creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000234377

2007년 8월 박사학위논문 방사선 병용기술을 이용한 한국형 우주김치 개발 김 관 수

2007년 8월
박사학위논문

방사선 병용기술을 이용한 한국형 우주김치 개발

조선대학교 대학원

응용과학과(식품·생명공학전공)

김 관 수

방사선 병용기술을 이용한 한국형 우주김치 개발

Development of Korean-designed Astronaut *Kimchi* by Using Radiation-combined Technology

2007년 8월 일

조선대학교 대학원

응용과학과(식품·생명공학전공)

김 관 수

방사선 병용기술을 이용한 한국형 우주김치 개발

지도교수 김 경 수

이 논문을 이학박사학위 신청논문으로 제출함.

2007년 4월 일

조선대학교 대학원

응용과학과(식품 · 생명공학전공)

김 관 수

김관수의 박사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 인

위 원 조선대학교 인

위 원 경북대학교 인

위 원 한국원자력연구원 인

위 원 조선대학교 인

2007년 6월 일

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT ····· ix

제 *1* 장 서 론 ····· *1*

제 *2* 장 우주식품의 연구개발 현황 분석 ····· *6*

제 1 절 우주식품 발달사 ····· 6
1. 초기 우주식품 ····· 6
2. 우주왕복선에서의 우주식품 ····· 6
3. 국제우주정거장에서의 우주식품 ····· 14
4. 우주비행에서의 인간과 영양 ····· 21
5. 우주식품의 포장기술 ····· 21

제 2 절 한국형 우주식품 개발의 필요성 ····· 26
1. 우주식품 개발의 중요성 ····· 26
2. 현기술 상태의 취약성 ····· 29

제 *3* 장 재료 및 방법 ····· *30*

제 1 절 실험재료 및 기기 ····· 30
1. 재료 ····· 30
2. 시약 ····· 31
3. 실험기기 ····· 31

제 2 절 감마선 조사 김치의 품질 특성 ····· 32
1. 시료의 방사선 조사 ····· 32
2. 총균수 측정 ····· 32

3. 관능적 특성 평가 ····· 32

제 3 절 가열, 질소치환포장 및 방사선 병용처리 효과 측정 ····· 33
1. 가열 및 방사선 병용처리 ····· 33
2. 질소치환포장, 가열 및 방사선 병용처리 ····· 33
3. 미생물 생육 시험 ····· 33
4. 산도와 pH 측정 ····· 34
5. 조직감 측정 ····· 34
6. 관능적 특성 평가 ····· 34

제 4 절 감마선 조사 온도가 김치의 품질에 미치는 영향 ····· 35
1. 냉동 방사선 조사 ····· 35
2. 미생물 생육시험 ····· 35
3. 산도와 pH 측정 ····· 35
4. 조직감 측정 ····· 35
5. 관능적 특성 평가 ····· 35
4. Electron spin resonance 측정 ····· 36

제 5 절 식품첨가물에 의한 김치의 관능적 품질 개선 효과 측정 ····· 37
1. 식품첨가물 첨가 ····· 37
가. 비타민 C 첨가 ····· 37
나. 칼슘염 첨가 ····· 37
다. 비타민 C 및 칼슘염 혼합 첨가 ····· 37
라. 파프리카색소 첨가 ····· 38
다. 김치 향 첨가 ····· 38
2. 조직감 측정 ····· 38
3. 관능적 특성 평가 ····· 38
4. 색도 측정 ····· 38
5. 통계분석 ····· 39

제 *4* 장 결과 및 고찰 ····· *40*

제 1 절 감마선 조사 김치의 품질 특성 변화 ····· 40
1. 미생물 생육 ····· 40
2. 관능적 품질 ····· 40

제 2 절 가열, 질소치환포장 및 방사선 병용처리 효과 ····· 43
1. 김치의 가열처리 효과 ····· 43
가. 미생물학적 품질 ····· 43
나. 관능적 품질 ····· 43
2. 김치의 가열-감마선 병용처리 효과 ····· 46
가. 미생물학적 품질 ····· 46
나. 관능적 품질 ····· 48
다. 이화학적 품질 ····· 50
3. 김치의 질소치환포장, 가열 및 감마선 병용처리 효과 ····· 53
가. 미생물학적 품질 ····· 53
나. 관능적 품질 ····· 55
다. 이화학적 품질 ····· 57

제 3 절 감마선 조사 온도가 김치의 품질에 미치는 영향 ····· 63
1. 미생물학적 품질 ····· 63
2. 관능적 품질 ····· 65
3. 이화학적 품질 ····· 67
4. Electron spin resonance 특성 ····· 72

제 4 절 식품첨가물에 의한 김치의 관능적 품질 개선 효과 ····· 75
1. 비타민 C 첨가 ····· 75
가. 최적첨가량 결정 ····· 75
나. 비타민 C 첨가 후 감마선 조사된 김치의 경도 ····· 75
2. 칼슘염 첨가 ····· 77

가. 최적첨가량 및 종류 결정 ····· 77
나. 칼슘염 첨가에 따른 관능적 품질 변화 ····· 81
3. 비타민 C 및 칼슘염 혼합첨가 ····· 83
4. 파프리카색소 첨가 ····· 85
가. 최적첨가량 결정 ····· 85
나. 파프리카색소 첨가에 의한 김치의 색도 변화 ····· 85
5. 김치 향 첨가 ····· 88
6. 우주김치 최종제품 제조 및 품질평가 ····· 89

제 5 절 결 론 ····· 92

제 5 장 요 약 ····· 94

참고문헌 ····· 97

표 목 차

Table 1. Evaluation of sensory qualities of *Kimchi* after gamma-irradiation, immediately ····· 42

Table 2. Evaluation of sensory qualities of *Kimchi* after heat treatment for 30 min, immediately ····· 45

Table 3. Viable cell count of *Kimchi* combined with heat treatment at 60℃ for 30 min and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 47

Table 4. Evaluation of sensory qualities of *Kimchi* combined with heat treatment at 60℃ for 30 min and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 49

Table 5. Evaluation of physicochemical properties of *Kimchi* combined with heat treatment at 60℃ for 30 min and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 52

Table 6. Enumeration of microbes in *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 54

Table 7. Sensory evaluation of *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 56

Table 8. Evaluation of physicochemical properties of *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 59

Table 9. Effect of irradiation temperatures on the growth of total viable cells and lactic acid bacteria of *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 64

Table 10. Effect of irradiation temperatures on the sensory quality of *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 66

Table 11. Effect of irradiation temperatures on physicochemical properties of *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 68

Table 12. Sensory evaluation of the *Kimchi* added with various concentrates of vitamin C ····· 76

Table 13. Effect of vitamin C on the hardness of *Kimchi* irradiated at 25 kGy during storage at 35℃ ····· 76

Table 14. Sensory evaluation of the *Kimchi* added at various levels of calcium salts ····· 79

Table 15. Hardness of *Kimchi* irradiated at 25 kGy and added with various calcium salt during storage at 35℃ ····· 80

Table 16. Sensory evaluation of *Kimchi* irradiated at 25 kGy and added with various calcium salt during storage at 35℃ ····· 82

Table 17. Hardness of *Kimchi* added with vitamin C, calcium lactate and combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation at -70℃ during storage at 35℃ ····· 84

Table 18. Sensory evaluation of the *Kimchi* added at various levels of paprika extract ····· 86

Table 19. Redness of *Kimchi* added with paprika extract and combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation at -70℃ during storage at 35℃ ····· 87

Table 20. Sensory evaluation of the *Kimchi* added at various levels of artificial *Kimchi* flavor ····· 88

Table 21. Comparison of space *Kimchi* with the non-treated *Kimchi* in sensory quality during storage at 35℃ ····· 91

도 목 차

Fig. 1. An example of food and beverage list for space shuttle ····· 10

Fig. 2. An example of standard menu for space shuttle ····· 13

Fig. 3. An example food list for international space station. ····· 16

Fig. 4. Bite-size food and package of drying food ····· 24

Fig. 5. Package of drying beverage product manufactured to aluminum foil ····· 24

Fig. 6. MRE package, plastic vessel for pudding, one touch canning ····· 25

Fig. 7. Viable cell count of *Kimchi* after gamma irradiation, immediately ····· 41

Fig. 8. Viable cell count of *Kimchi* after heat treatment for 30 min, immediately ····· 44

Fig. 9. Changes of acidity of *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 60

Fig. 10. Changes of pH of *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 61

Fig. 11. Changes of hardness of *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ ····· 62

Fig. 12. Effect of irradiation temperatures on acidity of *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ 69

Fig. 13. Effect of irradiation temperatures on pH of *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ 70

Fig. 14. Effect of irradiation temperatures on hardness of *Kimchi* combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃ 71

Fig. 15. ESR spectrum of *Kimchi* irradiated at various doses and temperature 73

Fig. 16. Determination of ESR signal intensity of *Kimchi* irradiated at various doses and temperature 74

Fig. 17. Manufacturing processes of space *Kimchi* 84

ABSTRACT

Development of Korean-designed Astronaut Kimchi by Using Radiation-combined Technology

Kim, Kwan-Soo
Advisor : Prof. Kim, Kyong-Su, Ph.D.
Department of Applied Science and Technology,
Graduate School of Chosun University

This study was conducted to evaluate the combined effects of additives (A), N_2-packaging (N_2), mild heating at 60℃ (HT) and gamma irradiation of 25 kGy (IR) at frozen state (F) on the shelf stability and quality of Kimchi during storage at 35℃ for 30 days.

1. Kimchi treated with heat and gamma irradiation

This study was conducted to evaluate the combined effect of heat and gamma-irradiation on the shelf-stability and quality of kimchi during storage at 35℃. The optimum condition for the heat treatment of kimchi was considered at 60℃ for 30 min. Irradiation after heat treatment was effective to inhibit the growth of microorganisms and prevent the quality change of kimchi during storage. Specially, microorganisms of kimchi co-treated with heat and 25 kGy-irradiation were not detected and sensory scores of that were the highest after storage at 35℃ for 14 days. Therefore, combination treatment of heat and irradiation was considered as the effective method to improve the shelf-stability

of kimchi in the accelerated condition.

2. *Kimchi treated with N_2-packaging, mild heating, and gamma irradiation*

This study was conducted to evaluate the combined effects of N_2-packaging (N_2), mild heating at 60℃ (HT) and gamma irradiation of 25 kGy (IR) on the shelf stability and quality of Kimchi during storage at 35℃ for 30 days. Total microbes including lactic acid bacteria were sterilized perfectly by the combination treatment of HT-IR or N_2-HT-IR, and the acidity of Kimchi was not changed during storage. Irradiation softened textural property of Kimchi. However, combination of N_2-packaging with heating and irradiation retarded this softening of Kimchi by high dose irradiation. Organoleptic qualities were improved by the combination treatment during the storage period.

3. *Kimchi treated with N_2-packaging, mild heating, and gamma irradiation under freezing temperature*

The present study was conducted to evaluate the effect of irradiation temperature on the shelf stability and quality of Kimchi during storage at 35℃ for 30 days. Kimchi samples were N_2-packaged and heated at 60℃ and then gamma irradiated at 25 kGy under various temperatures (room temperature, ice, dry ice, and liquid nitrogen). In the results of microbial, pH and acidity analysis, combination treatment of heating and irradiation was able to sterilize microbes in Kimchi regardless of irradiation temperature. When Kimchi was irradiated under frozen temperatures, especially dry ice, the softening of texture and the deterioration of sensory quality of Kimchi were reduced. Also, ESR signal intensities were weakened as the decrease of irradiation dose and temperature.

4. Kimchi treated with additives, N_2-packaging, mild heating, and gamma irradiation under freezing temperature

4.1. Effect of calcium products treatment

The effect of calcium products treatment on the inhibition softening of irradiated Kimchi by 25 kGy was investigated. The optimal addition rate of calcium products (calcium lactate: C.L, calcium acetate: C.A, calcium chloride: C.C, calcium: C) were determined to 0.01% after sensory evaluation, respectively. The texture of irradiated (25 kGy) Kimchi samples added with all calcium products were ranked as follows: C.L Kimchi > C.C Kimchi > C Kimchi > C.A Kimchi with significant differences of $P < 0.05$.

4.2. Effect of vitamin C and calcium lactate addition

The effect of vitamin C and calcium lactate addition on the softening inhibition of high dose irradiated Kimchi was investigated. Optimal addition rate of vitamin-c and all calcium products (calcium lactate: C.L, calcium acetate: C.A, calcium chloride: C.C, calcium: C) weredetermined to 0.3% and 0.01%, respectively. The texture, taste, flavor, and overall acceptance of irradiated (25 kGy) Kimchi samples added with all calcium products were ranked as follows: C.L Kimchi > C.C Kimchi > C.A Kimchi > C Kimchi with significant differences of $P < 0.05$. The hardness of irradiated (25 kGy) Kimchi samples added with vitamin C or C.L were higher than that of control and unadded during stroage. The hardness of vitamin C+C.L (ADD), N_2-packaging (N_2), mild heating at 60℃ (HT), Freezing at -70℃ (F) and gamma irradiation of 25 kGy (IR) treated Kimchi was higher than that of control and unadded combined treatment during storage 30 days at 35℃.

4.3. Effect of paprika color and Kimchi flavor

This study was conducted to evaluate the combination effects of paprika color and Kimchi flavor on the improvement of sensory quality of irradiated sterilization Kimchi during storage at 35℃ for 30 days. In our previous results, the total microbes, lactic acid bacteria contents of N_2-HT (60℃)-F (-70℃)-IR (25 kGy) treated with Kimchi was perfectly sterilized. Also, sensory quality of N2-HT-F-IR treated with Kimchi was higher than that of all treatments (Control, HT, HT-IR, N_2-HT-IR). However, color and taste acceptance of Kimchi was still decreased by irradiation. Meanwhile, at this study, total microbes, lactic acid bacteria contents of A (paprika color, Kimchi flavor)-N_2-HT-F-IR (25 kGy) treated with Kimchi was not detectable, decrease of color, taste, overall acceptance on irradiated Kimchi could effectively controll during all storage times.

제 *1* 장 서 론

21세기 첨단산업 중 핵심적인 역할을 수행할 우주항공분야의 진흥을 위한 연구개발의 필요성과 시급성을 인지하여 2005년 3월 과학기술부는 국가과학기술 정책보고에서 당해 연도를 "***Space Korea* 원년**"으로 선포하였고, 2008년 4월 국제우주정거장(international space station, ISS)에 체류할 한국 우주인 양성사업을 진행 중에 있다. 인간이 우주공간에 갈 경우 무엇보다도 중요한 것은 우주인의 심리적 안정감과 우주방사선에 대한 생체방호이다(1). 이 중 심리적 안정감을 만족시키는 주요한 수단으로 고려되는 것이 식품이다(2). 1960년대 이래 우주개발 선진국들은 우주식품 개발에서 자국 우주비행사의 심리적 만족감을 향상시키기 위해 다양한 식품들을 개발하고 평가하여 왔다(3). 현재, 미국과 러시아만이 ISS에 우주식품을 공급하고 있으며, 대부분이 자국식품을 기반으로 하고 있다(4). 우주식품은 운송비용 등 그 특성상 가벼워야하며, 우주공간에서 있을 수 있는 식품유래 질환으로부터 우주비행사의 안전을 보장하기 위해서 가능한 한 무균상태로 멸균되어야 했다(5). 따라서 아폴로 프로젝트 등 초기 우주비행사용 식품은 완전 건조되고 증기고압 멸균 처리되어 공급되었는데, 관능적으로 매우 낮게 평가되었다(6). 이로 말미암아 풍미가 고려된 완전한 식품에 대한 요구가 급증하여 최근에는 반건조 식품이나 완전 조리식품의 개발연구가 점차 증가하고 있다.

우주식품은 모두 지상에서 만들어지며 메뉴는 탑승 우주인에 의해 선택되어진다. 우주인들이 우주임무 수행 시 필요한 비타민 및 필수 영양소 권장섭취량(recommended dietary allowance, RDA)에 맞춰 식단이 만들어지고, 칼로리 요구량은 기초에너지소비량(basal energy expenditure, BEE)에 따라 결정된다. 식단은 매 7일 또는 8일 마다 반복되며, 개인의 기호에 따라 다른 식품을 가져갈 수도 있다(7,8).

미국의 경우, 우주식품은 텍사스 휴스턴에 있는 Johnson Space Center의 우주식품연구소의 식품과학자, 영양학자, 그리고 식품공학자들에 의해 연구 개발되고 있다. 우주식품은 최종적으로 우주선에 선적되기 전까지 영양학적 분석, 관능평가, 저장성 실험, 포장재 평가 등 많은 실험을 거쳐야만 한다. 우주식품의 포장재는 일회용 용기를 사용하여 세척의 번거로움을 없앴다. 일반적으로 우주식품은 건조, 가열처리, 방사선조사, 수분활성도 감소, pH 조절, 및 특수 포장법 등을 이용하여 가공된다(9).

가까운 미래에는 3가지 유형의 우주식품이 요구될 것이다. 첫째, 지구에서 화성까

지 약 180일 정도의 편도여행시간이 소요되는 화성왕복우주선의 우주식품이다. 이 시스템에서는 제1차 식품시스템은 포장식품이며, 샐러드와 같은 최소가공식품은 우주선 내에서 재배되어 공급되며, 물은 유일한 이용자원이다. 둘째, 화성표면착륙기지용 우주식품이다. 대략 600일 가량 정착하게 되며, 야채류 이상의 식물을 재배할 수 있는 식물재배공간이 필요하며, 재배된 식품들이 제1차 식품으로 이용될 수 있다. 셋째, 화성기지용 우주식품으로서 임무 시 대략 600일 가량 정착하며, 화성기지는 10년 이상 그 기능을 수행할 것이며, 임무 시 거의 90% 이상의 식품을 재배식물에서 얻게 된다. 또한 장기우주임무에는 이러한 미래우주식품 시스템 이외에도 첨단생명지원(advanced life support; ALS) 시스템이 필요하다. 공기와 물을 재순환하여 사용하며, 곡류를 생산하여 저장 가능한 형태의 식품으로 가공하고, 고형 폐기물들을 처리하는 것 등이 첨단생명지원시스템의 주요 기능이다. 첨단식품시스템은 안전해야 하며, 영양학적, 정신학적, 그리고 우주인들의 기호도 등이 고려되어져야 한다. 우주여행 및 탐험 임무에 이용될 3-5년의 저장기간을 가진 별도의 특수포장식품을 개발하여야 하며, 재배된 곡류를 원료와 제품으로 가공시킬 장치나 기계 등을 고안, 제조, 및 유지하여야 한다.

기존의 식품가공/보존기술이 가지고 있는 문제점을 방사선 조사기술과 병용하여 보다 안전하고 품질이 뛰어난 식품을 개발할 수 있으리라 여겨진다. 우주식품 가공/보존기술의 개발과 이에 따른 파급효과는 우리나라의 국제적 위상 제고에 이바지하게 되며, 개발된 우주식품은 미국 등의 선진국들과 마찬가지로 군 전투식량 및 비상/특수목적 식량으로 이용가능하다. 조리, 포장, 저선량 조사의 병용처리로 위생적, 관능적 품질이 우수한 특수식품 개발도 가능하며, 우리나라에서 아직 개발되지 않은 고선량을 이용한 장기보존 편의식품 및 멸균식품의 개발에 활용할 수 있다. 21세기 본격적인 우주시대를 맞이하여 우주왕복선은 물론 우주정착기지에서의 첨단식품시스템 및 인간생명지원시스템의 개발로 미래의 우주시대를 선도할 수 있는 역량을 강화할 수 있을 것이다.

한편, 정부는 우리 군을 이라크 등에 파병하여 평화유지군으로 활동하게 하고 있다. 우주공간에서와 마찬가지로 전시상황은 매우 극심한 신경과민상태로서 심리적 안정감의 회복이 무엇보다 중요하다. 미군의 경우 작전 시 지침에서 급식을 통한 심리적 안정감 회복을 위한 프로그램을 실시하고 있다(10).

우주와 전투상황과 같은 극한상황에서 식품의 역할은 매우 크며, 자국민에게 자국

음식을 안정적으로 공급할 수 있는 기술력의 확보는 국가차원에서도 매우 필요하다. 우주식품과 군 전투식량의 경우 냉장이나 냉동보관이 힘들고 장기간 보존해야 하기 때문에 이를 위한 식품가공방법도 다양하게 고려되어야 한다. 미우주항공국(NASA)의 경우, 미 육군 Natick 연구소와 공동으로 1960년대부터 우주식품과 군 전투식량 개발에서 방사선 조사기술을 핵심기술로 하여 다양한 연구를 수행 중에 있다(11,12). 특히 육가공제품은 그 특성상 식인성 병원균의 성장으로 식품의 안전성이 위협받을 수 있기 때문에(13), 미생물학적 안전성을 확보하기 위한 가공법으로 방사선 조사기술이 연구되고 있으며(14-16), 미생물 제어로 인한 위생 증진 효과 뿐 만 아니라 그 건전성 또한 입증되었다(17). 특히 40 - 50 kGy의 고선량 조사를 통한 멸균 즉석 육가공품 제조 등에서 실용화를 달성하고 있다(12,18). 그러므로 2008년 4월 국제우주정거장에 체류할 한국 우주인을 위한 한국형 우주식품이 개발되어야 할 것이다.

김치는 각종 주재료를 소금에 절인 후 여러 가지 부재료와 양념류를 혼합하여 발효, 숙성시킴으로써 김치 특유의 맛, 풍미, 질감을 가지게 하는 우리나라 고유의 전통 발효식품이다(19,20). 최근 들어서는 국민 소득의 증대와 식생활 패턴의 변화, 사회의 다변화 및 국제적 교류의 급증으로 국제적인 식품으로 각광을 받게 되어 산업적 대량생산이 증가되고 있으나, 저장 및 유통 중 김치의 독특한 품질을 유지하기가 어려워 문제가 되고 있다(21). 김치는 발효식품이므로 숙성되면서 젖산균에 의하여 여러 가지 유기산이 생성되며, 숙성 적기에는 이들로 인하여 상큼한 신맛과 감칠맛이 어우러져 조화를 이룬 맛을 낸다. 그러나 이 시기가 지나면 식물조직 내에 존재하는 펙틴의 분해로 인해 연화현상이 일어나고 과도하게 생산된 산과 효모 등의 생육으로 산패 현상이 나타나므로 품질이 저하되고 신맛이 강해진다(22-24). 이와 같이 지속적인 미생물의 발효에 의한 품질변화를 방지하기 위해서 지금까지 가열처리(25-28), 방부제처리(29), 한약제 첨가(30,31), pH 조절제 처리(32,33), 고염처리(34), 저온유통(35), 완충제 첨가(36) 및 천연항균제 첨가(20,23) 등을 이용하고 있으나 실온에서 1년 이상 장기저장 할 경우 관능적 품질 및 조직연화를 방지할 수 있는 실용적인 기술의 개발은 아직 미흡한 실정이다. 따라서 김치의 고유한 맛을 지니면서 장기간 저장할 수 있는 새로운 방법의 개발이 요구된다.

한편, 방사선 조사기술은 국제기구(FAO/IAEA/WHO/FDA 등)와 선진 여러 나라에서 이미 그 건전성과 경제성이 공인되어 실용화 되고 있으며 포장된 식품의 살균에 적합한 냉온살균방법으로 이미 여러 종류의 식품에 오염된 미생물 제어에 효과

적인 것으로 입증되었다. 특히 가열, 진공포장 방법 등 다른 식품가공 및 저장기술과의 병용처리 시 한 가지 방법에 의존한 제품에 비해 식품 고유의 관능적 품질에 큰 영향을 주지 않으면서 미생물학적으로 안전한 식품의 제조가 가능한 방법이다(37-39).

몇몇 연구들은 채소류 제품의 저장성 증진 및 고유한 품질 유지를 위한 방사선과 여러 가지 이화학적 병용처리를 통해 김치에의 적용 가능성을 제시하였다.

첫 번째, 일반적으로 식품에 가열과 방사선 조사를 병용하면 비교적 낮은 온도 및 저선량의 방사선 조사로써 목적하는 살균효과를 기대할 수 있으며, 이러한 견지에서 방사선 조사와 가열과의 병용처리 연구가 많이 시도되어 왔다(40-43). Byun 등(43)은 김치에서 분리한 주요젖산균을 대상으로 가열과 방사선 병용처리를 실시했을 때 단독처리에 비해 미생물 생육에 미치는 영향이 더 크다고 보고하였다.

두 번째, 가스치환포장은 즉석섭취가 가능한 채소류의 저장에 널리 사용되는 방법이며(44-46) 방사선과 가스치환포장의 병용처리는 최소가공채소류의 저장성 연장, 관능적 품질 유지 및 조직감 개선을 위한 방법으로 권장되고 있다(47-49). Kim 등(48)은 최소가공 무의 미생물학적 안전성을 확보하고 품질을 보존하기 위해서는 2 kGy의 방사선 조사와 가스치환포장의 병용처리가 효과적이라고 보고하였다.

세 번째, 방사선 조사 시 제품의 온도는 초기 이온화도 및 여기 효과에 있어서 중요하고, 활성산소종들의 반응정도는 조사 시 온도에 영향을 받는다(50). 특히, 방사선에 의해 산소로부터 발생된 프리라디칼은 화학변화의 주요인자이며, 그것은 냉동조건하에서 활동의 제약을 받는다. 따라서 채소류 제품의 관능적 품질 및 조직 손상과 같은 역반응을 줄이기 위해 냉동조건 하에서 방사선 조사 방법이 사용될 수 있다(51-53).

네 번째, 항산화제는 채소류 및 가공육류와 같은 신선식품에 사용되며, 조직, 색개선, 이취감소, 산패취 억제를 위해 사용된다(54). 따라서 프리라디칼 소거능에 의해 라디칼과의 결합을 막아주고, 방사선 조사에 의한 조직연화, 이취발생, 산화를 감소시킨다(55).

다섯 번째, 칼슘은 demethylation 저해 및 펙틴과의 결합을 통해 피클과 같은 발효식품의 연화 방지를 목적으로 사용된다(56,57). 비록 젖산칼슘이 김치, 상추와 같은 채소류제품의 조직 강화에 효과적이지만(58) 방사선 살균된 김치의 조직에 미치는 영향에 관한 연구는 수행된 바가 없다.

여섯 번째, 감마선 조사에 의한 탈색현상을 막기 위해 천연색소의 첨가가 가능하다. Kim 등(59)은 김치의 맵고, 자극적인 맛을 줄이고 색을 강화하기 위해 파프리카 색소를 김치에 첨가한 바가 있다.

이러한 기술을 바탕으로 몇몇 연구(60-62)에서는 김치에 약 3-5 kGy 정도의 방사선을 조사한 후 4-10℃ 정도에서 저온 저장할 때 품질유지에 효과적임을 입증한 바 있으나 우주와 사막과 같은 극한환경에서 품질이 보존되기 위해서는 실온에서 유통할 때에도 품질이 유지되어야 한다. 한편, Byun 등(43)은 김치로부터 젖산균을 분리하여 가열과 방사선 병용처리가 김치 미생물의 사멸에 효과적임을 확인한 바 있으나, 실제 김치를 모델로 하여 가열과 방사선 병용처리가 김치의 저장성 및 품질에 미치는 영향을 연구하려는 시도는 없었다.

이에 본 연구는 우주나 사막 조건 등 극한환경에서도 저장이 가능한 한국형 우주식품 개발의 일환으로 한국 100대 문화이며 세계 5대 건강식품으로 선정된 김치를 모델로 하여 방사선 조사기술과 타 식품가공 방법이 융합된 장기간 저장이 가능한 우주김치 개발을 위해 실시되었다.

제 2 장 우주식품의 연구개발 현황 분석

제 1 절 우주식품 발달사

1. 초기 우주식품

Mercury 우주선의 우주인들은 한입크기로 만들어진 음식조각, 냉동건조 분말가루, 알루미늄 튜브에 포장된 유동식 등을 섭취하였으며(63), 냉동건조식품은 물을 첨가하여 원래상태로 만들어 섭취하기가 용이하지 않았고, 작은 음식 부스러기들이 중요한 기계들을 망치는 것을 방지하는데 노력을 기울여야 했다. 우주식품은 맛이 없었으며, 튜브를 짜서 먹는 초기 우주식품은 우주인들이 선호하지 않았다(64).

Gemini 우주선에서의 우주식품은 다소 개선되어 음식조각은 젤라틴으로 코팅되어졌으며 냉동건조식품은 특수 플라스틱 용기에 담겨져 물을 첨가하여 섭취하기가 용이하도록 하였다(7). 포장재의 개선으로 보다 나은 종류의 음식들을 제공하였으며, 새우 칵테일, 야채와 닭고기, 버터스카치 푸딩, 사과 소스 등의 식품이 제공되었다.

아폴로(Apollo) 우주선 시대에는 뜨거운 물을 이용해 냉동건조식품을 섭취할 수 있었으며, 플라스틱 용기와 함께 숟가락 등의 식기를 사용할 수 있었다. 또한 가열처리가 가능한 파우치도 이 시기에 도입되었다(6).

유인 우주실험실(Skylab)에서는 우주선에서와는 달리 식탁에 앉아서 식사를 할 수 있었다. 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 수 있었다(65).

2. 우주왕복선에서의 우주식품

우주왕복선에서의 음식은 모두 지상에서 만들어지며 메뉴는 탑승 우주인에 의해 선택되어진다. 우주인들이 우주임무 수행 시 필요한 비타민 및 필수 영양소 권장섭취량(recommended dietary allowance, RDA)에 맞춰 식단이 작성되며, 칼로리 요구

량은 기초에너지소비량(basal energy expenditure, BEE)에 대한 공식에 따라 결정된다. 여성 우주인의 경우, BEE = 655 + (9.6 x W) + (1.7 x H) - (4.7 x A)이며, 남자 우주인의 경우 BEE = 66 + (13.7 x W) + (5 x H) - (6.8 x A)이다. W는 체중(Kg), H는 신장(cm), 그리고 A는 나이를 나타낸다(7). 우주왕복선의 우주인들은 그들이 섭취할 식품에 대한 폭넓은 선택을 할 수 있는데, 식단은 매 7일 마다 반복되며, 개인의 기호에 따라 다른 식품을 가져갈 수도 있다. 미국의 경우, 우주식품은 텍사스 휴스턴에 있는 Johnson Space Center의 우주식품연구소의 식품과학자, 영양학자, 그리고 식품공학자들에 의해 연구·개발되고 있다. 우주식품은 최종적으로 우주선에 선적되기 전까지 영양학적 분석, 관능평가, 저장성 실험, 포장재 평가 등 많은 실험을 거쳐야만 한다(9). 우주식품들은 우주선 발사 9개월여 전부터 우주인들에 의해 평가되고, 식단이 작성되며 5개월 전에는 선택된 메뉴를 영양학적인 관점에서 다시 분석하게 된다. 우주선 발사 한 달 전까지 사전 계약된 식품가공업자들에 의해 만들어져 제공되며, 3주전에 플로리다에 있는 Kennedy Space Center로 운송되어 냉장 보관된다. 과채류, 빵 등은 발사 24에서 36시간 전에 우주선에 옮기며, 색깔이 다른 점을 포장용기에 붙여 표시 한다. 식판은 우주인의 무릎이나 벽에 부착시키게 되며, 이러한 식판은 포장식품들을 고정시켜 무중력상태에서 공중에 떠다니는 것을 방지한다(66). 식품을 준비하는 시간은 최대 30분 정도가 소요되며, 식사 후 식판은 위생실(hygiene station)에서 젖은 물수건으로 세척한다. 우주인 1명당 2일간 2100 kcal에 해당하는 예비식품을 저장하여, 기상 악화 등의 예측할 수 없는 상황이 발생하여 비행이 연장되는 경우를 대비하며 여분의 음료와 스낵도 상비한다(67).

1982년 2일이었던 우주왕복선의 초기임무는 1992년 STS50 임무에서는 14일로 연장되었으며, 일반적으로 10일 이상의 임무는 장기우주비행(extended duration orbiter, EDO) 임무라고 한다.

우주발사체에서 부피와 무게는 가장 중요한 요소이며, 우주식품시스템에서도 이들 요소는 매우 중요한 요소가 된다. 우주인 1인당 1일 허용되는 무게는 0.45 Kg의 개인용품을 포함하여 1.72 Kg이다. 무중력공간에서 손쉽게 섭취할 수 있도록 우주식품은 개별 포장되어 선적되며, 모든 식품은 조리 및 가공되어 냉장 보관할 필요가 없이 즉석에서 섭취가 가능하거나 간단히 물을 첨가하거나 가열하여 섭취가 가능하여야 한다. 신선과채류는 예외의 경우로서 신선식품 보관용기에 보관하며, 냉장보관이 안된 경우, 당근과 샐러리는 2일 이내에 섭취하여야 한다(67). 우주왕복선에 선적되

는 우주식품의 가공형태는 다음과 같다.

가. 건조식품

건조식품(rehydratable food; R)은 일반적인 식품과 음료를 건조한 후, 물을 첨가하여 섭취하는 형태의 식품으로서 식품에서 물을 제거함으로서 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 식품이 제공된다(68).

나. 가열처리 식품

가열처리 식품(thermostabilized food, T)은 가열하여 유해한 미생물과 효소를 파괴한 식품으로서 알루미늄이나 이중금속 캔, 플라스틱 용기, 또는 레토르트 파우치 등을 이용한 식품들이 시판되고 있다. 과일이나 참치 등은 통조림 형태로 가공되며, 푸딩은 플라스틱 용기에 담겨져 제공되고, 그 외에 대부분의 열처리된 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 고온충진법을 이용하여 식품을 가공 포장한다(64).

다. 반건조 또는 중간수분 식품

반건조 식품(intermediate moisture food, IM) 은 미생물 생육에 필요한 수분은 제한하고 식품의 물성을 향상시킬 수 있는 수분을 제공하여 그 자체로 섭취될 수 있는 식품이다. 단순한 건조 방법을 이용하여 수분을 제거하거나 설탕이나 소금 등을 첨가하여 화학적인 방법으로 보습하여 미생물이 수분을 이용할 수 없도록 하며, 일반적으로 15-30%의 수분을 함유하고 있으며, 건조 복숭아, 배, 살구, 및 육포 등의 식품이 제공된다(64).

라. 자연 형태의 식품

자연형태의 식품(natural form foods, NF)은 연성 파우치에 포장된 견과류, 쿠키류, 및 그라놀라 바(granola bar) 등 더 이상의 가공이 없이 섭취할 수 있는 식품류를 포함한다(64).

마. 방사선 조사식품

방사선 조사식품(irradiated food, I)은 방사선 조사기술을 이용하여 저장 안정성을 향상시킨 식품으로 현재는 쇠고기 스테이크나 칠면조 고기 등 육류에 한정되어있다. NASA는 이러한 방사선 조사기술을 이용함에 있어 미국 식품의약안전청(Food and Drug Administration, FDA)로부터 독점적인 사용허가를 받았으며, 조사된 식품에서 방사능이 유발되지 않는 에너지 수준의 선량으로 이용되고 있다(14).

바. 그 외의 우주식품의 저장 안정성 향상 방법

Modified atmosphere packaging(MAP), pH 조절(산도 조절), 및 수분활성도 감소 등의 방법 등을 병용하여 사용한다(69,70).

이러한 형태로 가공되어 우주왕복선에 선적되는 우주식품의 리스트와 메뉴는 Fig. 1과 2에 나타내었다(71).

BASELINE SHUTTLE FOOD AND BEVERAGE LIST

FOODS

ABBREVIATIONS
(B) - Beverage
(FF) - Fresh Food
(IM) - Intermediate Moisture
(I) - Irradiated
(NF) - Natural Form
(R) - Rehydratable
(T) - Thermostabilized

Beef w/BBQ Sauce (T)
Beef, Dried (IM)
Beef Pattie (R)
Beef Steak (I)
Beef Stroganoff w/Noodles (R)

Bread (FF)

Breakfast Roll (FF)

Brownies (NF)

Candy,
- Coated Chocolates (NF)
- Coated Peanuts (NF)
- Gum (NF)
- Life Savers (NF)

Cereal,
- Bran Chex (R)
- Cornflakes (R)
- Granola (R)
- Granola w/Blueberries (R)
- Granola w/Raisins (R)
- Grits w/Butter (R)
- Oatmeal w/Brown Sugar (R)
- Oatmeal w/Raisins (R)
- Rice Krispies (R)

Cheddar Cheese Spread (T)

Chicken,
- Chicken, Grilled (T)
- Chicken Salad Spread (T)
- Chicken, Sweet 'n Sour (R)
- Chicken, Teriyaki (R)

Cookies,
- Butter (NF)
- Shortbread (NF)

Crackers, Butter (NF)

Eggs,
- Scrambled (R)
- Mexican Scrambled (R)
- Seasoned Scrambled (R)

Frankfurters (T)

Fruit,
- Apple, Granny Smith (FF)
- Apple, Red Delicious (FF)
- Applesauce (T)
- Apricots, Dried (IM)
- Banana (FF)
- Cocktail (T)
- Orange (FF)
- Peach Ambrosia (R)
- Peaches, Diced (T)
- Peaches, Dried (IM)
- Pears, Diced (T)
- Pears, Dried (IM)
- Pineapple (T)
- Strawberries (R)
- Trail Mix (IM)

Granola Bar (NF)

Ham (T)
Ham Salad Spread (T)

Jelly,
- Apple (T)
- Grape (T)

Macaroni & Cheese (R)

Noodles and Chicken (R)

Fig. 1. An example of food and beverage list for space shuttle.

BASELINE SHUTTLE FOOD AND BEVERAGE LIST

Nuts,
- Almonds (NF)
- Cashews (NF)
- Macadamia (NF)
- Peanuts (NF)
- Trail Mix (IM)

Peanut Butter (T)

Potatoes au Gratin (R)

Puddings,
- Banana (T)
- Butterscotch (T)
- Chocolate (T)
- Tapioca (T)
- Vanilla (T)

Rice w/Butter (T)
Rice and Chicken (R)
Rice Pilaf (R)

Salmon (T)

Sausage Pattie (R)

Shrimp Cocktail (R)

Soups,
- Chicken Consomme (B)
- Mushroom (R)
- Rice & Chicken (R)

Spaghetti w/Meat Sauce (R)

Tortillas (FF)

Tuna,
- Tuna (T)
- Tuna Salad Spread (T)

Turkey,
- Turkey Salad Spread (T)
- Turkey, Smoked (I)
- Turkey Tetrazzini (R)

Vegetables,
- Asparagus (R)
- Broccoli au Gratin (R)
- Carrot Sticks (FF)
- Cauliflower w/Cheese (R)
- Celery Sticks (FF)
- Green Beans & Broccoli (R)
- Green Beans/Mushrooms (R)
- Italian (R)
- Spinach, Creamed (R)
- Tomatoes & Eggplant (T)

BEVERAGES (B)

ABBREVIATIONS
A/S - Artificial Sweetener
(B) - Rehydratable Beverage
(T) - Thermostabilized

Apple Cider

Cherry Drink w/A/S

Cocoa

Coffee,
- Black
- w/A/S
- w/Cream
- w/Cream & A/S
- w/Cream & Sugar
- w/Sugar

Coffee (Decaffeinated),
- Black
- w/A/S
- w/Cream
- w/Cream & A/S
- w/Cream & Sugar
- w/Sugar

Coffee (Kona),
- Black
- w/A/S
- w/Cream
- w/Cream & A/S
- w/Cream & Sugar
- w/Sugar

Fig. 1. Continued.

BASELINE SHUTTLE FOOD AND BEVERAGE LIST

Grape Drink
Grape Drink w/A/S

Grapefruit Drink

Instant Breakfast,
- Chocolate
- Strawberry
- Vanilla

Lemonade
Lemonade w/A/S

Lemon-Lime Drink

Orange Drink
Orange Drink w/A/S
Orange-Grapefruit Drink
Orange Juice
Orange-Mango Drink
Orange-Pineapple Drink

Peach-Apricot Drink

Pineapple Drink

Strawberry Drink

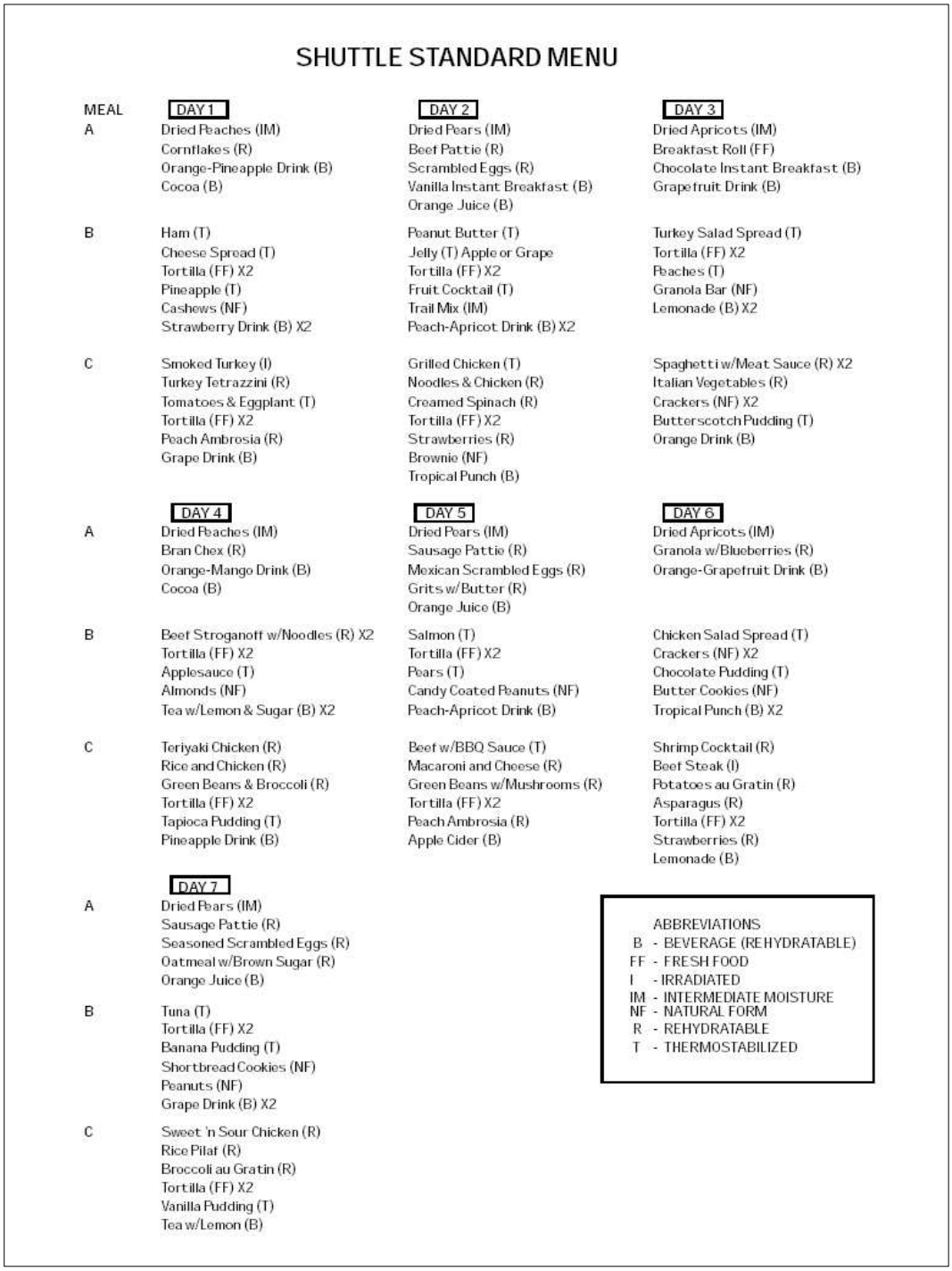
Tea,
- Plain
- w/A/S
- w/Cream
- w/Lemon
- w/Lemon & A/S
- w/Lemon & Sugar
- w/Sugar

Tropical Punch
Tropical Punch w/A/S

CONDIMENTS

Catsup (T)
Mayonnaise (T)
Mustard (T)
Pepper (Liquid)
Salt (Liquid)
Tabasco Sauce (T)
Taco Sauce (T)

Fig. 1. Continued.



SHUTTLE STANDARD MENU

MEAL	DAY 1	DAY 2	DAY 3
A	Dried Peaches (IM) Cornflakes (R) Orange-Pineapple Drink (B) Cocoa (B)	Dried Pears (IM) Beef Pattie (R) Scrambled Eggs (R) Vanilla Instant Breakfast (B) Orange Juice (B)	Dried Apricots (IM) Breakfast Roll (FF) Chocolate Instant Breakfast (B) Grapefruit Drink (B)
B	Ham (T) Cheese Spread (T) Tortilla (FF) X2 Pineapple (T) Cashews (NF) Strawberry Drink (B) X2	Peanut Butter (T) Jelly (T) Apple or Grape Tortilla (FF) X2 Fruit Cocktail (T) Trail Mix (IM) Peach-Apricot Drink (B) X2	Turkey Salad Spread (T) Tortilla (FF) X2 Peaches (T) Granola Bar (NF) Lemonade (B) X2
C	Smoked Turkey (I) Turkey Tetrazzini (R) Tomatoes & Eggplant (T) Tortilla (FF) X2 Peach Ambrosia (R) Grape Drink (B)	Grilled Chicken (T) Noodles & Chicken (R) Creamed Spinach (R) Tortilla (FF) X2 Strawberries (R) Brownie (NF) Tropical Punch (B)	Spaghetti w/Meat Sauce (R) X2 Italian Vegetables (R) Crackers (NF) X2 Butterscotch Pudding (T) Orange Drink (B)

MEAL	DAY 4	DAY 5	DAY 6
A	Dried Peaches (IM) Bran Chex (R) Orange-Mango Drink (B) Cocoa (B)	Dried Pears (IM) Sausage Pattie (R) Mexican Scrambled Eggs (R) Grits w/Butter (R) Orange Juice (B)	Dried Apricots (IM) Granola w/Blueberries (R) Orange-Grapefruit Drink (B)
B	Beef Stroganoff w/Noodles (R) X2 Tortilla (FF) X2 Applesauce (T) Almonds (NF) Tea w/Lemon & Sugar (B) X2	Salmon (T) Tortilla (FF) X2 Pears (T) Candy Coated Peanuts (NF) Peach-Apricot Drink (B)	Chicken Salad Spread (T) Crackers (NF) X2 Chocolate Pudding (T) Butter Cookies (NF) Tropical Punch (B) X2
C	Teriyaki Chicken (R) Rice and Chicken (R) Green Beans & Broccoli (R) Tortilla (FF) X2 Tapioca Pudding (T) Pineapple Drink (B)	Beef w/BBQ Sauce (T) Macaroni and Cheese (R) Green Beans w/Mushrooms (R) Tortilla (FF) X2 Peach Ambrosia (R) Apple Cider (B)	Shrimp Cocktail (R) Beef Steak (I) Potatoes au Gratin (R) Asparagus (R) Tortilla (FF) X2 Strawberries (R) Lemonade (B)

MEAL	DAY 7
A	Dried Pears (IM) Sausage Pattie (R) Seasoned Scrambled Eggs (R) Oatmeal w/Brown Sugar (R) Orange Juice (B)
B	Tuna (T) Tortilla (FF) X2 Banana Pudding (T) Shortbread Cookies (NF) Peanuts (NF) Grape Drink (B) X2
C	Sweet 'n Sour Chicken (R) Rice Pilaf (R) Broccoli au Gratin (R) Tortilla (FF) X2 Vanilla Pudding (T) Tea w/Lemon (B)

ABBREVIATIONS
B - BEVERAGE (REHYDRATABLE)
FF - FRESH FOOD
I - IRRADIATED
IM - INTERMEDIATE MOISTURE
NF - NATURAL FORM
R - REHYDRATABLE
T - THERMOSTABILIZED

Fig. 2. An example of standard menu for space shuttle.

3. 국제우주정거장에서의 우주식품

국제우주정거장(ISS)에서의 식단은 매 8일 마다 반복되며, 다양한 식단이 첨가되면 늘어날 수도 있다. 현재는 미국과 러시아의 식단이 반씩 차지하고 있으나 앞으로 일본이나 캐나다 등 국제우주정거장 참여국가의 식품들도 포함시킬 계획이다. 우주식품의 포장재는 일회용 용기를 사용함으로써 용기세척의 번거로움을 제거하였다. 우주정거장에서의 전기력은 태양에너지로부터 얻어지며 물은 재순환되어 사용되게 되므로, 식품에 이용될 물의 이용은 제한되며, 따라서 냉동건조 식품의 이용은 줄어들고 상대적으로 열처리한 식품의 비율은 높아지게 된다(4).

우주정거장에서 우주인들은 거주용 모듈(habitation module, HAB)에서 기거하게 되며, 식품 및 생활용품 등은 압축식 보급 모듈(pressurized logistics module, PLM)을 교환하는 방식으로 90일 마다 공급된다.

미국과 러시아의 우주인들은 자국의 식단은 물론 상대국의 식단에 대해서도 맛을 보고 섭취한 식품들에 대한 평가를 하며, 이에 따라 미국과 러시아의 영양학자들은 각 임무별 승무원들의 식단을 마련하고 있다. 취사준비는 러시아의 Zvezda 서비스 모듈에서 이뤄지며, 러시아의 식품들은 접이식 식탁에 내장된 온열장치를 이용하고 미국의 식품은 별도의 온열장치와 일종의 어댑터를 이용하여 가수(rehydration) 시킨 후 섭취한다(64).

우주정거장의 식품은 우주왕복선의 식품 시스템과는 현저한 차이가 있다. 우주정거장의 전력공급은 태양열에 의해 얻어지기 때문에 우주왕복선에서처럼 물을 충분히 생산해 낼 수 없다. 따라서 대부분의 식품은 냉동, 냉장 또는 열 가공 처리된 것이며, 섭취하기 전에 물을 첨가할 필요가 없다(72). 음료는 대부분 건조형태이며 식품은 전자렌지나 오븐에 넣어 가열 후 섭취하며, 우주정거장 식품시스템은 일일식단, 비상조난 식품, 그리고 특별 우주선 활동(extra vehicular activity, EVA) 식품의 3 가지의 식품체계로 이뤄져 있다(Fig. 3)(71).

가. 일일식단

식사의 보편성, 영양소 함유량 및 우주에서 이용시의 적합성 등에 근거하여 식품이 선택된다. 일일식단은 냉동, 냉장, 및 실온 상태의 식품 등으로 구분할 수 있으

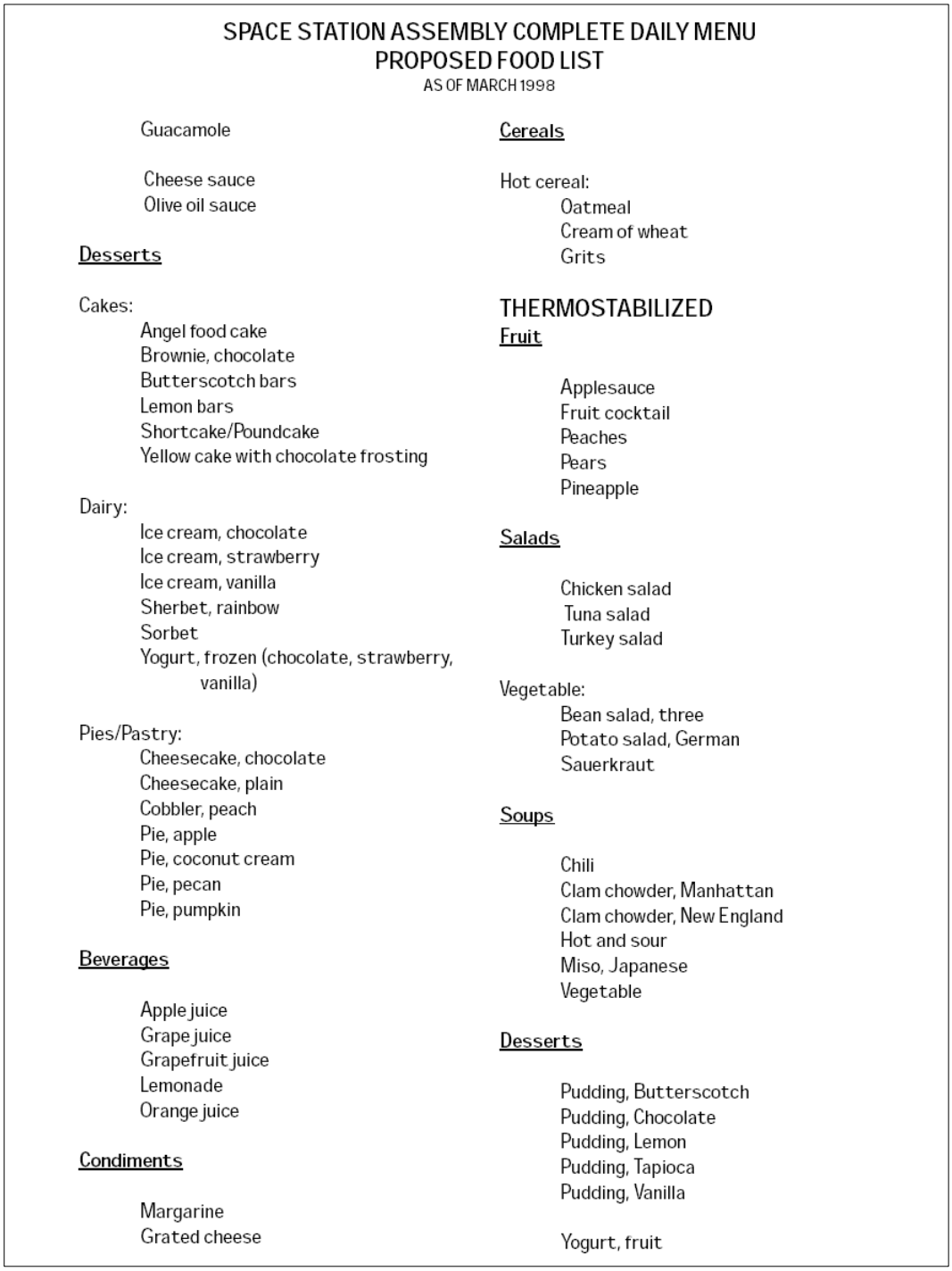
며, 냉동식품은 채소 및 후식류 등이고 냉장식품은 신선 과채류, 냉장보관용 식품, 및 유제품 등이며, 실온식품은 열 가공식품, 멸균 포장제품, NF 식품, 및 건조분말 음료 등이다. 일일식단 식품은 일회용으로 상황에 따라 메뉴를 바꾸기가 용이하도록 포장한다. 90일 우주임무에 필요한 식품들이 우주정거장의 PLM으로 배달되며, 배달된 식품들은 14일 분량으로 나뉘어 HAB으로 옮겨지고, 우주식품들은 2주마다 PLM에서 HAB으로 옮겨진다(7).

나. 비상조난 식품

비상조난식품시스템은 기계고장 등에 의해 비상작동 조건에서 우주정거장의 전체 우주인들이 22일간 견딜 수 있는 식품을 제공한다. 이 시스템의 목적은 최소의 부피와 무게를 가진 식품을 확보하는 것이며, 1인당 2000 cal의 식품을 제공하며, 비상조난식품은 60 - 85 °F의 실온에서 저장되므로 반드시 저장 안정성이 뛰어나야 하며, 최소 2년의 보존기간을 확보해야 한다(7).

다. 특별 우주선 활동 식품

특별 우주선 활동 식품은 8시간의 EVA 활동에 필요한 500 cal의 식품과 38 oz의 물로 구성되며, EVA용 물과 식품 용기는 HAB의 조리시설에서 세척된 후 다시 채워지게 된다(64).



SPACE STATION ASSEMBLY COMPLETE DAILY MENU
PROPOSED FOOD LIST
AS OF MARCH 1998

Guacamole

Cheese sauce
Olive oil sauce

Desserts

Cakes:
- Angel food cake
- Brownie, chocolate
- Butterscotch bars
- Lemon bars
- Shortcake/Poundcake
- Yellow cake with chocolate frosting

Dairy:
- Ice cream, chocolate
- Ice cream, strawberry
- Ice cream, vanilla
- Sherbet, rainbow
- Sorbet
- Yogurt, frozen (chocolate, strawberry, vanilla)

Pies/Pastry:
- Cheesecake, chocolate
- Cheesecake, plain
- Cobbler, peach
- Pie, apple
- Pie, coconut cream
- Pie, pecan
- Pie, pumpkin

Beverages

- Apple juice
- Grape juice
- Grapefruit juice
- Lemonade
- Orange juice

Condiments

- Margarine
- Grated cheese

Cereals

Hot cereal:
- Oatmeal
- Cream of wheat
- Grits

THERMOSTABILIZED

Fruit

- Applesauce
- Fruit cocktail
- Peaches
- Pears
- Pineapple

Salads

- Chicken salad
- Tuna salad
- Turkey salad

Vegetable:
- Bean salad, three
- Potato salad, German
- Sauerkraut

Soups

- Chili
- Clam chowder, Manhattan
- Clam chowder, New England
- Hot and sour
- Miso, Japanese
- Vegetable

Desserts

- Pudding, Butterscotch
- Pudding, Chocolate
- Pudding, Lemon
- Pudding, Tapioca
- Pudding, Vanilla

Yogurt, fruit

Fig. 3. An example food list for international space station.

SPACE STATION ASSEMBLY COMPLETE DAILY MENU
PROPOSED FOOD LIST
AS OF MARCH 1998

Condiments

- Barbecue sauce
- Catsup
- Chile con queso
- Cocktail sauce
- Cranberry sauce
- Dill pickle chips or relish
- Dip, bean
- Dip, onion
- Dip, ranch
- Honey
- Horseradish sauce
- Jelly/jam, assorted
- Lemon juice
- Mayonnaise
- Mustard, Stadium
- Mustard, hot Chinese
- Mustard, deli style and/or Dijon
- Peanut butter (chunky, creamy)
- Picante sauce (mild, hot)
- Sweet and sour sauce
- Syrup, maple
- Tobasco sauce
- Tartar sauce

Beverages

Fruit juices:

- Cranberry
- Cranberry apple
- Cranberry raspberry and/or other cranberry varieties
- Pineapple
- Pineapple grapefruit
- Tomato
- V-8

Milk:

- Skim
- Low fat
- Chocolate (low fat or skim)
- Whole

NATURAL FORM

Fruit

- Apples, dried
- Apricots, dried
- Peach, dried
- Pear, dried
- Prunes
- Raisin
- Trail mix

Grains

- Animal crackers
- Cereal, cold (10)
- Chex mix
- Crackers, saltines & butter
- Baked chips, tortilla
- Baked chips, potato
- Pretzels, mini
- Goldfish, cheddar
- Teddy Grahams
- Tortilla chips
- Potato chips
- Power bars
- Rye Krisp, seasoned

Desserts

Cookies:

- Butter
- Chocolate chip
- Fortune
- Rice Krispies treat
- Shortbread

Snacks

Beef jerky

Nuts:

- Almonds
- Cashews
- Macadamia
- Peanuts

Fig. 3. Continued.

SPACE STATION ASSEMBLY COMPLETE DAILY MENU
PROPOSED FOOD LIST
AS OF MARCH 1998

REFRIGERATED

Dairy

- Cheese slices, American
- Cream cheese
- Sour cream

Fruits

- Apple
- Grapefruit
- Kiwi
- Orange
- Plum

FROZEN

Entrees

Beef:

- Beef, brisket, barbecued
- Beef, enchilada w/ Spanish rice
- Beef, fajita
- Beef, patty
- Beef, sirloin tips w/mushroom
- Beef, steak, Bourbon
- Beef, steak, teriyaki
- Beef, stir fried
- Beef, stroganoff w/noodle
- Luncheon meat (ham, roast beef, turkey)
- Meatloaf

Lamb:

- Lamb, broiled

Poultry:

- Chicken, baked
- Chicken, enchilada w/ Spanish rice
- Chicken, fajita
- Chicken, grilled
- Chicken, oven fried
- Chicken, pot pie
- Chicken, stir fried
- Chicken, teriyaki
- Duck, roasted
- Turkey, breast, roasted, sliced

Pork:

- Bacon
- Bacon, Canadian
- Ham, baked
- Pork, chop, baked
- Pork, sausage, patties
- Pork, sweet and sour w/rice

Seafood:

- Fish, baked
- Fish, grilled(lemon butter & Italian herb)
- Fish, sautéed
- Lobster, broiled tails
- Scallops, baked
- Seafood, gumbo w/rice
- Shrimp, cocktail
- Shrimp, broiled
- Tuna, noodle casserole

Eggs:

- Egg, omelet, cheese
- Egg, omelet, vegetable
- Egg, omelet, ham
- Egg, omelet, sausage
- Egg, omelet, vegetable and ham
- Egg, omelet, vegetable and sausage
- Eggs, scrambled w/bacon and hash browns
- Eggs, scrambled w/sausage and hash browns
- Quiche, vegetable
- Quiche, Lorraine

Pasta mixtures:

- Cheese, manicotti w/tomato sauce
- Lasagna, meat
- Lasagna, vegetable w/ cream sauce
- Lasagna, vegetable w/ tomato sauce
- Noodles, stir fry
- Spaghetti w/meat sauce
- Spaghetti w/ tomato sauce
- Tortellini w/tomato sauce, cheese
- Pasta w/ sauce - Orzon (wild rice) & veg. w/ sauce
- Mafalda & veg. w/ sauce

Fig. 3. Continued.

SPACE STATION ASSEMBLY COMPLETE DAILY MENU
PROPOSED FOOD LIST
AS OF MARCH 1998

Other:
- Egg rolls - chicken and vegetable
- Enchilada, cheese w/ Spanish rice
- Pizza, cheese
- Pizza, meat
- Pizza, vegetable
- Pizza, supreme

Fruit
- Apples, escalloped
- Berry Medley (blueberries, strawberries, raspberries, etc.)
- Fruit Medley (peaches, grapes, honeydew, pineapple, cantaloupe)
- Tropical Medley (mango, papaya, etc.)
- Strawberries, sliced

Soups
- Beef, stew
- Broccoli, cream of
- Chicken, cream of
- Chicken, noodle
- Mushroom, cream of
- Won ton

Gravy (cream, brown, poultry)

Grains:
- Bagel, plain
- Biscuits
- Bread, wheat/white
- Cornbread
- Dinner roll
- Garlic bread
- Muffin, blueberry & bran
- Sandwich bun, wheat/white
- Tortilla

Stuffing

Breakfast items:
- Cinnamon roll
- French toast
- Pancakes, buttermilk
- Pancakes, apple cinnamon
- Waffles

Pasta:
- Fettucine Alfredo
- Macaroni and cheese
- Spaghetti
- Noodles, egg & Chinese
- Pasta Accents/Pasta Secrets (variety)

Rice:
- Fried
- Mexican/Spanish
- White
- Brown
- Red beans & rice

Starchy vegetables
- Corn, whole kernel
- Potato, baked
- Potatoes, escalloped or au gratin
- Potatoes, oven fried
- Potatoes, mashed
- Yams, candied
- Succotash
- Squash corn casserole

Vegetables
- Asparagus tips
- Beans, green
- Beans, green w/mushrooms
- Broccoli
- Broccoli w/ cheese sauce
- Carrot coins
- Cauliflower
- Cauliflower w/ cheese sauce
- Chinese vegetables, stir fry
- Mushrooms, oven fried
- Okra, oven fried
- Peas
- Spinach
- Squash, acorn
- Sugar snap peas
- Sugar snap peas & carrots
- Zucchini, spears, oven fried

Fig. 3. Continued.

SPACE STATION ASSEMBLY COMPLETE DAILY MENU
PROPOSED FOOD LIST
AS OF MARCH 1998

Candy:

- Candy coated chocolates
- Candy coated peanuts
- Lifesavers
- Gum (sugarfree)

EVA Food

- In-suit fruit bar

REHYDRATABLE

Beverages

- Apple cider
- Cherry drink
- Cocoa
- Coffee (assorted)
- Gatorade, assorted
- Grape drink
- Grapefruit drink
- Instant breakfast, Chocolate
- Instant breakfast, Vanilla
- Instant breakfast, Strawberry
- Orange drink
- Orange mango drink
- Orange pineapple drink
- Tea (assorted)
- Tropical punch

Fig. 3. Continued.

4. 우주비행에서의 인간과 영양

충분한 열량, 비타민, 및 미네랄 등의 섭취는 우주인에게는 매우 중요하나 우주공간에서의 식단은 지상과는 달리 많이 제한되므로 적절한 식단을 마련해서 우주인들로 하여금 필요한 영양소를 섭취할 수 있도록 하는 것이 매우 중요하다. 우주인은 우주공간에서 적혈구수가 지상에서 보다 적어 다소 적은 량의 철분이 필요하다. 음식으로 섭취되는 철분은 적혈구로 보내지며, 철분이 체내에 축적되면 건강 이상을 초래하게 된다(68).

나트륨(Na, sodium)과 비타민 D는 뼈에 영향을 미치는데 과다한 나트륨의 섭취는 뼈를 약화시킨다(73). 비타민 D는 태양광선에 노출함으로서 얻어지는데 우주선에서는 해로운 방사선으로부터 우주인을 보호하기 위해 태양광선도 차단하므로 우주인들에게는 비타민 D의 보충이 필요하다. 인간의 신체가 무중력 상태에 적응하면서 많은 생리학적 변화들이 발생하게 되는데, 뼈와 근육의 약화, 심장과 혈관 그리고 혈액 및 체액 등에서의 변화가 생긴다(74,75). 국제우주정거장의 우주인들에게는 최상의 건강 상태를 유지해야 하며, 임무 후에는 다시 원상태로 신속히 회복하는 것이 상당히 중요하다. 임무 전·후 그리고 임무 중에 영양상태를 혈액 및 뇨검사를 통해 검사·분석하여 우주인들의 영양 흡수를 개선하는 방법을 모색하고 있다(76).

5. 우주식품의 포장기술

현재 NASA는 우주의 무중력 상태에서 식품을 섭취하기 위해서 연장된 보존기간과 우주식품의 안전성을 보장할 수 있는 훌륭한 포장방법과 포장재를 보유하고 있다. 우주식품의 보조기간은 주로 포장기술에 달려있으며, 우주 왕복선 식품 시스템에서의 모든 식품은 최소 9개월간 실온상태에서 품질을 유지하면서 안전하게 보존되어야 한다. 국제우주정거장에서의 식품은 1년간 안전하게 보존할 수 있어야 하며, 모든 건조식품 및 한입 크기로 섭취하는 식품(bite-size food)은 차단특성을 향상시키기 위해 알루미늄 호일 라미네이트 포장과 진공포장을 하여 보존기간을 연장시킨다(72). 우주의 행성 등에 건설되어지는 우주기지 시스템에서의 식품의 보존기간은 계획된 임무기간에 따라 최소 5년을 보장할 수 있어야 한다.

가. 건조식품과 한입-크기식품을 위한 포장 방법

우주왕복선과 국제우주정거장 시스템에서의 식품은 대부분 동결건조되어 건조식품용 포장용기로 포장된다. NASA는 현재 이러한 건조식품 및 한입-크기식품을 포장하기 위해 Bayer Corporation사의 계열사인 Wolff Walsrode(Illinois주 Burr Ridge)라는 회사가 생산하는 Combitherm® Paxx라는 포장재를 사용하고 있다. 우주왕복선과 국제우주정거장 시스템의 식품에 이용되는 이 포장재는 nylon/ethylene vinyl alcohol/polyethylene tie layer/low density polyethylene의 5가지 재질의 포장재를 압출성형하여 제조된다(9).

한입-크기식품의 포장재는 3측면이 봉해진 상태로 제조회사로부터 공급되며, NASA는 이 포장재에 식품을 넣어 봉한다. 건조식품 및 한입-크기식품은 Modified Atmosphere Packaging법으로 포장하게 되는데, 포장 전 질소가스로 3회 충진한 후 진공포장하게 된다. 진공포장의 강도가 세면 일부 식품의 조직질감 등에 영향을 주므로 진공포장의 강도는 식품의 특성에 따라 다르게 적용해야 한다. 건조식품의 포장은 컵과 뚜껑의 형태로 공급되어지는데 이러한 포장용기는 폐기할 때 압착이 용이하여 부피를 줄여줄 수 있는 유연성 소재로 만들어진다. 압출성형 라미네이트 포장 필름을 주형을 이용하여 열 성형하여 유연성 컵으로 만드는데, 열 성형과정은 포장필름으로 컵을 만들 때 얇게 늘어나기 때문에 필름 원래의 차단특성이 감소될 수도 있다(66).

일종의 건조식품 포장용기 밀폐방법으로 septum adapter가 이용되는데, 이 장치는 유연성 포장재에 삽입되는 주형 제작된 장치로서 이 장치에 실리콘 고무로 만들어진 마개(septa)가 삽입된다. Septa는 건조식품에 물을 주입할 때 조리용 바늘이 들어갈수 있는 적절한 통로를 제공한다(66).

나. 음료수의 포장 방법

NASA의 음료수는 Capri Sun® 포장을 약간 변형한 형태의 알루미늄 호일 포장재를 이용하며, NASA의 포장재는 상업적으로 시판되는 포장재보다 뛰어난 보존기간을 요구한다. 건조분말음료를 포장용기에 넣고 질소가스로 3회 이상 충전한 후 고무 septum을 삽입하여 음료수 포장용기를 봉한다(66).

다. 이외의 포장 방법

열 가공된 식품이나 감마선 조사된 식품의 경우에는 리토르트 파우치형 포장법이 일반적으로 사용된다. 이러한 포장법은 현재 미 육군 전투식량의 한 형태인 Meals-Ready-to Eat(MRE) 프로그램에서도 이용되고 있다. 상업용 플라스틱 푸딩 소량 용기, 상업용 원 터치 알루미늄 통조림, 그리고 토마토케첩이나 겨자 소스 등을 넣은 소형 파우치 등이 국제우주정거장과 왕복우주선 시스템의 식품에 이용된다(67).

라. 포장무게

우주왕복선에서의 1인당 1일 식품포장 허용무게는 약 0.23 kg이며, 국제우주정거장에서는 이중 포장필름 사용과 부가적인 내열성 포장필름의 사용으로 인해 식품포장재의 무게는 다소 증가하게 된다(72).

마. 우주식품포장의 사례연구-계란

동결건조 계란요리는 우주왕복선과 국제우주정거장 시스템에서 일반적인 아침식사 중 하나이며, 조리 시 계란요리가 보다 쉽게 수분을 흡수하게 하기 위해 동결건조를 2회 실시한다(동결건조 -> 수분 흡수 -> 동결건조). 모든 동결건조식품들처럼 계란 요리도 금속통조림이나 알루미늄 호일로 포장되어 40 °F에서 약 2년 이상 저장될 수 있으나, 동결건조 계란요리는 너무 잘 부스러져 무중력상태에서 섭취하기가 쉽지 않은 단점이 있다(1).

Fig. 4. Bite-size food and package of drying food.

Fig. 5. Package of drying beverage product manufactured to aluminum foil.

Fig. 6. MRE package, plastic vessel for pudding, one touch canning.

제 2 절 한국형 우주식품 개발의 필요성

1. 우주식품 개발의 중요성

1998년 11월 20일 러시아의 프로톤(Proton) 로켓으로 자라야(Zaraya) 모듈을 발사함으로서 시작된 '국제우주정거장(international space station; ISS)' 프로젝트는 러시아와 미국을 중심으로 현재 유럽연합 ESA 11개 국가와 일본, 캐나다, 브라질 등 16개국이 참여하고 있다(72). 현재 우리나라는 한국항공우주연구원을 중심으로 국제우주정거장에 탑재될 과학 탑재체 지원모듈을 개발 및 제작을 통한 ISS 프로젝트의 참여를 추진하고 있으며, 이러한 노력이 성공적으로 이루어질 경우 우리나라는 향후 ISS 외부 탑재모듈의 사용이 가능하며 ISS를 이용한 각종 연구 활동에 참여가 예상되며, 연소과학, 기초 및 유체물리, 재료과학, 생물학/의학, 지구/우주과학 등 많은 분야의 실험연구가 가능하리라 여겨진다. 이외에도 달이나 타 행성 탐사활동 등에 우리나라 과학자를 탑승시키는 목표를 세우고 2010년 경 후보자들 중 3-5인의 우주인을 선발하고 2015년까지 양성시킬 계획이다(77).

우주공간과 같은 환경에서 임무를 수행해야하는 우주인에게 제공되는 식품의 품질은 그 무엇보다도 중요하다고 할 수 있으며, 우주공간에서 우리나라 우주인들의 건강을 위해 섭취할 한국형 우주식품과 우주실용품의 연구 · 개발이 요구되는 시기이다. 따라서 우주개발시대를 맞이하여 우주임무를 수행하는 우주인들에게 보다 좋은 품질의 식품을 제공하기 위하여 국가적인 장기계획을 수립하고 이에 따른 순차적인 우주식품개발연구가 진행되어야 한다. 우주식품을 우주임무의 특성 및 기간에 따라 수개월 내에 완료되는 우주임무에는 단기저장 우주식품, 수년 동안 지속되는 우주임무에는 장기임무 식품시스템 그리고 우주기지 건설 후 지속적인 임무수행에서 요구되는 정착기지 식품시스템 개발에 대한 연구가 필요하다. 이에 따라, 현재 이용되고 있는 식품가공기술, 저장보존기술, 및 포장기술을 이용하여 한국형 단기저장우주식품을 개발하여 국제우주정거장에서 연구를 수행할 한국 우주인들이 이용할 수 있도록 하고, 향후 본격적인 우주개발시대를 맞이하여 장기 우주여행 및 우주기지용 미래우주식품시스템을 개발하고자 한다.

미국 NASA에서는 우주식품의 주요 보존기술의 하나로 방사선 조사기술을 이용

해오고 있으며, 우주임무에 이용되는 여러 가지 특수용품은 물론 일반적인 생활용품의 안전멸균처리 방법으로 방사선 조사기술을 이용하고 있다(78). 원자력 기술의 평화적 이용분야로 방사선 조사기술은 이들 제품의 위생화와 안전저장/유통, 가공제품의 안전성 향상, 제조공정 개선에 효과적으로 활용될 수 있는 기술집약적 분야의 하나로 국내·외적으로 높이 평가되고 있으며, 우주식품 및 실용품의 연구개발 등에서도 방사선 조사기술의 이용은 크게 확대될 전망이나 국내에서 본 기술의 연구개발이 절실히 요구되는 시점이다.

가. 기술적 측면

21세기 우주화 시대를 맞이하여 앞으로 우리나라도 유인 우주선개발은 물론 국제우주정거장 개발사업 참여 등 우주 개발은 무한한 가능성을 열어 놓고 있다고 할 수 있으며, 우주공간에서 우리나라 우주인이 섭취하고 사용하게 될 식품 및 용품 등의 안전 공급체계 구축은 성공적인 우주개발사업과 필수 불가결한 요인이다. 식품에 기인하는 질병, 그 예로서 현재 문제시되고 있는 대장균 *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* 등에 의한 식중독 등의 오염유기체에 의한 위해성은 우주공간에서 활동하는 우주인에게는 치명적인 장해요인으로 발전할 수 있다. 미 항공우주국(NASA)은 유인 우주선 개발 초창기에 안전한 식품 공급의 중요성을 깨달아 최근 식품산업 분야에서 필수적 위생관리시스템인 위해요소중점관리기준(HACCP; Hazard Analysis of Critical Control Point)을 개발하여 완전무결한 식품 생산을 위한 토대를 마련하였다(7). 최근에는 이온화 에너지 기술을 이용하여 우주식품의 위생화와 장기보존을 실용화 하고 있다. 따라서 국내에서도 본 기술의 연구개발은 본격적인 우주시대를 맞이하여 우주인 및 연구 인력을 위한 안전한 우주식품/무균우주용품의 안전공급에 필수적이라고 할 수 있다. 우주식품은 무중력상태와 같은 특수 상황에서도 취식이 용이한 형태로 개발되어야 하며, 영양의 불균형 상태가 쉽게 발생하므로 영양분의 섭취가 쉽고 특히 칼슘 등의 영양소 등이 많이 함유된 메뉴를 개발하여야 한다.

나. 경제·산업적 측면

제한된 우주공간에서 활동하는 우주인들에게 어떠한 형태의 오염유기체도 치명적이라고 할 수 있으며 완전무결한 우주식품/무균우주용품의 안전공급은 성공적인 임무수행에서 필수적이다. 건강에 이상이 생긴 우주인은 원만한 임무 수행이 힘들게 되며, 최악의 경우 임무를 포기해야하는 극한 상황을 초래할 수 있으며, 이러한 경우 천문학적인 금전적 손실은 물론 많은 파급효과가 발생하게 된다. 1960년대 미국 NASA에서는 우주공간에서 우주인이 섭취하게 될 우주식품의 개발을 위해 HACCP이라고 하는 엄격한 식품생산기준체계를 확립하였고 이는 식품산업을 진일보 시킨 획기적인 사건으로 평가받고 있다(7). 현재 전무한 한국식 우주식품의 개발을 추진하면서 전통 발효 식품과 같은 여러 가지 식품의 식품생산체계를 확립할 수 있는 계기를 마련할 수 있으며, 우주식품/무균우주용품은 우주인의 생존성을 보장하고 활동성 및 임무지속능력과 심리적 안정감을 부여하며 인체생리학적인 요구를 충족시킬 수 있다. 이러한 우주식품/무균우주용품의 개발은 관련 산업을 한층 발전시키는 계기가 될 것으로 사료된다.

다. 사회·문화적 측면

우주식품의 공급에서 위생적 안전공급체계의 구축은 우주 연구 인력의 건강보호와 사기진작 등을 위해 기본적인 요소이다. 첨단 장비와 최신 우주시설의 운영도 결국은 인간이 수행하는 것이며, 제한되고 특수한 무중력 공간에서 생활은 지상에서의 생활보다는 훨씬 많은 에너지가 필요하며 영양의 섭취도 원활히 이뤄지지 않아 심각한 영양의 불균형을 초래할 수 있다. 이러한 점을 고려할 때 우주식품의 문제점을 검토하여 현재의 문제점을 개선함으로써 우주인들의 건강한 생활을 보장하여야 한다.

미국 및 러시아 등의 우주개발 선진국 등은 우주식품 등의 안전 공급 및 개발을 오래전부터 연구해오고 있으며 많은 실용화 제품들을 확보하고 있다. 최근 유인 우주선 발사에 성공한 중국은 물론 후발 주자 중 하나인 일본도 그들 나름대로의 '우주라면'이라는 우주식품을 개발하였으나, 아직 우주식품을 개발하기 위한 연구가 시작되지 않은 우리나라는 한국형 우주식품의 개발이 시급한 실정이다.

2. 현기술 상태의 취약성

현재 우주식품의 개발 및 안전공급에 관한 연구는 전혀 이뤄지지 않고 있으며, 향후 국제적인 우주시대를 대비하여 많은 연구가 요구되고 있다. 우주식품의 경우 탈수 및 건조 등의 가공으로 무게를 최소화하는 것이 우주선의 연료 절약에 필수적이며, 그에 따른 식품의 이화학적 특성을 연구하여 보다 나은 품질의 우주식품을 개발하기위한 노력이 필요하다.

현재 군 전투식량 등의 특수식량 생산제조 기술을 응용하여 한국형 우주식품의 개발이 가능하리라 여겨지며, 저장성 문제와 우주식품의 무게를 감소시키기 위해 동결건조 또는 건조된 식자재의 이용이 요구된다. 우주식품의 특성상 취식이 간편하고, 온도 및 환경조건에 대한 품질 안정성을 고려되어야 하므로 전통적인 식품보존 방법과 함께 방사선 조사 기술을 병용하면 식품의 저장안정성이 크게 개선될 것으로 사료된다.

제 3 장 재료 및 방법

제 1 절 실험재료 및 기기

1. 재료

가. 김치

본 연구에 사용된 김치는 (주)CJ 식품연구소로부터 제공받았으며, polyethylene vinyl pack에 포장하여 김치냉장고(Model No. R-D303SJ, LG, Korea)에서 pH 4.5 및 산도 0.33%가 되도록 숙성시킨 후 사용하였다. 김치의 제조에 사용된 재료는 배추 100 g에 무 5.0 g, 고춧가루 3.0 g, 마늘 1.0 g, 생강 0.5 g, 양파 2.5 g 그리고 멸치젓 2.0 g이었다. 최종적으로 최적 숙성된 김치는 약 5 × 5 cm 크기로 절단한 후 Aluminium-laminated low-density polyethylene(Al-LDPE, Sunkyung Co., Ltd., Seoul, Korea)에 300 g씩 넣고 포장기(Leepack, Hanguk Electronic, Gyunggi, Korea)를 이용하여 100% 질소치환 포장한 후 실험에 사용하였다.

나. 식품첨가물

김치의 품질 개선을 위한 식품첨가물은 시판제품을 구입하여 사용하였으며, 칼슘염은 (주)향림산업(Hyangrim, Co., Ltd., Seoul, Korea)으로부터, 파프리카 색소는 MSC사(MSC, Co., Ltd., Kyeongnam, Korea)로부터, 김치 flavor는 (주)서울향신(Seoul spice, Co., Ltd., Seoul, Korea)으로부터 구입하여 사용하였다. 비타민 C는 DSM Nutritional Products사(UK)로부터 구입하여 사용하였다.

다. 냉각제

각각의 시료를 냉동조건에서 방사선 조사를 실시하기 위하여, 얼음과 드라이아이

스는 (주)덕양(Deokyang Co. Ltd., Korea)으로부터 구입하여 사용하였고, 액체질소는 (주)한솔과학(Hansol Scientific Co., Ltd., Korea)으로부터 공급받아 실험에 사용하였다.

2. 시약

본 연구에서 미생물 생육시험에 필요한 멸균수 및 배지는 Difco사(USA)에서 구입하여 사용하였으며, 그 밖에 시약은 Sigma사(USA)로부터 구입하여 사용하였다.

3. 실험기기

최적 숙성된 김치는 포장기(Leepack, Hanguk Electronic, Gyunggi, Korea)를 이용하여 100% 질소치환 포장한 후 실험에 사용하였으며, 시료의 가열처리를 위하여 항온수조(Taitec, Co., Ltd., Japan)를 사용하였다. 또한, 김치의 저장 중 품질변화를 분석하기 위하여 incubator(Sanyo Electric Biomedical Co., Ltd., Japan)를 사용하였다.

김치의 냉동처리를 위해 냉동고(CF-0624D, Samsung Co., Ltd., Korea), 극저온냉동고(SW-UF-300, Samwon Freezing Engineering Co., Ltd., Korea)를 사용하였으며, 동결방사선 조사된 김치의 해동은 항온기(EYELA LTI-1000DS, Japan)를 사용하여 실온까지 해동시킨 후 실험에 사용하였다.

미생물 생육 시험을 위한 시료는 Stomacher Lab Blender(Model W, Interscience Co., Nom, France)로 균질화하여 사용하였고, 김치의 이화학적 특성을 확인하기 위하여 pH meter(Model No. 5, Corning, USA), color/color colorimeter(Model CM-3500d, Minolta Co., Japan) 및 Texture Analyzer(TA.XT2i, Stable Micro-systems LTD, Godalming, U.K.)를 사용하였다.

방사선 조사에 의해 발생되는 자유라디칼은 ESR spectrometer(JES-TE300, Jeol Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였으며, ESR 측정을 위한 시료는 동결건조기(VD-800F, Taitec Co., Ltd., Japan)를 사용하여 준비하였다.

제 2 절 감마선 조사 김치의 품질 특성

1. 시료의 방사선 조사

방사선 조사는 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설(IR-70 gamma irradiator, MDS Nordion, Canada)을 이용하여 실온(20±1℃)에서 분당 70 Gy의 선량율로 흡수선량이 5, 10, 20 및 25 kGy가 되도록 조사하였으며, 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter(Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 총 흡수선량의 오차를 계산하였다.

2. 총균수 측정

김치내의 미생물 생육정도를 분석하기 위해 김치 무게의 10배에 해당하는 멸균 펩톤수(Difco Co., Detroit, USA)를 멸균 bag에 넣고, Stomacher Lab Blender에서 2분간 균질화 하였다. 단계별로 희석된 용액을 Plate Count Agar(Difco Co., Detroit, USA) 배지에 접종하여 37℃에서 48-72시간 배양한 후 30~300개의 집락을 형성한 배지만 계수하여 시료 1 g당 Colony Forming Unit(CFU)로 나타냈으며, 미생물 검출을 위한 최소 한계치는 10^2 CFU/g이었다.

3. 관능적 특성 평가

감마선 조사된 김치 시료 100 g을 일정크기로 잘라 흰 용기에 제시하였다. 무작위로 추출한 세 자리 숫자를 용기에 표시했으며 서로 다른 시료를 평가하기 전 입안을 가실 수 있도록 생수와 식빵을 함께 제공하였다. 관능검사는 감마선 조사식품의 관능평가에 훈련된 성인남녀 20인을 대상으로 김치의 색(color), 조직감(texture), 맛(taste), 향(flavor), 이취(off-flavor) 및 종합적 기호도(overall acceptability)에 대해 7점 평점법(1 매우 싫다 - 7 매우 좋다)으로 평가하였고, 가식한계점은 4점을 기준으로 하였다(79).

제 3 절 가열, 질소치환포장 및 방사선 병용처리 효과 측정

1. 가열 및 방사선 병용처리

가. 가열처리

가열처리는 Al-LDPE에 김치를 넣고 포장한 후 항온수조(Taitec, Co., Ltd., Japan)에서 각각 50, 60, 70 및 80℃(±0.2℃)의 온도로 30분간 가열처리하고 냉수에서 급랭시켜 가열처리하지 않은 대조구와 함께 총균수 측정 및 관능평가 시료로 사용하였다.

나. 가열 및 방사선 병용처리

상기 조건에서 설정된 최적가열 조건을 기준으로 제3장-제2절-1에서 설명한 방법과 동일한 조건으로 감마선을 연속적으로 병용처리한 후 35℃로 유지된 incubator에서 저장(0일, 14일)하면서 총균수 측정, 관능평가 및 이화학적 품질 평가를 위한 시료로 사용하였다.

2. 질소치환포장, 가열 및 방사선 병용처리

김치포장 내 공기조성이 가열 및 방사선 병용처리된 김치의 품질에 미치는 영향을 확인하기 위하여 포장기를 이용하여 100% 질소가스로 치환포장 하였다. 상기에서 최적조건으로 확인된 가열-감마선 병용처리 한 후 35℃로 유지된 incubator에서 저장(0, 10, 20 및 30일)하면서 김치의 품질을 분석하였다.

3. 미생물 생육 시험

가열처리, 가열-방사선 병용처리 및 질소치환포장-가열-방사선 병용처리 시료의 총균수는 제3장-제2절-2에서 기술한 방법과 같이 측정하였다. 질소치환포장-가열-

방사선 병용처리 시료의 젖산균수는 MRS(Difco Lab., St. Louis, USA) 배지에 접종하여 37℃에서 48-72시간 배양한 후 30~300개의 집락을 형성한 배지만 계수하여 시료 1 g당 Colony Forming Unit(CFU)로 나타내었다.

4. 산도와 *pH* 측정

pH는 김치 100 g을 정확히 취하여 warning blender(DIAX 900, Heidolph, Co., Ltd., Germany)로 마쇄하고 4겹의 거즈로 여과한 후 pH meter를 이용하여 실온에서 측정하였다. 산도는 pH 측정 시 사용한 여액을 20배 희석한 후 0.1 N NaOH 용액으로 pH가 8.4가 될 때까지 적정하여 소비된 0.1 N NaOH 양을 구한 후 젖산(%)으로 환산하였다(60).

5. 조직감 측정

조직감은 texture analyzer를 사용하였고, 배추 하단으로부터 5 cm 부위를 일정하게 절단한 후 측정하였다. 중심부를 지름 5 mm인 stainless probe로 시료 두께의 65%까지 관통하면서 받는 최대 힘으로 표시하였다. 이 때 Probe는 P2 5 mm cylinder probe를 사용하였고, test speed는 1.0 mm/sec, travel distance는 65%, load cell은 5 kg 조건으로 경도를 측정하였다.

6. 관능적 특성 평가

제3장-제2절-3에서 설명한 바와 같이 관능검사를 실시하였으며, 가열처리, 가열-방사선 병용처리 및 질소치환포장-가열-방사선 병용처리 시료 100 g을 일정크기로 절단하여 흰 용기에 제시하였다.

제 4 절 감마선 조사 온도가 김치의 품질에 미치는 영향

1. 냉동 방사선조사

방사선 조사시 온도가 가열-질소치환 포장된 김치의 품질에 미치는 영향을 확인하기 위해 시료를 각각 냉동고(-20℃), 극저온냉동고(-70℃) 및 액체질소(-178℃)로 냉동시켰다. 또한, 방사선 조사되는 동안 냉동시료의 온도 유지를 위해, 각각의 시료를 얼음(-20℃), 드라이아이스(-70℃) 및 액체질소(-178℃)와 함께 스티로폼 박스에 고정시킨 후 제3장-제2절-1과 같이 감마선을 조사하였다. 동결방사선 조사된 김치는 25℃의 온도로 고정된 항온기에서 실온까지 해동시킨 후 실온에서 조사한 시료와 함께 실험에 사용하였으며, 35℃로 유지된 incubator에서 저장기간(0, 10, 20 및 30일)에 따른 품질 변화를 측정하였다.

2. 미생물 생육 시험

질소치환-가열-냉동 방사선 조사 병용처리 시료의 가속저장기간별 총균수 및 젖산균수는 제3장-제3절-3의 방법으로 측정하였다.

3. 산도와 pH 측정

질소치환-가열-냉동 방사선 조사 병용처리 시료의 가속저장기간별 산도와 pH는 제3장-제3절-4의 방법으로 측정하였다.

4. 조직감 측정

질소치환-가열-냉동 방사선 조사 병용처리 시료의 가속저장기간별 조직감은 제3장-제3절-5의 방법으로 측정하였다.

5. 관능적 특성 평가

질소치환-가열-냉동 방사선 조사 병용처리 시료의 가속저장기간별 관능평가는 제3장-제2절-3방법으로 측정하였다.

6. Electron Spin Resonance(ESR) 측정

방사선 조사된 김치 시료의 ESR 측정을 위하여 동결건조기를 이용하여 동결건조된 김치를 분말화 시켜 30 mesh의 sieve에 통과시킨 다음 ESR 측정에 사용하였다. 준비된 분말시료 0.5 g을 ESR sample tube에 담고 ESR spectrometer를 이용하여 microwave power 500 μW, modulation 100 kHz, amplitude 7.9×100, time constant 0.03 sec, sweep time 30 sec 등의 조건에서 signal을 확인하였으며, intensity(n=3)를 측정하였다.

제 5 절 식품첨가물에 의한 김치의 관능적 품질 개선 효과 측정

1. 식품첨가물 첨가

가. 비타민 C 첨가

비타민 C가 김치의 관능적 품질에 미치는 한계투여량(최적첨가량)을 확인하기 위하여, 김치에 비타민 C를 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7 및 1.0%로 첨가하여 충분히 혼합한 후 첨가물이 김치에 잘 흡수되도록 4℃ 냉장고에서 12시간 동안 방치하였으며, 관능검사 시료로 사용하였다. 비타민 C의 최적첨가량을 설정하여 김치에 첨가한 후 질소치환-가열-냉동방사선 병용처리 하여 저장기간별(0일, 30일)로 김치의 경도를 측정하였다.

나. 칼슘염 첨가

최적 칼슘염의 종류 및 첨가량을 결정하기 위해 calcium lactate, calcium acetate 및 calcium chloride를 0.01, 0.02 및 0.03%로 첨가하여 충분히 혼합하여 첨가물이 김치에 잘 흡수되도록 4℃ 냉장고에서 12시간 동안 방치한 후, 김치의 관능적 품질을 평가하였다. 칼슘염의 종류별 최적첨가량을 설정한 후 김치에 첨가하여 질소치환-가열-냉동방사선 병용처리 하여 저장기간별(0, 30일)로 김치의 경도를 측정하고 관능검사를 실시하였다.

다. 비타민 C 및 칼슘염 혼합첨가

상기에서 확인된 비타민 C와 칼슘염의 최적조건에 따라 김치에 첨가하여 충분히 혼합하여 첨가물이 김치에 잘 흡수되도록 4℃ 냉장고에서 12시간 동안 방치한 후 질소치환-가열-냉동방사선 병용처리 하여 김치의 저장기간(0일, 30일) 중 경도 변화를 측정하였다.

라. 파프리카색소 첨가

파프리카색소의 최적첨가량을 설정하기 위하여 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7 및 1.0%로 첨가하여 관능평가를 실시하였다. 설정된 농도로 파프리카색소를 김치에 첨가하여 질소치환-가열-냉동방사선 병용처리한 후 저장기간별(0, 10, 20 및 30일)로 색도의 변화를 측정하였다.

마. 김치 향 첨가

방사선에 의한 김치의 관능적 품질 저하를 개선하기 위한 방법으로 김치 향을 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7 및 1.0%로 첨가하여 관능평가를 실시하였다.

2. 조직감 측정

질소치환-가열-냉동 방사선 조사 병용처리 시료의 가속저장기간별 조직감은 제3장-제3절-5의 방법으로 측정하였다.

3. 관능적 특성 평가

질소치환-가열-냉동 방사선 조사 병용처리 시료의 가속저장기간별 관능평가는 제3장-제2절-3방법으로 측정하였다.

4. 색도 측정

색도는 김치 여액을 지름 50 mm의 용기에 5 mL씩 넣은 후 color/color colori-ter를 이용하여 명도(lightness, L^*), 적색도(redness, a^*) 및 황색도(yellowness, b^*)를 측정하였다. 이 때 표준색은 L^*값이 90.5, a^*값이 0.4, b^*값이 11.0인 calibration plate를 표준으로 사용하였다.

5. 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.

제 4 장 결과 및 고찰

제 1 절 감마선 조사 김치의 품질 특성 변화

1. 미생물 생육

숙성된 포장 김치에 감마선을 조사한 후 총균수 측정 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 감마선 단독 처리 후 포장 김치의 총미생물 수는 조사선량이 증가할수록 감소하였으며, 특히 25 kGy 이상 조사 시 검출한계 이하로 나타났다.

일반적으로 최적 숙성 김치에 존재하는 미생물수는 약 10^8 CFU/g 정도로 보고된 바 있으며(80) 본 연구결과에서도 비조사 대조구의 미생물수가 4.5×10^8 CFU/g으로 나타나 숙성이 잘 진행된 것으로 판단되었다. 식품 내에 있는 초기미생물을 제어하는 것은 식품의 위생 및 품질 변화 억제에 의한 저장성 확보에 있어 중요하므로(81) 본 연구에서도 숙성된 김치에 감마선을 조사할 경우 초기 미생물 수를 상당히 감소시킬 수 있는 것으로 나타나 저장성 증진에 효과적인 것으로 사료되었다. 한편 Cha 등(60)과 Kang 등(61)도 최적숙성 김치에 방사선을 5 kGy로 조사했을 때 조사 직후 10^4 CFU/g으로 감소하였다고 보고하여 본 결과와 일치하는 경향을 보였다.

2. 관능적 품질

감마선 조사가 숙성된 김치의 관능적 품질에 미치는 영향을 알아보기 위하여 관능평가를 실시한 결과 색, 조직, 맛, 향, 종합적 기호도는 조사선량이 증가할수록 점차적으로 감소하는 경향을 나타냈으며 25 kGy의 선량으로 조사 시 이취 및 이미의 발생으로 인해 acceptable(4점 기준) 수준 이하로 나타났다(Table 1). Song 등(64)은 10 kGy 이상 김치에 감마선을 조사하면 색, 풍미, 조직에 대한 만족감이 낮아진다고 하였고, Kang 등(61)도 감마선에 의한 김치저장 연구에서 조사선량이 높아질수록 저장성이 증가되었지만, 관능적 품질이 낮아진다고 보고한 바 있어 본 실험결과와 일치하였다. 이상의 결과로 부터 감마선을 단독으로 처리할 경우 김치의 완전멸균을 위해서는 25 kGy 이상의 선량이 필요한 것으로 나타났으나, 관능적 품질저하를 방

지하기 위한 기타 식품가공 및 저장기술과의 병용처리 방법의 개발이 필요한 것으로 사료되었다.

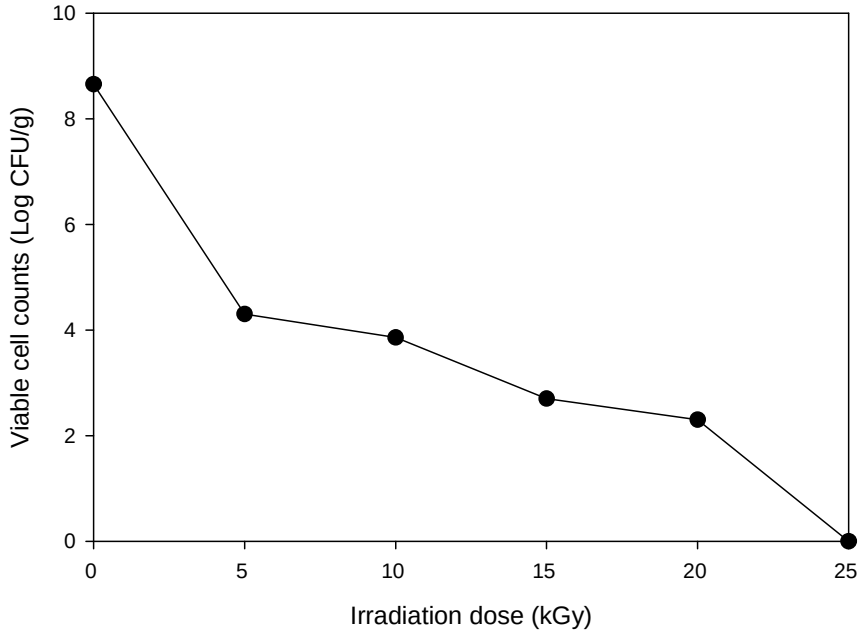


Fig. 7. Viable cell count of Kimchi after gamma irradiation, immediately.

Table 1. Evaluation of sensory qualities of Kimchi after gamma-irradiation, immediately

Irradiation dose (kGy)	Sensory scores					
	Color	Texture	Taste	Flavor	Off-flavor	Overall acceptance
0	5.8[a1)]	6.1[a]	6.6[a]	6.6[a]	1.2[d]	6.8[a]
5	6.2[a]	5.4[a]	5.4[b]	5.7[a]	2.2[c]	5.5[b]
10	6.5[a]	4.5[ab]	4.6[b]	4.4[b]	3.4[b]	4.8[bc]
15	6.2[ab]	4.1[b]	3.6[c]	4.2[b]	4.8[a]	4.3[c]
20	4.5[b]	3.4[c]	3.6[c]	3.5[c]	4.8[a]	3.7[cd]
25	3.8[c]	3.3[c]	3.2[cd]	3.3[c]	5.1[a]	3.4[d]
SEM[2)]	0.51	0.62	0.54	0.55	0.47	0.58

[1)a-d]Values with different letters within a column differ significantly ($p<0.05$).

[2)]Standard error of the means (n=120).

제 2 절 가열, 질소치환포장 및 방사선 병용처리 효과

1. 김치의 가열처리 효과

가. 미생물학적 품질

숙성된 포장 김치를 각각 50, 60, 70 및 80℃에서 30분간 가열한 후 총균수의 측정 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 가열 처리 직후 포장 김치의 총미생물 수는 가열온도가 높아질수록 감소하는 것으로 나타났다. 50℃ 가열처리구의 경우 10^7 CFU/g 수준의 미생물 수를 보여 비가열 대조구에 비해 약간 감소한 것으로 나타났으나, 80℃ 가열처리구의 경우 약 10^2 CFU/g 수준까지 미생물 수가 감소하여 미생물 감소 효과가 높았다. 한편, 60℃와 70℃ 가열처리구의 경우 미생물 수는 약 10^4 CFU/g 수준으로 검출되었다. Hwang 등(82)은 숙성된 김치를 65, 75℃로 가열했을 경우 총균수가 약 10^4 CFU/g 수준으로 검출되었다고 하여 본 연구결과와 유사한 경향을 보였다.

나. 관능적 품질

숙성된 포장 김치를 각각 50, 60, 70 및 80℃에서 30분간 가열한 후 관능적 품질을 평가한 결과를 Table 2에 나타내었다.

가열처리 후 포장 김치의 전반적인 관능적 품질은 가열온도가 높을수록 저하되는 것으로 나타났다. 50℃ 및 60℃ 가열처리구의 경우 비가열 대조구에 비해 종합적 기호도가 약간 감소하였으나 두 처리구간의 유의차는 없는 것으로 나타났다. 한편, 70℃와 80℃ 가열처리구의 경우 김치의 조직 연화 및 이취 발생으로 본 연구에서의 신선한 숙성 김치를 만들기 위한 조건으로는 부적합한 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 미생물학적, 관능적 품질 면에서 가장 적합한 가열온도는 60℃인 것으로 확인되었으며, 향후 방사선과의 병용처리 시의 가열처리 조건으로 이용하였다.

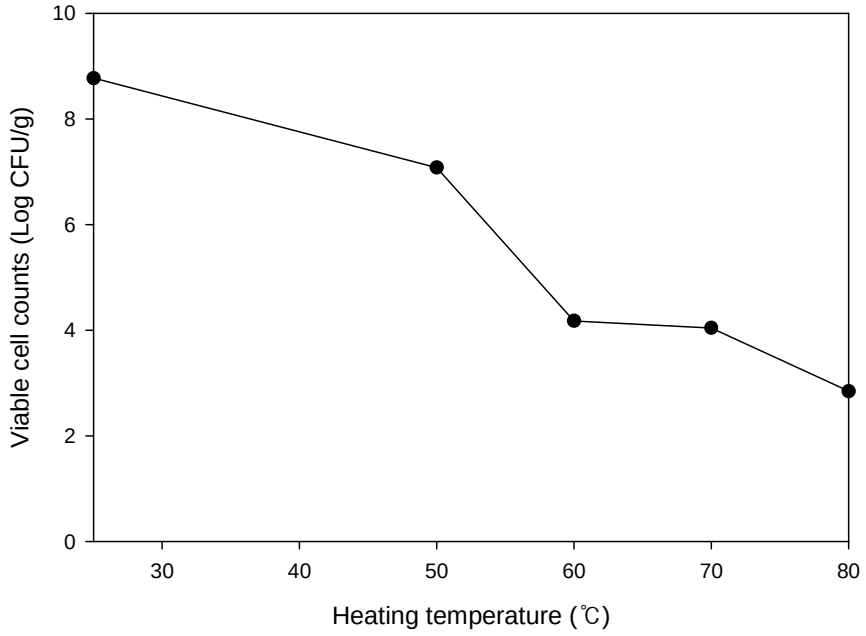


Fig. 8. Viable cell count of Kimchi after heat treatment for 30 min, immediately.

Table 2. Evaluation of sensory qualities of Kimchi after heat treatment for 30 min, immediately

Temperature (℃)	Sensory scores					
	Color	Texture	Taste	Flavor	Off-flavor	Overall acceptance
CON[1)]	6.8[a2)]	6.5[a]	6.7[a]	6.8[a]	1.2[d]	6.4[a]
50	6.3[b]	6.1[b]	6.0[b]	5.8[b]	2.0[c]	6.0[b]
60	6.0[b]	5.8[ac]	5.8[bc]	5.0[b]	2.2[c]	5.6[b]
70	5.4[b]	5.3[cd]	5.2[c]	4.4[c]	3.1[b]	4.4[c]
80	5.3[c]	4.2[d]	4.8[d]	4.0[d]	3.8[a]	3.8[d]
SEM[3)]	0.53	0.62	0.54	0.57	0.21	0.39

[1)]CON : untreated *Kimchi.*

[2)a-d]Values with different letters within a column differ significantly ($p<0.05$).

[3)]Standard error of the means (n=100).

2. 김치의 가열-감마선 병용처리 효과

가. 미생물학적 품질

방사선과 기타 식품가공 및 살균방법의 병용처리는 허들효과(hurdle effect)에 의해 미생물 살균에 상승효과를 가져온다(83). 식품에 가열이나 약품처리 및 방사선 조사를 병용하면 비교적 낮은 온도, 낮은 농도 및 저선량의 방사선 조사로써 목적하는 바 살균효과를 기대할 수 있으며, 이러한 견지에서 방사선 조사와 다른 물리적 방법과의 병용처리 연구가 많이 시도되어 왔다(42,84).

이에 본 연구에서도 숙성된 김치를 포장한 후 60℃에서 30분간 처리하였고 감마선을 연속적으로 처리한 다음 35℃에서 가속저장을 하면서 가열과 감마선 병용처리가 김치의 저장성과 품질에 미치는 영향을 평가하였으며, 미생물의 생육변화 측정결과를 Table 3에 나타냈다. 그 결과 가열처리 후 감마선 조사한 포장 김치의 총미생물 수는 조사선량이 증가할수록 감소하여 10 kGy 이상의 선량에서는 미생물이 검출한계 이하로 나타났으며 방사선 단독 처리된 포장 김치와 비교했을 때에 비해 동일한 선량에서 미생물 수가 낮게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Byun 등(43)이 김치에서 분리한 주요젖산균을 대상으로 한 연구에서와 같이 가열과 방사선 병용처리가 단독처리에 비해 미생물 생육에 미치는 영향이 더 크다는 보고 및 Kim과 Thayer(41)의 *Salmonella*를 대상으로 한 연구결과를 통해 뒷받침 될 수 있다.

한편, 35℃에서 14일간 저장한 후 총균수는 비조사구의 경우 최대 증식 한계인 10^8 CFU/g 이상으로 증가하였으며, 가열 단독처리구의 경우 약 10^5 CFU/g 수준을 보여 저장 초기보다 약간 증가한 것으로 나타났다. 10 kGy 감마선-가열 병용처리구의 경우 저장 14일째 약 2 log cycle 수준의 미생물이 생육한 것으로 나타났으며, 25 kGy 감마선-가열 병용처리구의 경우 미생물이 검출되지 않은 것으로 확인되었다.

Byun 등(43)은 김치의 저장기간 연장을 위해 방사선 조사전의 가열처리가 보다 효과적일 것이라 보고한 바 있으며, 본 연구에서도 가열을 통해 초기균수를 상당수 줄인 후 2차적으로 감마선을 조사할 경우 김치의 저장성 증진에 매우 효과적인 것으로 나타났다.

Table 3. Viable cell count of Kimchi combined with heat treatment at 60℃ for 30 min and gamma irradiation during storage at 35℃

Heat treatment (60℃, 30 min)	Irradiation dose (kGy)	Storage at 35℃ (days)	
		0	14
-	0	1.9×10^{8}	9.0×10^{8}
+	0	3.2×10^{4}	2.5×10^{5}
+	5	6.8×10^{3}	4.8×10^{4}
+	10	ND[1)]	5.0×10^{2}
+	15	ND	2.3×10^{2}
+	20	ND	1.0×10^{2}
+	25	ND	ND

[1)]ND : not detectable at detection limit less than 10^{2}.

나. 관능적 품질

숙성된 김치를 포장하였고 60℃에서 30분간 처리하여 감마선을 연속적으로 처리한 후 35℃에서 가속저장을 하면서 관능적 품질을 평가한 결과를 Table 4에 나타내었다. 그 결과 가열-감마선 병용처리 직후의 관능적 품질은 조사선량이 증가할수록 색, 조직, 맛, 향, 종합적 기호도가 감소하여 10 kGy 감마선-가열 병용처리구의 경우 acceptable(4점 기준) 수준 이하로 나타나 가열-감마선 병용처리가 감마선 단독 처리에 비해 관능적 품질을 감소시키는 것으로 나타났다.

한편, 35℃에서 14일간 저장한 후 관능적 품질은 비조사 대조구 및 가열 단독 처리구의 경우 미생물의 증식으로 인해 관능적 품질이 크게 감소한 것으로 나타났다. 그러나 가열-감마선 병용처리구의 경우 색과 조직감은 약간 감소하였으나, 맛과 향이 증가하고 이취가 감소한 것으로 나타났다. 특히 가열-감마선(25 kGy) 병용처리구의 경우 관능적 품질이 우수하면서도 미생물이 생육하지 않는 것으로 나타나 김치의 멸균에 있어 효과적이라고 판단되었다.

Table 4. Evaluation of sensory qualities of Kimchi combined with heat treatment at 60℃ for 30 min and gamma irradiation during storage at 35℃

Storage (days)	Heating	Irradiation dose (kGy)	Sensory score					
			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	0.47
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	0.46

[1)a-d]Values with different letters within a column differ significantly ($p<0.05$).

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

다. 이화학적 품질

(1) pH와 산도

숙성된 김치를 포장한 후 60℃에서 30분간 가열처리 하였고 감마선을 조사한 후 35℃에서 가속저장을 하면서 산도, pH 및 경도의 변화를 측정한 결과를 Table 5에 나타내었다. 그 결과 김치의 산도 및 pH는 가열 및 감마선 조사에 의한 영향이 없는 것으로 나타났으나, 경도의 경우 가열처리 및 감마선 조사선량이 증가함에 따라 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 가열 및 감마선 조사에 의해 김치의 pectin질 구조가 변화하였기 때문으로 사료되며, Byun 등(43)과 Song 등(62)의 연구에서도 이와 유사한 결과를 보고한 바 있다.

한편, 35℃에서 14일간 저장한 후의 산도와 pH는 미생물 생육결과와 일치하는 경향을 보였다. 즉, 비조사 대조구 및 가열 단독처리구의 경우 저장기간 중 미생물의 생육으로 인해 산도가 크게 증가하고 pH는 감소하는 것으로 나타났으나, 가열-감마선 병용처리구의 경우 저장기간 중에도 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 특히, 10 kGy 이상의 선량으로 조사된 실험구들의 경우 14일 경과 후 유의적 차이가 없는 것으로 나타나 미생물 생육결과를 뒷받침하였다.

(2) 경도

경도측정 결과 10 kGy 이상의 선량으로 조사된 실험구들의 14일 경과 후 경도변화는 비조사구 또는 비가열처리구 보다 적은 것으로 나타났다. 일반적으로 저장 중 김치의 조직변화는 미생물이 분비하는 효소나 김치원료 자체의 효소작용에 의해 pectin 질 성분이 가용성 물질로 변화하여 발생하는데 특히 pectin 분해효소인 polygalacturonase의 경우 약 65℃ 정도의 온도에서 최대 활성을 나타낸다(85-87). 또한, 대부분의 효소도 미생물에 비해 방사선에 대한 저항성이 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서 10 kGy 이상의 선량으로 감마선 조사된 가열 처리구의 경도가 감소한 이유는 가열 및 감마선 조사 후에도 pectin 분해 효소가 완전히 불활성화 되지 않고 작용하였기 때문으로 사료되며, 향후 김치의 저장성 증진을 위해 가열 및 감마선을 이용할 경우 김치의 조직연화를 방지하기 위한 연구가 지속적으로

이루어져야 할 것으로 판단되었다.

따라서 가열과 방사선의 병용처리는 김치의 저장성 증진에 매우 효과적이며, 특히 60℃에서 30분간 가열처리 후 25 kGy의 감마선 조사는 가속저장 조건에서도 김치를 안전하게 저장할 수 있는 조건임이 확인되었다. 그러나 가열 및 감마선 조사에 의해 발생할 수 있는 김치의 관능적 품질저하를 방지할 수 있는 방법에 대한 많은 연구가 병행되어야 할 것으로 사료되었다.

Table 5. Evaluation of physicochemical properties of Kimchi combined with heat treatment at 60℃ for 30 min and gamma irradiation during storage at 35℃

Items	Heating	Irradiation dose (kGy)	Storage at 35℃ (days)	
			0	14
Acidity (%)	−	0	$0.33^{a1)B2)}$	1.01^{aA}
	+	0	0.32^{aB}	0.79^{bA}
	+	5	0.32^{aB}	0.39^{cA}
	+	10	0.35^{aA}	0.36^{dA}
	+	15	0.30^{aA}	0.35^{eA}
	+	20	0.33^{aA}	0.34^{eA}
	+	25	0.34^{aA}	0.34^{eA}
pH	−	0	4.51^{dA}	3.81^{eB}
	+	0	4.69^{bA}	3.90^{dB}
	+	5	4.75^{aA}	4.60^{cB}
	+	10	4.65^{cA}	4.67^{aA}
	+	15	4.63^{cA}	4.64^{bA}
	+	20	4.68^{bA}	4.64^{bA}
	+	25	4.65^{cA}	4.65^{bA}
Hardness ($dyne/cm^2$)	−	0	2698^{aA}	1900^{aB}
	+	0	1886^{bA}	1576^{bB}
	+	5	1278^{bA}	920^{cB}
	+	10	552^{cA}	472^{dA}
	+	15	527^{cA}	429^{dA}
	+	20	435^{cA}	351^{dA}
	+	25	421^{cA}	314^{dA}

[1)a-e]Values with different letters within a column differ significantly ($p<0.05$).

[2)A-C]Values with different letters within a row differ significantly ($p<0.05$).

3. 김치의 질소치환포장, 가열 및 감마선 병용처리 효과

가. 미생물학적 품질

가열, 가열-감마선, 질소치환포장-가열-감마선 병용처리를 통해 제조된 각각의 시료에 대한 저장 기간 중 총균수와 젖산균수를 Table 6에 나타내었다. 저장 초기 비조사 대조구의 총균수는 약 8 Log CFU g^{-1}이었다. 일반적으로 총균수와 젖산균수는 최적숙성 후 약 8-9 Log CFU g^{-1}을 나타낸다(82,88). 이런 결과를 통해 본 실험에 사용된 김치가 잘 숙성되었고, 사용하기에 적합하다고 판단되었다. 비조사 대조구의 총균수와 젖산균수는 30일의 저장기간 동안 큰 변화가 없었으며 가열 단독 처리구의 경우 30일 후 약 8 Log CFU g^{-1}에 도달하였다. 그러나 가열-감마선, 질소치환-가열-감마선 병용처리구의 경우 30일 후에도 세균 및 젖산균이 검출되지 않으므로 멸균된 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 60℃에서 30분 가열처리 후 25 kGy로 감마선 병용처리를 할 때 숙성된 김치에서 총균수와 젖산균수를 감소시킬 수 있고 이를 통해 김치의 숙성과정을 조절할 수 있다는 것을 의미한다. Kim 등(40)은 50-70℃ 범위로 가열처리 할 경우 숙성과 관련된 미생물의 불활성으로 인해 김치의 숙성기간을 연장할 수 있다고 보고한 바 있다.

Table 6. Enumeration of microbes in Kimchi combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃

(Unit : Log CFU/g)

Microbes	Sample	Storage at 35℃ (days)			
		0	10	20	30
Viable cell	Control	8.45	8.64	8.97	8.73
	HT[2)]	4.95	6.87	7.65	8.21
	HT-IR[3)]	ND[1)]	ND	ND	ND
	N_2-HT-IR[4)]	ND	ND	ND	ND
Lactic acid bacteria	Control	8.26	8.42	8.73	8.51
	HT	4.35	6.68	7.29	8.14
	HT-IR	ND[1)]	ND	ND	ND
	N_2-HT-IR	ND	ND	ND	ND

[1)]ND : not detectable at detection limit less than 10^2.

[2)]HT : heated at 60℃ for 30 min.

[3)]HT-IR : gamma irradiated at 25 kGy after heating at 60℃ for 30 min.

[4)]N_2-HT-IR : gamma irradiated at 25 kGy after N_2-packaging and heating at 60℃ for 30 min.

나. 관능적 품질

가열처리, 가열-감마선조사, 질소치환포장-가열-감마선조사 실험구들의 저장 중 관능적 품질평가 결과를 Table 7에 나타내었다. 저장 초기의 관능평가 결과 비조사 대조구가 색상, 조직감, 맛, 풍미, 전체적 기호도에서 가장 높은 점수를 나타내었다. 그리고 가열 단독 처리구, 가열-감마선 처리구, 질소치환포장-가열-감마선처리구 모두 비조사 대조구 보다 낮은 점수를 받았지만 전체적 기호도는 모든 패널에 의해 수용가능한 수준으로 평가되었다. Song 등(62)은 고선량 조사된 김치는 색상, 풍미와 조직감 면에서 비조사 또는 저선량 조사된 김치에 비해 낮은 기호도를 나타내었다고 보고하였다. 10일간의 저장 후 비조사 대조구와 가열 단독 처리구의 맛, 풍미, 종합적 기호도는 3점 이하로 매우 낮게 평가된 반면 가열-감마선 처리구와 질소치환포장-가열-감마선 처리구의 항목들은 3-5점 정도로 평가되었다. 또한, 30일 저장 후 질소치환포장-가열-감마선 처리구의 색상, 조직감, 맛, 풍미, 전체적 기호도가 가장 높게 평가되어 관능적 품질을 개선하는데 있어 질소치환포장이 효과적이라고 판단되었다.

Table 7. Sensory evaluation of Kimchi combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃

Storage (days)	Sample	Sensory scores				
		Color	Texture	Taste	Flavor	Overall acceptance
0	Control	6.9±0.5[a1)]	6.9±0.6[a]	6.6±0.7[a]	6.8±0.5[a]	6.8±0.6[a]
	HT[2)]	6.6±0.4[a]	6.6±0.8[a]	6.4±0.5[a]	6.7±0.8[a]	6.4±0.5[a]
	HT-IR[3)]	6.2±0.5[a]	5.3±0.3[b]	4.2±0.6[c]	5.4±0.4[b]	4.2±0.4[b]
	N_2-HT-IR[4)]	6.5±0.6[a]	5.8±0.5[ab]	5.2±0.4[b]	5.8±0.5[ab]	5.1±0.5[b]
10	Control	6.7±0.4[a]	5.9±0.8[a]	1.5±0.3[b]	1.8±0.2[b]	1.7±0.3[b]
	HT	6.4±0.7[a]	5.4±0.4[a]	2.6±0.4[b]	2.3±0.4[b]	2.4±0.5[b]
	HT-IR	4.9±0.5[b]	4.8±0.3[a]	5.0±0.6[a]	5.2±0.8[a]	5.1±0.7[a]
	N_2-HT-IR	5.1±0.4[b]	5.1±0.5[a]	5.7±0.5[a]	5.9±0.6[a]	5.8±0.6[a]
20	Control	6.3±0.6[a]	4.7±0.6[a]	1.4±0.4[b]	1.4±0.2[b]	1.5±0.2[b]
	HT	6.2±0.5[a]	4.5±0.3[a]	2.1±0.3[b]	2.0±0.3[b]	1.9±0.4[b]
	HT-IR	4.1±0.3[b]	4.4±0.5[a]	4.4±0.6[a]	4.7±0.6[a]	4.4±0.4[a]
	N_2-HT-IR	4.6±0.5[b]	4.7±0.4[a]	5.3±0.5[a]	5.4±0.4[a]	5.3±0.5[a]
30	Control	6.1±0.7[a]	4.1±0.3[a]	1.1±0.3[b]	1.2±0.3[b]	1.2±0.2[b]
	HT	5.7±0.5[a]	4.2±0.2[a]	1.8±0.2[b]	1.9±0.3[b]	1.3±0.4[b]
	HT-IR	3.9±0.3[b]	3.9±0.4[a]	3.7±0.6[a]	4.5±0.6[a]	3.9±0.5[a]
	N_2-HT-IR	4.2±0.4[b]	4.5±0.5[a]	4.9±0.5[a]	4.9±0.4[a]	4.8±0.7[a]

[1)a-b]Values with different letters within a column differ significantly ($P < 0.05$).

[2)]HT : heated at 60℃ for 30 min.

[3)]HT-IR : gamma irradiated at 25 kGy after heating at 60℃ for 30 min.

[4)]N_2-HT-IR : gamma irradiated at 25 kGy after N_2-packaging and heating at 60℃ for 30 min.

다. 이화학적 품질

(1) pH와 산도

저장 중 실험구들의 pH와 산도 변화를 Table 8에 나타내었다. 일반적으로 김치의 pH가 약 4.2 일 때 최고의 맛을 가진다(90)고 알려져 있다. 저장 기간 중 비조사 대조구와 가열 단독 처리구의 pH는 감소하였고 산도는 증가하였으며, 특히, 가열 단독 처리구는 생존하던 미생물이 증가하여 발효가 계속적으로 진행됨에 따라 pH와 산도의 변화가 발생하였다. 호모형 발효균주인 *Lactobacillus plantarum* 균종이 김치의 발효과정 중 증식하는 것으로 관찰되었고, 60℃ 가열에도 생존하여 지속적인 발효를 일으켰다. 그 결과 김치의 pH는 4.0 이하로 감소하였고, 김치의 품질 저하 및 과도한 발효가 계속되었다(90). Cho와 Rhee 등(91)은 pH 감소 (산도증가)와 젖산균 증식과의 상관관계를 보고하였는데, 젖산균의 조절을 통해 김치의 발효를 늦추고 저장성을 확보할 수 있다고 보고 하였다. 가열-감마선 조사구와 질소치환포장-가열-감마선 조사구의 경우 pH와 산도는 큰 차이가 없었고, 저장 기간에 따른 변화도 없었다(Fig. 9, 10). 발효가 더 진행되더라도 발효와 관련된 젖산균의 불활성화로 인해 pH와 산도의 변화는 관찰되지 않았다. Kim 등(40)의 연구결과에서 55-65℃ 가열 후 15-25 kGy로 감마선 병용처리를 할 때 김치의 과도한 발효를 조절할 수 있다고 보고한 바 있었다.

(2) 경도

Table 16은 35℃에서 저장 중 김치시료들의 경도 변화를 보여준다. 가열 처리는 김치의 경도를 감소시키며, 감마선과의 병용처리에 의해 가속화되나 질소치환포장은 이러한 가열-감마선 조사로 병용처리된 김치의 경도감소를 완화시키는 것으로 나타났다(Fig. 11). 이러한 결과는 이온화 방사선의 주된 부작용중 하나인 김치의 경도감소에 관한 여러 보고들과 유사하였다(50,60,61). 일반적으로 이온화 방사선에 의해 셀룰로오스 섬유들은 깨지고, 연화가 발생한다. 방사선에 의해 물 분자는 이온화 되고 이때 강력한 라디칼이 생성되어 김치 분자와 랜덤하게 반응한다. 그리고 carbohydrate의 glycosidic bond는 ester bond와 함께 라디칼 반응에 의해 파괴된다.

이로 인해 채소의 조직이 물러지게 된다(92,93). 한편, 가스치환포장 하에 방사선 조사는 최소가공채소의 조직특성을 유지시킨다고 보고된 바 있다(47,48).

또한 35℃ 저장 기간 중 모든 시료들의 경도는 감소하였고, 감소 정도는 비조사 대조구〉 가열 단독 처리구〉 가열-감마선처리구〉 질소치환포장-가열-감마선처리구의 순서였다. 과도한 숙성에 의한 김치의 조직연화는 부분적으로 에스테르화된 펙틴질의 가수분해를 촉진하는 펙틴가수분해효소의 활성, 미생물의 성장과 관계가 있다(78, 94,95). 그러나 본 연구에서 가열과 감마선 병용처리 만으로는 펙틴가수분해효소를 완벽하게 불활성화 시킬 수 없어 저장 중 김치조직의 연화를 완전히 막을 순 없었던 것으로 사료되었다. 결론적으로 질소치환포장은 가열-감마선 조사로 병용처리된 김치의 조직감 개선효과를 나타내었으나 연화현상을 저해하기 위한 다른 가공기술의 개발이 필요하다고 판단되었다.

Table 8. Evaluation of physicochemical properties of Kimchi combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃

Items	Sample	Storage at 35℃(days)			
		0	10	20	30
Acidity (%)	Control	0.33±0.02$^{a1)D2)}$	1.06±0.03^{aC}	1.13±0.01^{aB}	1.24±0.03^{aA}
	HT	0.32±0.01^{bD}	0.96±0.03^{bC}	1.02±0.02^{bB}	1.17±0.03^{bA}
	HT-IR[4)]	0.35±0.01^{aA}	0.38±0.02^{cA}	0.36±0.02^{cA}	0.37±0.01^{cA}
	N_2-HT-IR[5)]	0.34±0.01^{aA}	0.36±0.02^{cA}	0.38±0.02^{cA}	0.35±0.01^{cA}
pH	Control	4.39±0.02^{aA}	3.96±0.02^{cB}	3.75±0.02^{cC}	3.61±0.02^{cD}
	HT	4.37±0.02^{aA}	4.04±0.03^{bB}	3.86±0.03^{bC}	3.65±0.03^{bD}
	HT-IR	4.36±0.01^{aA}	4.41±0.02^{aA}	4.37±0.01^{aA}	4.39±0.02^{aA}
	N_2-HT-IR	4.40±0.01^{aA}	4.38±0.02^{aA}	4.41±0.02^{aA}	4.42±0.01^{aA}
Hardness (dyne/cm^2)	Control	1694±127^{aA}	1295±118^{aB}	681±92^{aC}	485±79^{abD}
	HT	1528±105^{aA}	1074±97^{bB}	792±75^{aC}	594±95^{aD}
	HT-IR	927±73^{cA}	695±58^{dB}	496±52^{bC}	429±47^{bC}
	N_2-HT-IR	1129±82^{bA}	894±61^{cB}	745±83^{aC}	653±68^{aC}

[1)a-c]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℃ for 30 min.

[4)]HT-IR : gamma irradiated at 25 kGy after heating at 60℃ for 30 min.

[5)]N_2-HT-IR : gamma irradiated at 25 kGy after N_2-packaging and heating at 60℃ for 30 min.

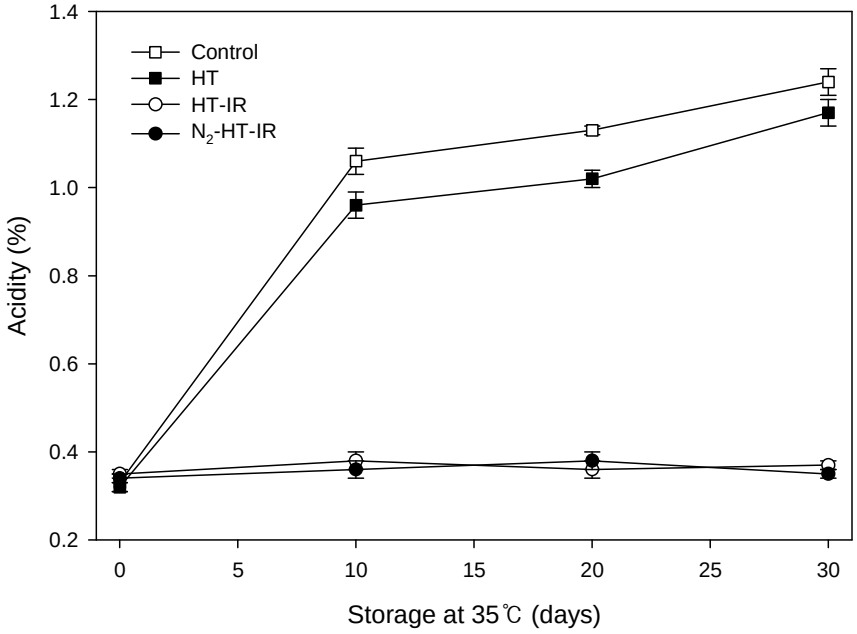


Fig. 9. Changes of acidity of Kimchi combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃.

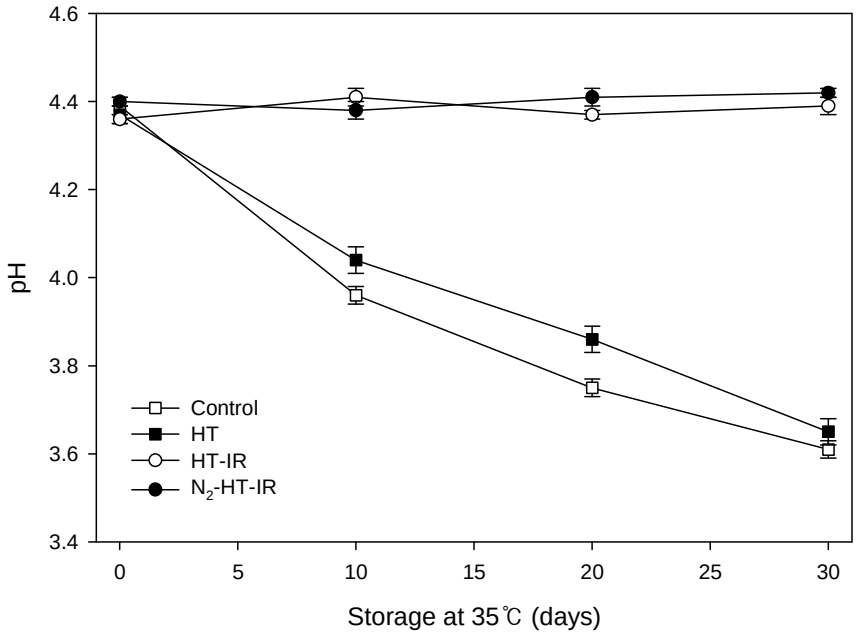


Fig. 10. Changes of pH of Kimchi combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃.

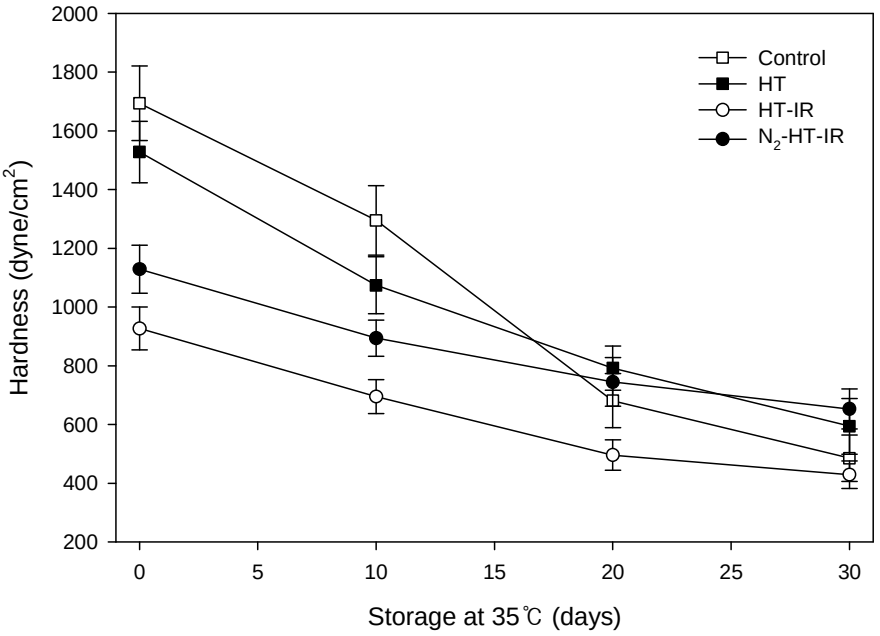


Fig. 11. Changes of hardness of Kimchi combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃.

제 3 절 감마선 조사 온도가 김치의 품질에 미치는 영향

1. 미생물학적 품질

질소치환 포장 후 60℃ 온수에 30분간 담근 다음 25, -20, -70, 및 -178℃에서 조사된 김치의 저장 기간에 따른 총균수, 젖산균수 측정결과를 Table 9에 각각 나타내었다. 저장 초기 비조사구의 총균수와 젖산균수는 약 8 Log CFU g^{-1}로 나타났으며 30일의 저장 기간 동안 큰 변화는 없었다. 25 kGy의 선량으로 25℃, -20℃, -70℃, -178℃에서 감마선 조사된 시료들에서는 30일의 저장 기간 동안 세균 및 젖산균이 검출되지 않았으므로 멸균된 것으로 판단되었다. 미생물의 방사선에 대한 감수성은 식품 내 성분들에 의해 영향을 받는다(96). 이온화 방사선 활성의 첫 번째 단계는 물 분자로부터 hydroxyl radical과 hydrogen의 생성이다(97). 일반적으로 최대 -20℃ 근처에서는 미생물의 방사선 저항성이 증가되며, 냉동상태와 같이 제한된 자유수 조건 하에서는 세균 오염을 감소시키기 위해 더 높은 조사선량이 요구된다고 보고된 바 있다(98,99). 본 실험에서 25 kGy의 감마선 선량은 온도 감소에 의해 방사선 저항성이 증가된 미생물을 사멸하기에 충분한 선량으로 판단되었다. 즉, 일차적으로 가열에 의해 숙성된 김치 내 미생물들이 감소되었고, 이후의 25 kGy의 감마선 조사는 온도에 의해 저항성이 증가된 균이라 할지라도 사멸시키기에 충분한 선량이라고 판단되었다.

Table 9. Effect of irradiation temperatures on the growth of total viable cells and lactic acid bacteria of Kimchi combined with N2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃

(Unit : Log CFU/g)

Microbes	Irradiation temperature (℃)	Storage at 35℃ (days)			
		0	10	20	30
Viable cell	Control[1)]	8.14	8.47	8.63	8.79
	20	ND[2)]	ND	ND	ND
	-20	ND	ND	ND	ND
	-70	ND	ND	ND	ND
	-178	ND	ND	ND	ND
Lactic acid bacteria	Control	8.12	8.39	8.64	8.73
	20	ND[2)]	ND	ND	ND
	-20	ND	ND	ND	ND
	-70	ND	ND	ND	ND
	-178	ND	ND	ND	ND

[1)]Unirradiated.
[2)]ND : Not detected within the detection limit < 10^1 CFU/g.

2. 관능적 품질

25, -20, -70, 및 -178℃에서 감마선 조사된 김치의 저장 중 관능평가 결과를 Table 10에 나타내었다. 앞선 실험결과에서 감마선 조사에 의해 김치의 관능적 품질은 감소하였다. 그러나 냉동조건 하에서 감마선 조사는 이러한 김치의 품질 저하를 막는 것으로 판단되었으며 그 뿐만 아니라 -70℃에서 조사된 김치의 관능적 품질은 비조사 대조구와 유사하였다. 30일의 저장 기간 중 비조사 대조구의 관능적 품질은 감마선 조사된 시료들에 비해 빠르게 감소했다. 반면 -70℃에서 조사된 김치의 관능적 품질은 모든 김치시료들 보다 더 우수했다. 이는 냉동조건 하에서 방사선 조사된 채소는 미생물을 제어할 수 있고, 물리적, 관능적 품질을 유지할 수 있다(51-53,100,101)는 선행보고들과 일치하는 것으로 나타났다.

Table 10. Effect of irradiation temperatures on the sensory quality of Kimchi combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃

Storage (Days)	Irradiation temperature (℃)	Sensory scores				
		Color	Texture	Taste	Flavor	Overall acceptance
0	Control[1)]	6.9±0.4$^{a2)}$	6.9±0.6^{a}	6.6±0.5^{a}	6.8±0.4^{a}	6.8±0.5^{a}
	20	6.3±0.5^{a}	5.6±0.4^{b}	5.2±0.3^{b}	5.6±0.4^{b}	5.1±0.3^{b}
	-20	6.5±0.3^{a}	5.9±0.4^{ab}	5.9±0.4^{ab}	5.9±0.5^{ab}	5.6±0.4^{b}
	-70	6.7±0.4^{a}	6.5±0.3^{a}	6.5±0.5^{a}	6.7±0.6^{a}	6.6±0.3^{a}
	-178	6.6±0.3^{a}	6.2±0.5^{a}	6.1±0.4^{a}	6.2±0.3^{a}	6.2±0.3^{ab}
10	Control	6.7±0.4^{a}	5.9±0.3^{a}	1.5±0.2^{b}	1.8±0.2^{c}	1.7±0.3^{c}
	20	5.1±0.4^{b}	5.1±0.6^{a}	5.3±0.5^{a}	5.5±0.4^{b}	5.4±0.4^{b}
	-20	5.8±0.5^{ab}	5.3±0.4^{a}	5.7±0.4^{a}	5.8±0.5^{ab}	5.7±0.5^{ab}
	-70	6.4±0.3^{a}	5.8±0.4^{a}	6.2±0.6^{a}	6.4±0.4^{a}	6.3±0.4^{a}
	-178	6.2±0.6^{a}	5.5±0.5^{a}	5.9±0.4^{a}	6.1±0.5^{a}	5.8±0.5^{a}
20	Control	6.3±0.3^{a}	4.7±0.4^{a}	1.4±0.3^{c}	1.4±0.2^{c}	1.5±0.2^{c}
	20	4.6±0.5^{b}	4.9±0.3^{a}	5.1±0.5^{b}	5.1±0.4^{b}	5.2±0.3^{b}
	-20	5.2±0.6^{ab}	5.1±0.5^{a}	5.5±0.4^{ab}	5.4±0.5^{ab}	5.4±0.5^{ab}
	-70	6.1±0.4^{a}	5.6±0.5^{a}	6.4±0.6^{a}	6.5±0.6^{a}	6.5±0.4^{a}
	-178	5.7±0.5^{a}	5.3±0.4^{a}	5.6±0.3^{a}	5.9±0.5^{a}	5.6±0.4^{a}
30	Control	6.1±0.6^{a}	4.1±0.3^{b}	1.1±0.3^{c}	1.2±0.3^{c}	1.2±0.2^{c}
	20	4.2±0.5^{b}	4.5±0.5^{ab}	4.9±0.5^{b}	4.7±0.4^{b}	4.8±0.4^{b}
	-20	4.9±0.4^{b}	4.7±0.5^{a}	5.1±0.4^{b}	5.4±0.5^{ab}	5.1±0.5^{ab}
	-70	5.8±0.4^{a}	5.4±0.4^{a}	6.3±0.3^{a}	6.2±0.6^{a}	6.3±0.6^{a}
	-178	5.3±0.5^{ab}	5.1±0.5^{a}	5.4±0.4^{b}	5.7±0.4^{a}	5.3±0.5^{a}

[1)]Not irradiated.
[2)a-c]Values with different letters within a column differ significantly ($p<0.05$).

3. 이화학적 품질

가. *pH*와 산도

김치는 신맛과 탄산미를 가지기 때문에 pH와 산도는 김치의 발효지표이며 주된 품질특성으로 선택할 수 있다(102). 여러 온도에서 감마선 조사된 김치시료의 저장 중 pH와 산도변화를 Table 11에 각각 나타내었다. 저장 초기 모든 시료의 pH와 산도는 각각 4.4와 0.3% 이였고, 김치시료 간 유의차는 없었다. 일반적으로 pH가 약 4.2일 때 김치는 최고의 맛을 가진다고 보고되었다(90). 비조사구의 경우 저장기간에 따라 미생물의 생육이 지속적으로 증가함에 따라 pH는 감소하였고 산도는 증가한 것으로 사료되었다. 한편, 다양한 온도별로 방사선 조사된 모든 시료들은 조사 시 온도에 관계없이 pH와 산도의 변화가 거의 없었다(Fig. 12, 13).

나. 경도

20, -20, -70 및 -178℃에서 감마선 조사된 김치시료의 35℃ 저장 중 경도변화를 Table 11에 나타내었다. 저장 초기 김치의 경도는 감마선 조사에 의해 감소했으나 -20℃에서 조사했을 경우 경도감소가 완화되었다. 또한, 저장기간 동안 냉동 조건에서 감마선 조사된 김치의 경도는 비조사구 및 실온 조사된 시료에 비해 감소폭이 적었다. 특히, -70℃에서 감마선 조사된 후 30일이 경과한 김치의 경도는 모든 시료들의 경도 보다 높았다(Fig. 14).

일반적으로 이온화 방사선에 의해 셀룰로오스 섬유는 깨지고, 조직은 연해진다. 방사선에 의해 물 분자의 이온화로부터 생성되는 강력한 라디칼들은 김치분자와 랜덤하게 반응하고, carbohydrate의 glycosidic bond는 ester bond와 함께 라디칼 반응에 의해 끊어진다. 그 결과 채소의 조직이 연해진다(92,93,103). 그러나 냉동상태 하에서 감마선 조사를 하면 프리라디칼과 방사선 분해산물의 생성이 억제된다고 보고된 바 있다(104,105). 또한 전자현미경 상에서 형태학적으로 관찰했을 때, -70℃로 냉동된 김치의 세포구조가 -20℃냉동보다 파괴가 덜 되었다고 보고되었다(106). 본 실험의 결과는 이러한 보고들에 일치하는 경향을 나타냈으며 이에 따라 김치의 연화 현상을 완화시키기 위한 방법으로 -70℃에서 감마선을 조사하는 것이 효과적인 것으로 판단되었다.

Table 11. Effect of irradiation temperatures on physicochemical properties of Kimchi combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃

Items	Irradiation temperature (℃)	Storage at 35℃ (days)			
		0	10	20	30
Acidity (%)	Control[1)]	0.32±0.02$^{a2)D3)}$	0.97±0.03^{aC}	1.19±0.03^{aB}	1.28±0.05^{aA}
	20	0.34±0.01^{aA}	0.35±0.03^{bA}	0.35±0.02^{bA}	0.36±0.02^{bA}
	-20	0.33±0.02^{aB}	0.35±0.01^{bAB}	0.37±0.02^{bA}	0.38±0.02^{bA}
	-70	0.31±0.01^{aB}	0.33±0.02^{bAB}	0.35±0.01^{bA}	0.36±0.03^{bA}
	-178	0.32±0.01^{aB}	0.34±0.02^{bAB}	0.36±0.02^{bA}	0.37±0.02^{bA}
pH	Control	4.43±0.02^{aA}	3.92±0.01^{bB}	3.69±0.02^{bC}	3.62±0.02^{bD}
	20	4.45±0.02^{aA}	4.42±0.02^{aA}	4.37±0.02^{aAB}	4.37±0.02^{aB}
	-20	4.42±0.01^{aA}	4.39±0.02^{aAB}	4.36±0.01^{aB}	4.36±0.02^{aB}
	-70	4.44±0.02^{aA}	4.41±0.01^{aAB}	4.39±0.02^{aB}	4.37±0.01^{aB}
	-178	4.43±0.01^{aA}	4.38±0.02^{aB}	4.39±0.02^{aB}	4.38±0.02^{aB}
Hardness (dyne/cm^2)	Control	1972±67^{aA}	1395±48^{aB}	942±32^{cC}	617±39^{cD}
	20	1186±42^{dA}	994±27^{eB}	845±22^{dC}	639±25^{cD}
	-20	1247±51^{cdA}	1026±43^{dB}	961±49^{cBC}	796±44^{bD}
	-70	1528±65^{bA}	1284±47^{bB}	1123±51^{aC}	958±39^{aD}
	-178	1349±53^{cA}	1145±52^{cB}	1018±46^{bC}	872±48^{abD}

[1)]Not irradiated.

[2)a-b]Values with different letters within a column differ significantly ($p<0.05$).

[3)A-D]Values with different letters within a row differ significantly ($p<0.05$).

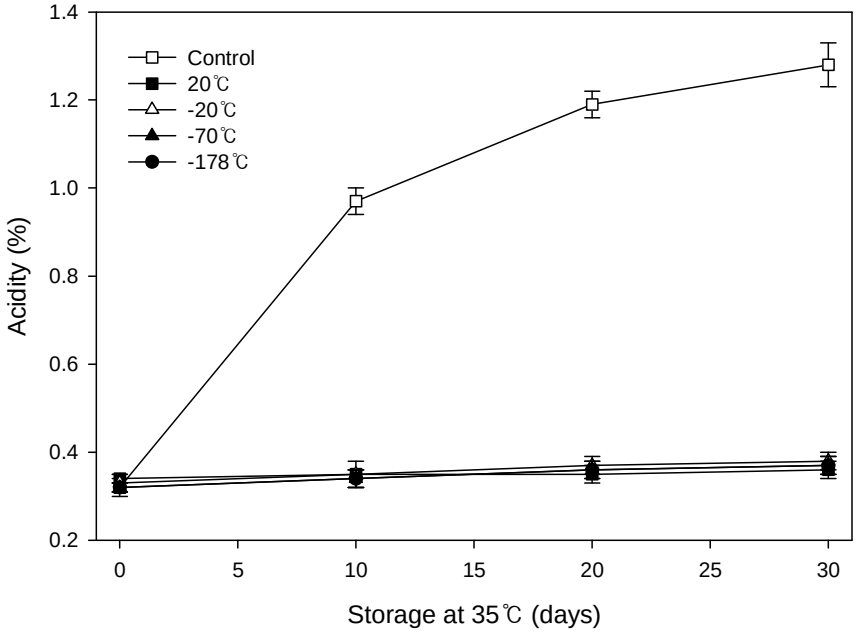


Fig. 12. Effect of irradiation temperatures on acidity of Kimchi combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃.

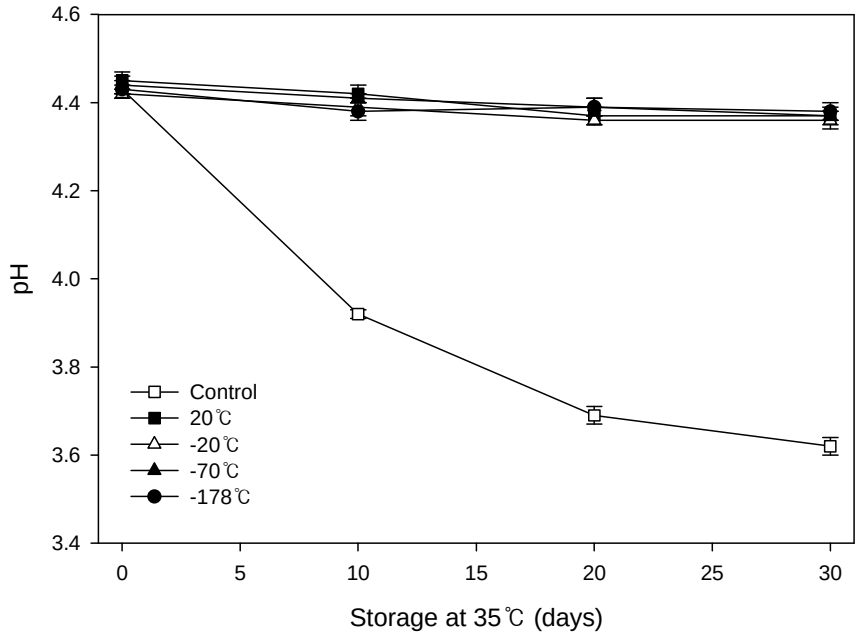


Fig. 13. Effect of irradiation temperatures on pH of Kimchi combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃.

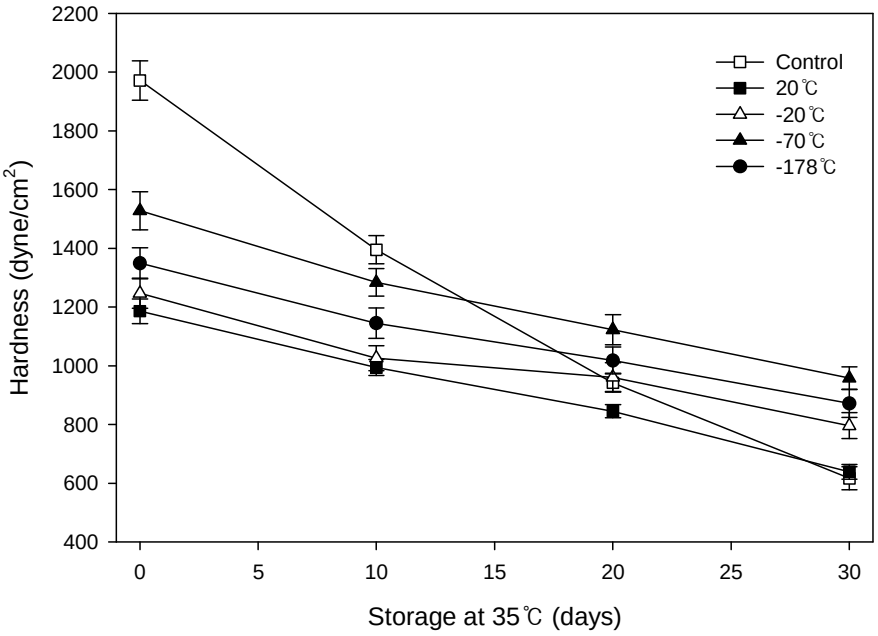


Fig. 14. Effect of irradiation temperatures on hardness of Kimchi combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation during storage at 35℃.

4. Electron spin resonance(ESR) 특성

조사온도 감소에 의한 관능품질 저하 완화 효과가 방사선에 의해 발생되는 자유라디칼의 감소에 의한 영향인지를 확인하기 위해 다양한 온도로 조사된 김치의 ESR 스펙트럼과 signal 강도를 측정하였고 그 결과를 Fig. 15와 16에 나타내었다. 조사온도와 선량이 낮을수록 ESR signal 강도는 감소했다. 이 결과에 따라 조사선량에 따라 발생되는 자유라디칼의 양이 달라지며 조사온도가 낮을수록 자유라디칼의 생성이 저해되어 화학적 변화에 의한 김치의 관능적 품질과 경도의 변화가 감소되는 것으로 판단되었다. 물은 이온화 방사선에 의해 야기되는 화학변화에 중요한 영향을 미친다. 그 이유는 수분의 방사선 분해산물들이 화학변화의 주원인이기 때문이다. 몇몇 연구들에 따르면 순수한 물이 방사선 조사될 때, 다량의 aqueous electrons, hydroxyl radical, hydroperoxyl radical, superoxide anion radical 들이 생성되나 냉동상태에서 수분의 방사선 분해인자들의 반응은 차단되고, 그 결과 각각의 성분들은 자유로운 결합이 불가능해진다고 하였다(Furuta et al., 1992). 또한 본 실험은 자유수가 액체형태를 가질 때 자유라디칼과 이온의 분산이 활발해지고 냉동(결정형) 또는 제한적(건조형태)일 때 자유수의 분산은 억제된다는 보고(Raffi and Agnel, 1983)들과도 일치하는 결과를 나타내었다.

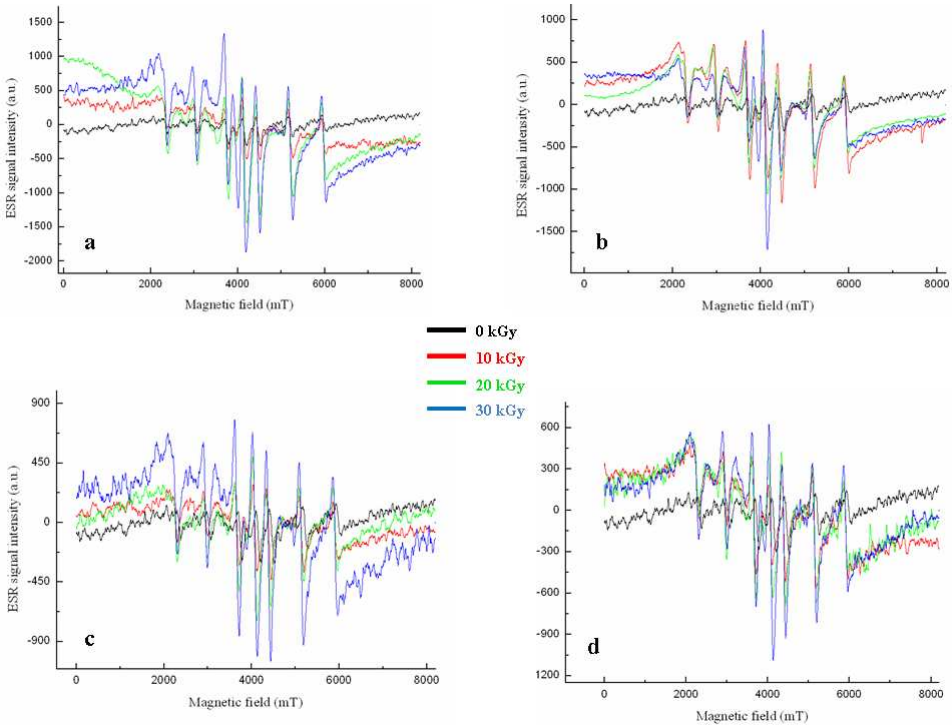


Fig. 15. ESR spectrum of Kimchi irradiated at different temperatures; a, room temperature; b, -20℃; c, -70℃; d, -178℃.

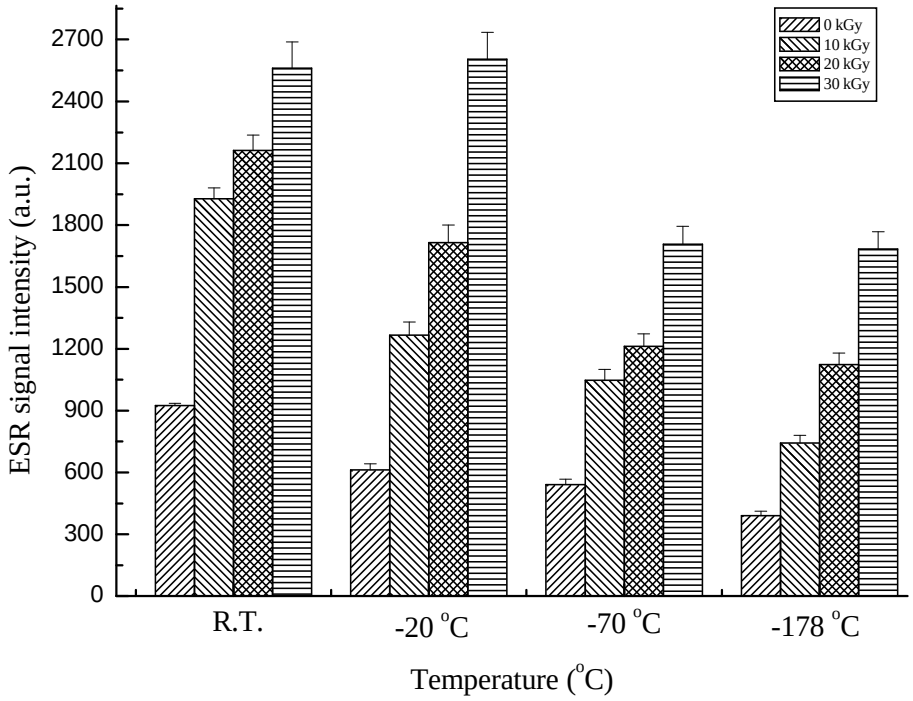


Fig. 16. Determination of ESR signal intensity of Kimchi irradiated at various doses and temperature.

제 4 절 식품첨가물에 의한 김치의 관능적 품질 개선 효과

1. 비타민 C 첨가

가. 최적 첨가량 결정

김치에 대한 비타민 C의 최적 첨가량 결정을 위해 비타민 C를 0.1% 에서 1.0% 까지 첨가하여 관능평가를 실시한 결과 김치의 색상, 맛, 풍미 및 종합적 기호도에서 비타민 C를 0.3% 첨가할 경우가 가장 높게 평가되었다(Table 12). 따라서 감마선 조사시 김치의 관능적 품질에 미치는 영향을 확인하기 위한 비타민 C의 최적 첨가량은 0.3%로 설정하였다.

나. 비타민 C 첨가 후 감마선 조사된 김치의 경도

김치에 비타민 C를 0.3% 첨가한 후 상기에서와 같이 최적 병용처리 조건으로 확인된 질소치환-가열-냉동감마선조사 처리후 저장 기간 중 경도 변화를 측정한 결과를 Table 13에 나타내었다. 시료들의 초기 경도는 비조사 대조구 〉 비타민 C첨가 감마선 조사구 〉 감마선 단독 조사구 순서였으며, 30일 저장 후 비조사 대조구의 경도는 다른 시료들에 비해 급격하게 감소하였다. 일반적으로 식품에 첨가된 항산화제는 방사선 조사에 의해 생성되는 자유라디칼과 식품 내 성분들 간에 경쟁적으로 반응한다고 알려져 있다(107). 따라서 본 실험에서 첨가된 비타민 C는 천연항산화제로써 감마선 조사에 의해 발생되는 자유라디칼 소거능이 있으며, 이로 인해 감마선에 의한 김치 조직의 연화현상을 완화시키는 효과를 나타내는 것으로 판단되었다. 즉 비타민 C의 첨가는 방사선에 의해 발생되는 자유라디칼을 제거하여 식품 내 산화반응을 감소시킴으로써 김치 조직의 경도 저하를 저해하는 것으로 판단되었다. 따라서 비타민 C 0.3%의 첨가는 25 kGy로 감마선 조사된 김치의 경도 감소 완화에 효과적인 것으로 사료되었다.

Table 12. Sensory evaluation of the Kimchi added with various concentrates of vitamin C

Concentrate (%)	Color	Taste	Flavor	Overall acceptance
0	6.9±0.3[a1)]	7.0±0.5[a]	6.8±0.4[a]	6.9±0.4[a]
0.1	6.8±0.6[a]	6.8±0.4[a]	6.8±0.5[a]	6.8±0.6[a]
0.2	6.7±0.5[a]	6.8±0.3[a]	6.8±0.3[a]	6.8±0.5[a]
0.3	6.8±0.4[a]	6.9±0.5[a]	6.7±0.6[a]	6.8±0.5[a]
0.5	6.7±0.5[a]	6.5±0.2[a]	6.8±0.4[a]	6.4±0.3[a]
0.7	6.8±0.2[a]	5.8±0.4[b]	6.6±0.3[a]	6.0±0.5[ab]
1.0	6.6±0.3[a]	4.9±0.3[c]	6.6±0.2[a]	5.1±0.4[b]

[1)a-c]Values with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$).

Table 13. Effect of vitamin C (0.3%) on the hardness of Kimchi irradiated at 25 kGy during storage at 35°C

(Unit : dyne/cm^2)

Storage (days)	Control[3)]	Unadded[4)]	Vitamin C
0	2136±94[a1)A2)]	1165±46[aC]	1359±41[aB]
30	931±61[bA]	429±32[bC]	‘512±37[bB]

[1)a-b]Values with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$).
[2)A-C]Values with different letters within a row differ significantly ($p < 0.05$).
[3)]CON : non-irradiated *Kimchi*.
[4)]Unadded : unadded vitamin C but irradiated at 25 kGy.

2. 칼슘염 첨가

가. 최적첨가량 및 종류 결정

(1) 칼슘염의 최적첨가량 결정

김치에 칼슘염을 첨가하기 위한 최적 칼슘염 종류 선별 및 첨가량 결정을 위해 각각 calcium lactate, calcium acetate 및 calcium chloride를 0.01%에서 0.03% 까지 첨가한 후 관능적 품질을 평가한 결과(Table 14) calcium lactate가 다른 칼슘염 에 비해 관능적 품질이 가장 우수한 것으로 나타났다. 한편, 김치에 첨가하기 위한 칼슘염의 최적 첨가량은 칼슘종류에 관계없이 0.01%까지는 관능적 품질에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, 0.02% 이상 첨가할 경우 관능적 품질이 저하되는 것으로 나타나 이하 실험은 종류에 관계없이 칼슘염을 0.01% 첨가하는 것으로 고정한 후 실험을 진행하였다.

(2) 최적의 칼슘염 종류 선정

김치에 3종의 칼슘염을 각각 0.01% 첨가한 후 상기에서와 같이 최적 병용처리 조건으로 확인된 질소치환-가열-냉동감마선조사 처리 후 저장 기간 중 경도 변화를 측정한 결과를 Table 15에 나타내었다. 김치의 경도는 감마선 조사에 의해 감소하였으나 칼슘 첨가에 의해 경도가 증가하는 것으로 나타났으며, 경도의 순서는 감마선 비조사 대조구 〉 calcium lactate 〉 calcium chloride 〉 calcium acetate > 무첨가구 순서로 나타났다. 한편, 저장 30일 저장기간 동안 모든 시료에서 경도가 감소하였으나, 무첨가 대조구의 경도는 다른 처리구들과 비교할 때 급격하게 감소하였다. 한편, calcium lactate 첨가구의 경도는 calcium chloride, calcium acetate가 첨가된 김치의 경도 보다 더 높았다. 이는 김치의 경도는 pectin과 같은 세포벽 내 polysaccharides와 밀접한 관련이 있으며(108) calcium lactate로부터 용해된 calcium 이온은 pectin과 결합하여 조직의 경도를 증가시킨다(58)는 보고들과 일치하는 경향을 나타내었다. 또한 Magee 등(109)의 1% calcium chloride 또는 2% calcium lactate 용액에 로만토마토 조각을 담갔을 때 조직이 강화되고, 수용성 pectin이 감소했다는 보고와

Gunes 등(110)의 얇게 자른 사과를 calcium용액에 담갔을 때 경도가 증가했다는 보고, 그리고 Fan 등(111)은 방사선 조사 및 저장 중 얇게 자른 과일이 연화되었지만 calcium acetate 처리에 의해 저장중 경도 감소를 줄일 수 있었다는 보고들을 통해 본 연구에서 사용된 calcium lactate 처리는 방사선 영향으로부터 김치조직의 연화를 방지하는데 있어 효과적인 것으로 판단되었다.

Table 14. Sensory evaluation of the Kimchi added at various levels of calcium salts (%)

Sample	Level (%)	Sensory scores				
		Color	Texture	Taste	Flavor	Overall acceptance
CON[2)]	0	6.9±0.6[a1)]	6.7±0.4[a]	6.9±0.3[a]	6.8±0.5[a]	6.9±0.7[a]
Calcium lactate	0.01	6.8±0.4[a]	6.7±0.7[a]	6.8±0.6[a]	6.8±0.4[a]	6.8±0.5[a]
	0.02	6.7±0.2[a]	6.8±0.5[a]	5.2±0.4[b]	6.4±0.2[a]	5.1±0.4[b]
	0.03	6.6±0.5[a]	6.9±0.8[a]	4.8±0.2[b]	6.3±0.3[a]	4.7±0.2[b]
Calcium acetate	0.01	6.6±0.4[a]	6.7±0.8[a]	6.5±0.5[a]	6.6±0.7[a]	6.5±0.3[a]
	0.02	6.4±0.6[a]	6.6±0.3[a]	4.9±0.2[b]	6.4±0.4[a]	4.8±0.2[b]
	0.03	6.4±0.3[a]	6.8±0.6[a]	4.4±0.4[b]	6.1±0.3[a]	4.3±0.3[b]
Calcium chloride	0.01	6.7±0.8[a]	6.6±0.6[a]	6.2±0.5[a]	6.6±0.6[a]	6.3±0.6[a]
	0.02	6.6±0.5[a]	6.8±0.3[a]	4.5±0.3[b]	6.4±0.4[a]	4.4±0.3[b]
	0.03	6.5±0.4[a]	6.7±0.7[a]	4.1±0.4[b]	6.4±0.7[a]	4.1±0.4[b]

[1)a-c]Values with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$).
[2)]CON : unadded *Kimchi*.

Table 15. Hardness of Kimchi irradiated at 25 kGy and added with various calcium salt during storage at 35℃

Samples		Storage (days)	
		0	30
Control		1953±94[a1)A2)]	849±38[bA]
Unadded		976±46[aD]	361±32[bD]
Added (0.01%)	Calcium lactate	1326±59[aB]	814±31[bA]
	Calcium acetate	1085±41[aC]	636±27[bC]
	Calcium chloride	1265±53[aB]	773±36[bAB]

[1)a-b]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)]CON : non-irradiated *Kimchi*.

[4)]Unadded : unadded with calcium salt and irradiated at 25 kGy.

나. 칼슘염 첨가에 따른 관능적 품질 변화

Calcium lactate, calcium chloride, calcium acetate를 각각 0.01% 첨가한 김치의 초기, 30일간의 저장 후 관능적 품질평가 결과를 Table 16에 나타냈다. 칼슘염을 첨가한 후 질소치환-가열-냉동감마선조사 처리한 김치의 초기 관능적 품질평가 결과 calcium lactate가 첨가된 김치의 조직, 맛, 전체적 기호도가 가장 높았으며 칼슘이 첨가되지 않은 실험구에 비해 유의적으로 높게 평가되었다($p < 0.05$). 한편, 30일 저장 후 관능적 품질을 평가한 결과 calcium lactate 첨가 김치와 비조사구의 조직감에 있어 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났으며 calcium lactate 첨가 김치의 조직감이 무첨가 실험군보다 높은 것으로 나타났다. 따라서 calcium lactate 0.01%의 첨가는 저장 기간에 따른 김치의 연화현상을 억제하여 조직감을 유지시키는데 있어 효과적이라고 판단되었다. 또한 30일 저장 후 비조사구의 전체적인 기호도는 신맛으로 인해 낮게 평가된 반면 calcium lactate 0.01% 첨가된 김치의 전체적인 기호도는 30일의 저장 후 거의 감소되지 않았으며 사용된 칼슘염들 중 가장 높게 평가되었다. 칼슘첨가에 의한 채소류의 경도 증가에 대한 몇몇 보고들에 따르면 calcium lactate 처리된 채소류의 경도는 calcium chloride가 첨가된 채소류 보다 더 강했다고 보고되었으며(112), 다양한 칼슘염들의 첨가 후 방사선 조사는 방사선에 의해 야기되는 채소류의 조직연화를 억제할 수 있다고 보고된 바 있었다(110,111).

Table 16. Sensory evaluation of Kimchi irradiated at 25 kGy and added with various calcium salt (0.01%) during storage at 35℃

Storage (days)	Sample	Texture	Taste	Overall acceptance
0	Control[2)]	6.9±0.7[a1)]	6.7±0.6[a]	6.7±0.8[a]
	Unadded[3)]	4.3±0.2[c]	4.3±0.3[c]	4.6±0.4[b]
	Calcium lactate	6.1±0.5[a]	6.2±0.6[a]	6.1±0.5[a]
	Calcium acetate	5.2±0.4[b]	5.5±0.5[b]	5.6±0.3[ab]
	Calcium chloride	5.7±0.6[ab]	5.7±0.6[ab]	5.9±0.6[a]
30	Control	5.2±0.5[a]	2.3±0.2[c]	2.1±0.2[c]
	Unadded	3.1±0.2[c]	4.4±0.5[b]	4.5±0.3[b]
	Calcium lactate	4.8±0.6[a]	5.8±0.6[a]	5.9±0.7[a]
	Calcium acetate	3.7±0.3[b]	5.1±0.4[ab]	5.3±0.5[a]
	Calcium chloride	4.4±0.4[ab]	5.3±0.5[a]	5.4±0.6[a]

[1a-c]Values with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$).
[2)]CON : non-irradiated *Kimchi*.
[3)]Unadded : unadded with calcium salt and irradiated at 25 kGy.

3. 비타민 C 및 칼슘염 혼합첨가

상기에서 확인된 최적 첨가조건에 따라 비타민 C 0.3%와 calcium lactate 0.01%를 첨가한 후 질소치환포장-가열-냉동 감마선조사 처리된 김치의 30일 저장기간 중 경도 변화를 Table 17에 나타내었다. 감마선 조사직후 초기 경도는 비조사구 〉 비타민 C 및 calcium lactate 첨가구 > 무첨가구 순으로 유의적으로 감소하였다($P < 0.05$). 한편, 30일의 저장기간 동안 비조사구의 경도는 지속적인 발효 및 산도 증가로 인해 급격히 감소하였으나 감마선 병용처리된 실험구들의 경도의 경우 감소폭이 적었다. 그러나 감마선 병용처리된 실험구들 중에서 비타민 C와 calcium lactate가 첨가된 실험구의 초기 경도가 무첨가구에 비해 높았으며 30일 저장 후에도 비타민 C와 calcium lactate 첨가구의 경도가 비조사구 또는 무첨가구 보다 높게 측정되었다. 또한, 비타민 C 또는 칼슘염을 단독으로 첨가했을 때 보다 비타민 C와 칼슘염을 혼합처리할 경우 경도개선 효과가 더욱 큰 것으로 기대되었다. 일반적으로 식물 조직의 연화는 pectinmethylesterase에 의해 세포내 pectin의 부분적인 demethylation 때문에 발생한다(56). 본 실험에서 사용된 calcium lactate의 첨가는 칼슘염이 "egg box" 겔 구조 안에서 부분적으로 탈메틸화된 pectin들과 이가 결합을 형성하여 식물조직의 경도를 강화시켜준다는 보고(56)와 일치하는 경향을 나타내었다. 한편, 식품 내 산화반응을 억제하는 항산화제의 효과는 잘 연구되어 있으며 식품에 첨가된 항산화제는 방사선 조사에 의해 생성되는 자유라디칼과 식품 내 성분들 간에 경쟁적으로 반응한다고 보고되었다(107). 이러한 선행 보고들을 토대로 본 실험에서 사용된 비타민 C의 첨가는 방사선에 의해 발생되는 자유라디칼을 제거하여 식품 내 산화반응을 감소시킴으로써 김치 조직의 경도 저하를 저해하는 것으로 판단되었다.

Table 17. Hardness of Kimchi added with vitamin C, calcium lactate and combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation at -70℃ during storage at 35℃

Samples	Storage at 35 °C (days)			
	0	10	20	30
Control[3)]	1832±67[a1)A2)]	1574±51[aB]	968±49[aC]	683±32[bD]
Unadded[4)]	1183±48[cA]	957±34[cB]	824±28[bC]	749±37[bD]
Added[5)]	1558±52[bA]	1326±57[bB]	1037±62[aC]	931±48[aD]

[1)a-c]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)]CON : non-irradiated *Kimchi*.
[4)]Unadded : unadded with vitamin C and calcium lactate.
[5)]Added : added with vitamin C 0.3% and calcium lactate 0.01%.

4. 파프리카색소 첨가

가. 최적 첨가량 결정

식품의 색도는 전체적인 기호도에 영향을 주는 주된 요소 중 하나이다. 따라서 기호도 증진을 목적으로 방사선에 의한 식품의 탈색을 보완하기 위해 천연색소를 첨가하는 방안을 고려하였다. 붉은색을 부여할 수 있는 천연색소에는 코치닐, 레드비트, 홍국색소, 적양배추, 파프리카색소 등이 있는데 이중 파프리카색소가 김치의 색과 맛에 가장 적합할 것으로 판단하여 파프리카색소를 0.1% 에서 1.0% 까지 첨가하여 관능평가를 실시한 결과를 Table 18에 나타냈다. 그 결과 김치의 색, 맛, 풍미 및 종합적 기호도는 파프리카색소를 0.2% 첨가할 경우 모든 항목에서 가장 높은 평점을 얻었다. 따라서 이하 연구에서는 방사선에 의한 김치의 탈색반응을 효과적으로 보완하기 위해 파프리카색소 0.2%를 첨가하는 것으로 결정하였다.

나. 파프리카색소 첨가에 의한 김치의 색도 변화

파프리카색소 0.2%를 첨가하여 질소치환포장-가열-냉동방사선 조사된 김치의 적색도를 측정하였고 그 결과를 Table 19에 나타내었다. 저장 초기 파프리카색소가 첨가된 실험구의 적색도는 비조사구 및 파프리카색소 비첨가구 보다 높았다. 그러나 30일의 저장 기간 중 비조사구 및 파프리카색소 비첨가구의 적색도는 유의적으로 감소하는 반면 파프리카색소가 첨가된 실험구의 경우 적색도가 유지되는 경향을 나타내었다. 또한 파프리카색소 첨가 김치의 30일 경과 후 적색도는 비조사구의 적색도와 유사한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 방사선을 조사한 김치의 경우 조사선량에 의존적으로 김치 본래의 색인 적색도가 감소하는 경향을 보인다고 보고(40,62)와 일치하였다. 한편, Kim 등(59)은 고춧가루 대신에 파프리카를 첨가하여 김치를 제조하였을 때, 김치의 매운맛을 줄이고 적색이 강화된 제품을 개발 할 수 있었다고 보고한 바 있다. 따라서 우주김치의 개발을 목적으로 실시된 본 연구에서는 방사선에 의한 김치의 탈색을 방지하기 위한 파프리카색소의 사용이 관능적 품질 개선에 효과적인 것으로 판단되었다.

Table 18. Sensory evaluation of the Kimchi added at various levels of paprika extract (%)

Concentrates (%)	Color	Taste	Flavor	Overall acceptance
0	5.2±0.3$^{b1)}$	6.7±0.4^{a}	6.7±0.6^{a}	6.2±0.5^{ab}
0.1	5.6±0.5^{ab}	6.3±0.5^{a}	6.5±0.4^{a}	5.4±0.4^{b}
0.2	6.8±0.7^{a}	6.1±0.5^{a}	6.6±0.5^{a}	6.6±0.6^{a}
0.3	6.4±0.5^{a}	4.8±0.4^{b}	6.6±0.6^{a}	4.6±0.3^{c}
0.5	5.4±0.4^{b}	3.2±0.3^{c}	6.4±0.4^{a}	3.4±0.4^{d}
0.7	4.2±0.6^{c}	3.0±0.4^{c}	6.4±0.7^{a}	3.0±0.4^{de}
1.0	3.8±0.3^{c}	2.8±0.2^{c}	5.8±0.3^{a}	2.6±0.2^{e}

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

Table 19. Redness of Kimchi added with paprika extract and combined with N_2-packaging, heating and gamma irradiation at -70℃ during storage at 35℃

Samples	Storage at 35℃ (days)			
	0	10	20	30
Control[3)]	31.72±0.08$^{b1)A2)}$	30.45±0.06^{bB}	29.63±0.04^{bC}	28.74±0.05^{bD}
Unadded[4)]	31.58±0.06^{bA}	30.24±0.09^{cB}	29.37±0.03^{cC}	27.65±0.03^{cD}
Added[5)]	33.28±0.11^{aA}	32.62±0.05^{aB}	31.41±0.06^{aD}	32.17±0.07^{aC}

[1)a-b]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)]CON : non-irradiated *Kimchi*.
[4)]Unadded : combined with N_2-packaging, heating at 60℃ for 30 min, frozen at -70℃, and gamma irradiation at 25 kGy.
[5)]Added : added with paprika extract and combined with N_2-packaging, heating at 60℃ for 30 min, frozen at -70℃, and gamma irradiation at 25 kGy.

5. 김치 향 첨가

일반적으로 방사선 조사는 식품 내 향기성분의 변화를 일으키며 이로 인해 풍미에 대한 기호도가 떨어지는 결과를 초래한다. 따라서 방사선에 의한 관능적 품질의 저하를 개선하기 위한 방법으로 김치 향을 0.1%에서 1.0%까지 첨가하였으며 최적 첨가량 결정을 위한 관능평가 결과를 Table 20에 나타냈다. 그 결과 김치의 맛, 풍미 및 종합적 기호도는 0.2% 첨가할 경우 모든 항목에서 가장 높은 평점을 얻었다. 따라서 본 연구에서는 우주김치개발을 위한 풍미증진의 방안으로 김치 향 0.2%를 첨가함으로써 방사선을 조사에 따라 생성되는 이취를 효율적으로 마스킹 하고자 하였다.

Table 20. Sensory evaluation of the Kimchi added at various levels of artificial Kimchi flavor (%)

Concentrates (%)	Color	Taste	Flavor	Overall acceptance
0	6.5±0.6$^{a1)}$	6.5±0.3^{a}	6.2±0.5^{a}	6.4±0.3^{a}
0.1	6.6±0.4^{a}	6.6±0.5^{a}	6.4±0.3^{a}	6.5±0.5^{a}
0.2	6.6±0.5^{a}	6.9±0.4^{a}	6.8±0.6^{a}	6.9±0.5^{a}
0.3	6.5±0.5^{a}	5.7±0.3^{ab}	6.5±0.5^{a}	6.4±0.4^{a}
0.5	6.4±0.3^{a}	5.8±0.5^{ab}	6.3±0.4^{a}	5.7±0.3^{ab}
0.7	6.4±0.4^{a}	5.0±0.5^{b}	6.1±0.5^{a}	5.0±0.4^{b}
1.0	6.2±0.5^{a}	4.0±0.2^{c}	5.8±0.3^{a}	4.2±0.2^{c}

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

6. 우주김치 최종제품 제조 및 품질평가

본 연구에서는 우주김치 개발을 목적으로 멸균을 위해 방사선 조사기술을 사용하였으나 감마선 조사에 의해 저하된 관능적 품질을 개선하기 위한 여러 가지 식품가공기술을 도입한 병용처리기술에 대한 연구가 수행되었다. 앞선 연구결과를 토대로 방사선 조사기술 및 관능품질 개선을 위해 다양한 병용처리기술을 조합한 우주김치 최종 제조 공정도를 Fig. 17에 나타냈다. 즉, 숙성 적기의 김치에 파프리카추출액 0.2%, 김치 향 0.2%, 비타민 C 0.3%, calcium lactate 0.01%를 각각 첨가한 후 질소치환 포장한 다음 포장된 김치를 60℃ 온수에 30분간 담그고 deep-freezer에서 3일간 냉동시켜 드라이아이스를 채운 상자에 넣은 후 25 kGy의 흡수선량으로 감마선을 조사하여 우주김치를 제조하였다. 최종 공정에 의해 제조된 우주김치는 어떠한 처리도 하지않은 비처리 대조구와 관능품질 비교를 실시하였으며 그 결과를 Table 21에 나타내었다. 제조된 우주김치의 초기 관능적 품질은 비처리 대조구와 유사하였으나 35℃에서 저장 기간에 따라 비처리 대조구의 관능적 품질은 저하되는 반면 우주김치의 관능적 품질은 유지되는 경향을 나타내었다. 비처리 대조구의 경우 35℃에서 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℃에서 30일간 저장 후에도 관능적 품질이 유지되는 것으로 나타났다. 이는 감마선조사 및 병용처리에 의해 우주김치 내 미생물이 멸균되었으며 여러 가지 식품첨가물에 의해 관능품질이 개선되고 유지되었다고 판단되었다. 그러나 이러한 병용처리에도 불구하고 아직까지 김치조직의 연화작용을 일으키는 요소 중 하나인 다양한 효소들을 불활성 시키지는 못하였으며 향후 생화학적인 기술들을 접목시켜 관능적 품질이 더 우수한 우주김치를 개발할 계획이다.

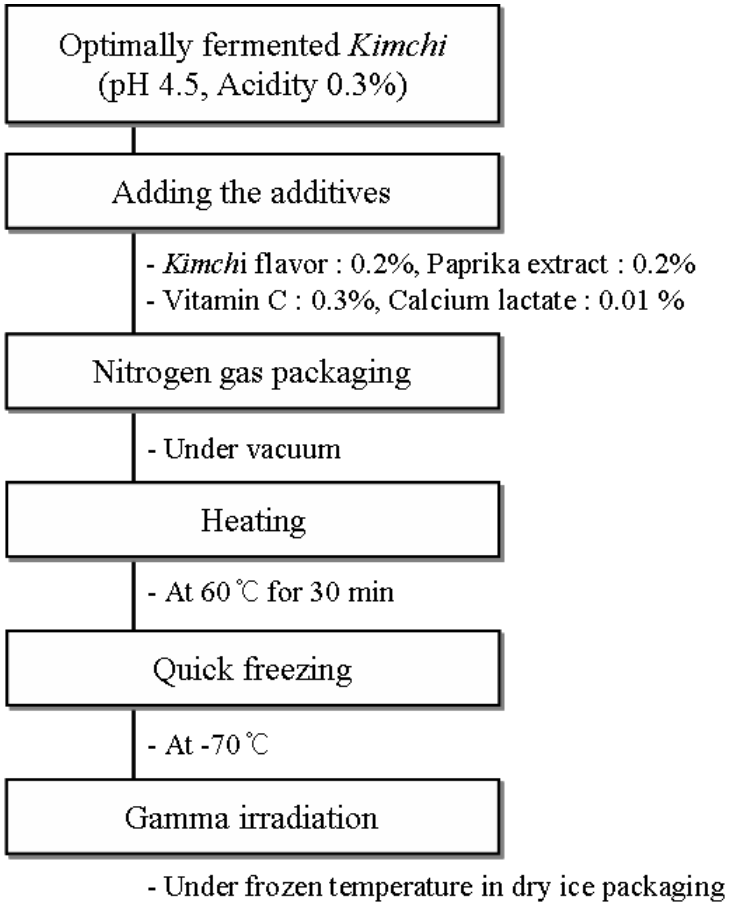


Fig. 17. Manufacturing processes of space Kimchi.

Table 21. Comparison of space Kimchi with the non-treated Kimchi in sensory quality during storage at 35℃

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 paprika extract 0.2%, artificial *Kimchi* flavor 0.2%, vitamin C 0.3% and calcium lactate 0.01%, and treated with N_2-packaging, heating at 60℃ for 30 min and gamma irradiation at 25 kGy under frozen temperature at -70℃.

제 5 절 결 론

우주공간과 같은 환경 극한환경에서의 식품 공급은 인간의 안정적인 생활을 지원하기 위한 기본사항이다. 다가오는 우주시대를 맞이하여 우리나라 우주인들의 건강을 위해 섭취할 한국형 우주식품의 연구개발이 필요한 것은 바로 이 때문이다. 따라서 우주개발시대를 맞이하여 우주임무를 수행하는 우주인들에게 보다 좋은 품질의 식품을 제공하기 위하여 국가적인 장기계획을 수립하고 이에 따른 순차적인 우주식품개발연구가 진행되어야 한다. 우주임무의 특성 및 기간에 따라 수개월 내에 완료되는 우주임무에는 단기저장 우주식품, 수년 동안 지속되는 우주임무에는 장기임무 식품시스템 그리고 우주기지 건설 후 지속적인 임무수행에서 요구되는 정착기지 식품시스템 개발에 대한 연구가 필요하다. 이에 따라, 현재 이용되고 있는 식품가공기술, 저장보존기술, 및 포장기술을 이용하여 한국형 단기저장우주식품을 개발하여 국제우주정거장에서 연구를 수행할 한국 우주인들이 이용할 수 있도록 하며, 향후 본격적인 우주개발시대를 맞이하여 장기 우주여행 및 우주기지용 미래우주식품 공급 시스템의 개발이 이루어져야 한다.

한국형 우주식품 개발의 일환으로 수행한 본 연구는 세계 5대 건강식품이며, 100대 문화 유산인 우리 고유의 전통발효식품인 김치를 우주, 사막, 심해 등 극한 환경에서도 장기간 보존하고 안정적으로 공급하기 위한 가공기술 개발을 그 목표로 수행하였다. 냉온살균법인 방사선 조사기술과 기타 식품가공, 첨가물 이용 방법 등을 융합하여 한국형 우주식품 개발을 위한 기초자료를 제공하고 더불어 절임류 발효식품의 수출 등 폭넓은 이용확대를 위한 선행결과를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

구체적으로 가열과 방사선의 병용처리가 김치의 저장성 증진에 매우 효과적이었으나, 관능적 품질저하가 나타났다. 이를 최소화하고 품질을 유지하기 위해 가스치환 포장방법인 질소치환법과 급냉동(-70℃) 조사를 실시한 결과, 김치의 저장성을 확보하고 품질을 만족시키기 위해 효과적인 것으로 판단되었다. 그러나 조직감의 저하를 방지하기 위한 다른 방법을 고려하여야 하였다. 이에 calcium lactate와 비타민 C를 첨가하여 김치 조직의 연화를 방지하고, 파프리카추출액과 김치향 첨가를 통해 극한 멸균에 의한 품질저하를 개선할 수 있었다.

결론적으로 기존의 식품가공/보존기술이 가지고 있는 문제점을 방사선 기술과의

용합을 통하여 해결하고 보다 안전하고 품질이 뛰어난 식품을 개발할 수 있을 것이다. 우주식품 가공/보존기술의 개발과 이에 따른 파급효과는 우리나라의 국제적 위상 제고에 이바지하게 되며, 개발된 우주식품은 미국 등의 선진국들과 마찬가지로 군 전투식량 및 비상/특수목적 식량으로 이용가능하다. 21세기 본격적인 우주시대를 맞이하여 우주왕복선은 물론 우주정착기지에서의 첨단식품시스템 및 인간생명지원 시스템의 개발로 미래의 우주시대를 선도할 수 있는 역량 강화하리라 여겨진다.

제 5 장 요 약

본 연구는 35℃에서 30일 저장동안 저장안정성과 고품질이 유지되는 김치 제조를 위해 첨가물, 질소치환포장, 가열 및 냉동상태 하에서 방사선 조사 병용처리를 실시하였고, 미생물, 이화학적, 관능적 품질 평가를 실시하였다.

1. 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 불가능 한 것으로 판단되었다. 따라서 이러한 관능적 품질저하를 최소화하기 위한 기타 식품가공기술과의 병용처리 기술 개발이 필요하였다.

2. 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. 이 후 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 산도, pH의 변화 역시 거의 없었다. 그러므로 가열과 감마선 병용처리는 가속저장 조건에서 김치의 저장안정성을 개선하고 관능적 품질을 유지하는데 효과적인 방법임을 알 수 있었다.

3. 질소치환포장, 가열 및 감마선 병용처리에 의한 효과

포장 내부에 있는 산소가 가열 및 감마선 조사에 의해서 김치의 이화학적, 관능적 품질에 미치는 영향을 평가하기 위하여 김치를 함기포장 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 함기포장에 비해 김치의 경도 및 관능적 품질이 높게 평가되었으며 이는 가스치환포장 하에 방사선 조사가 채소의 조직특성을 유지시켜 준다는 선행연구들과 일치하는 결과였다. 따라서 이후의 실험은 질소치환포장을 사용하여 진행되었다.

4. 온도에 따른 감마선 조사의 효과

질소치환포장 후 가열처리된 김치를 온도별로 감마선 조사하여 미생물학적, 이화학적, 관능적 품질평가를 실시하였다. 김치 샘플은 질소치환포장과 60℃에서 가열 후 25℃, -20℃, -70℃, -178℃에서 각각 25 kGy의 선량으로 감마선 조사되었다. 온도별 감마선 처리구의 미생물, pH 및 산도측정 결과 조사 시 온도에 상관없이 김치의 멸균이 확인되었으며, 관능검사 및 조직감 분석 결과 -70℃에서 감마선 조사 되었을 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. 따라서 -70℃에서의 감마선 조사는 관능적 품질저하를 방지하는데 있어 효과적인 것으로 판단되었다.

5. 식품첨가물에 의한 관능적 품질 개선 효과

가. 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 김치 의 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 경도변화는 적었다. 따라서 비타민 C의 첨가는 25 kGy로 감마선 조사된 김치의 경도변화 감소에 효과적이라고 판단되었다.

나. 칼슘염 첨가에 의한 효과

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 김치 〉 calcium chloride 김치 〉 calcium acetate 김치 순으로 나타났다. 조직, 맛, 풍미 및 종합적 기호도 역시 calcium lactate 김치 〉 calcium chloride 김치 〉 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℃에서 30일 저장 후 경도는 비조사구와 무첨가 병용처리구보다 더 높았다. 따라서 비타민 C와 calcium lactate의 첨가는 김치의 연화현상을 지연시키는데 효과적인 것으로 판단되었다.

다. 파프리카색소와 김치향의 풍미개선 효과

고선량 감마선 조사에 의한 김치의 탈색 및 이미, 이취로 인해 저하된 관능적 품질을 개선하기 위해 파프리카색소와 김치 flavor를 첨가한 후 관능적 품질평가를 실시하였다. 색도계를 통한 적색도 측정결과 파프리카색소 0.2% 첨가 시 무첨가 대조구와 유사한 수치를 보였으며 관능적 선호도도 가장 높았다. 또한 김치 flavor 0.2% 첨가 시 맛, 풍미, 종합적 기호도에서 가장 높은 평점을 얻었다. 따라서 파프리카색소와 김치 flavor의 첨가는 감마선 조사에 의해 저하된 김치의 풍미를 개선하는데 효과적이었다.

참 고 문 헌

1. Lane, H.W. and Schoeller, D.A. (1999) Overview: History of nutrition and spaceflight. In: Nutrition in spaceflight and weightlessness models. Lane, H. W. and Schoeller, D. A. (eds), CRC Press, NY, pp. 8-10.
2. Holland, A.W. and March, R.W. (1994) Psychological and psychiatric considerations. In: Space physiology and medicine. Nicogossian, A. E., Huntoon, C. L. and Pool, S. L. (eds), Lea and Febiger, Philadelphia, PA, pp. 424-434.
3. NASA (2003) Advanced Food TEchnology Workshop Report (Vol. I). In: Advanced Life Support Project Plan. CTSD-ADV-348 Rev C, JSC-29993, Houston, Texas, pp. 1-2.
4. Bourland, C.T., Fohey, M.F., Kloeris, V.L. and Rapp, R.M. (1989). Designing a food system for space station freedom. Food Technol, 43, 76.
5. Heighdelbaugh, N.D. (1966) Space flight feeding concepts: characteristics, concepts for improvement, and public health implications. J.A.V.M.A. 149, 1662-1671.
6. Smith, M.C., Heidelbaugh, N.D., Rambaut, P.C., Rapp, R.M., Wheeler, H.O., Huber, C.S., and Bourland, C.T. (1975) Apollo food technology. In: Biomedical results of Appolo. Johnston, R. S. and Dietlein, L. F. (eds). NASA SP-368, NASA, Washington D.C., pp. 437-484.
7. Lupton, J.R. and Turner, N.D. (2002) Nutrition in space. Nutrition, 18, 793.
8. NASA Johnson Space Center. (1996) Nutritional requirements for international space station missions up to 360 days. Report JSC-28038, NASA Johnson Space Center, Houston.
9. Bourland, C. T., Rapp, R. M. and Smith, M. C. (1977) Space shuttle food system. *Food Technol.*, 31, 40.
10. 육군교육사령부 (2004) 군사과학기술 발전추세. 병참발전방향. pp. 23-30.
11. GIA (2005) Food Irradiation - A historical review. In Food Irradiation Trends, Global Industry Analysts Inc., California, pp. 7-27.

12. De Bruyn (2001) Prospects of radiation sterilization of shelf-stable food. In: Irradiation for food safety and quality. (eds) Loaharanu, P. and Thomas, P. Proceedings of FAO/WHO International conference on ensuring the safety and quality of food through radiation processing. Technomic Publishing Co., Inc., Lanscaster. pp. 206-216.
13. Passos, M.H.C.R. and Kuaye, A.Y. (2002) Influence of the formulation, cooking time and final internal temperature of beef hamburger on the destruction of *Listeria monocytogenes*. *Food Cont.*, 13, 33-40.
14. Farkas, J. (1998) Irradiation as method for decontaminating food: A review. *Int. J. Food Microbiol.* 44, 189-204.
15. Thayer, D.W., Boyd, G., Fox, J.B., Lakritz, L. and Hampson, J.W. (1994) Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. *J. Food Sci.* 60, 63-67.
16. Thayer, D.W. and Boyd, G. (2001) Effect of irradiation temperature on inactivation of Escherichia coliO157:H7 and Staphylococcus aureus. *J. Food Prot.*, 64, 1624-1626.
17. Kang, I.J., Kwak, H.J., Lee, B.H., Kim, K.H., Byun, M.W., and Yook, H.S. (1998) Genotoxicological and acute toxicological safeties of gamma irradiated beef. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 30, 775-780.
18. Minnaar, A. (1998) Development of shelf stable, processed, low acid food products using heat-irradiation combination treatment. In: Combination processes for food irradiation. IAEA Panel proceeding series. Vienna, pp. 223-241.
19. Lee, C.W., Ko, C.Y. and Ha, D.M. (1992) Microfloral changes of the lactic acid bacteria during *Kimchi* fermentation and identification of the isolates. *Korean J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 20, 102-109.
20. Moon, K.D., Byun, J.A., Kim, S.J. and Han, D.S. (1995) Screening of natural preservatives to inhibit *Kimchi* fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 27, 257-263.
21. No, H.K., Park, I.K. and Kim, S.D. (1995) Extension of shelf-life of *Kimchi*

by addition of chitosan during salting. *J. Korean Soc. Food Nutr.*, 24, 932-936.

22. Cheigh, H.S. and Park, K.Y. (1994) Biochemical, microbiological and nutritional aspects of *Kimchi* (Korean fermented vegetable products). *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 34, 175-203.
23. Chung, D.K. and Yu, R.N. (1995) Antimicrobial activity of bamboo leaves extracts on microorganisms related to *Kimchi* fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 27(6), 1035-1038.
24. Lee, J.K., Lee, H.S., Kim, Y.C., Joo, H.K., Lee, S.H. and Kang, S.M. (2000) Effects of addition of adipic acid-resistant strains on extending shelf-life of *Kimchi*. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 32(2), 424-430.
25. Pyun, Y.R., Shin, S.K., Kim, J.B. and Cho, E.K. (1983) Studies on the heat penetration and pasteurization conditions of retort pouch *Kimchi*. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 15, 414-420.
26. Ko, Y.T. and Baik, I.H. (2002) Changes in pH, sensory properties and volatile odor components of *Kimchi* by heating. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 34, 1123-1126.
27. Gil, G.H., Kim, K.H. and Chun, J.K. (1984) Thermal process evaluation and simulation in a pilot scale *Kimchi* pasteurizer. *J. Korean Agric. Chem. Soc.*, 27, 55-63.
28. Lee, N.J. and Chun, J.K. (1982) Studies on the *Kimchi* pasteruization. *J. Korean Agric. Chem. Soc.*, 25, 197-200.
29. Park, K.J. and Woo, S.J. (1988) Effect of Na-acetate, Na-malate and K-sorbate on the pH acidity and sourness during *Kimchi* fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 20, 40-44.
30. Jung, H.O., Chung, D.O. and Park, I.D. (2002) A study on sensory characteristics of herb onion *Kimchi* differing in herb content. *Korean J. Culinary Res.*, 8, 259-265.
31. Lee, S.H., Cho, O.K., Choi, W.J. and Kim, S.D. (1998) The effects of mixed medicinal herb extracts with antimicrobial activity on the shelf-life of

Kimchi. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 30, 1404-1408.

32. Lee, M.Y. and Kim, S.D. (2003) Calcium lactate treatment after salting of chinese cabbage improves firmness and shelf-life of *Kimchi*. *J. Food Sci. Nutr.*, 8, 270-277.
33. Park, W.P., Park, K.D., Cheong, Y.J. and Lee, I.S. (2002) Effect of calcium powder addition on the quality characteristics of *Kimchi*. *J. Korean Soc. Food Nutr.*, 31, 428-432.
34. Park, W.P. and Kim, Z.U. (1991) The effect of salt concentration on *Kimchi* fermentation. *J. Korean Agric. Chem. Soc.*, 34, 295-297.
35. Ko, Y.D., Kim, H.J., Chun, S.S. and Sung, N.K. (1994) Development of control system for *Kimchi* fermentation and storage using refrigerator. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 26, 199-203.
36. Kim, S.D. and Lee, S.H. (1988) Effect of Sodium Malate Buffer as pH Adjuster on the Fermentation of *Kimchi*. *J Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 17, 358-364.
37. FAO/IAEA/WHO Study Group. (1999) High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. In WHO technical report series 890. World Health Organization, Geneva. p.49-77.
38. Byun, M.W. (1997) Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci. Ind.*, 30, 89-100.
39. Grant, I.R. and Patterson, M.F. (1992) Sensitivity of foodborne pathogens to irradiation in the components of a chilled ready meal. *Food Microbio.*, 9, 95-103.
40. Kim, M.J., Park, J.G., Kim, J.H., Park, J.N., Lee, H.J., Kim, W.G., Lee, J.W. and Byun, M.W. (2006) Combined effect of heat treatment and gamma irradiation on the shelf-stability and quality of packaged *Kimchi* during acceleration storage condition. *Korean J. Food Preservation*, 13, 531-537.
41. Kim, A.Y. and Thaye, D.W. (1996) Mechanism by which gamma irradiation increases the heat sensitivity of Salmonella Typhimurium ATCC 14028 to heat. *Appl. Environ. Microbiol.*, 62, 1759-1763.

42. Ben-Arie, R. and Barkai-Golan, R. (1969) Combined heat-radiation treatments to control storage rots of Spadona pears. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 20, 687-690.
43. Byun, M.W., Cha, B.S., Kwon J.H., Cho, H.O. and Kim, W.J. (1989) The combined effect of heat treatment and irradiation on the inactivation of major lactic acid bacteria associated with *Kimchi* fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 21, 185-191.
44. Huxsoll, C.C. and Bolin, H.R. (1989) Processing and distribution alternatives for minimally processed fruit and vegetables. *Food Technol.*, 43, 124-128.
45. Kader, A.A., Zagory, D. and Kerbel, E.L. (1989) Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 28, 1-30.
46. Myers, R.A. (1989) Packaging considerations for minimally processed fruits and vegetables. *Food Technol.,* 43, 120-126.
47. Ahn, H.J., Kim, J.H., Kim, J.K., Kim, D.H., Yook, H.S. and Byun, M.W. (2005) Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.). *Food Chem.*, 89, 589-597.
48. Kim, J.K., Jo, C.Kim, H.J., Lee, J.W., Hwang, H.J. and Byun, M.W. (2005) Microbiological safety of minimally processed white radish in modified atmosphere packaging combined with irradiation treatment. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 37(1), 11-14.
49. 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.
50. Swallow, A.J. (1997) Chemical effects of irradiation. In: Elias, P.S., Cohen, A.J. (Eds.), Radiation Chemistry of Major Food Components. Elsevier Scientific, Amsterdam, pp. 5-20.
51. Farkas, J. (1997) Physical methods of food preservation, In M. P. Doyle, L. R. Beuchat, and T. J. Montville (ed.), Food microbiology fundamentals and frontiers. p 497-519. American Society for Microbiology, Washington, D.C.

52. Niemira, B.A., Fan, X. and Sommers, C.H. (2002) Irradiation temperature influences product quality factors of frozen vegetables and radiation sensitivity of inoculated Listeria monocytogenes. *J. Food Prot.*, 65, 1406-1410.
53. Valdivia, M.A., Bustos, M.E., Ruiz, J. and Ruiz, L.F. (2002) The effect of radiation in the quality of the avocado frozen pulp. *Radiat. Phys. Chem.*, 63, 379-382.
54. Xiong, Y.L., Decker, E.A., Robe, G.H. and Moody, W.G. (1993) Gelation of crude myofibrillar protein isolated from beef heart under antioxidant conditions. *J. Food Sci.*, 58, 1241-1244.
55. Chen, X. and Ahn, D.U. (1998) Antioxidant activities of six natural phenolics against lipid oxidation induced by Fe^{2+} or ultraviolet light. *JAOAC*, 75, 1717-1721.
56. MeFeeters, R.F. and Fleming, H.P. (1991) pH effect on calcium inhibition of softerning of cucumber mesocarp tissue. *J. Food Sci.*, 56, 730-732.
57. Park, I.K., Chung, I.K., Kim, S.D. and Gross, K.C. (2001) Effects of heat treatment of Brassica campestris (Baechu) on the content of moisture, Na+, Ca2+ and calmodulin gene during salting. *Food Sci. Biotech.*, 10, 128-131.
58. McFeeters, R.S. (1992) Cell wall monosaccharide changes during softening of brined cucumber mesocarp tissue. *J. Food Sci.*, 57, 937-940.
59. Kim, D.H., Yook, H.S., Youn, K.C., Sohn, C.B., and Byun, M.W. (2001) Changes of microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated Kochjang (fermented hot pepper paste). *Korean J. Food Sci. Technol.*, 33, 72-77.
60. Cha, B.S., Kim, W.J., Byun, M.W., Kwon, J.H., & Cho, H.O. (1989) Evaluation of gamma irradiation for extending the shelf-life of *Kimchi*. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 21, 109-119.
61. Kang, S.S., Kim, J.M. and Byun, M.W. (1988) Preservation of *Kimchi* by ionizing radiation. *Kor. J. Food Hygiene*, 3, 225-232.
62. Song, H.P., Kim, D.H., Yook, H.S., Kim, H.S., Kwon, J.H. and Byun, M.W.

(2004) Application of gamma irradiation for aging control and improvement of shelf-life of *Kimchi*, Korean salted and fermented vegetables. *Radiat. Phys. Chem.*, 71, 55-58.

64. Kerwin, J. and Seddon, R. (2002) Eating in space - from and astronaut's perspective. *Nutrition*, 18, 921-925.
65. Turner, T.R. and Sanford, D.D. (1974) Skylab food system TMX-58139. Houston, TX: NASA-JSC.
65. Lane, H.W., Smith, S.M., Rice, B.L., Bourland, C.T. (1994) Nutrition in space. Lessons from the past applied to the future. *Am J Clin Nutr*, 60, 801S-805S.
66. Bourland, C.T., Fohey, M.F., Rapp, R,M. and Sauer, R.L. (1982) Space shuttle food package development. *Food Technol.* 36, 38.
67. Bourland, C.T. (1993) The development of food systems for space. *Trends Food Sci Technol*, 4, 271.
68. Vodovotz, Y., Smith, S.M. and Lane, H.W. (2000). Food and nutrition in space: application to human health. Nutrition, 16, 534.
69. Labuza, T.P., Fu, B. and Taoukis, P.S. (1992) Prediction for shelf life and safety of minimally processed CAP/MAP chilled foods: A review. *J Food Prot.* 55, 741-750.
70. Booth, I. and Kroll, R.G. (1989) The preservation of foods by loe pH. *In* Mechanisms of action of food preservation procedures. Gould GW. (ed.). Elsevier Science Publishers. London, England.
71. Casaburri, A. and Gardner, C. (1999) Space Food and Nutrition: An Educator's Guide with Activities Report No: NASA-NNEG-1999-02-115-HQ.
72. Bourland, C., Kloeris, V., Rice, B.L. and Vodovotz, Y. (2000) Food systems for space and planetary flight. In: Lane HW, Schoeller DA, eds. Nutrition in spaceflight and weightlessness models. Boca Raton: CRC Press, 19.
73. Smith, S.M. and Heer, M. (2002) Calcium and bone metabolism during space flight. *Nutrition*, 18, 849-852.

74. Heer, M. (2002) Nutritional interventions related to bone turnover in European space missions and simulations models. *Nutrition*, 18, 853-856.
75. Lane, H.W., LeBlanc, A.D., Putcha, L. and Whitson, P.A. (1993) Nutrition and human physiological adaptations to spaceflight. *Am J Clin Nutr.*, 58, 583.
76. Huber, C.S., Heidelbaugh, N.D., Smith, M.C. and Klicka, M. (1972) Space foods. In: Birch GG, Green LF, Plaskett LG, eds. Health and food. New York: John Wiley and Sons, 130.
77. 이주희, 김연규, 윤지연, 김종우, 최기혁, 김진철. (2005) 한국 우주인의 수행임무에 대한 분석. *한국우주과학회보* 14(1):61.
78. Buescher, R.W., Hudson, J.M. and Adams, J.R. (1979) Inhibition of polygalacturonase softening of cucumber pickes by calcium chloride. *J. Food Sci.*, 44, 1786-1789.
79. Association of Korean Standardization (1992) General Method of Organoleptic Test, KS A7001.
80. Kim, M.K. and Kim, S.H. (2003) Fermentation characteristics of *Kimchi* treated with different methods of green tea water extracts. *Korean J. Food Preserv.*, 10, 354-359.
81. Park, K.J., Jung, S.W., Park, B.I., Kim, Y.H., and Jeong, J.W. (1996) Initial control of microorganism in *Kimchi* by the modified preparation method of seasoning mixture and the pretreatment of electrolyzed acid-water. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28, 1104-1110.
82. Hwang, J.H., Yu, K.W. and Lee, K.H. (2004) Studies on the pasteurization conditions for long-term storage of *Kimchi*. Food Eng. Prog., 8(1), 30-39.
83. IAEA. (1981) Combination processes in food irradiation (Proc. Symp., Colombo, 24-28 Nov. 1980, IAEA/FAO), IAEA, Vienna, pp. 3-335.
84. Leistner, L., Rodel, W. and Krispien, K. (1981) Microbiology of meat and meat products in high- and intermediate-moisture ranges, in water activity: Influences on food quality. Rockland, L. B. and Stewart, G. F. (eds), Academic Press, Orlando, FL, pp. 855-916.

85. Park, H.O., Kim, K.H. and Yoon, S. (1990) A study of characteristics of pectinesterase, polygalacturonase and peroxidase in *Kimchi* materials. *Korean J. Dietary Culture*, 5, 443-448.
86. Baek, H.H., Lee, C.H., Woo, D.H., Park, K.H., Pek, U.H., Lee, K.S. and Nam, S.H. (1989) Prevention of pectinolytic softening of *Kimchi* tissue. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 21, 149-153.
87. Kim, H.J., Lee, J.J., Chung, K.S. and Choi, S.Y. (1999) Pectin-degrading enzymes of *Kimchi* ingredients. Korean J. Food Sci. Technol., 31, 263-266.
88. Choi, Y.M., Whang, J.H., Kim, J.M. and Suh, H.J. (2006) The effect of oyster shell powder on the extension of the shelf-life of *Kimchi*. *Food Control*, 17, 695-699.
89. Kim, D.H., Song, H.P., Yook, H. S., Ryu, Y.G. and Byun, M.W. (2004) Isolation of enteric pathogens in the fermentation process of *Kimchi* (Korean fermented vegetable) and its radicidatino by gamma irradiation. *Food Control*, 15, 441-445.
90. Mheen, T.L. and Kwon, T.W. (1984) Effect of temperature and salt concentration on *Kimchi* fermentation. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.*, 16, 443-450.
91. Cho, Y. and Rhee, H.S. (1993) Effect of lactic acid bacteria and temperature on *Kimchi* fermentation (II). *Korean J. Soc. Food Sci.*, 7, 89-95.
92. Nayak, C.A., Suguna, K., Narasimhamurthy, K. and Rastogi, N.K. (2007) Effect of gamma irradiation on histological and textural properties of carrot, potato and beetroot. *J. Food Eng.*, 79, 765-770.
93. Prakash, A., Manley, J., DeCosta, S., Caporaso, F. and Foley, D. (2002) The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of dices tomatoes. *Radiat. Phys. Chem.*, 63, 387-390.
94. Drake, S.K. and Spayd, S.E. (1983) Influence of calcium testament on golden delicious apple quality. *J. Food Sci.*, 48, 403-406.
95. McCready, R. M. and McComb, E. A. (1954) Pectic constituents in ripe and unripe fruit. *Food Resour.*, 19, 530-534.

96. Sommers, C.H. and Thayer, D.W. (2000) Survival of surface inoculated Listeria monocytogenes on commercially available frank-furters following gamma irradiation. *J. Food Saf.*, 20, 127-137.
97. Diehl J.F. (1995) Safety of irradiated foods. Marcel Dekker. New York.
98. Sommers, C.H., Niemira, B.A., Tunick, M.H. and Boyd, G. (2002) Effect of temperature on the radiation resistance of virulent Yersinia enterocolitica. *Meat Science*, 61, 323-328.
99. Thayer, D.W. and Boyd, G. (1994) Control of enterotoxic *Bacillus cereus* on poultry or red meats and in beef gravy by gamma irradiation. *J. Food Prot.* 57, 758-764.
100. Farkas, J. (1987) Decontamination, including parasite control of dried, chilled and frozen foods by irradiation. *Acta Aliment*, 16, 351-384.
101. Sommers, C., Fan, X., Niemira, B. and Rajkowski, K. (2004) Irradiation of ready-to-eat foods at USDA'S eastern regional research center-2003 update. *Radiat. Phys. Chem.*, 71, 509-512.
102. Hong, S.I. and Park, W.S. (2000) Use of color indicators as an active packaging system for evaluating *Kimchi* fermentation. *J. Food Eng.*, 46, 67-72.
103. Kim, J.H., Park, J.G., Lee, J.W., Kim, W.G., Chung, Y.J. and Byun, M.W. (2007) The combined effects of N_2-packaging, heating and gamma irradiating on the shelf-stability of *Kimchi*, korean fermented vegetable. Food Control, in press.
104. Furuta, M., Dohmaru, T., Katayama, T., Toratani,H. and Takeda, A. (1992) Detection of irradiated frozen meat and poultry using carbon monoxide gas as a probe. *J. Agric. Food Chem.* 40, 1099-1100.
105. Raffi, J. and Agnel, J. (1983) Influence of the physical structure of irradiated starches on their electron spin resonance spectra kinetics. *J. Phys. Chem.*, 87, 2369-2373.
106. Yang, J.H., Park, S.H., Yoo, J.H., Lim, H.S., Jo, J.S. and Hwang, S.Y. (2003) Effect of freezing methods for *Kimchi* storage stability on physical

properties of Chinese cabbage. *Korean J. Food Cult.*. 18, 105-110.

107. Yoshida, H. and Takagi, S. (1999) Antioxidative effects of sesamol and tocopherols at various concentrations in oils during microwave heating. *J. Sci. Food Agric.*, 79, 220-226.
108. Lee, Y.H. and Rhee, H.S. (1986) The changes of pectic substances during the fermentation of *Kimchi*. *Korean J. Soc. Food Sci.*, 2, 54-58.
109. Magee, R.L., Caporaso, F. and Prakash, A. (2003) Effects of exogenous calcium salt treatments on inhibiting irradiation-induced softening in diced Roma tomatoes. *J. Food Sci.*, 68, 2430-2435.
110. Gunes, G., Hotchkiss, J.H., and Watkins, C.B. (2001) Effects of gamma irradiation on the texture of minimally processed apple slices. *J. Food Sci.*, 66, 63-67.
111. Fan, X., Niemira, B.A., Mattheis, J.P., Zhuang, H. and Olson, D.W. (2005) Quality of fresh-cut apple slices as affected by low dose ionizing radiation and calcium ascorbate treatment. *J. Food Sci.*, 70, 143-148.
112. Luna-Guzman, I. and Barrett, D.M. (2000) Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biol. Tec.*, 19, 61-72.

감사의 글

먼저 석사 때부터 이 논문이 완성되기까지 무한한 인내와 관심과 격려로 늘 변함없이 따뜻하게 지도해 주신 지도교수 김경수 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 저를 만학의 길로 이끌어 주시고 용기와 격려로 지도해 주시고 훌륭한 가르침으로 이 자리에 있게 하여 주신 방사선과학연구소 변명우 소장님께 깊은 감사를 드립니다. 바쁘신 와중에도 세심한 배려와 심사를 해주신 본교의 이명렬 교수님, 신용진 교수님 그리고 먼 길을 마다치 않고 오셔서 심사를 해주신 경북대학교 권중호 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

학위를 마치기까지 많은 관심을 가지고 보살펴 주신 박종근 회장님, 그린피아 기술(주) 박순연 사장님과 나희갑 이사, 이광우 공장장, 김광훈 실장, 김숭호 부장, 박종걸 부장, 하영기 부장 등 모든 임직원들과 평소 다정한 격려와 조언을 주었던 식품신문 김봉두 사장님, 친구 이원삼 사장, 업죤 OB 선후배등 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

가족처럼 언제나 함께한 식품분석실 식구들에게 고마움을 전합니다. 홍철희, 박은령, 이정민, 송현파, 정양모, 한규재 박사님, 전삼녀, 김왕근, 정찬희, 김준형, 노기미, 심성례, 양수형, 유근영, 김원, 정민석, 황인민, 그리고 멀리 떨어져 있는 저에게 여러가지 소식을 전하여 주고 학위과정 처음부터 끝까지 작은 일이든 큰일이든 늘 꼼꼼히 챙겨준 서혜영 선생님께 진심으로 고마움을 전합니다.

실험과정 등 많은 도움과 조언을 아끼지 않았던 방사선 과학연구소 생명공학팀의 이주운 박사님, 김재훈 박사님께 감사를 드립니다. 노영창 센터장님, 조성기 센터장님, 황덕구 부장님, 김동호 박사님 등 연구소 모든 박사님들께 고맙다는 인사를 드립니다.

또한 본업과 학업을 병행하는 일이 결코 쉽지는 않았지만 무사히 마칠 수 있게 된 것을 뒤 돌아보면 그 동안 저를 도와준 많은 고마운 분들이 계셨다는 것을 다시금 생각게 합니다. 좁은 지면에 그분들을 일일이 열거하면서 감사의 마음을 전하지

는 못하지만 이 모든 것이 결코 저 혼자의 힘만으로 된 것이 아니었음을 고백하지 않을 수 없습니다.

오늘이 있기까지 격려를 아끼지 않았던 큰형님, 큰형수, 큰매형, 큰누나, 시카고의 작은누나, 매형, 스위스의 형수와 조카, 둘째매형, 누나, 동생, 조카들에게도 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 학문의 길을 계속 할 수 있도록 사랑으로 모든 것을 감수 하면서 내조를 아끼지 않았던 아내 엄혜경과 자랑스런 아들 동욱과 이 기쁨을 나누고 싶습니다.

2007년 6월

김 관 수

저작물 이용 허락서

학 과	응용과학과	학 번	20047501	과 정	박사
성 명	한글: 김관수 한문 : 金寬洙 영문 : Kim, Kwan-Soo				
주 소	서울시 영등포구 여의도동 43-4,5 롯데캐슬아이비 101-2605호				
연락처	E-MAIL : kskim9@lycos.co.kr				
논문제목	한글 : 방사선 병용기술을 이용한 한국형 우주김치 개발 영어 : Development of Korean-designed Astronaut *Kimchi* by Using Radiation-combined Technology				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(O) 반대( )

2007년 8월 일

저작자: 김 관 수 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하