

방사선 기술 이용 우주식품의 위생화

Sanitization of space foods using irradiation technology

송범석*, 김재훈, 김재경, 박종흠, 변의백, 이주운

Beom-Seok Song*, Jae-Hun Kim, Jae-Kyung Kim, Jong-Heum Park, Eui-Baek Byun, and Ju-Woon Lee

한국원자력연구원 첨단방사선연구소

Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongseup 580-185, Republic of Korea

1. 우주식품 개발 역사

1960년대 미국과 러시아에 의해 유인우주탐사 계획을 본격적으로 추진함에 따라 우주인들이 섭취해야할 우주식품 개발 연구가 시작되었다. 초기의 우주식품은 대부분이 건조 형태로 관능적 품질이 매우 낮아 우주인으로부터 선호 받지 못하였으며 이러한 점을 개선하기 위해 레토르트 식품, 조사 식품 등 위생안전성을 확립한 다양한 종류의 우주식품이 개발되어 왔다(Cooper et al., 2011).

머큐리(Mercury) 프로젝트(1961~1963년)를 통해 우주인들은 한입크기로 만들어진 음식조각, 동결건조 분말가루, 알루미늄 튜브에 포장된 유동식 등을 섭취하였으나, 동결건조식품은 물을 첨가하여 원래상태로 만들어 섭취하기가 용이하지 않았고 작은 음식 부스러기들이 중요한 기계들을 망치는 것을 방지하는데 노력을 기울여야 했다. 초기 우주식품들은 대체적으로 관능품질이 낮았으며, 튜브를 짜서 먹는 형태의 음식들을 우주인들이 선호하지 않았다.

제미니(Gemini) 프로젝트(1965~1966년)에서 사용된 우주식품은 다소 개선되어 건조된 음식 블록들은 젤라틴으로 코팅되어졌으며 동결건조식품은 특수 플라스틱 용기에 담겨져 물을 첨가하여 섭취할 수 있도록 개선되었다. 포장재의 개선으로 보다 나은 종류의 음식들을 제공하였으며, 새우 각테일, 야채와 닭고기, 버터스카치 푸딩, 사과 소스 등의 식품이 제공되었다(Lachance et al., 1967).

아폴로(Apollo) 프로그램(1968~1972년)에서 사용된 우주식품은 획기적으로 개선되어 뜨거운 물을 이용해 동결건조식품을 섭취할 수 있었으며, 플라스틱 용기와 함께 숟가락 등의 식기를 사용할 수 있었다. 또한 가열처리가 가능한 파우치도 이 시기에 도입되었다(Bourland, 1998).

유인우주실험실(Skylab) 프로그램(1973~1974년)에서는 기존과 달리 식탁에 앉아서 식사를 할 수 있다. 발을 공간 바닥에 지지시켜주는 장치를 이용하며, 칼, 숟가락, 포크, 및 가위 등을 사용할 수 있으며, 비교적 풍부한 공간이 확보되어 있고 냉장고 및 냉동고가 있어 다양한 음식을 제공할

* Correspondence to: Song, Beom-Seok

Senior Researcher, Division of Radiation Practical Application Technology, Advanced Radiation Technology Institute of Korea Atomic Energy Research Institute 1266 Sinjeon-dong, Jeongseup-si, Jeollabuk-do, 580-185, Korea
Tel: +82-63-570-3211 Fax: +82-63-570-3207 E-mail: sbs0110@kaeri.re.kr

수 있었다(Turner and Sanford, 1974).

1981년 이후 우주왕복선(Space Shuttle)과 국제우주정거장(International Space Station)에서 섭취한 우주식품들은 알루미늄 파우치에 분말형태로 포장되어 물을 첨가 후 복원하여 섭취하는 다양한 건조형태의 식품, 수분이 10%를 초과하는 음식을 바로 먹을 수 있도록 레토르트 파우치 또는 캔에 포장한 열안정 식품, 방사선 조사 처리한 식품 및 중간수분 식품들로 약 300여 종류의 우주식품들이 개발되었다(Perchonok and Bourland, 2002).

2. 우주식품의 종류

이러한 다양한 우주식품들은 아래와 같이 총 6가지 형태로 분류된다(Bourland, 1993).

가. 신선 식품(Fresh Food)

신선과일 및 야채 등은 단기간의 우주탐사 시 탑재될 수 있다.

나. 건조 식품(Rehydratable Food)

건조식품은 일반적인 식품과 음료를 건조한 후, 물을 첨가하여 섭취하는 형태의 식품으로 식품에서 물을 제거함으로써 무게와 부피를 감소시킬 수 있다는 장점이 있으며, 필요한 물은 우주왕복선의 연료전지에서 수소와 산소를 결합하여 생산된 물을 이용한다. 식품을 건조하는 방법에는 일반적인 열 건조 외에 동결 건조 등의 방법이 이용되고 있으며, 닭고기 수프, 버섯크림 수프, 캐서롤, 새우 칵테일, 아침식사용 계란요리와 시리얼 등의 건조식품이 있다.

다. 열안정 식품(Thermostabilized Food)

열 가공처리를 하여 유해한 미생물과 효소를 파괴한 식품으로 과일이나 참치 등은 통조림 형태로 가공되고 푸딩은 플라스틱 용기에 담겨져 제공되며, 그 외 대부분은 식품들은 레토르트 파우치에 포장되어 제공된다. 식품을 알맞은 용기에 넣어 포장한 후 고압상태에서 열을 처리하여 멸균시키며,

액상 또는 반고형 산성 식품(pH 4.6 이하)의 경우는 고온증진법을 이용하여 식품을 가공 포장한다.

라. 반건조 또는 중간수분 식품(Intermediate Moisture Food)

반건조 식품은 미생물 생육에 필요한 수분은 제한하고 식품의 물성을 부여하는 최소한의 수분을 제공하여 그 자체로 섭취될 수 있는 식품이다. 단순한 건조 방법을 이용하여 수분을 제거하거나 설탕이나 소금 등을 첨가하여 화학적인 방법으로 미생물이 수분을 이용할 수 없도록 하며, 일반적으로 15-30%의 수분을 함유하고 있으며, 건조 복숭아, 배, 살구, 및 육포 등의 식품이 해당된다.

마. 자연 형태의 식품(Natural Form Foods)

유연성 파우치에 포장된 견과류, 쿠키류, 및 그라놀라 바(granola bar) 등 더 이상의 가공이 없이 섭취할 수 있는 식품류를 포함한다.

바. 조사 식품(Irradiated Food)

식품에 방사선을 처리하여 저장 안정성을 향상시킨 제품으로 스테이크, BBQ 등 9종의 육제품이 있다. NASA는 이러한 방사선 조사 기술을 이용함에 있어 미국 식품의약안전청(Food and Drug Administration)으로부터 허가를 받았다(FDA, 2009). 방사선 조사기술은 포장된 제품의 멸균이 가능하여 2차오염의 위험이 없으며, 본래의 관능적 품질을 유지하면서 식품내 부패 및 병원성미생물을 불활성화하는데 효과적이다.

3. 우주식품의 미생물학적 기준

우주식품은 우주선내에 냉장고가 없어 온도의 변화가 심한 우주선내의 환경 하에서 저장되어야 하므로 극한환경에서도 장기간 보관이 가능하여야 한다. 이를 위해 우주식품의 유통기한은 임무의 특성 및 기간에 따라 최소 9개월에서 최대 5년 동안 저장 가능한 식품으로 구성되어 있으며 지상에

표 1. 우주식품의 미생물 규격

Food products	Microorganisms	Limits
Non-thermostabilized	Total aerobic count	< 20,000 CFU/g
	Coliform	< 10CFU/g
	Coagulase-positive staphylococci	0 CFU/g
	Salmonella	0 CFU/25g
	Yeasts and molds	< 50 CFU/g
	<i>Escherichia coli</i>	0 CFU/10g
	<i>Bacillus cereus</i>	< 10CFU/g
Commercial sterile products (thermostabilized and irradiated)	Sporogenic mesophilic bacilli	< 10 CFU/g
	Mesophilic anarobes	0 CFU/5g
	Yeasts, Fungi (in terms with pH<4.2)	0 CFU/2g

서 유통되는 식품에 비해 엄격한 미생물 규격을 준수하여야 한다(Copper et al., 2011). 비열처리 식품에 대해서는 20,000 CFU/g의 총균수와 대장균군, 포도상구균, 살모넬라 등의 병원성균에 대한 기준이 설정되어 있으며, 열안정 또는 조사 식품의 경우 완전멸균이 이루어져야 한다(Song et al., 2012, 표 1).

4. 방사선 기술 이용 한국 우주식품 개발

방사선 식품조사기술은 대표적인 비가열 살균처리 방법으로 김치와 같이 가열 및 건조 처리를 할 수 없는 식품의 살균에 매우 효과적인 기술이다. 또한 감마선의 경우 투과력이 높아 포장된 제품의 살균이 가능하므로 식품 고유의 관능적 품질변화를 최소화 하면서 미생물적인 안전성을 부여하는 기술로 각광받고 있다(Farkas, 2006).

한편, 2003년 이전까지 국내 우주식품 개발연구는 거의 전무한 상태였으나 원자력연구개발사업을 통해 방사선 조사 기술을 이용한 한국형 우주식품 개발 연구를 착수하였다. 또한 2005년 3월에 정부가 21세기 첨단산업 중 핵심적인 역할을 수행할 우주항공분야의 진흥을 위한 연구개발 필요성과 시급성을 인지하여 국가과학기술 정책보고에서 “Space





표 2. 2008년도 인증 한국우주식품 4종

번호	품목명	사진	제품설명
1	김치 Kimchi		한국의 대표적인 발효식품으로 우주공간에서도 장기저장이 가능하도록 방사선 식품공학 융합기술을 이용하여 개발된 즉석섭취형 우주김치
2	라면 Ramen		한국인의 대표적인 기호식품으로 우주공간에서 제공 가능한 70°C의 물에 빠르게 복원되는 스파게티 형태의 제품
3	생식바 Seangsik Bar		생식바는 우주공간에서 즉석 섭취가 가능한 Bar 형태로 제조되었으며, 우주인에게 비타민, 미네랄 등 필수영양소 공급을 위해 개발된 제품
4	수정과 Sujeong-gwa		한국의 대표적인 전통 음료로서 우주공간에서 물만 부어 간편하게 섭취가 가능한 분말형태 제품

Korea”를 선포하였으며, 2008년 한국인을 우주정거장에 체류시키기 위한 우주인 양성사업을 추진하였다. 이에 따라 우주공간에서 우리나라 우주인들의 임무수행 및 생존을 위해 섭취할 한국 우주식품의 개발 필요성이 대두되었으며, 우주 임무를 수행하는 우주인들에게 보다 좋은 품질의 식품을 제공하기 위한 국가적인 장기계획의 수립 및 순차적인 우주식품 개발연구의 진행이 필요하였다. 한국원자력연구원 방사선실용화기술부에서는 2008년 이소연 박사가 국제우주정거장에서 취식했던 김치, 라면, 생식바, 수정과에 이어, 지난 2009년과 2011년에 각각 4품종과 9품종의 한국우주식품을 추가적으로 개발한 후 우주식품 인증기관인 러시아 생물의학연구소(Institute of Bio-medical Problems)로부터 국제우주정거장에서 사용 가능한 우주식품으로 인정받아 총 17종의 한국음식을 우주식품으로 개발하였다(표 2-4).






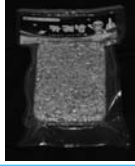
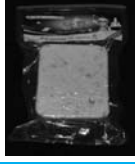
기획특집

표 3. 2009년도 인증 한국우주식품 4종



번호	품목명	사진	제품설명
1	불고기 Bulgogi		불고기는 한국의 대표적인 전통 식품으로서 멸균을 위하여 44 kGy의 방사선을 조사하였으며 점성이 높은 불고기 소스에 양념된 스테이크 형식의 식품
2	전주 비빔밥 Bibimbap		전주비빔밥의 레시피를 이용하여 우주에서 제공되는 70°C 물에 쉽게 복원되며 고추장에 존재하는 발효미생물을 방사선 기술을 이용하여 제어한 제품
3	미역국 Seaweed soup		기장미역을 이용하여 우주에서 제공되는 70°C 물에 쉽게 복원되며 우주에서의 저장성 및 미생물학적 안전성을 확보하기 위해 방사선 기술을 적용한 제품이다.
4	참뽕음료 Mulberry beverage		부안오디를 이용하여 찬물에도 쉽게 복원되어 마실 수 있는 음료이다. Spray Drying 공법을 이용해 분말형태로 제조한 후 우주에서의 저장성 및 미생물학적 안전성을 확보하기 위해 방사선 기술을 적용한 제품

그 중 대표적인 성과는 우주김치로 김치는 한국의 대표적인 발효식품이지만 발효식품의 특성상 장기간 보관이 어려우며, 우주식품으로 개발하기 위해서는 김치에 존재하는 미생물을 제어하는 것이 필수적이다. 따라서 우주공간에서도 장기저장이 가능하고, 김치의 신선한 관능적 품질을 유지하기 위해 방사선 조사를 통해 즉석섭취 가능한 원터치 캔 형태의 우주김치를 개발하였다(Song et al., 2009). 캔 내부에는 김치로부터 발생하는 김칫국물을 흡수할 수 있는 식품용 특수패드를 함께 포장하여 국물이 우주환경으로 비산하

표 4. 2011년도 인증 한국우주식품 9종

번호	품목명	사진	제품설명
1	부안참뽕 바지락죽 Manila clam porridge (45 g)		부안군 특산품인 바지락을 이용하여 우주에서 제공되는 70°C 물에 쉽게 복원되며 취식이 간편한 죽 형태의 동결건조형 장기저장 식품
2	부안참뽕 잼 Mulberry jam (27 g)		부안군 특산품인 오디를 이용하여 제조한 잼 형태의 즉석취식형 장기저장 식품
3	상주곶감 초콜릿 Dried persimmon chocolate (23 g)		상주시 특산품인 곶감을 초콜릿으로 코팅한 즉석취식형 장기저장 식품
4	당침블루베리 Dried blueberry (27 g)		정읍시 특산품인 블루베리를 이용한 즉석취식형 장기저장 식품
5	단호박죽 Sweet pumpkin porridge (35 g)		우주에서 제공되는 70°C 물에 쉽게 복원되며 취식이 간편한 죽 형태의 동결건조형 장기저장 식품
6	카레밥 Chicken curry rice (61 g)		우주에서 제공되는 70°C 물에 쉽게 복원되며 카레소스와 밥이 혼합된 동결건조형 장기저장 식품
7	닭죽 Chicken porridge (32 g)		우주에서 제공되는 70°C 물에 쉽게 복원되며 취식이 간편한 죽 형태의 동결건조형 장기저장 식품

는 것을 방지하고 안전하게 섭취가 가능하도록 설계하였다. 우주김치를 개발하기 위한 보다 자세한 연구 내용을 소개하고자 한다.

번호	품목명	사진	제품설명
8	닭갈비 Grilled chicken (100 g)		고추장 소스를 발라 숯불로 익힌 후 방사선 조사하여 멸균한 즉석취식형 장기저장 식품
9	사골 우거지국 Ox leg bone cabbage soup (15 g)		우주에서 제공되는 70℃ 물에 쉽게 복원되며 국 형태의 동결건조형 장기저장 식품

가. 감마선 조사에 의한 김치의 미생물학적, 관능적 품질 변화

감마선 조사에 의한 최적숙성 포장 김치의 총균수 측정 및 관능평가를 실시한 결과 총미생물 수는 조사선량이 증가할수록 감소하였으며, 특히 25 kGy 이상 조사 시 검출한계 이하로 나타났다. 그러나 관능평가 결과 색, 조직, 맛, 향, 종합적 기호도는 조사선량이 증가할수록 감소하는 경향으로 25 kGy 조사구의 경우 이취 및 이미의 발생으로 인해 수용 불

가능 한 것으로 판단되었다(표 5). 따라서 이러한 관능적 품질저하를 최소화하기 위하여 최적 조사 조건 확립 등의 병용처리 연구를 수행하였다.

나. 가열과 감마선 병용처리에 의한 효과

가열 처리된 김치의 저장안전성과 관능적 품질 평가를 실시하였다. 온도의 증가에 따라 총균수는 감소하였으나 관능적 품질은 저하되었다. 실험결과 미생물 살균 효과 및 관능적 품질 면에서 가장 적합한 가열조건은 60℃, 30분으로 판단되었다. 이후 숙성된 포장 김치를 60℃에서 30분간 처리하여 감마선을 연속적으로 처리한 후 35℃에서 가속저장하면서 미생물 생육 및 관능적 품질을 평가하였다. 가열 후 감마선 조사는 미생물 증식과 저장 중 김치의 품질변화를 막는데 효과적이었으며 특히 25 kGy의 감마선 조사와 가열을 병용처리하여 35℃에서 14일 저장 시 미생물은 검출되지 않았고 관능점수도 가장 높았으며(표 6) 산도, pH의 변화 역시 거의 없었다(Kim et al., 2006).

다. 질소치환포장, 가열 및 감마선 병용처리에 의한 효과

포장 내부에 있는 산소가 가열 및 감마선 조사에 의해서

표 5. 감마선 조사 선량에 따른 김치의 총균수 및 관능품질 평가

Irradiation dose (kGy)	Viable cell (CFU/g)	Sensory scores					Overall acceptance
		Color	Texture	Taste	Flavor	Off-odor	
CON ¹⁾	4.5×10 ⁸	5.8 ^{a2)}	6.1 ^a	6.6 ^a	6.6 ^a	1.2 ^d	6.8 ^a
5	2.0×10 ⁴	6.2 ^a	5.4 ^a	5.4 ^b	5.7 ^a	2.2 ^c	5.5 ^b
10	7.2×10 ³	6.5 ^a	4.5 ^{ab}	4.6 ^b	4.4 ^b	3.4 ^b	4.8 ^{bc}
15	5.0×10 ²	6.2 ^{ab}	4.1 ^b	3.6 ^c	4.2 ^b	4.8 ^a	4.3 ^c
20	2.0×10 ²	4.5 ^b	3.4 ^c	3.6 ^c	3.5 ^c	4.8 ^a	3.7 ^{cd}
25	ND ³⁾	3.8 ^c	3.3 ^c	3.2 ^{cd}	3.3 ^c	5.1 ^a	3.4 ^d
SEM ⁴⁾		0.51	0.62	0.54	0.55	0.47	0.58

¹⁾CON : non-irradiated *Kimchi*.

^{2)a-d}Values with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$).

³⁾ND : not detectable at detection limit less than 10².

⁴⁾Standard error of the means (n=80).

표 6. 가열과 감마선 조사 병용처리에 의한 김치의 관능품질 평가

Storage (days)	Heating	Irradiation dose (kGy)	Sensory scores					
			Color	Texture	Taste	Flavor	Off-odor	Overall acceptance
0	-	0	6.5 ^{a1)}	6.8 ^a	6.7 ^a	6.8 ^a	1.1 ^b	6.6 ^a
	+	0	4.8 ^b	5.4 ^b	5.5 ^b	5.3 ^b	1.3 ^b	5.6 ^b
	+	5	4.5 ^{bc}	4.7 ^{bc}	4.4 ^c	4.1 ^c	1.8 ^{ab}	4.4 ^c
	+	10	3.8 ^c	3.3 ^c	3.0 ^d	3.0 ^d	2.4 ^a	3.4 ^d
	+	15	2.5 ^d	3.1 ^c	3.3 ^d	3.1 ^d	2.8 ^a	3.3 ^d
	+	20	2.4 ^d	3.0 ^c	3.2 ^d	2.8 ^d	2.9 ^a	3.1 ^d
	+	25	2.6 ^d	3.3 ^c	3.0 ^d	3.2 ^d	2.9 ^a	2.8 ^d
	SEM ²⁾			0.41	0.62	0.55	0.57	0.33
14	-	0	4.9 ^a	5.0 ^a	2.8 ^b	6.0 ^a	1.2 ^b	2.6 ^b
	+	0	3.6 ^b	4.5 ^a	3.4 ^{ab}	4.8 ^a	1.4 ^b	3.3 ^b
	+	5	3.8 ^b	3.0 ^b	3.9 ^a	3.0 ^b	2.0 ^{ab}	4.2 ^a
	+	10	3.2 ^c	2.8 ^{bc}	4.5 ^a	4.8 ^a	2.4 ^a	4.5 ^a
	+	15	3.3 ^c	2.5 ^c	4.7 ^a	3.9 ^{ab}	1.8 ^{ab}	4.0 ^a
	+	20	3.0 ^c	2.2 ^c	4.4 ^a	4.5 ^{ab}	2.2 ^a	4.7 ^a
	+	25	2.5 ^d	2.5 ^c	4.9 ^a	4.4 ^{ab}	2.3 ^a	5.1 ^a
	SEM			0.58	0.34	0.71	0.70	0.45

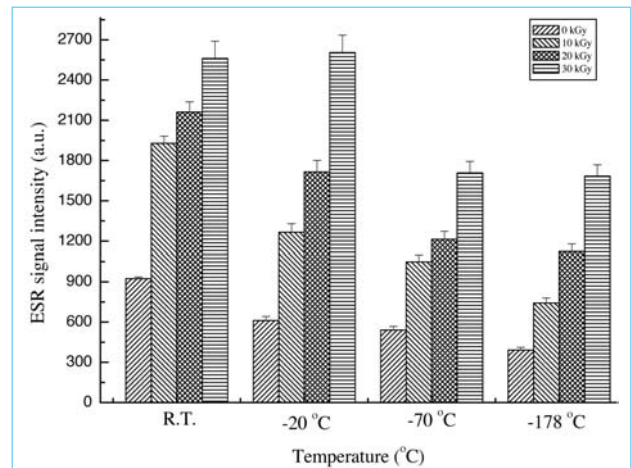
^{1)a-d}Values with different letters within a column differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=100).

김치의 이화학적, 관능적 품질에 미치는 영향을 평가하기 위하여 김치를 합기포장 또는 질소치환포장을 한 후 60℃, 30분 가열하고 25 kGy의 선량으로 감마선 조사하였다. 실험결과 두 실험구 모두 젖산균을 포함한 세균들이 검출되지 않았고, 김치의 산도 또한 저장 중 변화가 없었다. 그러나 질소치환포장 시 합기포장에 비해 김치의 경도(표 7) 및 관능적 품질이 높게 평가되었으며(Kim et al. 2008), 이는 가스치환포장 하에 방사선 조사가 채소의 조직특성을 유지시켜 준다는 선행연구들과 일치하는 결과였다(Ahn et al., 2005; Kim et al., 2005).

라. 조사 온도에 따른 효과

질소치환포장 후 가열처리된 김치를 온도별로 감마선 조사하여 미생물학적, 이화학적, 관능적 품질평가를 실시하였



<그림 1> 조사온도에 따른 ESR 강도 측정

다. 김치 샘플은 질소치환포장과 60℃에서 가열 후 25℃, -20℃, -70℃, -178℃에서 각각 25 kGy의 선량으로 감마

표 7. 저장기간에 따른 병용처리 방법별 김치의 경도 (hardness) 변화 측정

Sample	Storage at 35°C(days)			
	0	10	20	30
Control	1694±127 ^{1)A2)}	1295±118 ^{dB}	681±92 ^{aC}	485±79 ^{abD}
HT ³⁾	1528±105 ^{aA}	1074±97 ^{bB}	792±75 ^{aC}	594±95 ^{aD}
HT-IR ⁴⁾	927±73 ^{aA}	695±58 ^{dB}	496±52 ^{bC}	429±47 ^{bC}
N ₂ -HT-IR ⁵⁾	1129±82 ^{bA}	894±61 ^{cB}	745±83 ^{aC}	653±68 ^{aC}

^{1) a-d} Values with different letters within a column differ significantly ($P < 0.05$).

^{2) A-D} Values with different letters within a row differ significantly ($P < 0.05$).

^{3) HT} : heated at 60°C for 30 min.

^{4) HT-IR} : gamma irradiated at 25 kGy after heating at 60°C for 30 min.

^{5) N₂-HT-IR} : gamma irradiated at 25 kGy after N₂-packaging and heating at 60°C for 30 min.

선 조사되었다. 온도별 감마선 처리구의 미생물, pH 및 산도 측정 결과 조사 시 온도에 상관없이 김치의 멸균이 확인되었으며, 관능검사 및 조직감 분석 결과 -70°C에서 감마선 조사되었을 때 김치 조직의 경도 및 관능적 품질이 가장 높았다. 조사온도 감소에 따라 ESR signal 강도가 낮아지는 것을 확인하였으며 이는 온도감소에 따라 품질에 영향을 주는 라디칼의 생성이 줄어들어 관능품질의 저하가 완화된 것으로 판단되었다(그림 1). 따라서 -70°C에서의 감마선 조사는 관능적 품질저하를 방지하는데 있어 효과적인 것으로 판단하였다(Park et al., 2008).

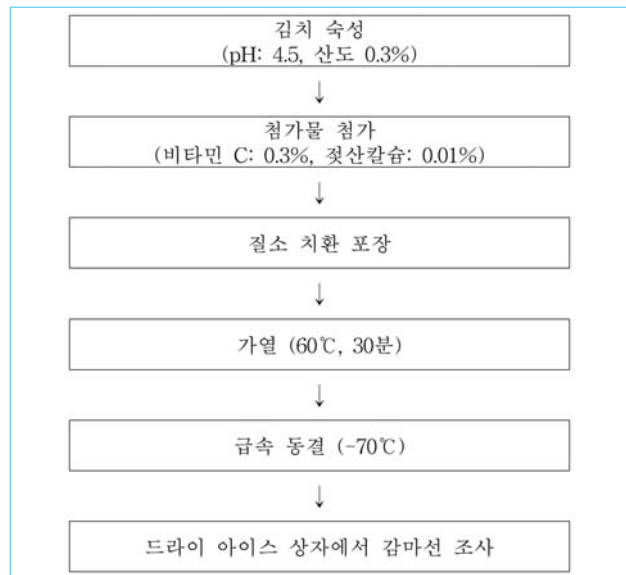
마. 비타민 C 첨가에 의한 효과

감마선 조사에 의한 김치의 조직연화 방지를 위해 비타민 C의 처리 효과를 평가하였다. 비타민 C가 0.3% 첨가되었을 때 관능적 선호도가 가장 높았으며 김치의 경도는 비조사구 > 비타민 C 첨가구 > 무첨가구 순으로 나타났다. 또한 30일간의 저장기간 후 비타민 C가 첨가되지 않은 김치의 경도는 급격히 감소함에 반해 비타민 C가 첨가된 김치의 정도변화는 적었다(Song et al., 2008).

바. 칼슘염 첨가에 의한 효과

25 kGy의 고선량 감마선 조사에 의한 김치의 조직연화를 방지하기 위해 여러 가지 칼슘염들의 첨가에 따른 처리 효과를 평가하였다. 첨가된 칼슘염들은 calcium lactate, calcium acetate, calcium chloride이었고, 각각 0.01% 농도로 첨가되었을 때 관능적 선호도가 가장 높았다. 비첨가구에 비해 칼슘염들의 첨가는 조직의 경도를 증가시켰으며 각각의 칼슘염 첨가에 따른 김치의 경도는 calcium lactate > calcium chloride > calcium acetate 순으로 나타났다. 조직, 맛, 풍미 및 종합적 기호도 역시 calcium lactate > calcium chloride > calcium acetate 김치 순으로 나타났다. 그리고 비타민 C 0.3%와 calcium lactate 0.01%를 첨가한 다음 질소치환포장-가열-냉동-감마선 병용처리된 김치의 35°C에서 30일 저장 후 경도는 비조사구와 무첨가 병용처리구보다 더 높았다(Song et al., 2008).

결론적으로 숙성 적기의 김치에 비타민 C 0.3%, calcium lactate 0.01%를 각각 첨가한 후 질소치환 포장한 다음 포장된 김치를 60°C 온수에 30분간 담그고 deep-freezer에서 3일간 냉동시켜 드라이아이스를 채운 상자에



<그림 2> 우주김치 제조 공정도

표 8. 우주김치와 대조구의 저장기간 중 관능품질 평가


Storage (days)	Sample	Sensory quality			
		Color	Taste	Flavor	Overall acceptance
0	CON ²⁾	6.7±0.6 ^{a1)}	6.8±0.5 ^a	6.9±0.9 ^a	6.9±0.5 ^a
	Space Kimchi ³⁾	6.9±0.5 ^a	6.7±0.7 ^a	6.9±0.5 ^a	6.8±0.8 ^a
10	CON	6.4±0.4 ^{ab}	1.8±0.1 ^b	2.1±0.3 ^b	1.7±0.2 ^b
	Space Kimchi	6.7±0.3 ^a	6.5±0.3 ^a	6.6±0.4 ^a	6.5±0.7 ^a
20	CON	6.5±0.6 ^a	1.4±0.2 ^b	1.8±0.2 ^b	1.4±0.2 ^b
	Space Kimchi	6.4±0.4 ^a	6.2±0.6 ^a	6.5±0.3 ^a	6.2±0.4 ^a
30	CON	6.1±0.6 ^a	1.1±0.1 ^c	1.2±0.2 ^c	1.2±0.2 ^c
	Space Kimchi	6.5±0.8 ^a	6.3±0.4 ^a	6.5±0.3 ^a	6.3±0.7 ^a

^{1)a-c}Values with different letters within a column differ significantly (p<0.05).

²⁾CON : non-treated Kimchi.

³⁾Space Kimchi : Kimchi was added with oleoresin paprika 0.2%, artificial Kimchi flavor 0.2%, vitamin C 0.3% and calcium lactate 0.01%, and treated with N₂-packaging, heating at 60°C for 30 min and gamma irradiation at 25 kGy under frozen temperature at -70°C.

넣은 후 25 kGy의 흡수선량으로 감마선을 조사하여 우주김치를 제조하였다(그림 2). 제조된 우주김치의 초기 관능적 품질은 비처리 대조구와 유사하였으나 35°C에서 저장 기간에 따라 비처리 대조구의 관능적 품질은 저하되는 반면 우주김치의 관능적 품질은 유지되는 경향을 나타내었다(표 8). 비처리 대조구의 경우 35°C에서 10일이 경과한 후 관능적 품질이 급격하게 저하하였고 이는 지속적인 김치 내 미생물의 발육에 의해 산미, 조직의 연화현상 등이 일어나기 때문인 것으로 판단되었다. 그러나 우주김치의 경우 35°C에서 30일간 저장 후에도 관능적 품질이 유지되는 것으로 나타났다(Song et al., 2009).

을 섭취할 수 없는 환자들을 위한 환자식 등의 개발 연구를 수행 중이다. 본 연구팀의 향후계획은 화성탐사를 위해 요구되어지는 3년 이상의 장기간 저장이 가능한 식품(Mars food)의 개발 및 우주방사선 방호, 미세 중력(microgravity)으로 초래되는 근무력증 개선을 위한 기능성과 장기간의 우주여행으로 인해 발생하는 영양결핍증을 예방하도록 영양적으로 균형 잡힌 복합기능성 미래식품을 연구할 예정이다. 마지막으로 우주식품 개발 기술은 우주에서 뿐만 아니라 실생활에서도 산업적 활용가치가 매우 높아 선진국에서 선점하지 못한 새로운 산업창출이 가능하며, 관련 산업을 활성화시켜 국민 삶의 질을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다. 

5. 우주식품 개발 기술의 활용방안 및 향후계획

한국형 우주식품의 개발은 위생성이 확보된 군 전투식량 개발 및 특수목적 식품의 개발에 적용 가능하다. 즉, 방사선 식품 조사기술을 이용하여 극한 환경에서 근무하는 전투요원들을 위한 전투식품과 지진 및 홍수 등의 재난 시 섭취 가능한 비상구호식품, 그리고 면역결핍으로 인하여 일반 식품

감사의 글

본 연구는 한국원자력연구원 창의연구 사업 및 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 국책연구사업임(2012M2A2A6011320).



참고 문헌

- Ahn, H. J., Kim, J. H., Kim, J. K., Kim, D. H., Yook, H. S., Byun, M. W. 2005. Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.). *Food Chemistry*. 89: 589-597.
- Bourland, C. T. 1993. The development of food systems for space. *Trends in Food Science and Technology*. 4: 271-276.
- Bourland, C. T. 1998. Advances in food systems for space flight. *Life Support & Biosphere Science*. 5: 71-77.
- Cooper M., Douglas G., Perchonok M. 2011. Developing the NASA food system for long-duration missions. *Journal of Food Science*. 76: R40-48.
- Farkas, J. 2006. Irradiation for better foods. *Trends in Food Science and Technology*. 17: 148-152.
- FDA. 2009. Irradiation in the production, processing and handling of Food [Internet]. Title 21 code of Federal Regulations, Pt.179. Silver Spring, Md.: U.S. Food and Drug Administration. Available from <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=179>. Accessed July 15, 2013.
- Kim, J. H., Park, J. G., Lee, J. W., Kim, W. G., Chung, Y. J., Byun, M. W. 2008. The combined effects of N₂-packaging, heating and gamma irradiation on the shelf-stability of *Kimchi*, Korean fermented vegetable. *Food Control*. 19: 56-61.
- Kim, J. K., Jo, C. Kim, H. J., Lee, J. W., Hwang, H. J., Byun, M. W. 2005. Microbiological safety of minimally processed white radish in modified atmosphere packaging combined with irradiation treatment. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 37: 11-14.
- Kim, M. J., Park, J. G., Kim, J. H., Park, J. N., Lee, H. J., Kim, W. G., Lee, J. W., Byun, M. W. 2006. Combined effect of heat treatment and gamma irradiation on the shelf-stability and quality of packaged *Kimchi* during accelerated storage condition. *Korean Journal of Food Preservation*. 13: 531-537.
- Lachance P. A., Michel E. L., Nanz R. A. 1967. Evolution of space feeding concepts during the Mercury and Gemini space programs. *Food Technology*. 21: 52-58.
- Park, J. G., Kim, J. H., Park, J. N., Kim, Y. D., Kim, W. G., Lee, J. W., Hwang, H. J., Byun, M. W. 2008. The effect of irradiation temperature on the quality improvement of *Kimchi*, Korean fermented vegetables, for its shelf stability. *Radiation Physics and Chemistry*. 77: 497-502.
- Perchonok, M., Bourland, C. 2002. NASA food systems: Past, Present, and Future. *Nutrition*. 18: 913-920.
- Song, B. S., Kim, M. J., Park, J. G., Kim, J. H., Kim, K. S., Han, S. B., Shin, J. K., Byun, M. W., Lee, J. W. 2008. Combination pretreatment of calcium and vitamin C to enhance the firmness of *Kimchi* sterilized with high-dose gamma irradiation. *Food Science and Biotechnology*. 17: 751-754.
- Song, B. S., Park, J. G., Park J. N., Han I. J., Kim, J. H., Choi J. I., Byun M. W., Lee J. W. 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.
- Song B. S., Park J. G., Kim J. H., Choi J. I., Ahn D. H., Hao C., Lee J. W. 2012. Development of freeze-dried miyeokguk, Korean seaweed soup, as space food sterilized by irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*. 81: 1111-1114.
- Turner T. R., Sanford D. D. 1974. Skylab food system TMX-58139. Houston, TX: NASA-JSC.