 싫지도 않다: 4, 매우 싫어한다(약하다): 1점이었다.

통계분석

이상의 실험에서 얻어진 결과는 Statistical Package for Social Sciences (SPSS, 10.0)를 이용하여 One Way ANOVA 분석을 하였으며, 시료간의 유의성은 Duncan's multiple range test로 $p<0.05$ 수준에서 비교하였다.

결과 및 고찰

감마선 조사에 따른 냉동비빔밥 부재료의 가속 저장 중 미생물 변화

감마선 조사 및 조사되지 않은 냉동비빔밥을 35°C에서 각각 3일간 저장하면서 일반 총세균수의 생육정도를 측정한 결과는 Table 1에 나타내었다. 비조사 고추장 양념의 경우 초기 총세균수는 4.13 log CFU g^{-1}를 나타냈고, 3일간 가속 저장 중 3 log CFU g^{-1} 수준이 증가하는 것으로 나타났다. 한편 10 kGy 조사된 고추장 양념의 경우 2.80 log CFU g^{-1}에서 4.34 log CFU g^{-1}으로 3일간 저장하면서 1.5 log CFU g^{-1} 수준이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 고추장에 오염된 미생물의 제어가 가장 어려우며 대부분 *Bacillus* spp. 때문인 것으로 판단되었다 (Kim *et al.* 2001; Jeon 2005). 다른 부재료의 경우 감마선 비조사 시료군 모두가 저장 3일 후 부패 단계에 도달한 것으로 나타났다. 일반적으로 식품에서 총균수가 6 log CFU g^{-1}에 도달하면 부패 초기이며 7 log CFU g^{-1}에서는 부패현상을 나타내어 더 이상 가식이 불가능한 것으로 알려져 있다 (Lee *et al.* 2000). 본 실험에서도 가속저장 3일 후 총세균수가 대부분 7 log CFU g^{-1} 이상 나타난 시료는 심한 부패취와 함께 점액질이 생성되는 등의 전형적인 부패 현상이 관찰되었다. 감마선 조사한 실험구 모두에서 조사선량에 의존적으로 초기 오염된 총세균수의 양이 감소되었다 ($p<0.05$). 시금치와 당근을 제외한 부재료의 경우 10 kGy 조사구에서 가속 저장 3일에 대부분 생존한 균의 회복현상이 나타나 미생물이 증식하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 10 kGy 수준의 감마선

Table 1. Effect of gamma irradiation on the growth of total aerobic bacteria of freezed *Bibimbap* materials during storage at 35°C

(Unit: log CFU g^{-1})

Sample	Storage (days)	Dose (kGy)				
		0	1	3	5	10
Red pepper paste	0	4.13 ± 0.14^{aA}	3.43 ± 0.10^{aB}	3.53 ± 0.28^{aB}	3.23 ± 0.17^{aB}	2.80 ± 0.20^{aC}
	1	6.34 ± 0.35^{bA}	6.47 ± 0.29^{bA}	4.28 ± 0.30^{bB}	4.19 ± 0.22^{bB}	4.31 ± 0.19^{bB}
	3	7.26 ± 0.52^{cA}	6.68 ± 0.61^{bAB}	5.43 ± 0.48^{cB}	4.27 ± 0.24^{bC}	4.34 ± 0.31^{bC}
Bean sprouts	0	3.16 ± 0.20^{aA}	3.14 ± 0.15^{aA}	2.10 ± 0.10^{aB}	ND[1)]	ND
	1	7.53 ± 0.38^{bA}	4.25 ± 0.28^{bB}	3.71 ± 0.24^{bC}	2.66 ± 0.15^{aD}	1.32 ± 0.09^{aE}
	3	6.18 ± 0.83^{bA}	6.43 ± 0.51^{cA}	5.54 ± 0.67^{cAB}	4.31 ± 0.29^{bB}	3.76 ± 0.17^{bC}
Radish	0	3.28 ± 0.24^{aA}	3.11 ± 0.16^{aA}	ND	ND	ND
	1	6.41 ± 0.53^{bA}	5.24 ± 0.43^{bA}	4.30 ± 0.20^{aB}	3.68 ± 0.27^{aC}	ND
	3	7.31 ± 0.76^{bA}	6.48 ± 0.54^{cAB}	5.80 ± 0.41^{bB}	4.61 ± 0.22^{bC}	2.22 ± 0.10^{D}
Pyogo mushroom	0	3.25 ± 0.23^{aA}	2.10 ± 0.31^{aB}	ND	1.10 ± 0.39^{aC}	ND
	1	6.87 ± 0.66^{bA}	5.19 ± 0.35^{bB}	4.30 ± 0.48^{aC}	3.23 ± 0.45^{bD}	ND
	3	7.19 ± 0.57^{bA}	6.74 ± 0.59^{cA}	5.35 ± 0.36^{bB}	4.28 ± 0.51^{cC}	2.48 ± 0.14^{D}
Dropwort	0	4.42 ± 0.85^{aA}	4.12 ± 0.56^{aA}	2.70 ± 0.15^{aB}	ND	ND
	1	6.43 ± 0.73^{bA}	5.25 ± 0.44^{bA}	4.17 ± 0.37^{bB}	1.76 ± 0.16^{aC}	ND
	3	6.28 ± 1.01^{bA}	6.45 ± 0.85^{cA}	5.69 ± 0.91^{cA}	4.21 ± 0.29^{bB}	ND
Bellflower root	0	3.11 ± 0.31^{aA}	2.10 ± 0.16^{aB}	ND	ND	ND
	1	4.80 ± 0.55^{bA}	4.44 ± 0.54^{bA}	2.31 ± 0.26^{aB}	ND	ND
	3	6.31 ± 0.80^{cA}	6.49 ± 0.64^{cA}	5.38 ± 0.88^{bA}	3.04 ± 0.41^{B}	2.24 ± 0.15^{C}
Bracken	0	2.20 ± 0.23^{aA}	2.10 ± 0.18^{aA}	ND	ND	ND
	1	4.83 ± 0.44^{bA}	3.55 ± 0.29^{bB}	1.50 ± 0.07^{aC}	1.20 ± 0.08^{aC}	ND
	3	6.64 ± 0.99^{cA}	6.49 ± 0.94^{cA}	5.38 ± 1.14^{bB}	4.28 ± 0.84^{bC}	2.05 ± 0.17^{D}
Carrot	0	2.70 ± 0.41^{aA}	2.20 ± 0.26^{aA}	ND	ND	ND
	1	5.28 ± 0.64^{bA}	3.54 ± 0.20^{bB}	3.28 ± 0.29^{aB}	2.54 ± 0.16^{aC}	ND
	3	7.57 ± 1.11^{cA}	7.34 ± 1.07^{cA}	5.91 ± 0.78^{bB}	3.28 ± 0.24^{bC}	ND

[a-c]Mean within the same column different letters differ significantly ($p<0.05$).
[A-E]Mean within the same row different letters differ significantly ($p<0.05$).
[1)]Not detected within the detection limit at <1 log CFU g^{-1}

Table 2. Sensory properties of Freezed *Bibimbap* immediately after gamma irradiation

Sample	Dose (kGy)	Characteristics					
		Appearance	Texture	Taste	Flavor	Off odor	Overall acceptability
Red pepper paste	0	6.66±0.57^{a}	6.01±0.49^{a}	6.23±0.29^{a}	6.33±0.40^{a}	1.02±0.29^{a}	6.33±0.32^{a}
	1	6.87±0.22^{a}	6.03±0.32^{a}	6.14±0.13^{a}	6.21±0.36^{a}	1.21±0.13^{a}	6.39±0.26^{a}
	3	6.66±0.64^{a}	6.00±0.26^{a}	6.19±0.36^{a}	6.03±0.46^{a}	1.17±0.26^{a}	6.21±0.36^{ab}
	5	6.54±0.34^{a}	5.67±0.16^{a}	6.02±0.16^{a}	5.97±0.62^{ab}	1.23±0.06^{a}	5.98±0.34^{ab}
	10	6.64±0.16^{a}	5.99±0.45^{a}	5.38±0.45^{b}	5.66±0.66^{b}	1.66±0.25^{b}	5.73±0.50^{b}
Bean sprouts	0	6.00±0.49^{a}	6.02±0.37^{a}	6.00±0.76^{a}	6.33±0.86^{a}	1.00±0.29^{a}	6.02±0.79^{a}
	1	5.20±0.58^{ab}	5.87±0.32^{a}	5.66±0.57^{a}	5.66±0.26^{a}	1.33±0.31^{a}	5.78±0.39^{a}
	3	4.53±0.74^{bc}	5.33±0.58^{ab}	4.00±0.86^{b}	4.00±0.38^{b}	2.71±0.39^{b}	4.35±0.66^{bc}
	5	4.01±0.30^{c}	4.66±0.48^{b}	3.33±0.57^{c}	3.35±0.19^{c}	3.64±0.25^{bc}	3.67±0.86^{c}
	10	3.30±0.22^{d}	3.00±0.53^{c}	2.00±0.85^{d}	2.19±0.33^{d}	4.00±0.47^{c}	2.39±0.77^{d}
Radish	0	6.34±0.56^{a}	6.00±0.97^{a}	6.21±0.39^{a}	6.24±0.87^{a}	1.15±0.29^{a}	6.15±0.54^{a}
	1	6.30±0.55^{a}	5.46±0.78^{ab}	6.02±0.54^{a}	5.99±0.58^{ab}	1.60±1.13^{a}	6.03±0.31^{a}
	3	5.97±0.98^{a}	4.76±0.86^{b}	5.34±0.39^{b}	5.57±0.68^{b}	2.00±0.86^{a}	4.64±0.46^{b}
	5	5.83±0.75^{a}	3.43±0.84^{cd}	3.68±0.87^{c}	4.53±0.62^{c}	3.39±1.16^{b}	3.78±0.62^{c}
	10	5.89±0.96^{a}	2.76±1.01^{d}	2.44±0.57^{d}	3.00±0.73^{d}	3.94±1.45^{b}	2.14±0.41^{d}
Pyogo mushroom	0	6.67±0.09^{a}	5.68±0.79^{a}	6.24±0.49^{a}	6.11±0.20^{a}	1.01±0.29^{a}	6.10±0.65^{a}
	1	6.13±0.35^{ab}	5.54±0.69^{a}	5.84±0.72^{a}	5.89±0.36^{a}	1.00±0.38^{a}	6.00±0.43^{a}
	3	5.87±0.79^{bc}	5.01±0.68^{ab}	5.10±0.78^{a}	4.97±0.58^{b}	1.86±0.42^{bc}	5.72±0.78^{a}
	5	5.43±0.83^{c}	4.42±0.49^{bc}	4.27±0.46^{b}	4.38±0.19^{b}	2.43±0.53^{c}	4.18±0.62^{b}
	10	4.16±0.72^{d}	4.00±0.81^{c}	3.58±0.72^{b}	3.29±0.58^{c}	4.68±0.49^{d}	3.23±0.37^{c}
Miari	0	6.06±0.57^{a}	6.13±0.35^{a}	6.00±0.57^{a}	6.11±0.50^{a}	1.66±0.29^{a}	6.09±0.47^{a}
	1	6.13±0.75^{a}	5.63±0.87^{ab}	5.89±0.38^{a}	5.97±0.28^{a}	1.53±0.65^{a}	5.90±0.46^{a}
	3	6.00±0.32^{ab}	4.39±0.64^{bc}	5.43±0.43^{a}	5.43±0.68^{ab}	2.00±0.99^{ab}	4.76±0.76^{b}
	5	6.17±0.24^{a}	3.32±0.71^{c}	4.43±0.84^{b}	4.47±0.63^{bc}	3.01±0.52^{b}	3.33±0.62^{c}
	10	5.76±0.43^{b}	3.28±0.58^{c}	4.00±0.39^{b}	3.86±0.77^{c}	4.47±0.54^{c}	2.42±0.50^{d}
Bellflower root	0	6.01±0.57^{a}	6.14±0.75^{a}	5.94±0.65^{a}	5.53±0.84^{a}	1.27±0.38^{a}	6.06±0.72^{a}
	1	6.21±0.42^{a}	5.96±0.32^{a}	5.68±0.64^{a}	5.67±0.51^{a}	1.42±0.55^{a}	6.02±0.29^{a}
	3	6.00±0.40^{a}	4.89±0.98^{ab}	5.39±0.55^{ab}	4.84±0.98^{ab}	2.01±0.68^{ab}	5.43±0.66^{a}
	5	5.42±0.54^{b}	3.94±1.08^{b}	4.84±0.63^{b}	3.89±0.75^{bc}	2.42±0.37^{ab}	3.73±1.07^{b}
	10	5.67±0.52^{ab}	2.03±0.53^{c}	3.20±0.54^{c}	3.65±0.29^{c}	3.33±0.39^{b}	2.48±1.29^{b}
Bracken	0	6.01±0.62^{a}	5.86±0.74^{a}	5.34±0.74^{a}	6.11±0.64^{a}	1.00±0.45^{a}	6.00±0.77^{a}
	1	6.00±0.44^{a}	5.93±0.91^{a}	5.40±0.53^{a}	5.62±0.46^{ab}	1.34±0.79^{a}	5.87±0.64^{a}
	3	5.99±0.81^{a}	4.86±0.43^{b}	5.01±0.41^{ab}	4.96±0.73^{bc}	1.92±0.85^{ab}	5.30±0.81^{ab}
	5	5.79±0.57^{a}	3.00±0.42^{c}	4.53±0.89^{b}	4.57±0.96^{c}	2.78±0.95^{b}	4.68±0.59^{b}
	10	5.85±0.79^{a}	2.01±0.79^{d}	3.40±0.54^{c}	3.05±0.72^{d}	4.68±1.04^{c}	2.36±0.88^{c}
Carrot	0	6.14±0.68^{a}	6.20±0.48^{a}	6.00±0.29^{a}	5.99±0.81^{a}	1.02±0.92^{a}	6.19±0.70^{a}
	1	6.04±0.58^{a}	6.13±0.52^{a}	6.06±0.49^{a}	5.95±0.61^{a}	1.23±0.73^{a}	6.08±0.82^{a}
	3	6.00±0.70^{a}	5.69±0.96^{ab}	5.78±0.47^{a}	5.63±0.80^{a}	2.04±0.98^{ab}	5.69±0.96^{ab}
	5	5.88±0.57^{a}	4.99±0.43^{b}	4.33±0.63^{b}	4.39±0.59^{b}	3.19±0.83^{bc}	4.85±0.75^{b}
	10	5.93±0.83^{a}	2.38±0.68^{c}	3.00±0.54^{b}	2.76±0.93^{c}	3.46±0.94^{c}	3.00±0.87^{c}

$^{a-d}$Mean within the same column different letters differ significantly ($p < 0.05$).

조사는 비빔밥 부재료에 오염된 미생물을 제어하는데 어려움이 있는 것으로 사료되었으며 보다 높은 수준의 감마선 조사가 필요한 것으로 판단되었다.

감마선 조사에 따른 냉동비빔밥 부재료의 관능적 품질변화

감마선 조사 및 조사되지 않은 비빔밥 부재료들의 관능적 품질 변화를 Table 2에 나타내었다. 고추장 양념의 경우 외관 및 조직감은 10 kGy 감마선 조사에 영향을 받지 않는 것으로 나타났으나 맛, 풍미, 냄새 및 종합적 기호도의 경우 10 kGy 수준으로 조사 할 때 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 모든 평가항목에서 5.0 이상의 점수를 보여 감마선 조사에 의해 다소 품질이 저하되지만 취식하지 못할 정도까지 저하되지는 않는 것으로 나타났다. 다른 부재료의 경우 감마선 조사 선량이 증가할수록 관능적 품질이 모든 평가항목에서 저하되는 것으로 나타났다. 특히, 5 kGy 이상의 선량에서

는 모든 평가항목에서 관능적 품질이 급격히 저하되었다. 현재까지 비빔밥 부재료에 각각에 대한 감마선 조사 연구는 보고되지 않았지만, 일반적으로 식품에 일정한 선량 이상으로 감마선을 조사할 경우 식품의 관능적 품질을 저하시킬 수 있으며, 이러한 현상은 감마선 조사선량이 증가할수록 더욱 커지는 것으로 보고되고 있다(Maxie and Abdel-Kader 1996; Park *et al*. 2007). 한편, 감마선 조사에 의한 관능적 품질저하와 같이 문제점을 해결하기 위한 방법으로는 진공 또는 가스치환 포장(Lacroix and Lafortune 2004), 냉동온도에서의 방사선 조사(Desmonts *et al*. 1998), 항산화제의 병용처리 등이 효과적인 것으로 보고되고 있다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 감마선 조사된 냉동비빔밥 부재료의 품질을 유지하기 위해서는 다른 식품가공 기술과 감마선 조사기술을 병용해야 할 것으로 사료되었다.

감마선 조사에 따른 냉동비빔밥의 가속저장 중 미생물 변화

냉동비빔밥에 감마선 조사하여 35°C에서 10일간 저장하면서 총균수 변화 측정 결과를 Table 3에 나타내었다. 비빔밥을 포함한 도시락류의 위생기준으로는 1993년 식품공전에서 일반세균수가 6 log CFU g^{-1} 이하 대장균군 음성으로 규제하였고, 1994년에는 일반세균수는 유지되고 식중독균이 검출되어서는 안되는 것으로 규정하였다(KFDA). 본 연구에 사용된 비빔밥은 4.8 log CFU g^{-1} 수준으로 나타나 신선한 상태인 것으로 판단되었다. 비빔밥에 감마선을 조사한 결과, 감마선 조사선량이 증가할수록 총균수는 감소하였고 15 kGy 이상 조사할 경우 검출한계 이하(1 log CFU g^{-1})까지 감소하는 것으로 나타났으나 저장 중 미생물이 생육하는 것으로 나타났다. 그러나 25 kGy 이상 수준의 감마선을 조사 할 경우 비빔밥을 가속 저장하더라도 검출한계 이하까지 미생물을

Table 3. Effect of gamma irradiation on the growth of total aerobic bacteria of Freezed *Bibimbap* during storage at 35°C (Unit: log CFU g^{-1})

Storage (days)	Dose (kGy)								
	0	1	3	5	10	15	20	25	30
0	4.8±0.7^{aA}	4.3±0.4^{aA}	3.9±0.4^{aB}	3.3±0.5^{aB}	3.0±0.4^{aB}	ND[1)]	ND	ND	ND
1	7.3±0.9^{bA}	6.7±0.9^{bA}	6.8±0.7^{bA}	6.2±1.3^{bAB}	5.5±0.7^{bB}	3.2±0.5^{aC}	ND	ND	ND
2	–[2)]	–	–	–	7.4±1.4^{cA}	4.3±1.3^{abB}	ND	ND	ND
3	–	–	–	–	–	5.4±0.9^{b}	ND	ND	ND
5	–	–	–	–	–	7.2±0.8^{cA}	2.3±0.4^{aB}	ND	ND
7	–	–	–	–	–	–	4.6±1.2^{b}	ND	ND

$^{a-c}$Mean within the same column different letters differ significantly ($p<0.05$).
$^{A-C}$Mean within the same row different letters differ significantly ($p<0.05$).
[1)]Not detected within the detection limit at < 1 log CFU g^{-1}.
[2)]Bar indicates no determination of bacteria because of spoilage (> 7 log CFU g^{-1}).

Table 4. Sensory properties of Freezed *Bibimbap* treated with gamma-irradiation during storage at 35°C

Sensory (items)	Storage (days)	Irradiation dose (kGy)								
		Con	1	3	5	10	15	20	25	30
Flavor	0	6.3±1.1^{A}	6.0±0.4^{A}	5.8±0.7^{A}	5.0±0.8^{aAB}	4.9±0.5^{aBC}	4.0±0.9^{aC}	4.1±1.6^{aBC}	3.5±0.9^{aC}	2.0±0.4^{aD}
	1	–[1)]	–	–	2.1±1.0^{bC}	3.3±0.9^{bBC}	3.7±1.0^{abA}	4.0±1.2^{aA}	3.2±1.2^{aAB}	1.7±1.9^{aC}
	2	–	–	–	–	2.3±0.7^{cB}	3.6±1.2^{bA}	3.3±1.9^{aAB}	2.2±0.7^{bB}	1.5±0.7^{aC}
	3	–	–	–	–	–	1.1±0.7^{cB}	3.7±0.8^{aA}	1.8±0.9^{bcB}	1.7±1.6^{aB}
	5	–	–	–	–	–	1.9±0.8^{cB}	3.5±1.4^{aA}	1.3±1.1^{cB}	1.8±1.0^{aB}
	7	–	–	–	–	–	–	–	1.5±0.8^{bcA}	1.4±1.2^{aA}
Overall acceptability	0	6.4±0.4^{aA}	6.0±0.8^{A}	5.5±0.9^{A}	5.2±1.1^{aAB}	4.8±0.6^{aBC}	4.2±1.0^{aC}	4.3±0.8^{aC}	3.1±0.4^{aD}	1.6±0.6^{aE}
	1	–	–	–	1.9±0.8^{bBC}	4.3±0.5^{abA}	4.0±0.8^{aA}	4.1±0.5^{aA}	2.6±0.5^{bB}	2.0±1.4^{aB}
	2	–	–	–	–	3.2±1.3^{bA}	2.0±0.6^{bB}	3.7±1.2^{aA}	2.0±0.8^{bcB}	2.1±0.8^{aB}
	3	–	–	–	–	–	2.1±0.8^{bB}	3.5±1.0^{aA}	1.7±0.7^{bcB}	1.5±0.7^{aB}
	5	–	–	–	–	–	1.6±1.1^{bB}	3.6±1.9^{aA}	1.5±0.6^{cB}	1.2±0.9^{aB}
	7	–	–	–	–	–	–	–	1.2±0.9^{cA}	1.4±1.0^{aA}

$^{a-c}$Mean within the same column different letters differ significantly ($p<0.05$).
$^{A-E}$Mean within the same row different letters differ significantly ($p<0.05$).
[1)]Bar indicates no determination of sensory properties because of spoilages.

제어할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 저장기간이 경과함에 따라 비빔밥에 존재하는 미생물의 증식으로 인해 비조사구 및 5 kGy 이하로 조사된 비빔밥의 경우 저장 1만에 부패 및 부패초기에 도달하였으나 조사선량이 증가함에 따라 미생물의 증식이 억제되어 15 kGy 이상 조사할 경우 저장 2일 후 총균수가 4.3 log CFU g^{-1} 정도로 나타나 초기부패 (5～6 log CFU g^{-1}) 수준에 도달하지 않는 것으로 나타났다. 특히, 25 kGy 이상으로 감마선을 조사 할 경우 비빔밥의 미생물 사멸효과로 저장기간을 연장시킬 수 있는 것으로 사료되었다.

감마선 조사에 따른 냉동비빔밥의 관능적 품질

비빔밥에 감마선 조사하여 35°C에서 10일간 저장하면서 관능적 품질변화를 측정한 결과를 Table 4에 나타내었다. 관능평가 결과 향 및 종합적 기호도는 5 kGy 이하의 선량에서는 대조구와 비교할 때 유의적인 변화가 없는 것으로 나타났으나, 10 kGy 이상의 선량에서는 방사선 조사선량이 증가할수록 점수가 유의적으로 낮게 나타났다. 특히 미생물을 검출한계 이하까지 제어할 수 있는 선량인 25 kGy 이상 조사 시 관능적 품질이 매우 낮아져 품질저하 방지를 위한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료되었다. 방사선에 의한 식품의 품질 저하는 방사선 조사에 의해 생성된 래디컬의 작용으로 단백질과 지방에 영향을 미치기 때문이다 (Schweigert *et al.* 1954; Merritt 1966; Lee *et al.* 2005). 그러나 이러한 관능적 품질저하는 방사선 조사 시 환경조건, 식품의 가공 상태 및 구성성분 등 그 특성에 따라 차이가 있으며, 천연 항산화제 첨가 및 포장방법 개선 등으로 관능적 품질 개선이 가능하다 (Hashim *et al.* 1995; Luchsinger *et al.* 1997; Byun *et al.* 2000; Lee *et al.* 2005). 또한 몇몇 연구에서 방사선 조사와 식품가공 병용처리 기술을 적용해 다양한 우주식품을 개발한 바 있다 (Park *et al.* 2007; Song *et al.* 2009; Song *et al.* 2012).

이상의 결과를 종합하여 볼 때 향후 방사선 조사 조건, 포장방법 및 항산화제 첨가 등에 대한 다양한 연구가 보완되어야 할 것으로 판단하였다. 아울러 방사선 조사를 이용한 비빔밥의 위생화를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료되었다.

결 론

본 연구는 감마선 조사된 냉동비빔밥의 저장 중 미생물, 관능적 품질변화를 평가하고자 실시되었다. 미생물 분석결과 멸균을 위한 최적선량은 약 25 kGy인 것으로 나타났다. 야채류를 각각 조사한 결과 10 kGy 이하 선량에서 일부 멸균을 확인할 수 있었으나 관능적 품질이 저하 되었다. 또한 이들을 혼합하여 비빔밥을 제조한 후 감마선 조사 후에 관능평가를 실시한 결과 조사선량이 증가할수록 모든 평가항목에서 유의적으로 감소하는 것으로 나타났으며 ($p < 0.05$) 미생물을 검출한계 이하까지 제어할 수 있는 선량인 25 kGy 이상 조사 시 관능적 품질이 매우 낮아져 품질저하 방지를 위한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료되었다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 냉동비빔밥을 상온유통 할 수 있도록 개발하기 위해서는 다른 시품가공기술을 병용처리와 아울러 감마선 조사에 따른 품질 저하를 최소화 하는 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2013년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 및 농림축산식품부 고부가가치식품기술개발 사업을 통해 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Byun MW, Lee JW, Yook HS, Lee KH, Kim S, Kim WJ and Kim KS. 2000. Effect of gamma irradiation on the raw meat in Bolona sausage production. *Int J Food Sci Technol.* **35**: 599-601.

Desmonts MH, Pierrat N, Ingersheim A and Strasser A. 1998. Use of irradiation in combination with other treatments to improve the quality of precooked meals. Combination Processes for Food Irradiation. IAEA, Vienna. pp. 201-221.

FAO/IAEA/WHO Study group. 1999. High dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. pp. 1-9.

Han KS, Pyo SH, Lee EJ and Lee HA. 2008. Standardization of the recipe for the large-scale production of korean cooked rice varieties - Bibimbap, bean sprout bab, and fried rice. *Korean Soc. Food and Cookery Sci.* **24**:580-592.

Han YS and Park JY. 2001. The microbiological and sensorial properties of frozen bibimbap namul during storage. *Korean J. Soc. Food and Cookery Sci.* **17**:149-155.

Hashim IB, Resurreccion AVA and MacWatters KH. 1995. Disruptive sensory analysis of irradiated frozen or refriger-

ated chicken. *J. Food Sci.* **60**:664-666.

Jeon JY. 2005. Application of gamma irradiation technology for assuring safety of military meals. Master thesis, Seoul National Univ., Seoul, Korea.

Ju JJ, Shin MG, Kwon GS and Yoon GS. 1998. Recipe standardization and nutrient analysis of local foods of cheollabuk-do province (The first report). *Korean J. Community Nutr.* **3**:630-641.

Kang MY, Kim S, Yun HJ and Nam SH. 2004. Antioxidative activity of the extracts from Oak mushroom (*Lentinus edodes*) with unmarketable quality. *Korean J. Food Sci. Technol.* **36**:648-652.

KFDA. Food Code. 2003. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea.

Kim DH, Yook HS, Youn KC, Sohn CB and Byun MW. 2001. Changes of mirobiological and general quality characteristics of gamma irradiated Kochujang (fermented hot pepper paste). *Korean J. Food Sci. Technol.* **33**:72-77.

Kim US, Yoon HK and Koo SJ. 2004. Electron donation ability and nitrite scavenging activity of materials in a traditional one-dish meal (*bibimbap*). *Korean J. Soc. Food Cookery Sci.* **20**:677-683.

Lacroix M and Lafortune R. 2004. Combined effects of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on bacterial resistance in grated carrots (*Daucus carota*). *Radiat. Phys. Chem.* **71**:77-80.

Lee JW, Park KS, Kim JG, Oh SH, Lee YS, Kim JH and Byun MW. 2005. Combined effects of gamma irradiation and rosemary extract on the shelf-life of a ready-to-eat hamburger steak. *Radiat. Phys. Chem.* **72**:49-56.

Lee JY, Song BS, Park JN, Kim JH, Choi JI, Park JH, Kim JK and Lee JW. 2011. Development of freeze-dried Bibimbap, Korean cooked rice with red pepper paste, as a space food sterilized by irradiation. *Journal of Radiation Industry* **5**: 267-272.

Lee SH, Lee HJ and Byun MW. 1997. Effects of ozone treatment and gamma irradiation on the microbial decontamination and physicochemical properties of red pepper powder. *J. Korean Soc. Food Nutr.* **26**:462-467.

Lee SH, Moon WS and Park KN. 2000. Antimicrobial activity of *Caesalpina sappan* L. extracts and its effect on preservation of ground meats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **29**: 888-892.

Luchsinger SE, Kropf DH, Chambers E, Zepeda CME, Hunt MC, Stroda SL, Hollingsworth ME, Marsden JL and Kastner CL. 1997. Sensory analysis of irradiated ground beef patties and whole muscle beef. *J. Sensory Studies.* **12**:105-126.

Maxie EC and Abdel-Kader A. 1996. Food irradiation-physiology of fruits as related to feasibility of the technology. *Adv. Food Res.* **15**:105-138.

Merritt C. 1966. Chemical changes induced by irradiation in meats and meat components. *In Food Irradiation* (STI/PUB /127). Int. Atomic Energy Agency, Vienna.

Mun SI, Ryu HS, Lee HJ and Choi JS. 1994. Further screening for antioxidant activity of vegetable plants and its active principles from zatho-xylum schinifolium. *J. Korean Soc. Food Nutr.* **23**:466-471.

Park JM, Lee JW, Kim JH, Kim KS, Han KJ, Sul MS, Lee HJ and Byun MW. 2007. Studies on manufacturing of *Sujeonggwa* (Korean traditional cinnamon flavored persimmon punch) edible in severe environment by gamma irradiation. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **36**:609-615.

Park KS, Kim JG, Lee JW, Oh SH, Lee YS, Kim JH, Kim WG and Byun MW. 2004. Effects of combined treatment of gamma irradiation and addition of rosemary extract powder on ready-to-eat hamburger steaks: II Improvement in quality. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **33**:694-699.

Schweigert BS, Doty DM and Niven CF. 1954. A summary of studies on the irradiation of meats. In Radiation sterilization: Review of the literature in selected fields. Chicago Quartermaster Depot, U.S. Army, Chicago, IL.

Song BS, Park JG, Kim JH, Choi JI, Ahn DH, Hao C and Lee JW. 2012. Development of freeze-dried miyeokguk, Korean seaweed soup, as space food sterilized by irradiation. *Radiat. Phys. Chem.* **46**:1111-1114.

Song BS, Park JG, Park JN, Han IJ, Kim JH, Choi JI, Byun MW and Lee JW. 2009. Korean space food development: Ready-to-eat *Kimchi*, a traditional Korean fermented vegetable, sterilized with high-dose gamma irradiation. *Advances in Space Research* **44**:162-169.

SPSS. 1999. SPSS for Windows. Rel. 10.05. SPSS Inc. Chicago, IL, USA.

Manuscript Received: November 19, 2013
Revised: November 21, 2013
Revision Accepted: November 21, 2013