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]I804:24011-200000240333

2010年 8月
博士學位論文

향신 채소류의 휘발성 유기성분에 대한 감마선 및 전자선 조사의 영향

朝鮮大學校 大學院

食品營養學科

金 俊 亨

2010年 8月 博士學位論文

향신 채소류의 휘발성 유기성분에 대한 감마선 및 전자선 조사의 영향

金 俊 亨

향신 채소류의 휘발성 유기성분에 대한 감마선 및 전자선 조사의 영향

Effect of Gamma Ray and Electron Beam Irradiation on Volatile Organic Compounds of Spicy Vegetables

2010年 8月 日

朝鮮大學校 大學院

食品營養學科

金 俊 亨

향신 채소류의 휘발성 유기성분에 대한 감마선 및 전자선 조사의 영향

指導敎授　金　敬　洙

이 論文을 博士學位 申請論文으로 提出함.

2010年　4月

朝鮮大學校 大學院

食品營養學科

金　俊　亨

金俊亨의 博士學位論文을 認准함

委員長	朝鮮大學校	인
委　員	又松大學校	인
委　員	慶北大學校	인
委　員	食品醫藥品安全廳	인
委　員	朝鮮大學校	인

2010年　6月

朝鮮大學校　大學院

목　　차

ABSTRACT ····· **xi**

제 1 장 서　론 ····· **1**

제 2 장 재료 및 방법 ····· **12**

제 1 절 실험재료 및 기기 ····· **12**

1. 재료 ····· 12

가. 시료준비 및 동결건조 ····· 12

나. 감마선 조사 ····· 12

가. 전자선 조사 ····· 12

2. 시약 ····· 13

3. 기기 ····· 13

제 2 절 휘발성 유기성분 추출 및 분석 ····· **14**

1. 연속수증기증류추출법(SDE)에 의한 휘발성 유기성분의 추출 ····· 14

가. 휘발성 유기성분의 추출 ····· 14

나. 추출된 유기성분의 농축 ····· 14

2. 휘발성 유기성분의 분리 및 분석을 위한 최적의 기기분석 조건 수립 ····· 16

가. Gas chromatography/mass spectrometry(GC/MS)의 분석조건 ····· 16

나. 휘발성 화합물의 확인 및 정량 ····· 18

다. Retention index 수립 ····· 18

제 3 장 결과 및 고찰 ····· 45

제 1 절 휘발성 유기성분 분석조건 수립 ····· 21

1. 휘발성 유기성분의 분석기기 조건 ····· 21
2. *n*-Alkane의 머무름 지수 ····· 21

제 2 절 감마선 조사에 의한 향신 채소류의 휘발성 유기성분 특성 ····· 24

1. 감마선 조사로 인한 고춧가루의 휘발성 유기성분 변화 ····· 24
2. 감마선 조사로 인한 생강의 휘발성 유기성분 변화 ····· 32
3. 감마선 조사로 인한 대파의 휘발성 유기성분 변화 ····· 41
4. 감마선 조사로 인한 마늘의 휘발성 유기성분 변화 ····· 48
5. 감마선 조사로 인한 양파의 휘발성 유기성분 변화 ····· 55

제 3 절 전자선 조사에 의한 향신 채소류의 휘발성 유기성분 특성 ····· 62

1. 전자선 조사로 인한 고춧가루의 휘발성 유기성분 변화 ····· 62
2. 전자선 조사로 인한 생강의 휘발성 유기성분 변화 ····· 69
3. 전자선 조사로 인한 대파의 휘발성 유기성분 변화 ····· 77
4. 전자선 조사로 인한 마늘의 휘발성 유기성분 변화 ····· 83
5. 전자선 조사로 인한 양파의 휘발성 유기성분 변화 ····· 89

제 4 절 고선량 조사가 향신료의 휘발성 유기성분에 미치는 영향 ····· 95

1. 고선량 조사된 고춧가루의 감마선 및 전자선 선원별 비교 ····· 95
2. 고선량 조사된 생강의 감마선 및 전자선 선원별 비교 ····· 101
3. 고선량 조사된 대파의 감마선 및 전자선 선원별 비교 ····· 108
4. 고선량 조사된 마늘의 감마선 및 전자선 선원별 비교 ····· 114

5. 고선량 조사된 양파의 감마선 및 전자선 선원별 비교 ····· 120

제 4 장 요약 ····· 126

참고문헌 ····· 131

표 목 차

Table 1. Countries and food items in permitted to irradiation ····· 7

Table 2. Applications of food irradiation ····· 8

Table 3. Irradiated foods approved, irradiation purpose and dose limit in Korea · 9

Table 4. GC/MS conditions for analysis of volatile organic compounds ·· 17

Table 5. Retention time of *n*-alkanes for gas chromatographic retention index · 23

Table 6. Volatile organic compounds identified in non- and gamma ray irradiated red pepper powder ····· 29

Table 7. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and gamma irradiated red pepper powder ····· 31

Table 8. Volatile organic compounds identified in non- and gamma irradiated dried ginger ····· 37

Table 9. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and gamma irradiated dried ginger ····· 40

Table 10. Volatile organic compounds identified in non- and gamma irradiated dried welsh onion ····· 45

Table 11. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and gamma irradiated dried welsh onion ····· 47

Table 12. Volatile organic compounds identified in non- and gamma irradiated dried garlic ····· 52

Table 13. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and gamma irradiated dried garlic ····· 54

Table 14. Volatile organic compounds identified in non- and gamma ray irradiated dried onion ····· 59

Table 15. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and gamma ray irradiated dried onion ····· 61

Table 16. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam irradiated red pepper powder ····· 66

Table 17. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and electron beam irradiated red pepper powder ····· 68

Table 18. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam irradiated dried ginger ····· 73

Table 19. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and electron beam irradiated dried ginger ··· 76

Table 20. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam irradiated dried welsh onion ····· 80

Table 21. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and electron beam irradiated dried welsh onion ····· 82

Table 22. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam irradiated dried garlic ····· 86

Table 23. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and electron beam irradiated dried garlic ··· 88

Table 24. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam irradiated dried onion ····· 92

Table 25. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and electron beam irradiated dried onion ····· 94

Table 26. Volatile organic compounds identified in non-, gamma ray and electronic beam irradiated red pepper powder at dose of 30 kGy ··· 98

Table 27. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non-, gamma ray and electronic beam irradiated red pepper powder at dose of 30 kGy ····· 100

Table 28. Volatile organic compounds identified in non-, gamma ray and electronic beam irradiated dried ginger at dose of 30 kGy ····· 104

Table 29. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non-, gamma ray and electronic beam irradiated dried ginger at dose of 30 kGy ····· 107

Table 30. Volatile organic compounds identified in non-, gamma ray and electronic beam irradiated dried welsh onion at dose of 30 kGy ····· 111

Table 31. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non-, gamma ray and electronic beam irradiated dried welsh onion at dose of 30 kGy ····· 113

Table 32. Volatile organic compounds identified in non-, gamma ray and electronic beam irradiated dried garlic at dose of 30 kGy ····· 117

Table 33. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non-, gamma ray and electronic beam irradiated dried garlic at dose of 30 kGy ····· 119

Table 34. Volatile organic compounds identified in non-, gamma ray and electronic beam irradiated dried onion at dose of 30 kGy ····· 123

Table 35. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non-, gamma ray and electronic beam irradiated dried onion at dose of 30 kGy ····· 125

도 목 차

Fig. 1. Diagram of simultaneous distillation and extraction(SDE) apparatus according to Likens and Nickerson ····· 15

Fig. 2. Analysis of volatile organic compounds from spicy vegetables ····· 20

Fig. 3. GC/MS total ion chromatogram of *n*-alkane standard mixture ····· 22

Fig. 4. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non- and gamma ray irradiated red pepper powder ····· 28

Fig. 5. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non- and gamma ray irradiated dried ginger ····· 60

Fig. 6. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non- and gamma ray irradiated dried welsh onion ····· 68

Fig. 7. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non- and gamma ray irradated dried garlic ····· 51

Fig. 8. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non- and gamma ray irradiated dried onion ····· 58

Fig. 9. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non- and electron beam irradiated red pepper powder ····· 65

Fig. 10. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non- and electron beam irradiated dried ginger ····· 72

Fig. 11. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non- and electron beam irradiated dried welsh onion ····· 79

Fig. 12. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non-

and electron beam irradiated dried garlic ····· 85

Fig. 13. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non- and electron beam irradiated dried onion ····· 91

Fig. 14. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non-, gamma ray and electron beam irradiated red pepper powder at dose of 30 kGy ····· 97

Fig. 15. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non-, gamma ray and electron beam irradiated dried ginger at 30 kGy ····· 103

Fig. 16. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non-, gamma ray and electron beam irradiated dried welsh onion at 30 kGy ·· 110

Fig. 17. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non-, gamma ray and electron beam irradiated dried garlic at 30 kGy ····· 116

Fig. 18. GC/MS total ion chromatograms of volatile organic compounds from non-, gamma ray and electron beam irradiated dried onion at 30 kGy ····· 122

ABSTRACT

Effect of Gamma Ray and Electron Beam Irradiation on Volatile Organic Compounds of Spicy Vegetables

Kim, Jun Hyoung
Advisor : Prof. Kim, Kyong-Su, Ph.D.
Department of Food and Nutrition
Graduate School of Chosun University

Spicy vegetables that give unique flavors to food have been developed as the food industry advanced. The effectiveness and effect of substances that promote physiological activity have been ascertained. Thus, use of such substances is on the increase and extensive studies of enhancement of food preservation by gamma ray irradiation and of easiness in distribution are being conducted. In relation to this, we intend to monitor changes induced using gamma ray and electron beam irradiation in major volatile components in spicy vegetables by investigating the change in major volatile components of major spicy vegetables and by investigating the effect of such irradiation at high dose on spicy vegetables.

1. Analysis of changes in volatile components of irradiated spicy vegetables by gamma ray

A. From red pepper, 38 types of volatile organic components were isolated and identified: alcohols(31.4%), aldehydes(35.8%), esters(21.2%), hydrocarbons (4.7%), ketones(4.5%), acids(0.6%) and heterocyclic compounds. Total amount of organic components was 118.98 mg/kg. Major components identified

included ethyl acetate, 2-methybutanal, 3-methylbutanal, hexanal, pyridine, 2-pentylfuran, benzaldehyde, linalool, (E,E)-2,4-decadienal, β-ionone, 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal and methyl linolenate. Total amount of volatile organic components showed an increasing trend in radiation dose, exceptionally decreasing at dose of 7 kGy.

B. From ginger, 70 types of volatile organic components were isolated and identified. The 33 types of components that belong to hydrocarbon families accounted for the largest proportion(83.8%), followed by alcohol, aldehyde, ketone and ester families. Major volatile organic components of dried ginseng included *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, *β*-bisabolene (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, germacrene D, (*Z*)-citral, camphene, *α*-zingibereneand, *β*-sesquiphellandrene, which accounted formost of organic components. The volatile organic component conten to fall irradiated ginseng specimen was higher than that of non-irradiated specimen with highest content observed in the specimen irradiated with a 7 kGy dose.

C. From welsh onion, 45 types of volatile organic components were isolated and identified. According to type of functional group, S-containing compounds accounted for the largest proportion, and aldehydes, alcohols, ketones, furans, esters, hydrocarbons and acids family were identified. Major volatile organic components included 2-methyl-2-pentenal, 2-tridecanone, propanethiol, 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane, dipropyl trisulfide and 2-propen-thiol. The total amount of volatile organic components of dried welsh onion specimen decreased with increasing irradiation doses with the lowest amount observed at irradiation dose of 10 kGy.

D. From garlic, a total of 47 types of volatile organic components were identified with 26 of them being S-containing compounds and accounting for 98.7% of

the total volatile organic components. Besides, alcohols, aldehydes and esters family were also identified. Major compounds included large amount of diallyl disulfide, diallyl trisulfide, methyl allyl disulfide, 3-(allylthio)propionic acid and methyl-2-propenyl trisulfide. The total content of volatile organic components of garlic decreased as irradiation doses increase. Consequently, major compound contents also slightly decreased.

E. From onions, a total of 40 types of volatile organic compounds were isolated and identified with 25 of types accounting for 71.5%: aldehydes, ketones and esters families were identified. Major volatile organic components of dried onions included dipropyl trisulfide, propanethiol and 2-methyl-2-pentanal. Among irradiated and non-irradiated groups, total content of volatile organic compound increased with increasing irradiation doses with the lowest content of volatile organic compound observed at 10 kGy. Total content of volatile organic components at irradiation dose of 10 kGy was higher than that at 7 kGy. The proportion of S-containing compounds in the specimen irradiated with dose of 10 kGy was lower than in a control irradiated with dose of 7 kGy, and was higher than in specimen irradiated with different dose of radiation and in non-irradiated groups.

2. Analysis of change in volatile organic components of irradiated spicy vegetables by electron beam

A. From red hot pepper powder irradiated with electron radiation, 39 types of compounds were identified. Major volatile organic components included ethyl acetate, 2-methybutanal, 3-methylbutanal, hexanal, pyridine, 2-pentylfuran, benzaldehyde, linalool, (*E,E*)-2,4-decadienal, β-ionone, 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, and methyl linolenate. The total amount of irradiated red hot pepper increased with an increasing dose of radiation although it decreased at

7 kGy. However, the highest amount of volatile organic components of red hot pepper was observed at a radiation dose of 10 kGy.

B. Total content of volatile organic components of dried ginger irradiated with electron radiation increased with increasing irradiation doses until at a dose of 3 kGy, decreased at 5 kGy and 7 kGy, and increased again at 10 kGy. Major volatile organic components included *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, *β*-bisabolene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, germacrene D, (*Z*)-citraland-camphene, most of them being Terpene family. Irradiation did not affect the over all proportion of hydrocarbon family. The amount of *β*-bisabolene decreased with increasing dose of irradiation but exceptionally decreased at a dose of 10 kGy. In contrast, the amount of 6-methyl-5-heptene-2-one and camphor decreased with an increasing dose of irradiation.

C. The amount of volatile organic components of welsh onion irradiated with electron radiation decreased with an increasing dose of irradiation. The lowest amount was observed at a dose of 7 kGy, but increased at 10 kGy. The amount of major aromatic substances of welsh onion such as 2-propenthiol, propylene sulfide, 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane increased with an increasing dose of radiation with the amount being highest at irradiation dose of 7 kGy. It showed a decreasing trend at the irradiation dose of 7 kGy or more. The amount of (*Z*)-propenyl propyl disulfide, (*E*)-propenyl propyl disulfide and dipropyl trisulfide increased with increasing doses of irradiation and with the highest amount show data dose of 5 kGy. It showed decreasing then data dose of 5 kGy or more.

D. Electron beam irradiated garlic was not considerably different from non-irradiated garlic in terms of proportion of functional groups as S-containing compound accounted for 97.6% to 98.9% of total 48~54 types

of compounds. Major volatile organic components included diallyl disulfide, diallyl trisulfide, methyl allyl disulfide, 3-(allylthio)propionic acid and methyl-2-propenyl trisulfide. Compared with non-irradiated specimen, total content of organic components decreased with increasing doses of irradiation. Consequently, the major compound contents also decreased.

E. The number of types of compounds identified from the onions irradiated with electron radiation was 40, and the proportion of each functional group was found similar between irradiated and non-irradiated specimen. The change in content was not significant. Major volatile organic compounds included dipropyl trisulfide, propanethiol and 2-methyl-2-pentanal. They decreased with an increasing dose of irradiation with the lowest amount observed at 7 kGy but slightly increased at 10 kGy.

3. Effect of irradiation with high doses of each radiation source on volatile organic components of spicy vegetables

Spicy vegetables exposed to high levels of radiation registered changes in their volatile organic component depending on the type of radiation.
The total volatile organic components of red pepper and ginger were higher in gamma ray and electron beam irradiated group than in non-irradiated sample, and its rate of increase was higher in electron beam irradiated group than in gamma ray irradiated specimen. The organic compounds of ginger such as α-zingiberene, (*Z,E*)-α-farnesene, *β*-myrcene, and limonene rendered similar results.

The total content of volatile organic components in welsh onions was higher in non-irradiated group than in gamma ray and electron beam irradiated group, and it registered lowest in group subjected to electron radiation. After exposure to either gamma ray or electron beam, content of 2-methyl-2-pentenal, (Z)-propenyl

propyl disulfide, and dipropyl trisulfide in Welsh onions decreased.

The total content of volatile organic components in garlic and onion decreased after irradiation with either gamma ray or electron beam, and registered the lowest in gamma ray irradiated group. The garlic's content of dially trisulfide was the lowest among all gamma ray irradiated control.

The content of major S-containing compound registered the highest in electron beam irradiated in onion. The content of aldehydes was lowest in gamma ray irradiated specimen. The content of propanethiol and dipropyl trisulfide decreased after irradiation and was lowest in electron beam irradiated control.

In this study, we found that irradiation with gamma ray or electron beam affected the volatile organic components by analyzing change in volatile aromatic components of spicy vegetables irradiated with gamma ray and electron beam. Although composition of major components changed, no compounds that are specific to irradiation were observed. The sensitivity of spicy vegetables to radiation source and dose differed by types of spicy vegetables although not highly correlated with extraction efficiency of volatile components after irradiation. Based on these results, we consider that more extensive studies are required to determine appropriate radiation source and dose that can be used to sterilize spicy vegetables while considering sterilization, energy efficiency, and extraction efficiency of useful components.

제 1 장 서 론

향신 채소류는 식품에 향미를 투여할 목적으로 사용되는 식품의 종실, 뿌리, 줄기, 꽃 등을 말한다. 예로부터 동서양을 막론하고 향신 채소류는 음식에 첨가함으로써 착색효과, 식품이 가진 좋지 않은 냄새나 맛을 교정하는 목적, 음식의 풍미의 증진 및 보존성을 높이기 위해 사용되어 왔다.

우리나라 국어대사전에 의하면 향신료란 "음식물에 맵게나 향기로운 맛을 더하는 조미료, 곧 겨자, 고추, 생강, 파, 마늘 등 식물의 뿌리, 줄기, 잎, 열매 등을 원료로 한다."로 정의하고 있다. 그러나 현재 상업상의 향신료라 하면 "향초(香草)"를 포함해 부르는 경우도 있지만 최근에는 향초를 herb라 하여 향신료와 별도로 분류하여 취급하고 있다. 미국 향신료무역협회에서는 "부엌의 조미료 선반에서 다루는 모든 식용 가능한 물질을 스파이스라고 명명한다. 여기에는 허브와 역사적으로 조미료라고 부르는 조미료 종미, 조미 혼합물 그리고 건조채소를 포함한다."라고 하였다(1).

향신료가 식품에 이용될 때는 직접적이고 다양한 효과 즉, 기능을 나타내는데, 색, 향기, 맛(매운맛, 쓴맛, 단맛) 등 식품에 직접적인 효과를 나타내는 기능과 그 효과를 나타내어 저장성 증진, 방부제, 착색제 등의 효과를 주는 기능과 생체 내에 여러 가지 생리활성을 나타내는 기능 등이 있다(2).

우리나라에서 주요 향신 채소류 중 고추는 가지과에 속하는 작물로 열대지방에서는 다년생, 온대지방에서는 1년생이며 매우 종류가 많은 초본이다(3,4). 고추에는 red pepper (*Capsicum annuum* L.)와 다바스코(*Capsicum frutescens* L.)의 두 계통이 있다. 고추는 열대 아메리카 대륙이 원산으로 콜롬부스가 신대륙을 발견한 이후 유럽으로 가져온 향신 채소류이며, 현재 우리나라에서 재배되고 있는 고추는 *Capsicum annuum* L.로서 재배종이 많을 뿐 아니라 넓은 재배면적을 차지하고 있다. 고추의 매운맛을 내는 주성분은 capsaicinoid류라 하는 화합물로서 vanillyamine과 C9-C11의 측쇄지방산이 acid amide를 이룬다(5,6). Capsaicinoid류에는 capsicin, dihydrocapsaicin, nordihydrocapsaicin, homocapsaicn, homodihydrocapsaicin, homodihydrocapsaicin 등이 알려져 있다. 이들 중에서 capsaicin과 dihydrocapsaicin 이 전체 capsaicinoid의 90%를 차지하는데 capsaicin 자체는 자극성이 강하고 사람을

비롯한 동물에 심한 매운 통증을 일으키게 된다. 또한, 매운 맛을 가진 성분들 중 구아이야콜 유도체들(guaiacol derivatives)이 우리나라 음식물의 풍미와 매우 깊은 관계가 있는 고추의 매운맛을 내는 성분이다(7). Capsaicin은 매운맛으로 식욕을 증진시켜주며, 김치 또는 기타 식품에서 미생물의 발육을 억제하는 역할을 한다. 또 인체에서 암 세포벽을 경화시킴으로 성장을 억제하는 역할을 해 항암작용의 효과도 있는 것으로 알려져 있다(8). 또 고추에는 capsanthin, cryptoxanthin, carotenes 등 각종 carotinoid류가 함유되어 있는데 주로 붉은 색의 주성분은 red carotenoid이며 red carotenoid에는 capsanthin과 capsorubin이 대부분을 차지하고 있다(9).

다년생 초본식물로 열대 아시아 지역이 원사지인 생강(*Zingiber officinale* Roseco)은 독특한 맛과 향을 가지고 있어 오래 전부터 우리의 식단뿐만 아니라 전 세계적으로 기호성이 우수한 향신 채소류로서 각광받고 있다(10,11). 예부터 생강은 복통, 요통, 설사 등의 치료제 및 살균제, 식용증진 및 소화촉진 등의 다양한 효능으로 한방의학용과 김치, 다류, 젓갈 등의 양념용과 가공용 및 화장품용으로 많이 이용되고 있다(12,13). 또한 생강과 같은 천연 향신 채소류들은 식품에 향미를 첨가하여 음식의 품미를 증진 시키는 목적으로 사용된다. 생강의 특유의 향기성분으로는 각종 monoterpene류 및 sesquiterpene류와 같은 방향성분과 생강 특유의 자극성 맛 성분이 gingerol, shogaol, zingerone등이 함유되어 있는 것으로 알려져 생강을 이용한 천연 향신료 산업이 활발해지고 있다(10,14).

대파는 독특한 자극적인 냄새와 매운 맛을 가진 Allyl sulfide 류를 함유하며 소화액을 분비시켜 식욕을 증가시키고, 몸을 따뜻하게 하는 등의 약효가 있다. 파의 자극성물질은 파(*Allium*)속류의 공통적인 냄새로서, 함황아미노산인 alliin을 함유하고 있기 때문이다. 세포가 파괴되어지면 alliinase가 작용해서 alliin을 분해해 강한 자극성 냄새가 나는 allicin을 생성하고 allicin이 분해되어 allyl sulfide류를 생성한다. 이 allyl sulfide는 vitamin B_1의 혈중농도를 높이는 작용을 하므로 vitamin B_1이 많은 식품과 같이 섭취하면 효과적이다(15). 대파의 건위, 살균, 이뇨, 발한(發汗), 정장(整腸), 구충(驅蟲), 거담(去痰) 등의 효과가 어느 정도 인정되고 있고, 대파의 혈소판 응집 억제작용(16) 등도 보고 되고 있다. 또한, 대파에 함유된 생리활성 성분 분석에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(17).

백합과(*Liliaceae*)에 속하는 다년생 식물인 마늘(*Allium sativum* L.)은 서부아시아

또는 중앙아시아가 원산지로서 우리나라를 비롯하여 중국, 일본 등 아시아 전 지역과 이탈리아, 남유럽 및 미국 등에서 재배되고 있다(18). 마늘의 품종으로는 의성, 서산, 삼척 등 내륙과 고위도지방에서 주로 재배하는 한지형과 제주, 남해, 해남, 무안 등 남해안 지방에서 주로 재배하는 난지형이 있다(19). 마늘은 많은 양의 유기황을 함유하고 있어 독특한 향미를 지니는데 예로부터 우리나라 식생활에서 필수적인 조미료 및 강장식품으로 애용되어 왔으며 육가공품, 통조림 등 가공식품의 향신 채소류로 각광 받고 있다(20).

마늘의 생리활성을 나타내는 성분은 allicin으로 마늘에 함유된 함황아미노산의 일종인 alliin이 alliinase에 의해 분해되면서 마늘 특유의 자극성 신미성분인 allicin을 생성한다. Allicin은 매우 불안정한 화합물로 다시 diallyl disulfide로 분해되며 alliin의 분해과정 중 생성된 pyruvic acid와 서로 작용하여 저급 황화합물 및 carbonyl 화합물을 생성한다(21). 결국 alliin의 분해 과정에서 생성된 allicin의 thiosulfinate 기가 SH기와 반응함으로써 세포대사가 억제되며(22), 혈압 강하 작용, 살충 및 항균작용, 항산화작용, 콜레스테롤 저하작용, 혈액응고 억제, 간보호작용, 면역항진작용, 항암 및 암예방효과 등의 건강유지에 효과적인 생화학적인 활성을 나타낸다(23-26).

양파(*Allium cepa* L.) 백합과에 속하는 다년생 식물로 서아시아 또는 지중해 연안이 원산지라고 추측하고 있으나 아직 야생종이 발견되지 않아 확실하지 않고, 다양한 기후 조건에서 생육할 수 있어 현재는 세계 각지에서 채소로 재배되지 않는 곳이 없을 정도로 많이 재배되고 있다. 양파는 맛에 따라 단양파(mild onion)와 매운양파(strong onion)로 분류되며(27) 한국에서 재배하는 품종으로는 찰황황·천주황·원예1호·원예2호·애지백·패총조생 등이 있다. 이러한 양파는 우리나라의 남부지방 특히 전남 무안 일대에서 전국재배면적의 47.2%를 차지하고 있는데, 독특한 맛과 풍미를 가지고 있어 주로 향신 조미료로 널리 사용되고 있다(28).

양파는 식품의 향신 조미료 외에 이집트, 인도, 로마, 중국 등에서 약재로도 애용되어 왔으며(29), 해열, 구충, 해독, 장염, 종양치료에서 사용해 왔다(30). 또한 양파의 성분 중 allicin이 항균작용 및 항진균작용도 있는 것으로 밝혀져 중요한 생리활성을 가지는 것으로 알려져 있다(31). 그 밖에 양파에 함유되어 있는 flavonoid계 성분인 quercetin, quercitrin 및 rutin 등과 함황 화합물인 allyl propyl disulifide 및 diallyl disulfide 등은 항산화작용을 나타내는 것으로 보고되었다(32).

이러한 향신 채소류들의 수요가 늘어남에 따라 생산량도 증가되었지만 이들은 수분 함량이 높아 유통기한이 짧고 저장 중 발아 및 부패 등 품질의 열화가 발생된다. 이를 개선하기 위한 위생화 처리 방안 중 가장 대표적으로 냉동 및 냉장 그리고 습도조절 등으로 인한 저장 조건의 개선이 있으나 이는 저장 기간의 한계와 비용 및 공간적 제약이 따른다. 다른 방법으로는 건조방법이 있으며 이는 시료를 장기간 저장 할 수 있고, 공간의 제약이 없으며 저장 조건에 대한 부담도 줄일 수 있는 장점이 있지만 그로 인해 각종 유해세균의 침입으로 인한 품질저하 및 건강상의 위해를 입힐 수 있다는 것이 문제로 대두되었다. 이를 해결하기 위한 제품의 위생화 과정으로 살균작업은 향신 채소류의 위생적 품질관리, 보존 및 유통기간 연장을 위하여 꼭 필요한 공정이라 할 수 있다(33-35).

종래의 살균을 위해 사용된 에틸렌옥사이드(ethylene oxide : C_2H_4O)는 식품 중에 잔류하여 인체에 암 등을 유발할 가능성이 있기 때문에 사용이 제한되고 있다(36-38). 또한 병해충의 구제를 위해 훈증제로 쓰이던 취화메틸(CH_3Br)은 유엔환경보호위원회(UNEP)에서 지구의 오존층 파괴물질로 지정되어 검역 등 일부 용도에만 한정되어 있다. 선진국은 2005년부터 사용이 금지되었으며 개도국은 2015년까지만 허용하고 있다. 때문에 이를 대체하기 위한 위생화 방법의 개선이 시급한 문제로 대두되고 있다.

더욱이 세계무역기구(WTO)의 농산물협정의 농산물의 교역이 증가됨에 따라 유해식품 및 외래 병해충의 국내 유입가능성이 높아지고, 국민소득의 증대에 따른 식품소비 패턴의 고급화, 다양화와 더불어 수입 농산물에 대한 소비자의 안전성 요구가 증대되고 있어 위생검역조치 또한 그 중요성이 증대되고 있다. 위생 및 식물검역조치의 적용에 관한 협정(Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures, 이하 SPS 협정이라 함)은 지금까지 자의적으로 운용해 온 동식물 검역을 국제적 기준으로 조화시켜 표준화함으로써 비관세 장벽을 없애고 자유무역을 확대하는 데에 그 목적을 두고 있어 이에 따라 과학적이고 국제협정에 근거한 검역이 요구되고 있는 실정이다(39). 특히 수출용 농산물은 수입국의 품질기준과 검역규제 장벽을 극복해야 하고, 검역대상 유기체의 경우 수입 전제조건으로 제시된 경계해충이나 위생지표 미생물에 대하여 완전박멸 방제기술(quarantine treatment)이 요구된다(39,40).

이에 효과적으로 대처할 수 있는 방사선 조사법은 살균, 살충, 발아억제, 숙도 조절의 목적으로 1921년 미국에서 처음으로 제안되어 1950년부터 많은 식품에 이용되고 있다(41). 오늘날 국제 무역에 있어 모든 식품에 대해 조사를 허용하고 있는 국제식품규격위원회(Codex)에서는 식품의 감마선 조사 기준이 권고에 머무르지 않고 OECD 가입국에 대해 강제적으로 시행되고 있는 만큼 조만간 우리나라에서도 식품의 감마선 조사 기술은 필수 불가결한 식품 위생 기술로 이용될 전망이다.

방사선 조사기술의 큰 장점은 식품을 완전히 포장한 상태에서 처리할 수 있는 위생화 기술로서 미생물 및 해충에 의한 이차적인 오염이 없이 안전하게 생산할 수 있는 점이다(42,43). 방사선 조사는 식품의 맛을 잃게 하거나 상하게 하는 생물학적 프로세스를 조절 할 수 있는 매우 효과적인 방법이다. 또한 방사선을 조사할 때 방사선에 의한 온도상승은 미미하여 품질, 성분 등의 변화를 수반하지 않기 때문에 냉장 및 냉동식품의 살균, 멸균에 있어 비가열적인 처리가 가능하다는 점이다. 아울러 방사선(감마선, 전자선, X선 등)이 식품에 균일하게 투과하기 때문에 균일처리 및 포장처리가 가능하고 연속적으로 대량처리가 용이하다는 특징이 있다(44,45).

이와 같이 식품의 가공, 저장 및 위생화 방법으로 알려진 방사선 조사기술은 식품의 저장기간 연장, 살충, 살·멸균, 건조식품의 물성개선 등에 효과가 탁월하다는 것이 인정되고 있다. 그러나 방사선 조사식품의 산업적 활용도 확산과 소비자의 수용성 제고를 위해서는 많은 노력과 시간이 필요한 실정이다(46-48).

방사선을 이용한 식품의 위생화 기술에 대한 관심은 1896년 독일에 의해 선보였고(49) 1920년대 초기에 시작됐다. 미국은 1950년대와 1960년대에 미국의 Natick Soldier 센터에서 군용양식에 대해 저선량 및 고선량의 조사실험을 실시하였으며 비슷한 시기에 영국은 저온 연구국 프로그램(Low Temperature Research Station programme)으로 저선량 저온살균에 집중하였다(50). 1980년대부터는 연구결과가 실용화되어 전 세계에서 산업적으로 활용되고 있다.

방사선 조사식품의 건전성은 세계보건기구(WHO), 국제식량농업기구(FAO), 국제원자력기구(IAEA), 세계무역기구(WTO) 및 미국 식품의약품청(USFDA) 등에서 식품의 보존 및 위생화 수단으로 그 건전성을 공인하였다(51-55).

세계보건기구(WHO)는 1999년에 10 kGy를 초과한 선량으로 조사한 식품의 건전성과 최고선량을 규정할 필요성 여부를 검토할 목적으로 최고선량에 관한 전문가위

원회를 개최하였다. 이 위원회는 "우수제조규범(GMP : Good Manufacturing Practice)을 전제로 하여 의도한 기술상의 목적을 달성하기 위해서 적정한 선량으로 조사한 식품은 적정한 영양을 갖고 안전하게 섭취할 수 있다"는 결론을 내렸다(56). 한편 Codex(FAO/WHO 합동 식품규격위원회)는 1983년에 10 kGy 이하의 조사를 인정하는 Codex 일반규격을 제정한 바 있으며 2003년에는 기술적인 필요성이 있으면 10 kGy 이상의 조사도 인정하는 Codex 규격을 채택하였다(57,58).

현재 세계적으로 많은 나라에서 그 건전성과 경제성이 공인되어 52개국에서 250여종의 식품에 방사선 조사를 허용하고 있으며(Table 1,2), 이들 국가 중 30여개 국가에서는 상업적 규모로 실용화되고 있다(59). 우리나라는 1991년에 일부식품에 대해 조사가 허용되었으며, 2004년에는 허용대상 식품이 확대되어 현재는 26개 품목에서 방사선 식품조사가 실시되고 있다(Table 3)(60).

그러나 방사선 조사 기술의 산업화는 관련규정을 바탕으로 소비자의 이해 증진과 더불어 발전될 것이므로 이를 뒷받침하기 위한 기술적 인프라의 확보가 요구된다. Codex에서는 식품의 방사선 조사는 허가식품을 규정된 허용선량으로 허가시설에서 실시하고, labelling을 의무화하고 있으며, EU에서는 "irradiated" 또는 "treated with ionizing radiation"이라는 단어를 방사선 조사식품 및 첨가물에 표시해야 하며, 방사선 조사된 첨가물이 최종 제품의 25% 이하를 차지할 지라도 위의 용어를 표기해야 한다고 규정하고 있다(61). 또한 국내에서는 조사마크(radura)를 직경 5 cm 이상 크기로 표시하도록 규정하고 있으며, 허용식품에 따른 조사선량도 규제하고 있다(62).

Table 1. Countries and food items in permitted to irradiation

Country	Food Item No.	Country	Food Item No.
Argentina	14	Italy	6
Australia	15	Japan	1
Austria	3	Korea	26
Bangladesh	21	Libya	6
Belgium	12	Luxembourg	3
Brazil	117	Mexico	101
Canada	7	Netherlands	19
Chile	20	New Zealand	15
China	24	Norway	3
Costa Rica	21	Pakistan	86
Croatia	72	Philippines	3
Cuba	18	Poland	5
Czech Republic	2	Portugal	3
Denmark	3	Russian Federation	48
Egypt	13	South Africa	94
Finland	4	Spain	5
France	30	Sweden	3
Germany	3	Syria	20
Ghana	171	Thailand	25
Greece	3	Turkey	97
Hungary	13	Ukraine	47
India	30	United Kingdom	55
Indonesia	22	Uruguay	1
Iran	1	USA	47
Ireland	3	Viet Nam	8
Israel	46	Yugoslavia	23

Table 2. Applications of food irradiation

Food items	Purpose	Dose(kGy)
Class 1 Bulbs, Roots and Tubers	· Inhibit sprouting during storage	0.1~0.2
Class 2 Fresh fruits and vegetables(other than Class [1)]	· Delay ripening · Insect disinfestation · Shelf-life extension · Quarantine control[1)]	0.3~1.0 0.3~1.0 1.0~2.5 0.15~1.0
Class 3 Cereals, milled cereal products, nuts, oilseeds pulses, dried vegetables and fruits	· Insect disinfestation · Reduction of microorganisms · Inhibit sprouting(chestnut)	0.3~1.0 1.5~5.0 0.1~2.0
Class 4 Raw fish and seafood and their products(fresh or frozen), frozen frog leg	· Reduction of certain pathogenic microorganisms[2)] · Shelf-life extension · Control of infection by parasites[2)]	0.1~7.0 1.0~3.0 0.2~2.0
Class 5 Raw poultry and meat and their products(fresh and frozen)	· Reduction of certain pathogenic microorganisms[2)] · Shelf-life extension · Control of infection by parasites[2)]	1.0~7.0 1.0~3.0 0.5~2.0
Class 6 Dried vegetables, spices, animal feeds, dry herbs and herbal teas	· Reduction of certain pathogenic microorganisms[2)] · Insect disinfestation	2.0~10.0 0.3~1.0
Class 7 Dried food of animal origin	· Insect disinfestation · Inhibit mould · Reduction of certain pathogenic microorganisms[2)]	0.3~1.0 1.0~3.0 2.0~7.0
Class 8 Traditional foods and health or patient, space military foods, natural gum, honey and special spices etc	· Reduction of microorganisms · Sterilization · Quarantine control	[3)] [3)] [3)]

[1)]The minimum dose will be characterized for the special parasites

[2)]The minimum dose will be characterized for ensuring the hygienic quality of food

[3)]The maximum dose will be characterized for special purpose and food ingredients

Table 3. Irradiated foods approved, irradiation purpose and dose limit in Korea

Food/Product	Purpose	Dose max.(kGy)
Potatoes, onions and garlic	· Inhibit sprouting	0.15
Chestnuts	· Inhibit sprouting	0.25
Fresh and dried mushrooms	· Sterilization · Delayripening	1
Dried meat, fish and shellfish powder for processed food ingredients	· Sterilization · Disinfestation	7
Soybean paste powder, red pepper paste powder and soy sauce powder	· Sterilization · Disinfestation	7
Starch for spiced food	· Sterilization · Disinfestation	5
Dried vegetables for processed food ingredients	· Sterilization · Disinfestation	7
Spices and dried vegetable seasonings	· Sterilization · Disinfestation	10
Yeast powder and enzyme preparations	· Sterilization · Disinfestation	7
Aloe powder	· Sterilization · Disinfestation	7
Ginseng products	· Sterilization	7
Sterile meals for hospital patients	· Sterilization	10
Egg powder	· Sterilization · Disinfestation	5
Grains, legumes and its powder for processed food ingredients	· Sterilization · Disinfestation	5
Algae food	· Sterilization · Disinfestation	7
Sauces	· Sterilization · Disinfestation	10
Seasoning and condiments	· Sterilization · Disinfestation	10
Leached tea and tea powder	· Sterilization · Disinfestation	10

하지만 최근 보건복지부가 원자력진흥종합계획에서 도입키로 한 국제적인 방사선 조사식품의 검지기준으로 유럽표준분석법(CEN standards) 및 Codex 표준분석법으로 채택된 검지법(CEN standards 10종류, 1996~2004; Codex standards 9종류, 2001~2003)중에서 우선 광자극발광법(Photo Stimulatated Luminescence: PSL), 열발광법(Thermo-Luminescence: TL) 등 2종류의 방사선 조사식품 검지법을 채택하고 2007년 4월 식품공전을 개정·고시하였다. 동 고시에는 건조향신료 및 이들 조제품 등 7종의 식품 등에 대하여 검지법을 적용하기로 하였으며 그 시행 시기는 산업계의 준비기간 등을 감안하여 2010년 1월로 정하였다(63). 그 후 식품의약품안전청에서는 광자극발광법(PSL)과 열발광법(TL) 이 외에 전자스핀공명법(Electron Spin Resonance spectroscopy, ESR), 기체크로마토그래프/질량분석법(Gas chromatography/Mass spectrometry)을 신설하고(64), 2010년 3월 식품위생법 중 수입식품등 검사지침을 개정함에 있어 방사선조사여부를 확인하는 검사 성적서를 제출하도록 행정예고를 하였다(65). 이에 따른 국내 검지기술 연구동향을 보면, 선진국에서는 실용화를 위한 연구개발이 추진되어 일부 검지방법(ESR, TL, GC/MS)들의 표준화가 시도된 바 있다. 또한, 방사선 조사식품 이용 등에 관한 연구는 1980년부터 지금까지 한국원자력연구원 및 학교기관에 의해 여러 방면으로 수행되고 있으며, 육류 등 지방이 다량 함유된 식품에 방사선 조사에 의해 유도되는 hydrocarbon류를 검지하기 위한 화학적 방법(66-94)과 향신료나 건조채소 등에 적용하는 PSL 및 TL 방법(95-111), 뼈나 각질, 섬유질 등에서 방사선 조사에 의해 생성된 radical을 감지하는 ESR 방법(112-133)과 같은 물리적 방법, Comet assay(134-142)와 같은 생물학적 방법들이 시도되고 있지만 단일식품이 아닌 혼합원료 및 복합식품에 대한 적용은 어려운 실정이다.

이중 10 kGy이하의 조사선량을 허용하고 있는 향신료는 대표적인 방사선 조사식품으로서 앞으로 향신료의 국내 수입량은 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 이와 같이 증가하는 수입 향신료들에 대한 방사선 조사 향신료의 검지 방법 설정은 필수적이라고 판단된다. 현재 TL, PSL 및 ESR 등의 검지법을 이용하고 있으나 기타 검지방법에 대한 연구는 거의 없다. 그러므로 현재까지 개발된 검지방법들을 서로 보완적으로 사용함과 동시에 새로운 검지방법의 개발도 필요한 실정이다.

이런 방안으로 방사선 조사에 의해 민감하게 영향을 받는 휘발성 화합물들을 분석한 연구보고들을 확인할 수 있었는데, Ahn 등(143) 및 Cha 등(144)은 육류식품으

로부터 방사선 조사에 의해 형성된 휘발성 성분들을 이용하여 방사선 조사된 육류 식품류의 검지를 시도함으로서 새로운 검지방법으로서의 가능성을 제시하였다. 그러나 이런 연구들 또한 방사선 조사에 의한 것으로 국한되어져 있었다.

현재 미국, EU, 인도, 브라질, 남아프리카, 태국 등 선진국과 개도국에서는 방사선 선원과 선종의 이용을 확대하고 있고 2000년대 초부터는 세계 각국이 10 MeV 이하의 전자선과 5 MeV 이하의 X선을 이용한 식품조사를 허용하고 있다(145). 전체적으로 전자선 사용은 감마선에 비해서는 낮은 편이지만 전자선 조사도 일반화되고 있는 추세임을 나타내고 있어 전자선 조사의 도입에 따른 검지방안도 고려해야 한다(146). 그 동안 국내외 여러 연구자들에 의해 감마선, 전자선 조사를 통한 식품의 저장성 및 위생화 (살균 등) 연구, 가공적성 연구, 안전성 연구 등이 수행되었다.

특히, Lee 등(147)은 전자선 조사가 고추분말의 이화학적 품질에 미치는 영향에 대해 보고하였고, Ding 등(148-258)에 의해 조사 후에 휘발성 향기성분의 구성성분이 감소되어짐을 연구하였다. 또한 전자선에 의한 휘발성 유기성분의 변화에 대해 캠벨얼리 포도에서 1 kGy 이하의 조사선량에 대해 적용가능성을 연구하였다(149).

본 연구에서는 우리나라 식품산업에서 널리 사용하고 있는 향신 채소류 중 고춧가루, 생강, 대파, 마늘 및 양파의 휘발성 유기성분의 최적의 추출방법 및 분석기기 조건을 설립하며, 각 향신 채소류의 휘발성 유기성분을 분석하고, 감마선 및 전자선 조사에 의해 휘발성 유기성분에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 또한, 선원별 30 kGy의 고선량 조사로 인한 각 시료별 유기성분의 변화를 비교 분석하여 고선량 조사에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 그럼으로써 저선량에서부터 고선량 조사에 이르기까지 향신 채소류의 휘발성 유기성분에 미치는 영향을 확인하고, 안전성에 관한 근거자료로 제시하고자 하였다.

제 2 장 재료 및 방법

제 1 절 실험재료 및 기기

1. 재료

가. 시료준비 및 동결건조

주요 농산품의 휘발성 유기성분 분석을 위하여 고춧가루, 생강, 대파, 마늘, 양파는 농산물 직거래 시장(광주)에서 직접 구입하였다. 본 실험에 사용한 시료는 외피를 제거하여 증류수로 수세 후 -70°C 냉동고에서 24시간 냉동시켜 다음의 조건으로 건조하여 사용하였다. 냉동된 시료 10 kg을 동결건조기(Labconco 7754500, Labconco, Kansas, USA)의 shell에 나누어 넣고 응축기 온도 -50°C, 압력 10 mTorr의 조건으로 48시간 동결건조하였다. 동결건조 후 시료의 실제온도는 20±1°C이었으며, Polyethylene (PE)재질의 포장재로 진공포장하여 감마선 및 전자빔 조사 시료로 사용하였다. 이를 비조사 대조시료와 함께 4℃로 저온저장고에 보관하여 실험에 사용하였다.

나. 감마선 조사

시료의 감마선 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 1, 3, 5, 7, 10 및 30 kGy가 되도록 조사하였으며, 흡수선량의 확인은 dosimeter (ceric cerous dosimeter, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 총 흡수선량의 오차를 계산하였다.

다. 전자선 조사

전자선 조사는 Electron-beam accelerator (model ELV-4, 2.5 MeV, EB-Tech., Ltd., Korea)를 이용하여 감마선 조사와 동일한 흡수선량을 갖도록 Velocity 5-10m/min의 선량률로 조사하였다. 이때의 흡수선량은 cellulose triacetate (CTA)

dosimeter로 확인하였다.

2. 시약

본 연구에 사용한 모든 시약은 특급시약으로 미국 Sigma사와 Fisher Scientific (USA)사로부터 구입하였으며, 휘발성 유기성분의 추출에 사용한 pentane 및 diethyether (Fisher Scientific (USA))는 HPLC grade로 구입하여, 이를 다시 wire spiral packed double distilling (Normschliff Geratebau, Germany) 장치로 재증류한 것을 사용하였다. 물은 순수재증류장치(Millpore corporation, Bedford, USA)에서 얻은 Milli Q water를 사용하였다. 유기용매의 탈수에 사용된 무수 Na_2SO_4는 650℃ 회화로에서 하룻저녁 태운 뒤 desiccator에서 방냉한 후 사용하였다.

3. 기기

휘발성 유기성분의 추출을 위하여 연속수증기증류추출장치(Likens & Nickerson type simultaneous steam distillation & extraction apparatus, SDE, Normschliff, Wertheim, Germany)를 사용하였으며, Vigreux column (250 mL, Normschliff, Wertheim, Germany)을 사용하여 용매를 제거하였다.

추출 및 가수분해에 의해 분리된 휘발성 유기성분의 정성 및 정량 분석을 위하여 DB-Wax (60 m × 0.25 mm i.d., 0.25 μm film thickness, J&W, CA, USA) capillary column이 장착된 Shimadzu gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS, QP-5000, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하였다.

제 2 절 휘발성 유기성분 추출 및 분석

1. 연속수증기증류추출법(SDE)에 의한 휘발성 유기성분의 추출

가. 휘발성 유기성분의 추출

동결 건조된 시료 50 g과 Milli Q water 1 L를 혼합하여 Waring blender로 1분간 분쇄한 후 1 N NaOH 용액을 첨가하여 pH 6.5로 조정하고 이를 휘발성 유기성분의 추출용 시료로 사용하였다.

휘발성 유기성분의 추출은 Schultz 등(150)의 방법에 따라 개량된 연속수증기증류 추출장치(SDE)(151)에서 재증류한 n-pentane과 diethylether의 혼합용매(1:1, v/v) 200 mL를 사용하여 상압 하에서 2시간 동안 추출하였다(Fig. 2). 정량분석을 위해 내부표준물질로서 *n*-butylbenzene 1 μL를 추출용 시료에 첨가하였다. 추출 후 추출용매에 무수 Na_2SO_4를 첨가하여 하룻밤 동안 방치하여 수분을 제거하였다.

나. 추출된 유기성분의 농축

휘발성 유기성분의 유기용매 분획분은 Vigreux column을 사용하여 약 2 mL까지 농축하고 GC용 vial에 옮긴 후 질소가스 기류 하에서 약 1 mL 까지 농축하여 GC 및 GC/MS의 분석시료로 하였다(Fig. 3).

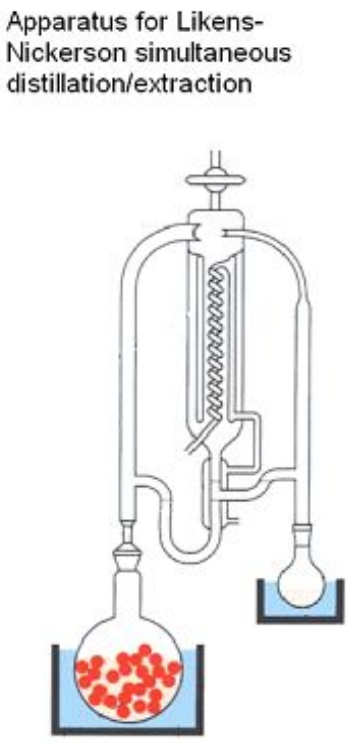

Fig. 1. Diagram of simultaneous distillation and extraction (SDE) apparatus according to Likens and Nickerson.

2. 휘발성 유기성분의 분리 및 분석을 위한 최적의 기기분석 조건 수립

가. Gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)의 분석조건

휘발성 유기성분의 분석조건을 수립하기 위하여 다양한 온도 프로그램과 여러 종류의 capillary column (DB-1, DB-5, Carbowax 20M, DB-wax)들을 사용하여 분리도를 비교하였으며, 유속을 조절하는 예비실험을 거쳐 다음과 같은 최적의 분석조건을 수립하였다.

SDE방법으로 추출, 농축된 휘발성 유기성분을 GC/MS에 의하여 분석하였다. GC/MS는 Shimadzu gaschromatography/ mass spectrometry QP-5000을 사용하였으며 시료의 ion화는 electron impact ionization (EI)방법으로 행하였다. GC/MS 분석조건은 ionization voltage를 70 eV로 하였고, ion source 온도는 230℃로 하였다. 또한 분석할 분자량의 범위(m/z)는 41~450으로 설정하였다. 온도 프로그램은 40℃에서 3분간 유지한 다음 2℃/min의 속도로 150℃까지 다시 4℃/min의 속도로 200℃까지 상승시킨 후 10분간 유지하도록 설정하였다. Injector와 detector의 온도는 각각 250℃, 300℃이며, carrier gas는 helium을 사용하여 유속은 1.0 mL/min으로 하였다. 시료는 1 μL를 split ratio 1:20으로 주입하였다(Table 4).

Table 4. GC/MS conditions for analysis of volatile organic compounds

GC/MS	Shimadzu GC/MS QP-5000
Column	DB-WAX (60 m × 0.25 mm I.D., 0.25 μm film thickness, J&W)
Carrier gas	Helium (1.0 mL/min)
Temp. program	40℃(3 min)-2℃/min-150℃-4℃/min-200℃(10 min)
Injector	250℃
Ion source and interface temp.	230℃
Ionization	Electron impact ionization (EI)
Ionization voltage	70 eV
Mass range(m/z)	41~450
Injection volume	1 μL (split ratio 1:20)

나. 휘발성 화합물의 확인 및 정량

GC/MS에 의해 total ionization chromatogram (TIC)에 분리된 각 peak의 성분분석은 mass spectrum library (NIST 12, NIST 62, WILEY 139)와 mass spectral data book의 spectrum(152,153)과의 일치 및 GC-FID 분석에 의한 retention index는 lab retention index database와 문헌상의 retention index(154,155)와의 일치 및 표준물질의 분석 data를 비교하여 확인하였다.

정량을 위하여 유기성분 추출 시 내부표준물질로 첨가된 *n*-butylbenzene과 동정된 유기성분의 peak area 값을 이용하여 시료 1 kg에 함유된 휘발성 유기성분을 상대적으로 정량하였으며, 각 화합물에 대한 response factor는 고려하지 않았다.

$$\text{Component Content (mg/kg of sample)} = \frac{C \times 1000\ g}{A \times B\ g}$$

- A : 각 시료에서 internal standard의 peak area
- B : 시료의 양
- C : 각 시료에서 각 성분의 peak area

다. Retention index 수립

머무름 지표의 합리적인 표시법으로써 Kovats(156)가 제안한 머무름 지수(retention index or Kovats index, RI)는 직쇄 알칸을 기준으로 하여 머무름 시간을 등간격으로 표시한 것이다.

머무름 지수는 chromatogram으로부터 용질을 확인하기 위하여 사용된 파라미터로서 어떤 한 용질의 머무름 지수는 혼합물의 chromatogram 위에서 그 용질의 머무름 시간의 앞과 뒤에 나타나는 두 개의 직쇄 알칸의 머무름 시간으로부터 구할 수 있다.

$$RI_i = 100\,Z + 100\left\{\frac{\text{Log } V_{R(i)} - \text{Log } V_{R(Z)}}{\text{Log } V_{R(Z+1)} - \text{Log } V_{R(Z)}}\right\}$$

· RI_i : 화합물 i의 retention index

· $V_{R(i)}$, $V_{R(Z)}$, $V_{R(Z+1)}$: 화합물 i, 탄소수가 각각 Z, Z+1인 직쇄 알칸의 각 공간보정 시간($V_{R(Z)} \leq V_{R(Z+1)}$)

정의에 의하면, 직쇄 Alkane의 머무름 지수는 column 충진제, 분리온도 및 다른 chromatography 조건과 무관하게 그 화합물에 들어 있는 탄소 수의 100배와 같은 값을 갖는다. 따라서 *n*-Alkane은 어느 분석 column에서도 항상 CH_4 (RI=100), C_2H_6 (RI=200) … C_nH_{2n+2} (RI=100n)이라는 표준지표를 나타낸다(157).

머무름 지표를 구하기 위하여 두 가지의 혼합물 즉, Mixture I (C_7~C_{17}), mixture II (C_{13}~ C_{23})의 *n*-alkane 표준물질을 희석하여 혼합액으로 조제하였다. 조제된 혼합액 1 μL를 확립된 최적 분석조건에서 GC/MS 분석하였다(Table 14). GC chromatogram에서 확인된 *n*-alkane 표준물질의 머무름 시간(retention time, RT)을 이용하여 작성된 basic program에 분석된 각 peak의 머무름 시간을 대입하여 각 peak의 RI를 수립하였다.

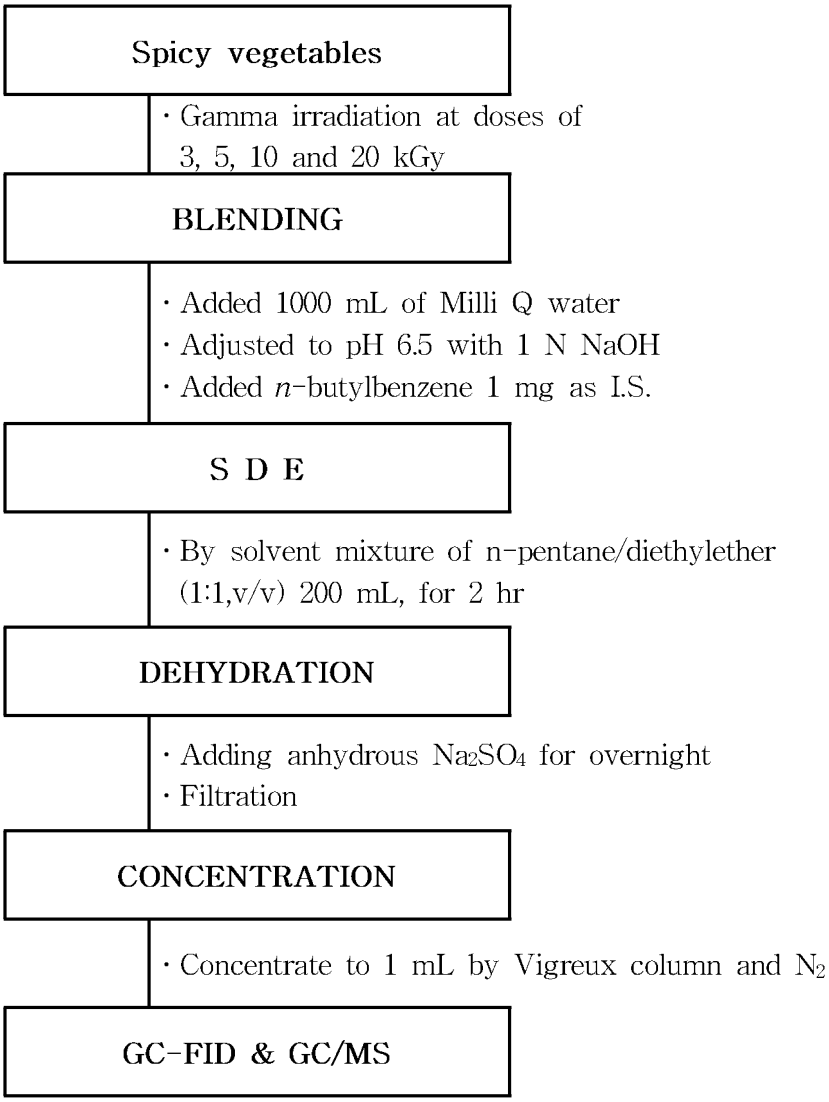

Fig. 2. Analysis of volatile organic compounds from spicy vegetables.

제 3 장 결과 및 고찰

제 1 절 휘발성 유기성분 분석조건 수립

1. 휘발성 유기성분의 분석기기 조건

휘발성 유기성분의 분석조건을 수립하기 위하여 다양한 온도 프로그램과 여러 종류의 capillary column (DB-1, DB-5, Carbowax 20M, DB-WAX)들을 사용하여 분리도를 비교하였으며, 유속을 조절하는 예비실험을 거쳐 다음과 같은 최적의 분석조건을 수립하였다. GC/MS는 Shimadzu gas chromatography/mass spectrometry QP-5000을 사용하였으며 시료의 ion화는 electron impact ionization (EI)방법으로 행하였다. GC/MS 분석조건은 ionization voltage를 70 eV로 하였고, ion source 온도는 230℃로 하였다. 또한 분석할 분자량의 범위(*m/z*)는 40-350으로 설정하였다. Column은 DB-WAX (60 m × 0.25 mm i.d., 0.25 μm film thickness, J&W, USA)를 사용하였고, 온도 프로그램은 40℃에서 3분간 유지한 다음 2℃/min의 속도로 150℃까지 다시 4℃/min의 속도로 200℃까지 상승시킨 후 10분간 유지하였다. Injector와 detector의 온도는 각각 250℃, 300℃이며, carrier gas는 helium을 사용하였고 유속은 1.0 mL/min으로 하였으며, 시료는 1 μL를 split ratio 1:20로 주입하였다.

2. *n*-Alkane의 머무름 지수

머무름 지수의 수립을 위하여 *n*-Alkane 표준물질을 GC/MS로 분석하여 머무름 시간을 구하였다. n-Alkane 표준물질 mixture를 DB-WAX capillary column을 이용하여 분석한 chromatogram을 Fig. 4에 나타내었고, 각각의 탄소수에 해당되는 retention time (Table 15)을 RI 수립을 위한 basic program에 입력하여 분리된 각 peak의 RI를 구하였다.

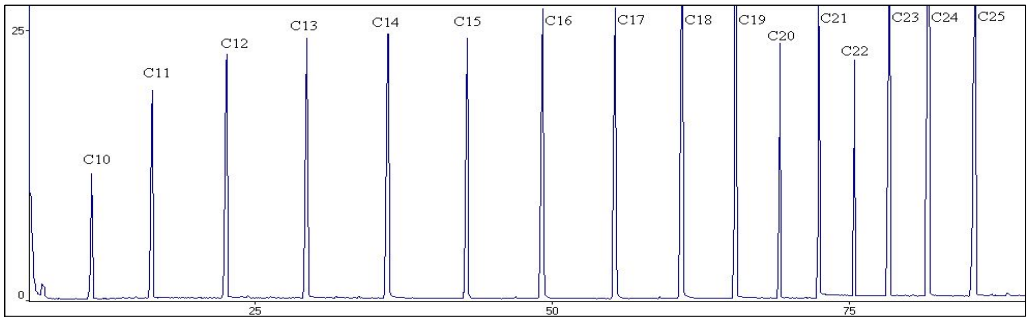

Fig. 3. GC/MS total ion chromatogram of *n*-alkane standard mixture.

Table 5. Retention time of *n*-alkanes for gas chromatographic retention index

n-Alkane	Name	Retention time(min)
$C_{10}H_{22}$	n-Decane	11.297
$C_{11}H_{24}$	n-Undecane	16.379
$C_{12}H_{26}$	n-Dodecane	22.646
$C_{13}H_{28}$	n-Tridecane	29.418
$C_{14}H_{30}$	n-Tetradecane	36.233
$C_{15}H_{32}$	n-Pentadecane	42.708
$C_{16}H_{34}$	n-Hexadecane	49.27
$C_{17}H_{36}$	n-Heptadecane	55.369
$C_{18}H_{38}$	n-Octadecane	60.992
$C_{19}H_{40}$	n-Nonadecane	65.492
$C_{20}H_{42}$	n-Eicosane	69.197
$C_{21}H_{44}$	n-Heneicosane	72.842
$C_{22}H_{46}$	n-Docosane	75.395
$C_{23}H_{48}$	n-Tricosane	78.404
$C_{24}H_{50}$	n-Tetracosane	82.063
$C_{25}H_{52}$	n-Pentacosane	85.971

제 2절. 감마선 조사에 의한 향신 채소류의 휘발성 유기성분 특성

1. 감마선 조사된 고춧가루의 휘발성 유기성분 변화

조사하지 않은 고춧가루를 control로 하고, 감마선 1, 3, 5, 7 및 10 kGy로 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE방법으로 휘발성 유기성분을 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 4과 같고, 동정한 성분과 이들의 상대적 농도는 Table 6에, 관능기별 함량비교는 Table 7에 나타내었다.

고춧가루에서 확인된 휘발성 유기성분은 총 38 종으로 acid류 1종(0.6%), alcohol류 6종(31.5%), aldehyde류 11종(35.8%), ester류 5종(21.2%), hydrocarbon류 7종(4.7%), ketone류 4종(4.5%) 및 heterocyclic compound 4종(1.7%)이었으며, 유기성분 총량은 118.98 mg/kg이었다. 고춧가루에 특징적으로 존재하는 주요 휘발성 유기성분으로는 ethyl acetate, 2-methylbutanal, 3-methylbutanal, hexanal, pyridine, 2-pentylfuran, benzaldehyde, linalool, (E,E)-2,4-decadienal, β-ionone, 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, methyl linolenate 등이 확인되었다.

Aldehyde류 중 benzaldehyde는 체리, 살구 및 복숭아 등에서 달콤한 향기를 내는 물질(158)로 알려져 있으며 시료의 분쇄과정 중 효소 불활성화 처리를 하지 않았기 때문에 풀냄새(green note)로 특정 지어지는 고농도 C_6 lipid peroxidation product류 즉, hexanal도 확인되었다(159). 또한, 2-Methylbutanal과 3-methylbutanal도 확인되었는데 이는 가지 친 methyl기는 aldehyde의 산화에 의한 산과 효소 분해 작용이나 축합반응을 통해 기인된다(160).

Maillard 반응과 지질의 상호반응에 의해 생성되는 휘발성 성분은 하나 혹은 두 개 또는 그 이상의 nitrogen 이나 sulfur 분자를 함유하는 heterocyclic compound 이고, 4개 이상의 carbon 분자를 가지는 long chain alkyl substitute를 가진다. 이런 long chain alkyl substituted heterocyclic compounds는 가열식품에 중요한 미량의 향기성분으로 알려져 있다(161).

이런 heterocyclic compound 중 대부분 카라멜화 반응으로 생성되는 furan 화합물(162)로 2-methyl furan가 확인되었고, 이는 “풀잎냄새”, 또는 “밤냄새”에 유사하

며 대부분 카라멜화 반응으로 생성된다고 보고된 바 있다. 고춧가루의 휘발성 유기성분 중 2,3,5,6-tetramehyl pyrazine이 확인되었고, 이는 mailard 반응의 가수분해산물인 acetol과 ammonium acetate와의 반응 또한 지방의 분해산물인 pentanal 과 hexanal을 반응시켜서 alkylpyrazine 류가 생성되었다는 보고가 있다. 이런 alkyl-pyrazine 들은 식품의 바람직한 냄새 성분을 발현시키는 작용을 하고 있다고 알려져 있다(163). 과일향과 야채에 주요 성분으로 알려져 있는 terpene류 화합물로는 linalool, *β*-ionone이 검출되었다. Ester류는 5종으로 이 중 ethyl acetate는 과실 에센스, 과즙, liquor, 탄산음료, 과자 등의 향료로 널리 이용되는 과실향으로 알려져 있다(164,165).

1, 3, 5, 7 및 10 kGy의 선량으로 감마선 조사된 고춧가루에서는 각각 39종의 화합물이 확인되었으며, 휘발성 유기성분 조성은 대조군과 비슷하였다. 1, 3, 5, 7, 10 및 30 kGy로 감마선 조사된 고춧가루의 총량은 각각 126.34 mg/kg, 162.41 mg/kg, 185.33 mg/kg, 147.41 mg/kg 및 223.59 mg/kg 이었으며 특히, 10 kGy로 감마선 조사된 고춧가루에서 대조군보다 약 1.9배 정도의 최대 함량이 확인되었다.

감마선 조사된 고춧가루의 주요 관능그룹은 aldehyde류, alcohol류, ester류 및 heterocyclic compound류로 확인되었으며 이는 대조군과 비슷한 양상을 보였다. Hydrocarbon류, aldehyde류, ketone류, alcohol류 및 ester류 는 주요 지방산화 생성물이며, 방사선 조사과정중 생성된 free radical에 의해 지방산화가 촉진될 수 있다는 것으로 알려져 있다(166). 또한, aldehyde류는 방사선 조사에 의한 아마노산의 분해에 의해서도 생성 가능한 것으로 보고되고 있다(167).

1 kGy의 선량으로 조사된 고춧가루에서 확인된 휘발성 유기성분은 1-tridecanol, (*Z*)-9,17-octadecadienal, (*E,E*)-2,4-decadienal, methyl linolenate, ethyl acetate, 3-methylbutanal, β-ionone, benzaldehyde, hexanal, furfural, 2-methylbutanal, linanol, 2-pentylfuran, pyridine순으로 함량이 다른 향기성분보다 높게 나왔으며, 이들은 비조사 고춧가루에서 주요 성분으로 확인되었던 화합물들과 일치했다. 비조사 고춧가루에 비해서 methyl linolenate의 함량은 1.7배, (*Z*)-9,17-octadecadienal은 1.5배, 1-tridecanol은 1.3배 증가되었다. 이 밖에 ethyl acetate, *β*-ionone, (*E,E*)-2,4-decadienal은 각각 2.5배, 1.3배, 1,2배 정도 감소하였다.

3, 5, 7 그리고 10 kGy의 선량으로 조사된 고춧가루에서 확인된 휘발성 유기성분

은 비조사구 및 1kGy로 조사된 고춧가루에서 확인된 주요 화합물들이 일치 하였으나, 그 함량에 있어서의 변화를 확인하였다. 3 kGy로 조사된 고춧가루에서 1-tridecanol, (*Z*)-9,17-octadecadienal, (*E,E*)-2,4-decadienal, methyl linolenate 등의 함량이 높게 확인됐으며, methyl linolenate은 비조사 고춧가루에서 확인된 함량에 비해 3배, (*Z*)-9,17-octadecadienal은 2.2배 증가하였다. 1-tridecanol은 비조사구에 비해 1.7배 높게 확인되었고, 반면 ethyl acetate, 2-methylbutannal, 3-methyl-butanal, hexanal β-ionone 등 비조사수에 비해 감소되는 화합물들도 확인되었으나 이는 1 kGy로 조사했을 때의 함량과 유사하게 나타났다.

5 kGy로 조사된 고춧가루의 휘발성 유기성분 중 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, (E,E)-2,4-decadienal, methyl linolenate의 함량이 가장 높게 나타났으며, 비조사구에 비해 각각 1.8배, 2.7배, 3.5배 증가함을 보였다. β-ionone, benzaldehyde, hexanal, pyridin은 그 함량이1 과 3 kGy로 조사된 고춧가루에서의 함량에 비해 증가됨을 나타냈으나, 비조사구에 비교해 유사한 함량을 나타낸 것으로 확인되어졌다. 반면 ethyl acetate은 4.2배, 2-methylbutanal, 3-methylbutanal 은 각각 2.2배, 1.8배 감소하였다.

7 kGy로 조사된 고춧가루의 휘발성 유기성분의 함량을 살펴보면, 특이적으로 비조사구에 비해 증가되었으나, 5 kGy로 조사된 고춧가루에서의 휘발성 유기성분의 함량에 비해 다소 감소되는 경향을 나타냈다. 가장 높은 함량의 1-tridecanol의 경우 비조사구에 비해 1.7배 증가하였으나, 5 kGy 조사 함량에 비해 1.1배 감소하였으며, methyl linolenate는 비조사와 비교하여 2.3배 증가하였으나, 5 kGy 조사 함량에 비해 1.5배 감소하는 경향을 나타냈다. 2-penthylfuran, furfural, benzaldehyde, linalool 등에서도 같은 경향을 나타내었다. 반면, 비조사구에 비해 감소되었으나, 5 kGy 조사 함량에 비해 증가된 화합물도 있었다. 그 중 ethyl acetate는 비조사구에 비해 3.2배 감소하였으나 5 kGy 조사함량에 비해서는 소폭 증가한 것으로 확인할 수 있었다. 2-methyl butanal 및 3-methyl butanal은 7 kGy에서의 함량은 비조사와 유사하게 확인되었으나, 5 kGy 조사 함량에 비해 약 2배 정도의 증가된 결과를 나타내었다.

10 kGy로 조사된 고춧가루의 휘발성 유기화합물은 가장 높은 함량을 나타내는 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, methyl linolenate를 확인하였다. 그리고 동정

된 다른 휘발성 유기화합물들은 비조사구 및 1, 3, 5, 7 kGy로 조사된 고춧가루에서 동정된 화합물과 같은 결과를 확인하였다. 특징적으로 비조사구에 비해 주요 화합물 즉, 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, methyl linolenate의 함량이 각각 2.6배, 3.2배, 2.8배 씩 크게 증가되었다. 또한 비조사구에 비해 변함이 없는 화합물도 확인되었다. 비조사구와 비교하여 그 함량이 감소되는 화합물로는 ethyl acetate, hexanal, (E,E)-2,4-decadienal을 확인하였다.

방사선 조사 고춧가루로부터 휘발성 표지물질의 규명에 관한 연구에서(168-260) 확인된 주요 화합물은 본 연구와 유사한 경향을 나타냈고, 비조사된 시료의 휘발성 화합물의 함량과 조사된 시료의 함량에는 대부분 큰 유의적 차이를 보이진 않았지만 hexanal 및 benzaldehyde는 방사선 조사에 의해 유의적인 상관성을 가진다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서 나타난 결과는 이와 상이하였으며, 이는 시료의 종류, 조사 전 시료의 상태 및 휘발성 향기성분 추출 조건 등 여러 가지 요인을 고려하여야 할 것으로 판단하였다.

감마선 조사된 고춧가루에서 1 kGy로 조사된 시료에서 비조구에 비해 가장 변화가 적었으며, 10 kGy의 조사 시료에서 주요 화합물에 가장 많은 함량 변화가 나타났다. 또한 조사된 시료에서 특이적인 화합물은 검출되지 않았으며, 이로 인해서 고춧가루에 위생화 목적으로 감마선 조사처리를 했을 때 목적에 따른 적정 조사 선량을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

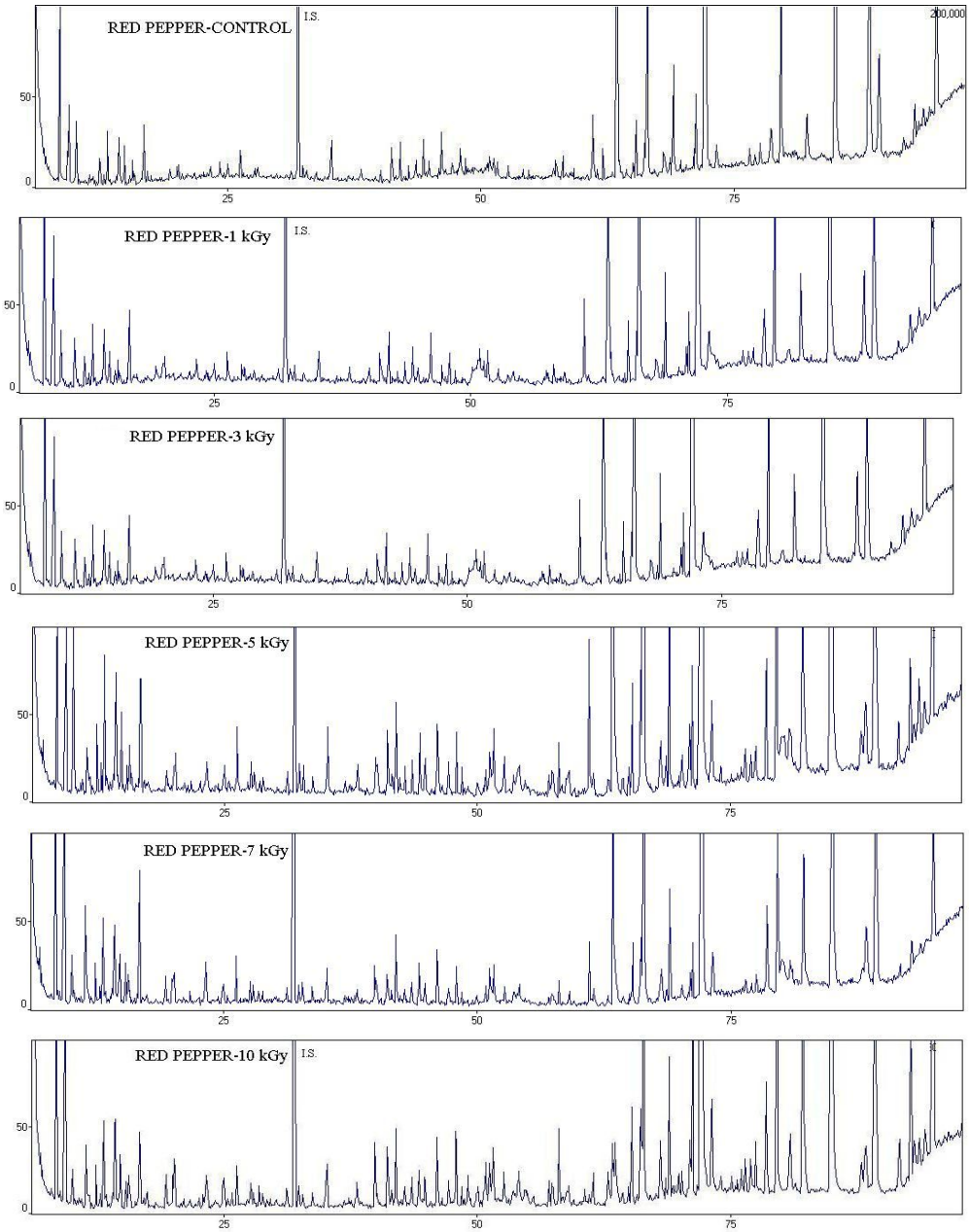

Fig. 4. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non- and gamma ray irradiated red pepper powder at dose of 1, 3, 5, 7 and 10 kGy

Table 6. Volatile organic compounds identified in non- and gamma ray irradiated red pepper powder

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
1	852	Ethyl acetate	9.00	3.56	3.38	2.15	2.81	2.91
2	871	2-Methylbutanal	1.42	0.73	0.73	0.66	1.38	1.10
3	874	3-Methylbutanal	3.27	2.13	1.99	1.82	3.41	2.12
4	891	Ethanol	2.31	1.01	0.42	2.95	0.86	0.54
5	949	2,3-Butanedione	0.54	0.65	0.72	0.59	1.46	0.78
6	957	Pentanal	0.32	0.32	0.26	0.34	0.40	0.18
7	964	2-Methylpentanal	0.41	0.25	0.24	0.35	0.36	0.23
8	1007	2-Methylnonane	0.43	0.43	0.23	0.38	0.20	0.25
9	1014	3-Methylnonane	1.83	0.95	1.28	1.37	1.32	1.22
10	1038	3,7-Dimethylnonane	1.57	1.11	1.30	1.52	1.19	1.49
11	1082	Hexanal	2.01	1.85	1.61	1.86	2.46	1.14
12	1137	1-Methylpyrrole	0.40	0.19	0.38	0.33	0.54	0.62
13	1187	Pyridine	0.53	0.50	0.47	0.56	1.26	0.87
14	1213	3-Methylbutanol	0.20	0.19	0.11	0.07	0.10	0.35
15	1232	2-Pentylfuran	0.65	0.60	0.84	0.80	0.77	0.76
I.S[2)]	1313	Butylbenzene	-	-	-	-	-	-
16	1320	4-Methylpentanol	0.33	0.34	0.32	0.37	0.39	0.31
17	1327	(*E*)-2-Heptenal	0.23	0.16	0.18	0.33	0.26	0.10
18	1360	Hexanol	0.42	0.45	0.42	0.46	0.42	0.31
19	1362	2-Methyl tridecane	0.75	0.71	0.78	0.86	0.61	0.59
20	1392	2-Methyl tetradecane	0.23	0.14	0.14	0.15	0.21	0.09
21	1430	1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene	-	0.05	0.29	0.59	0.78	0.88
22	1434	2,3-Dimethylhexene	0.43	0.38	0.46	0.52	0.60	0.39
23	1449	Acetic acid	0.75	0.54	0.74	0.75	0.48	1.07
24	1462	Furfural	0.88	1.42	1.32	1.71	1.62	1.69
25	1485	2,3,5,6-Tetramethylpyrazine	0.49	0.49	0.41	0.45	0.43	0.60

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 6. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
26	1524	Benzaldehyde	1.61	1.92	1.16	1.96	1.76	1.88
27	1553	Linalool	0.62	0.65	0.80	0.87	0.72	1.33
28	1628	Pulegone	0.40	0.46	0.31	0.23	0.35	0.30
29	1652	1,2-Dimethoxybenzene	0.31	0.26	0.47	0.32	0.32	0.20
30	1773	(*E,Z*)-2,4-ecadienal	1.93	1.77	1.84	2.73	0.88	0.35
31	1819	(*E,E*)-2,4-Decadienal	11.87	9.46	9.90	11.09	7.66	1.05
32	1864	Geranyl acetone	1.86	0.94	1.27	1.70	1.01	1.88
33	1956	*β*-Ionone	2.60	1.95	2.19	2.58	1.68	2.36
34	2017	Methyl pentadecanoate	1.65	1.20	1.43	1.61	1.06	4.14
35	2038	1-Tridecanol	33.55	43.16	58.14	61.60	56.37	88.20
36	2070	13-Tetradecynoic acid methylester	0.71	0.96	0.58	1.78	1.00	3.14
37	2196	Methyl palmitate	8.40	6.53	7.48	8.04	4.77	23.51
38	2337	(*Z*)-9,17-Octadecadienal	18.64	28.65	41.73	49.93	33.23	59.04
39	2475	Methyl linolenate	5.44	9.30	16.12	18.96	12.38	15.62
Total			118.98	126.34	162.41	185.33	147.51	223.59

[1)]Retention index

Table 7. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and gamma ray irradiated red pepper powder

Functional Group	Irradiation dose (kGy)											
	0		1		3		5		7		10	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Acids	1	0.6	1	0.4	1	0.4	1	0.4	1	0.3	1	0.5
Alcohols	6	31.5	6	36.3	6	37.1	6	35.8	6	39.9	6	40.7
Aldehydes	11	35.8	11	38.5	11	37.5	11	39.3	11	36.2	11	30.8
Esters	5	21.2	5	17.0	5	17.8	5	17.4	5	15.0	5	22.0
Hydrocarbons	7	4.7	8	3.2	8	3.1	8	3.1	8	3.5	8	2.3
Ketones	4	4.5	4	3.2	4	2.8	4	2.8	4	3.1	4	2.4
Heterocyclic compounds	4	1.7	4	1.4	4	1.3	4	1.2	4	2.0	4	1.3
Total	38	100.0	39	100.0	39	100.0	39	100.0	39	100.0	39	100.0

2. 감마선 조사된 생강의 휘발성 유기성분 변화

조사되지 않은 생강을 control로 하고, 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy 감마선 조사하여 휘발성 유기성분을 SDE 방법으로 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻어진 chromatogram은 Fig. 5에 도식하였다. GC/MS 분석에 의하여 동정된 휘발성 유기성분의 조성과 상대적 농도는 Table 8에, 동정된 휘발성 유기성분의 관능기에 따른 상대적 함량은 Table 9에 나타내었다.

건조 생강에서 분리 동정된 성분은 총 70종으로, 33종의 hydrocarbon류가 대부분을 차지하였고 그 외에 18종의 alcohol류와 8종의 aldehyde류가 확인되었으며 ketone류 6종, ester류 및 기타화합물은 각각 3종으로 확인되었다. 관능기별로 확인된 총 peak area%도 hydrocarbon류가 83.8%로 휘발성 유기성분의 대부분을 차지하고 있었으며, 이어서 alcohol류가 11.4%, aldehyde류가 3.6%, ketone류가 0.9%, ester류가 0.1% 그리고 기타화합물이 0.2%로 나타내었다.

건조 생강에서 확인된 휘발성 유기성분의 총량은 15,785.4 mg/kg이며, *α*-zingiberene(3775.6 mg/kg), *β*-sesquiphellandrene(2751.5 mg/kg), *β*-bisabolene (1751.1 mg/kg), (*Z,E*)-*α*-farnesene(1549.5 mg/kg), *β*-phellandrene(841.7 mg/kg), germacrene D(598.2 mg/kg), (*Z*)-citral(463.9 mg/kg), camphene(460.9 mg/kg) 등이었으며, *α*-zingiberene과 *β*-sesquiphellandrene는 각각 23.9%와 17.4%로 유기성분의 대부분을 차지하여 건조 생강의 주된 유기성분으로 확인되었다.

생강의 essential oil의 조성은 strain의 분류학적 차이 또는 기후 및 성장조건에 따라 특징적인 차이를 나타내는 것으로 여겨지는데, Madagascar에서 생산된 생강의 oil은 주요성분으로 31.0% camphene, 12.0% *γ*-terpinene 및 10.0% geranial을 함유하고, 중국산 생강의 essential oil은 39.0% *α*-zingiberene, 17.0% *α*-curcumene 및 7.0% *β*-sesquiphellandrene을 함유하여 큰 차이를 나타내고 있다(169-171). 국내산 생강의 주요 향기성분으로 Kim 등(172) 및 Moon과 Lee(173)는 zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, *β*-bisabolene, *β*-phellandrene 및 camphene을 보고하였고, 본 연구결과와도 일치하였으며, 중국산 생강의 essential oil과 주요성분은 같았으나 조성이 상이하였고, Madagascar산 생강의 essential oil과는 특징적인 차이를 나타내었다. 국내산 생강 향기성분의 주요화합물 중 zingiberene은 화장품 및 향료에 널리 사

용되어 왔으며, 최근 연구에서 항바이러스성, 항위궤양성 및 피임효과가 확인되었다(174).

건조생강에서 동정된 총 71종의 화합물 중 terpenoid계는 탄소수 10개의 tricyclene, α-pinene, camphene, 2-β-pinene, sabinene, β-myrcene, limonene, β-phellandrene, ρ-cymene, terpinolene과 같은 monoterpene류 10종, 탄소수 15개로 이뤄진 δ-elemene, α-copaene, bergamotene, β-elemene, α-gurjunene, α-humulene, caryophyllen, γ-caryophyllene, (*E*)-β-farnesene, germacrene D, α-zingiberene, β-bisabolene, α-cedrene, (*Z,E*)-α-farnesene, farnesene, β-sesquiphellandrene, germacrene B등과 같은 sesquiterpene류 17종이 동정되었다. citronellal, camphor, linalool, bornyl acetate, (*E*)-2-decenal, [*Z*]-citral, α-Terpineol, nerol등과 같은 8종의 oxygenated monoterpene류와 farnesol, elemol, caryophyllene oxide, nerolidol, α-bisabolol, α-eudesmol등의 oxygenated sesquiterpene류 6종으로 동정되었다.

Monoterpene류 보다는 sesquiterpene류의 함량이 높았으며, Prasad(175) 등의 연구에 따라 생강의 향기는 monoterpene에서 기인되어 생강 향을 더욱 증가 시키며 생강의 휘발성 향기성분의 조성에 높은 영향이 있음을 확인하였다. 이러한 수증기 증류로 얻을 수 있는 oil, 즉 정유성분은 거의 대부분이 monoterpene hydrocarbon류와 sesquiterpene hydrocarbon류 그리고 oxygenated monoterpene류와 oxygenated sesquiterpene류와 같은 terpenoid류에 기인하고 있으며 이들은 생강의 향기성분 및 생강제품의 품질 평가에 중요한 지표가 되고 있다(176,177). 또한 생강의 향기는 특정적인 단일 화합물에 의하여 특징화되는 것이 아니라 다양한 terpene류 및 non-terpene류 화합물의 상호작용에 의해서 결정된다.

감마선 조사된 건조생강에서 분리 동정된 휘발성 유기성분을 살펴보면, 모두 비조사된 건조생강에서 분리 동정된 화합물로 확인되었으며, 대조군에 비하여 휘발성 유기성분의 총량은 감마선 조사 후에 증가하였다. 감마선 조사된 생강에서 선량별 휘발성 유기성분의 총량을 살펴보면 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy에서 16,359.2 mg/kg, 18,208.3 mg/kg, 17,819.7 mg/kg, 18,868.3 mg/kg 및 17,662.9 mg/kg으로 확인되었다. 비조사구(15,785.4 mg/kg)에 비해 조사 선량이 증가 할수록 그 함량 또한 증가되어졌다.

1 kGy의 선량으로 조사된 건생강에서 확인된 관능기에 따른 휘발성 유기성분으로

는 hydrocarbon류가 87.8%로 비조사 시료와 동일하게 가장 많이 함유되어 있었으며, 순차적으로 alcohol류 7.9%, aldehyde류 3.3%, ketone류 0.7%, 기타 0.2% 그리고 ester류가 0.09%로 나타내었다. 주된 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesqui-phellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-bisabolene, *β*-phellandrene, germacrene D, (*Z*)-citral, camphene 순으로 *α*-zingiberene, campene은 각각 5207.2 mg/kg, 548.1 mg/kg로 비조사 시료보다 함량이 증가하였고 (*Z,E*)-*α*-farnesene, (*Z*)-citral의 함량은 감소하였다. 특히 *β*-bisabolene은 비조사 시료에서는 1751.1 mg/kg(11.1%)로 나타났으나 1 kGy로 조사한 시료에서는 그 함량이 898.3 mg/kg(5.5%)로 절반가량이 감소한 것으로 나타났다. 3 kGy의 선량으로 조사한 건조생강의 휘발성 유기성분을 관능기별로 분류하면 hydrocarbon류 87.9%, alcohol류 8.0%, aldehyde류 3.1%, ketone류 0.7%, 기타 0.2%, ester류 0.1% 순으로 나타내었으며, 주된 휘발성 유기성분은 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-bisabolene, *β*-phellandrene, germacrene D, camphene, (*Z*)-citral 순으로 확인되었다. 5 kGy의 선량에서 조사된 건조 생강에서도 hydrocarbon류가 88.8%로 휘발성 유기성분 중 가장 많이 함유되었으며 이어서 alcohol류 7.3%, aldehyde류 3.0%, ketone류 0.7% 그리고 기타 화합물과 ester류의 화합물은 각각 0.2%, 0.1%로 나타내었다. 주된 휘발성 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-bisabolene, *β*-phellandrene, germacrene D, camphene, (Z)-citral 순으로 확인되었으며 1 kGy의 선량에서 조사한 시료에서 다량 감소한 것으로 확인된 *β*-bisabolene이 1262.1 mg/kg으로 소량 증가하였다. 7 kGy의 선량으로 조사된 건조 생강의 휘발성 유기성분의 peak area%를 관능기에 따라 분류하면 hydrocarbon류 89.3%, alcohol류 7.0%, aldehyde류 2.9%, ketone류 0.7%, 기타 0.1% 그리고 ester류의 화합물은 0.9%로 확인하였으며, 주된 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesqui- phellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-bisabolene, *β*-phellandrene, germacrene D, camphene, (*Z*)-citral으로 다른 선량에서 확인된 것과 같은 순으로 확인되었다. 그중 *α*-zingiberene은 비조사 시료에서 3775.6 mg/kg(23.9%)에서 6167.8 mg/kg(32.1%)로 증가하였다. 10 kGy의 선량으로 조사한 건생강의 휘발성 유기성분을 관능기에 따라 분류하면 hydrocarbon류 88.3%, alcohol류 7.7%, aldehyde류 3.1%, ketone류 0.7%, 기타 0.2%, ester류 0.1% 순으로 나타내었으며, 주된 휘발성 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesqui-

phellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, *β*-bisabolene, germacrene D, camphene, (*Z*)-citral 순으로 확인되었다.

생강에서의 주요 화합물들의 감마선 조사에 의한 영향을 살펴보면, α-pinene, camphene, limonene, β-phellandrene, α-ingiberene, (Z,E)-α-farnesene, β-sesqui-phellandrene은 조사 선량이 증가할수록 비조사 시료에 비해 그 함량이 증가하였으나, 반면 *β*-bisabolene과 같이 조사 선량에 따라 감소되어 나타나는 화합물이 확인되어졌다. Prasad(175)등은 생강 근경을 60 Gy의 저선량 감마선 조사 후 cntrol과 비교하여 더 많은 oil을 회수할 수 있었으며, 이는 감마선 이 세포벽 조직을 파괴하고 그 결과를 조직으로부터 더 많은 oil이 유리되어 회수된 것으로 보고하였다. 본 연구결과의 차이는 생 생강과 건조 생강의 세포조직과의 시료적인 차이로 사료된다. 또한, 생강의 감마선 조사로 인해 향기성분을 상당량 감소시키는 문제에 대한 연구가 보고되었다(178,189).

그러나 본 연구에서 나타난 결과는 이와 상이하여 시료의 종류 조사 전 시료의 상태, 휘발성 향기성분 추출 조건 등 여러 가지 요인을 고려하여야 할 것으로 판단하였다. 결론적으로 건조생강의 휘발성 향기성분 조성에 대한 감마선 조사 영향은 나타나지 않았으며, 주요 성분의 함량은 7 kGy의 조사 시료에 가장 많은 변화를 나타냈다. 1 kGy의 저선량 조사에서 확인된 생강의 휘발성 유기성분은 비조사구에 비해 많은 변화가 나타나지 않았으며 대부분의 화합물들의 상호 유의적인 변화는 확인되지 않았다. 이로인해서 감마선 조사된 생강의 위생화 목적으로 감마선 조사처리를 했을 때 목적에 따른 적정 조사 선량을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

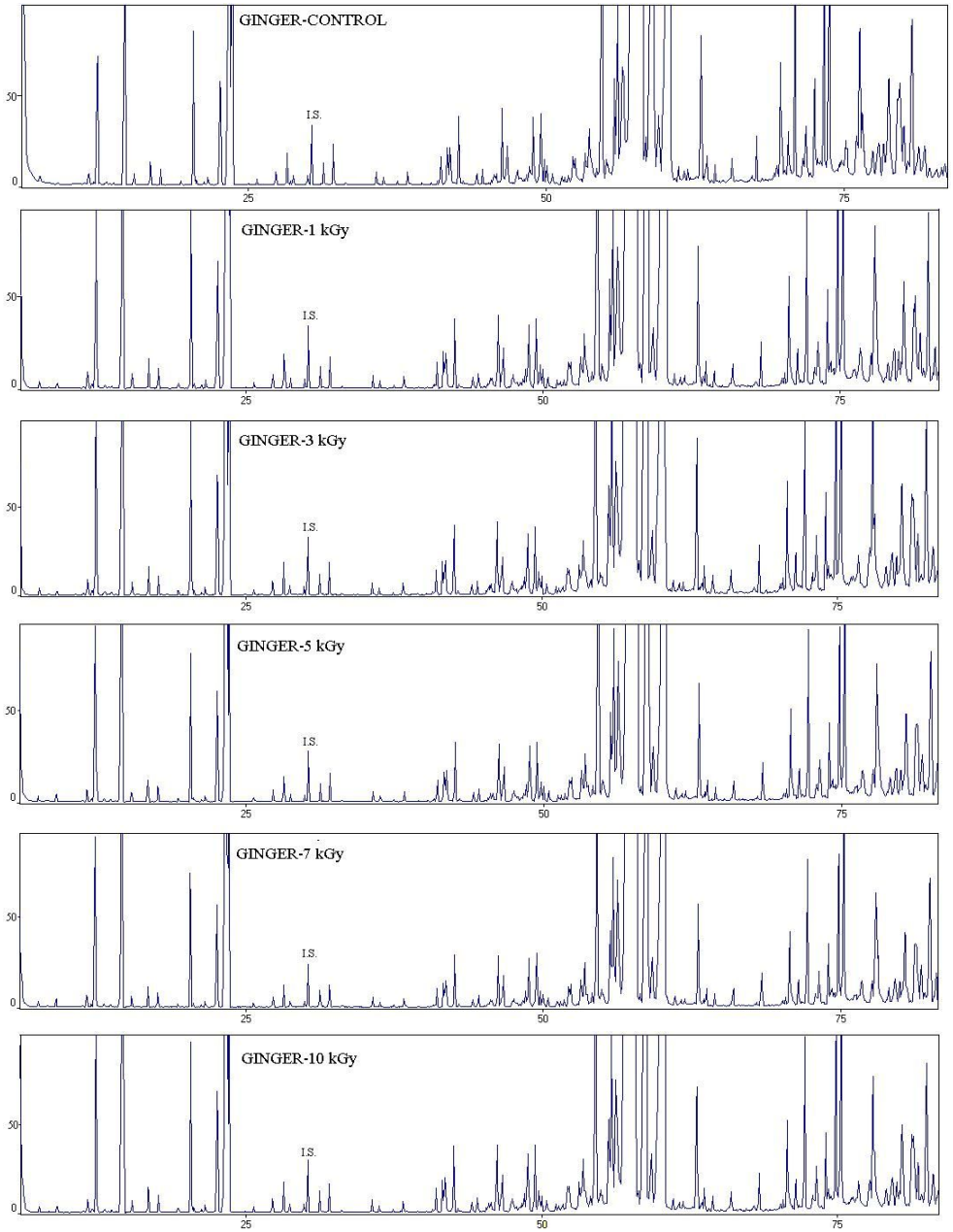

Fig. 5. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non- and gamma ray irradiated dried ginger at dose of 1, 3, 5, 7 and 10 kGy

Table 8. Volatile organic compounds identified in non- and gamma ray irradiated dried ginger

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
1	849	Ethyl acetate	3.1	3.1	3.5	3.5	3.8	4.0
2	912	Ethanol	2.0	2.4	2.1	4.8	6.0	1.2
3	973	Tricyclene	9.8	12.7	13.1	12.0	13.0	13.5
4	981	Ocimene	1.7	1.96	1.7	1.9	2.0	2.1
5	988	α-Pinene	144.1	185.1	201.8	174.9	196.3	201.7
6	1034	Camphene	460.9	548.1	596.9	523.2	588.9	595.3
7	1049	Hexanal	7.1	9.1	8.6	7.4	9.1	8.7
8	1073	β-Pinene	18.6	22.1	22.3	20.3	21.6	22.9
9	1087	Sabinene	11.7	14.2	14.2	13.5	13.7	15.3
10	1134	β-Myrcene	149.5	155.5	158.8	143.2	153.4	160.5
11	1138	α-Fenchene	4.6	4.6	4.4	4.2	3.7	5.0
12	1153	2-Heptanone	5.2	5.4	4.9	4.5	4.9	5.3
13	1169	Limonene	179.7	181.0	186.6	170.7	181.4	191.3
14	1181	β-Phellandrene	841.7	897.8	941.8	870.4	922.4	966.5
15	1184	1,8-Cineole	296.1	314.0	330.2	304.8	321.6	322.7
16	1214	γ-Terpinene	3.7	3.6	3.4	4.0	3.4	3.8
17	1239	ρ-Cymene	11.3	11.7	12.1	11.7	11.7	13.0
18	1253	Terpinolene	25.9	25.7	26.0	24.1	24.6	26.2
19	1360	Octanal	6.8	7.1	6.9	6.5	6.1	5.7
20	1277	Perillene	6.0	6.1	6.1	5.8	5.5	5.8
I.S.[2)]	1282	Butylbenzene	-	-	-	-	-	-
21	1295	2-Heptanol	16.5	16.3	16.4	16.4	17.8	17.5
22	1307	6-Methyl-5-heptene-2-one	33.6	24.4	26.1	27.4	24.8	23.6
23	1362	2-Nonanone	9.5	8.9	9.1	9.0	9.7	9.9
24	1399	(*E*)-2-Octenal	9.5	8.3	9.0	8.3	9.1	9.0

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 8. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
25	1443	δ-Elemene	25.6	22.2	22.8	23.1	22.9	23.4
26	1451	Citronellal	35.3	31.9	31.8	33.3	32.2	33.4
27	1455	Cyclosativene	50.4	44.5	47.2	46.6	48.7	50.1
28	1466	α-Copaene	68.9	62.2	67.2	66.2	68.7	70.8
29	1489	Camphor	12.9	12.5	10.8	11.3	11.3	13.2
30	1495	2-Nonanol	11.5	11.0	10.9	11.3	11.6	12.1
31	1514	Limonene oxide	15.9	14.4	15.3	15.6	17.0	14.8
32	1522	Linalool	72.4	67.2	69.0	65.9	70.7	71.9
33	1529	(*E*)-β-Bergamotene	43.3	40.1	41.9	42.7	45.8	43.0
34	1543	(*E*)-*p*-2-menthen-1-ol	12.9	11.5	12.7	11.8	11.5	12.8
35	1556	Bornyl acetate	7.3	7.3	7.5	7.8	7.5	7.9
36	1559	Aromadendrene	22.0	21.6	23.3	23.2	24.9	17.3
37	1564	β-Elemene	71.6	64.3	66.8	63.4	67.3	53.0
38	1567	Isocaryophyllene	4.1	7.7	5.8	3.2	4.5	7.1
39	1573	2-Undecanone	67.7	62.6	66.6	65.1	69.5	70.2
40	1578	4-Terpineol	20.8	23.3	24.0	23.9	23.8	24.1
41	1588	α-Gurjunene	10.9	10.5	9.6	11.4	13.0	10.1
42	1600	Myrtenal	7.6	7.7	7.3	8.2	7.6	8.4
43	1617	(*E*)-2-Decenal	25.2	22.8	25.9	25.4	28.9	25.7
44	1620	α-Humulene	28.2	24.3	25.9	29.0	32.7	24.5
45	1640	(*Z*)-β-Farnesene	138.2	131.9	156.0	91.9	150.9	127.2
46	1658	(*Z*)-Citral	463.9	442.6	461.9	432.2	434.4	440.4
47	1664	γ-Muurolene	26.0	26.3	28.1	38.2	31.6	26.7
48	1676	α-Terpineol	99.1	99.9	102.3	99.5	104.5	98.1
49	1688	Germacrene D	598.2	598.5	631.6	611.1	630.8	601.4
50	1696	α-Cedrene	352.6	287.4	339.9	368.0	459.6	329.5

[1)]Retention index

Table 8. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
51	1711	α-Zingiberene	3775.6	5207.2	5953.3	5897.2	6167.8	5779.8
52	1715	β-Bisabolene	1751.1	898.3	949.2	1262.1	1387.5	921.0
53	1731	(*Z,E*)-α-Farnesene	1549.5	1472.3	1691.5	1554.5	1656.8	1604.2
54	1741	δ-cadinene	129.1	117.2	134.0	128.4	138.6	132.1
55	1760	β-Sesquiphellandrene	2751.5	2806.9	3137.8	3119.3	3270.6	3067.6
56	1762	α-phellandren-8-ol	6.5	6.4	7.4	5.7	6.5	6.9
57	1773	Myrtenol	13.0	11.7	11.8	11.8	11.6	11.7
58	1782	Geranyl acetate	3.9	3.8	4.9	3.7	3.9	4.1
59	1788	2-Tridecanone	6.9	6.3	7.1	6.6	6.4	6.6
60	1811	Germacrene B	152.8	146.3	167.3	155.8	158.2	157.5
61	1825	Nerol	20.5	21.9	25.1	21.5	21.7	28.3
62	1840	(*E*)-2-Dodecenal	12.8	12.8	13.9	12.0	12.9	13.7
63	1968	Caryophyllene oxide	6.2	5.3	6.2	5.6	4.5	5.1
64	1982	Nerolidol	121.9	116.6	135.0	120.0	109.6	123.1
65	2019	β-bisabolol	165.7	161.6	178.1	158.8	159.4	159.9
66	2043	β-Farnesol	36.7	30.2	42.3	35.3	35.7	38.5
67	2064	Elemol	87.8	81.0	94.6	81.1	76.8	84.0
68	2085	α-Bisabolol	169.9	160.6	201.4	165.2	169.2	180.8
69	2096	α-Cedrol	277.9	283.1	320.1	282.9	291.9	297.0
70	2223	α-Eudesmol	126.9	120.2	133.4	120.9	122.8	123.0
71	2344	(*E*)-farnesol	68.1	64.1	75.8	69.5	69.5	70.4
		Total	15,785.4	16,359.2	18,208.3	17,819.7	18,868.3	17,662.9

[1)]Retention index

Table 9. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and gamma ray irradiated dried ginger

Functional Group	Irradiation dose (kGy)											
	0		1		3		5		7		10	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Alcohols	18	11.4	18	7.9	18	8.0	18	7.3	18	7.0	18	7.7
Aldehydes	8	3.6	8	3.3	8	3.1	8	3.0	8	2.9	8	3.1
Esters	3	0.1	3	0.1	3	0.1	3	0.1	3	0.1	3	0.1
Hydrocarbons	33	83.8	32	87.8	32	87.9	32	88.8	32	89.3	32	88.3
Ketones	6	0.9	6	0.7	6	0.67	6	0.7	6	0.7	6	0.7
Miscellaneous	3	0.2	3	0.2	3	0.2	3	0.2	3	0.1	3	0.2
Total	70	100.0	70	100.0	70	100.0	70	100.0	70	100.0	70	100.0

3. 감마선 조사된 대파의 휘발성 유기성분 변화

조사하지 않은 건조 대파를 control로 하고, 감마선 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy의 선량으로 감마선 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE방법으로 휘발성 유기성분을 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 6와 같고, 동정한 성분과 이들의 상대적 농도는 Table 10에, 관능기별 함량비교는 Table 11에 나타내었다.

Control로 사용된 방사선 조사하지 않은 대파에서 총 45종의 휘발성 유기성분이 분리 동정 되었으며, 관능기별로 분류한 결과 S-containing compound류 20종, aldehyde류 8종, alcohol류 5종, ketone류 4종, furan류 3종, ester류 2종, hydrocarbon류 2종 그리고 acid류 1종이 동정되었으며, 이들의 총 peak area는 S-containing compound류 54.0, aldehyde류 21.1%, ketone류 15.3%, alcohol류 4.2%, ester류 2.9%, furan류 1.2%, hydrocarbon류 1.1% 그리고 acid류 0.3%로 황함유화합물이 대파의 휘발성 유기성분에 크게 기여하는 것으로 확인되었다.

대표적인 휘발성 유기 성분으로는 2-methyl-2-pentenal(15.2%), 2-tridecanone (10.4%), propanethiol(9.7%), 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane(5.5%), dipropyl trisulfide (5.4%), 2-propenthiol(4.5%)등이었다. 대파의 자극적인 향기의 특성을 내는 sulfide류는 총 12종으로 monosulfide는 propylene sulfide 1종, disulfide는 (*E*)-propenyl propyl disulfide, (*Z*)-propenyl propyl disulfide 그리고 propyl butyl disulfide 등 7종, trisulfide는 (Z)-propenyl propyl trisulfide, (*E*)-propenyl propyl trisulfide 그리고 methyl propyl trisulfide등으로 각각 전체 함량의 3.0%, 10.9%, 16.6%를 차지하는 것으로 확인되었다. 이런한 결과는 Song(180)등이 보고한 건대파에서의 휘발성 함유황 유기화합물 분석에 따른 주요 함량 및 화합물들과 유사하게 나타났다. 휘발성 함유황 유기화합물들은 Allium속의 특징적인냄새와 맛의 원인이 되는 성분으로 액포에 있는 효소 alliinase, S-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxide lyase(E.D. 4.4.1.4)가 식물의 분쇄과정에 의해 유리된 무취, 비휘발성의 향 전구물질인 S-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxide(ACSOs)류를 pyruvate, ammonia 그리고 수많은 alk(en)yl-thiosulfinate류 즉, 휘발성 함유황 유기화합물로 가수분해하여 생성된다(181-183). 대파에서 확인된 propanal은 대파의 중요한 휘발성 유기성분 중 하나로 대파의 향전구물질로부터 형성된 최루요소(LF)인 thiopropanal S-oxide로부터 propanal과 sulfide

로 재배열되면서 생성된다. 또한 건대파에서 상당량 확인된 2-methyl-2-pentenal은 이렇게 생성된 propanal 두 분자로부터 aldol condensation과 계속되는 dehydration에 의해 형성된다(184).

감마선 1 kGy로 조사된 시료에서는 총 45종의 휘발성 유기 화합물이 동정되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 59.8%, ketone류 20.7%, aldehyde류 10.2%, alcohol류 5.0%, ester류 2.7%, furan류 0.7%, hydrocarbon류 0.7% 그리고 acid류 0.1%로 각각 20종, 8종, 4종, 5종, 2종, 3종, 2종 그리고 1종이 확인되었다. 대표적인 휘발성 유기 성분으로는 2-tridecanone(12.8%), propanethiol(11.0%), dipropyl trisulfide(10.2%), 2-methyl-2-pentenal(7.0%), 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane(6.6%), (*E*)-propenyl propyl disulfide(4.4%) 그리고 2-propenthiol(4.4%), 등이 확인 되었으며, 비조사군과 주요 화합물의 구성은 유사하였으나, 2-methyl-2-propenal은 감소하였고, dipropyl trisulfide는 증가하였다.

감마선 3 kGy로 조사된 시료에서는 총 46종의 휘발성 유기 화합물이 동정 되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 58.4%, ketone류 19.7%, aldehyde류 11.7%, alcohol류 3.4%, ester류 4.9%, furan류 0.8%, hydrocarbon류 0.9% 그리고 acid류 0.1%로 확인되었다. 3 kGy의 주요 화합물의 구성은 1 kGy와 유사하나 2-propenthiol, propylene sulfide의 비율은 증가하고, dipropyl trisulfide 의 비율은 감소하였다.

감마선 5 kGy로 조사된 시료에서는 총 47종의 휘발성 유기 화합물이 동정 되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 56.1%, ketone류 18.6%, aldehyde류 14.6%, alcohol류 5.3%, ester류 3.5%, furan류 0.8%, hydrocarbon류 1.0% 그리고 acid류 0.1%로 확인 되었다. 5 kGy에서는 ketone류인 3-methyl-3-buten-2-one을 추가로 확인하였다.

감마선 7 kGy로 조사된 시료에서는 총 47종의 휘발성 유기 화합물이 동정 되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 59.2%, ketone류 16.8%, aldehyde류 14.7%, alcohol류 3.4%, ester류 3.9%, furan류 1.1%, hydrocarbon류 0.9% 그리고 acid류 0.1%로 확인 되었다. 7 kGy의 특징적인 화합물로는 2-propenthiol, propyl-enesulfide의 비율이 증가하였으며, 이는 비조사군과 비교 할 때 약 3배 정도로 가장 높은 수치를 보였다.

감마선 10 kGy로 조사된 시료에서는 총 47종의 휘발성 유기 화합물이 동정 되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 56.3%, ketone류 17.8%, aldehyde류 15.0%, alcohol류 5.1%, ester류 3.5%, furan류 1.2%, hydrocarbon류 1.1% 그리고 acid류 0.2%로 확인 되었다. 10 kGy의 특징적인 화합물로는 7 kGy에서 가장 높은 비율을 보인 2-propenthiol, propylenesulfide이 감소하는 경향을 보였다. Dipropyl trisulfide, methyl propyl trisulfide는 1 kGy에서 가장 높은 함량이 확인되었고, 점차 감소하는 경향을 보였다. 조사 전과 비교하여 선량별 조사 후 전체 휘발성 유기화합물의 함량은 비조사 시료에서는 347.03 mg/kg이였고, 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy에서는 각각 333.88 mg/kg, 211.32 mg/kg, 228.67 mg/kg, 220.50 mg/kg 그리고 205.48 mg/kg로 조사된 시료를 보면 비조사 시료를 기준으로 조사선량이 증가할수록 감소하다 10 kGy에서 가장 낮은 양이 확인되었다. 위와 같은 결과로 대파에서 1 kGy의 감마선 조사시 가장 영향력이 낮으며, 10 kGy의 선량에서는 그 휘발성 유기성분의 변화에 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었으며, 이로 인해 대파에서의 감마선 조사로 인하여 미치는 영향에 대한 연구에 기여할 수 있다고 사료된다.

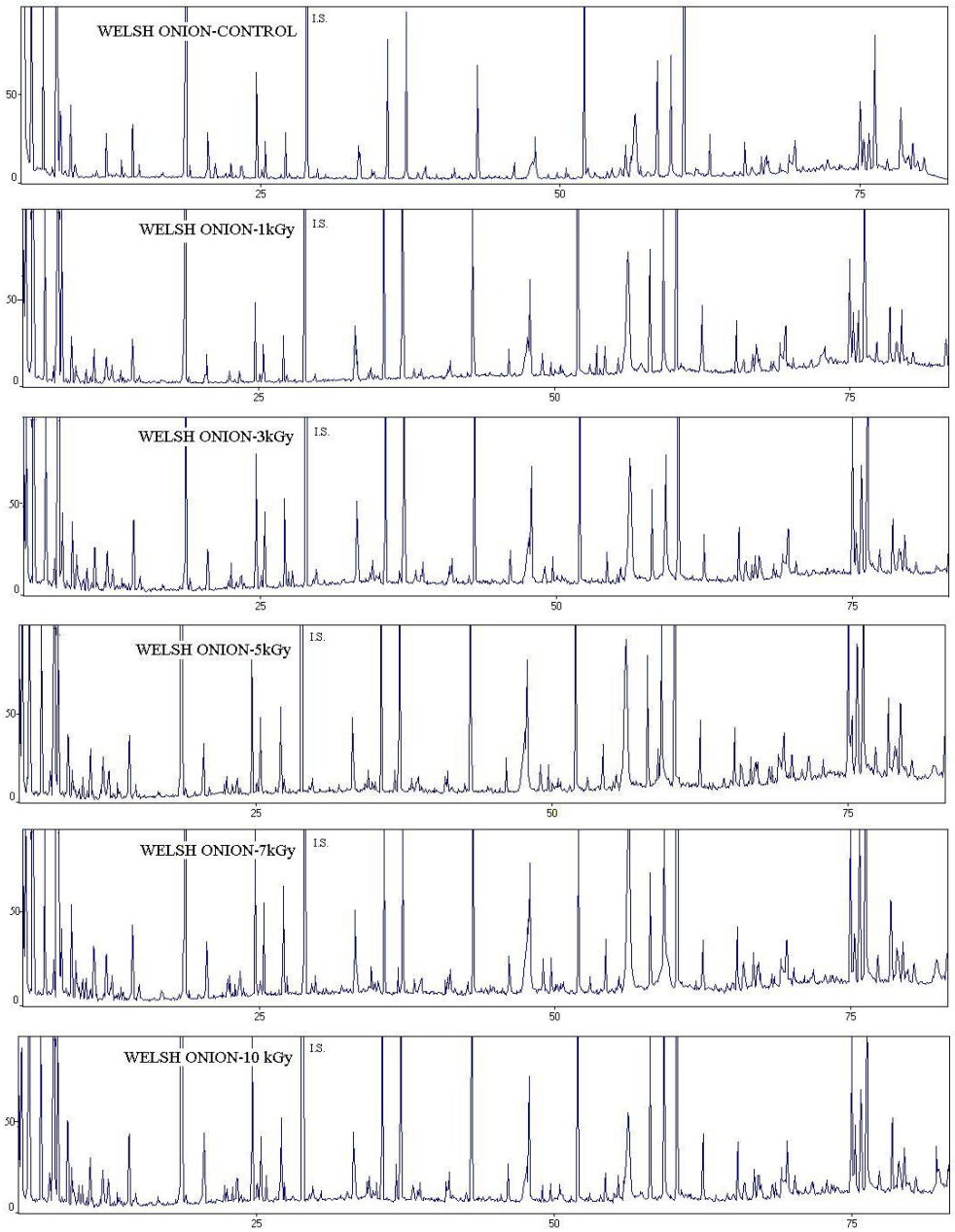

Fig. 6. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non- and gamma ray irradiated dried welsh onion at dose of 1, 3, 5, 7 and 10 kGy

Table 10. Volatile organic compounds identified in non- and gamma ray irradiated dried welsh onion

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
1	805	Propanal	11.27	6.06	2.97	5.21	3.35	1.55
2	846	Propanethiol	33.62	37.18	20.11	15.30	15.52	20.40
3	902	Ethyl acetate	9.41	8.54	9.88	7.40	8.00	6.36
4	926	3-Methylbutanal	0.33	0.54	0.42	0.37	0.67	0.61
5	934	2-Propenthiol	15.55	14.80	20.56	21.98	26.79	13.95
6	937	Propylene sulfide	10.53	10.06	14.56	15.44	18.73	9.76
7	944	Ethanol	3.79	7.08	1.81	4.70	1.60	4.52
8	954	2-Ethylfuran	0.30	0.13	0.14	0.18	0.10	0.25
9	966	2,4-dimethyl furan	2.94	1.79	1.23	1.43	1.73	1.43
10	975	Vinyl acetate	0.64	0.64	0.53	0.66	0.67	0.73
11	978	Pentanal	0.55	0.30	0.24	0.21	0.29	0.34
12	987	3-Methyl-3-buten-2-one	-	-	-	0.30	0.31	0.41
13	994	2,2,5,5,-Tetramethyl pentane	0.18	0.58	0.48	0.51	0.35	0.37
14	1009	2,2-Dimethyl octanol	0.35	1.37	1.03	1.17	0.93	0.89
15	1034	2-Butenal	3.17	1.07	1.28	1.13	1.38	0.91
16	1077	Hexanal	3.21	1.93	1.75	1.52	1.52	1.69
17	1088	2-Methyl-2-butenal	0.69	0.43	0.28	0.33	0.30	0.44
18	1154	2-Methyl-2-pentenal	52.82	23.64	17.26	24.15	24.46	25.03
19	1182	2,5-Dimethylthiophene	3.14	1.42	0.91	1.37	1.51	1.69
20	1212	2-Hexenal	1.25	0.38	0.46	0.45	0.42	0.28
21	1224	Methyl propyl disulfide	0.88	0.49	0.31	0.13	0.26	0.26
22	1226	2-Pentyl furan	0.81	0.29	0.35	0.30	0.55	0.48
23	1245	2,4-Dimethyl thiophene	8.69	4.43	4.32	4.44	4.83	4.88
24	1256	(*Z*)-Methyl propenyl disulfide	2.84	2.01	2.44	2.22	2.40	1.74

[1)]Retention index

Table 10. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
25	1280	(*E*)-Methyl propenyl disulfide	3.62	2.47	2.86	2.62	2.87	2.14
I.S.[2)]	1305	Butylbenzene	-	-	-	-	-	-
26	1370	Dimethyl trisulfide	2.42	3.25	2.62	2.71	2.09	1.98
27	1372	Dipropyl disulfide	1.53	1.47	0.74	0.78	0.33	0.87
28	1404	(*Z*)-Propenyl propyl disulfide	11.36	12.42	6.71	6.49	5.96	6.44
29	1423	1,3-bis[1,1-dimethyl-ethyl]-benzene	-	0.35	0.58	0.76	0.85	1.03
30	1429	(*E*)-Propenyl propyl disulfide	13.85	15.40	7.84	7.69	6.67	7.82
31	1444	Acetic acid	0.88	0.32	0.26	0.30	0.18	0.45
32	1520	Methyl propyl trisulfide	9.91	14.92	6.89	6.92	5.76	6.27
33	1568	2-Furyl ethyl ketone	1.08	1.15	1.80	0.98	1.11	1.16
34	1595	Undecanone	2.62	5.22	3.83	4.32	3.48	3.52
35	1612	3,5-Dimethyl-1,2,4-trithiolane	0.56	1.27	0.75	0.55	1.40	0.34
36	1638	2-Acethyl thiazole	0.68	0.40	0.25	0.23	0.38	0.44
37	1663	Dipropyl trisulfide	18.76	34.29	7.49	8.71	5.64	8.72
38	1721	*β*-Bisabolene	3.54	1.69	0.88	0.91	0.83	0.87
39	1735	3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane	19.19	22.44	14.57	17.67	18.41	10.65
40	1767	(*Z*)-Propenyl propyl trisulfide	14.79	8.37	3.39	4.84	3.39	6.63
41	1787	(*E*)-Propenyl propyl trisulfide	11.84	11.16	4.48	6.34	6.28	9.09
42	1807	2-Tridecanone	36.11	43.36	25.38	26.65	22.95	22.92
43	1855	Propyl butyl disulfide	3.59	3.81	1.34	1.82	1.44	1.64
44	1921	5-Ethyl-2-nonanol	2.27	2.25	1.84	2.06	1.62	1.38
45	1966	*α*-Isopropyl benzyl alcohol	1.13	0.83	0.74	0.55	0.37	0.58
46	2221	5-Methyl-2-octylfuran-3-one	13.31	20.25	10.55	10.30	9.17	8.48
47	2272	6-Ethyl-4,5-decanediol	7.03	1.63	2.21	3.57	2.65	3.09
Total			347.03	333.88	211.32	228.67	220.50	205.48

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 11. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and gamma ray irradiated dried welsh onion

Functional Group	Irradiation dose (kGy)											
	0		1		3		5		7		10	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Acids	1	0.3	1	0.1	1	0.1	1	0.1	1	0.1	1	0.2
Alcohols	5	4.2	5	5.0	5	3.4	5	5.3	5	3.4	5	5.1
Aldehydes	8	21.1	8	10.2	8	11.7	8	14.6	8	14.7	8	15.0
Esters	2	2.9	2	2.7	2	4.9	2	3.5	2	3.9	2	3.5
Furans	3	1.2	3	0.7	3	0.8	3	0.8	3	1.1	3	1.2
Hydrocarbons	2	1.1	2	0.8	3	0.9	3	1.0	3	0.9	3	1.1
Ketones	4	15.3	4	20.7	4	19.7	5	18.6	5	16.8	5	17.8
S-containing compounds	20	54.0	20	59.8	20	58.4	20	56.1	20	59.2	20	56.3
Total	45	100.0	45	100.0	46	100.0	47	100.0	47	100.0	47	100.0

4. 감마선 조사된 마늘의 휘발성 유기성분 성분 변화

조사하지 않은 마늘을 control로 하고, 감마선 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy로 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE 방법으로 추출한 마늘의 휘발성 유기성분을 GC/MS로 분석하였으며 chromatogram은 Fig. 7과 같다. GC/MS 분석에 의하여 동정된 휘발성 유기성분의 조성과 함량은 Table 12에 나타내었고, 동정된 휘발성 유기성분의 관능기에 따른 상대적 농도는 Table 13에 나타내었다.

마늘에서에서 동정된 휘발성 유기성분은 총 47종으로 그중 26종이 함황화합물이었으며, 이들이 전체 휘발성분의 98.6%로 대부분을 차지하였다. 이들 외에도 alcohol류 3종(0.3%), aldehyde류 7종(0.3%), ester류 3종(0.4%) 및 기타 화합물 8종(0.4%)이 확인되었으며, 함황화합물과는 달리 매우 미량으로 존재하였다. 마늘의 휘발성 함유황 유기화합물에 대해 연구되어진 보고에 따르면, 마늘에서 분리 동정된 성분 중 94.3 % 이상이 함유황 유기 화합물이었다고 보고된바 있어 본 연구에서와 같은 결과를 확인할 수 있었다(180). 조사하지 않은 마늘 분말에서는 총 5853.54 mg/kg의 농도 중 diallyl disulfide와 diallyl trisulfide가 각각 2002.33과 2198.84 mg/kg으로 주요 화합물임을 확인하였으며, 뒤이어 methyl allyl disulfide, 3-(allylthio)propionic acid 및 methyl-2-propenyl trisulfide가 각각 312.69, 293.68 및 636.73 mg/kg으로 다량 확인되어 이들 화합물들이 마늘의 특징적인 향미를 나타냄을 확인하였다. 이와 같은 결과는 Lee 등(185)의 생마늘 중 diallyl disulfide가 44.4%, diallyl trisulfide가 30.2%를 차지하였다는 결과와 유사하였으나 Brondnitz 등(186)이 마늘 추출물 중에는 diallyl disulfie의 함량이 60.0~66.0%, diallyl sulfide가 14.0%로서 마늘추출물의 대부분을 차지한다고 보고한 결과와는 상이하였다. 이는 마늘의 품종, 추출용매, 증류방법 등의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 또한, Park 등이 보고한 부추에서는 dimethyl disulfide와 dimethyl trisulfide가 각각 19.5%, 17.4%로 주요 향기성분으로 확인되었는데 이는 같은 *Allium*속에서도 특징적인 향기성분을 나타내는 alkyl group이 다른 것을 알 수 있다(187).

본 연구에서는 15종의 sulfide 류가 확인되었고 이러한 성분은 마늘의 유효성분 중 alliin, 즉 결정성 아미노산인 S-allyl-L-cystein sulfoxide으로 알려져 있으며, 마늘 특유의 휘발성 향기성분은 마늘 조직이 파괴될 때 자체효소인 alliinase에 의해서

alliin이 분해되어 생성된 allicin(diallyl thiosulfinate)이 다시 diallyl disulfide 및 저급의 sulfide류로 분해되어 발생된다고 보고되어 있다(235-237). 이 외에 GC/MS 분석 중에 allicin으로부터 생성되는 3-vinyl-1,2,-4H-dithiin 과 2-vinyl-4H-1,3-dithiin이 확인되었으며, 이는 allicin 분해과정 중 2분자 thioacrolein이 Diels-alder 반응하여 형성되는 것으로 2-vinyl-4H-1,3-dithiin이 major로 생성되고 두 화합물 모두 약하지만 항형전작용이 있으며 2-vinyl-4H-1,3-dithiin은 지혈저하작용이 있는 것으로 알려져 있다(188).

1, 3, 5, 7 및 10 kGy로 감마선 조사한 마늘분말에서는 49~55종의 화합물이 확인되었으며, 황함유화합물이 조사하지 않은 마늘과 마찬가지로 96.8~98.5%로 대부분을 차지하였다. 주요화합물로는 diallyl disulfide, diallyl trisulfide, methyl allyl disulfide, 3-(allylthio)propionic acid, methyl-2-propenyl trisulfide등으로 나타났으며 화합물의 조성은 비조사 시료와 유사하게 확인되었다.

비조사 및 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy로 조사한 마늘에서의 휘발성 유기성분의 총 함량은 5853.33 mg/kg, 8129.25 mg/kg, 5829.49 mg/kg, 5803.25 mg/kg, 5481.75 mg/kg 및 5298.15 mg/kg이 확인되었고, 1 kGy의 조사 시료에서 그 함량이 가장 높게 나타났다. 하지만 조사선량이 증가할수록 유기성분의 총 함량이 감소하고 그에 따라 주요 화합물들의 함량 역시 다소 감소되어졌다. 대표적인 화합물로 dially disulfide는 비조사 시료에서 2002.33 mg/kg으로 확인되었으나, 1 kGy 조사시료에서 2771.34 mg/kg으로 증가하였으며, 3, 5, 7 그리고 10 kGy에서는 2025.47 mg/kg, 1848.65 mg/kg, 1723.88 mg/kg 및 1694.65 mg/kg으로 그 함량은 감소되었다. Dially trisulfide, diallyl sulfide, 3-(allythio)propionic acid, methyl 2-propenyl trisulfide 또한 유사한 경향을 나타냈다.

감마선 조사된 마늘의 휘발성 유기성분에 대한 선행 연구로는 Kwon과 Yoon(18) 및 Ceci 등(190)이 발표한 바 있다. Kwon과 Yoon은 0.05~0.1 kGy의 선량으로 조사된 마늘에서 dially disulphide의 함량이 감소되어졌다고 보고하였고, Ceci 등은 비조사되어 저장된 마늘과 0.05 kGy로 조사된 마늘의 휘발성 유기성분에 차이는 없었다고 보고하였다. 또한, Jia 등(191)도 마늘에서 휘발성 유기성분들은 감마선 조사된 즉시 그 함량이 감소하였으나, 저장기간 동안 함량에 변화가 있다고 보고하였다, 그러나 본 연구에서 나타난 결과는 이와 상이하여 시료의 종류 조사 전 시료의 상태,

휘발성 향기성분 추출 조건 등 여러 가지 요인을 고려하여야 할 것으로 판단하였다. 결론적으로 마늘의 휘발성 향기성분 조성에 대한 감마선 조사 영향은 나타나지 않았으며, 주요 성분의 함량 변화를 확인하였다. 1 kGy의 저선량 조사시료에서 가장 많은 변화를 보인 마늘에서 다른 선량별 시료에서는 비조사구에 비해 큰 변화를 보이진 않았다. 이에 대해 마늘의 위생화 처리를 위해 1 kGy의 선량을 제시할 수 있으며, 또한 조사선량의 증가에 따라 휘발성 유기성분의 변화에 뚜렷한 변화를 나타내지 않아 감마선 조사된 마늘의 안전성에 대한 과학적인 데이터로 뒷받침 할 수 있을 것으로 사료된다.

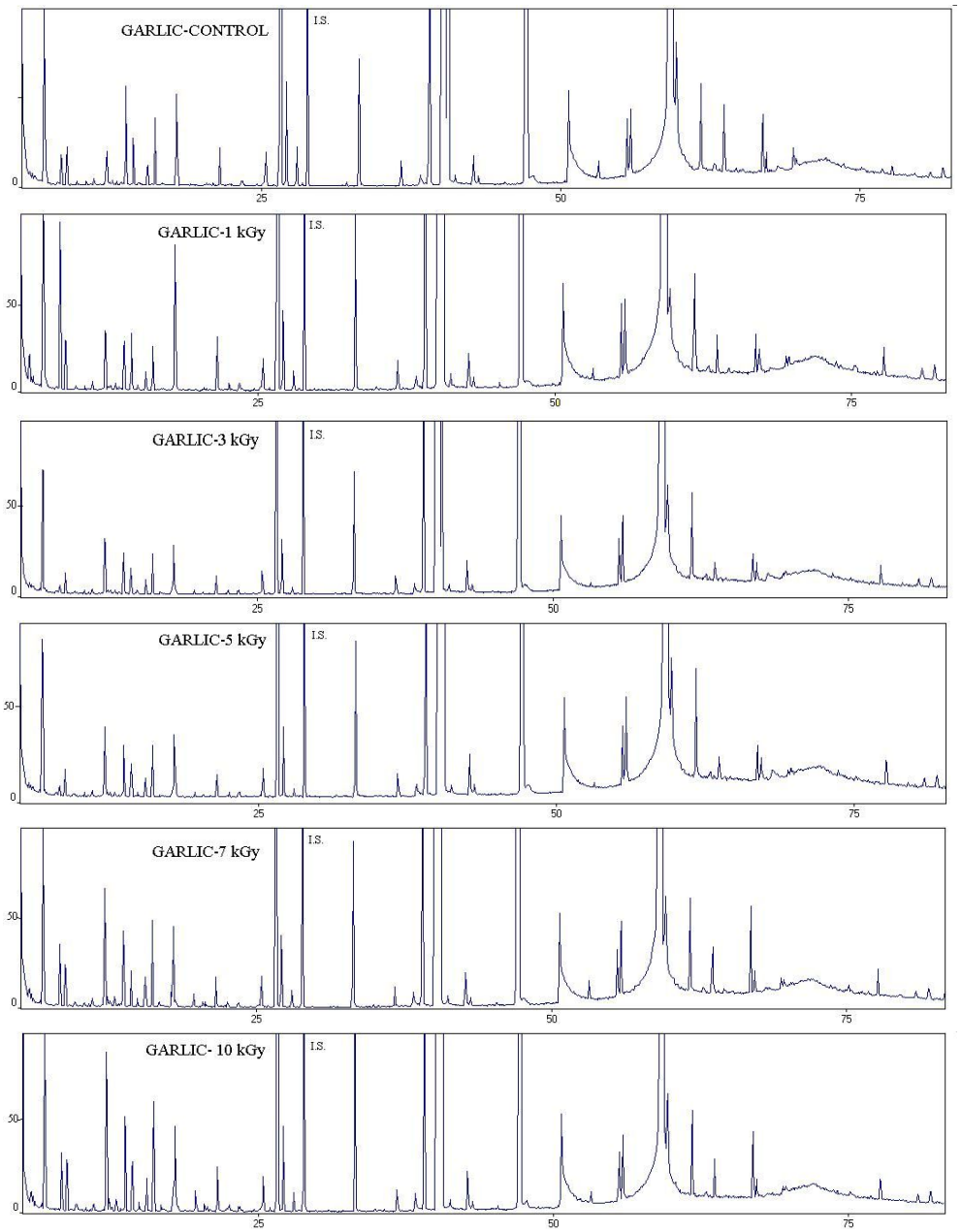

Fig. 7. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non- and gamma ray irradated dried garlic at dose of 1, 3, 5, 7 and 10 kGy.

Table 12. Volatile organic compounds identified in non- and gamma ray irradiated dried garlic

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
1	842	Ethyl formate	0.88	3.41	1.13	0.39	1.39	1.27
2	852	1-Propanethiol	0.72	0.59	0.79	0.47	0.67	0.63
3	864	2-Propenal	0.69	0.65	0.80	0.70	0.71	0.61
4	896	Butanal	-	0.90	0.53	0.24	0.84	0.69
5	906	Ethyl acetate	21.47	35.39	33.04	22.10	23.97	28.37
6	948	Ethanol	3.41	21.20	4.32	1.08	7.43	6.34
7	960	Allyl methyl sulfide	4.35	6.68	5.98	2.85	4.67	5.70
8	980	Pentanal	0.17	0.40	0.79	0.63	0.79	0.86
9	997	2,2,4-Trimethylhexane	-	0.60	0.28	0.57	0.60	0.56
10	1013	3,7-Dimethyl nonane	0.59	1.13	0.84	0.85	0.95	0.64
11	1037	3-Butenal	4.71	8.50	16.93	8.92	15.94	19.63
12	1042	3-Methyl-3-buten-2-one	0.57	0.78	1.16	0.44	0.99	1.30
13	1047	2,2,5,5-Tetramethylhexane	-	0.65	0.52	0.58	0.95	0.41
14	1054	Allyl vinyl ether	0.28	0.76	0.72	0.59	1.21	1.16
15	1069	Dimethyl disulfide	14.25	7.67	13.83	7.08	11.01	12.79
16	1080	Hexanal	6.51	8.86	11.85	4.20	4.11	6.38
17	1090	2-Methyl-2-butenal	0.32	0.94	0.92	0.76	1.11	0.88
18	1101	2-Ethenyl-2-butenal	2.54	2.62	3.88	2.27	3.86	4.39
19	1113	2-Propenol	9.75	7.54	17.12	7.25	13.12	15.48
20	1141	4-Penten-2-ol	-	-	0.80	0.22	1.88	2.65
21	1144	Diallyl sulfide	13.80	27.73	17.00	8.22	11.98	12.06
22	1147	2-Methyl-2-pentenal	-	0.73	1.02	0.56	0.88	0.86
23	1172	3-Butenol	-	-	0.78	0.76	1.80	2.65
24	1198	1-(1-Propenylthio)propane	5.66	9.14	13.48	2.99	4.46	6.16
25	1215	(*Z*)-2-Heptenal	-	1.22	1.13	0.88	1.76	0.54
26	1228	Methyl propyl disulfide	0.69	0.87	0.78	0.22	1.12	0.79
27	1230	2-Pentyl furan	0.83	1.56	0.76	8.22	1.22	1.05
28	1260	1,3-Dithiane	5.95	6.27	5.52	0.56	5.01	5.33

[1)]Retention index

Table 12. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
29	1277	Methyl allyl disulfide	312.69	321.41	317.21	221.28	252.70	278.54
30	1284	Propenyl methyl disulfide	17.08	14.63	13.42	10.13	11.57	12.69
31	1295	3-Methylpyridine	6.85	3.32	5.99	1.27	2.69	2.04
I.S[2)]	1309	Butylbenzene	-	-	-	-	-	-
32	1374	Dimethyl trisulfide	31.16	42.14	36.18	27.39	31.92	33.08
33	1426	(*E*)-Propenyl propyl disulfide	4.60	5.63	4.27	3.70	3.72	3.25
34	1429	1,3-bis[1,1-dimethyl-ethyl]-benzene	-	-	-	0.35	0.60	0.77
35	1449	Acetic acid	0.95	1.80	0.36	0.36	-	-
36	1451	Methional	0.95	3.85	3.27	1.65	2.50	1.61
37	1463	2-Vinyl-1,3-dithiane	77.30	92.82	62.59	64.30	60.55	57.71
38	1482	Diallyl disulfide	2002.33	2771.31	2025.47	1848.65	1723.88	1694.65
39	1486	3-(Allylthio)propionic acid	293.68	293.70	205.14	202.80	181.27	178.95
40	1494	2-Ethyl-1-hexanol	1.26	2.45	1.52	1.04	0.63	1.09
41	1518	Dimethyl thioacetamide	5.89	8.17	6.36	9.11	8.40	7.99
42	1525	Methyl propyl trisulfide	1.41	3.07	1.33	1.09	0.74	0.55
43	1588	Methyl 2-propenyl trisulfide	636.73	958.96	663.74	689.78	656.48	642.53
44	1645	Cyclopenthyl ethyl sulfide	41.83	43.31	34.30	34.92	26.01	27.39
45	1686	Methylcyclohexyl sulfide	3.03	2.60	2.34	1.95	4.25	1.96
46	1728	3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane	12.55	17.16	11.16	11.25	10.01	9.45
47	1733	3-Vinyl-4H-1,2-dithiin	15.43	19.59	14.69	18.50	17.85	14.40
48	1794	Diallyl trisulfide	2198.84	3293.23	2186.48	2496.62	2270.50	2108.54
49	1799	Allyl 1-propenyl trisulfide	43.24	21.22	26.23	35.98	36.93	37.56
50	1844	2-Vinyl-4H-1,3-dithiin	18.05	24.62	16.67	21.59	20.14	16.97
51	1885	2-Ethoxy-4-methyl cyclohexanone	11.10	6.46	9.30	3.72	8.05	6.14
52	1967	2-Methoxy-5-methylthiophene	11.84	9.29	15.09	6.69	17.91	13.38
53	1975	1-Phenyl-1-propanol	3.25	4.87	4.52	3.71	3.42	2.95
54	2263	Ethyl palmitate	1.56	6.88	5.18	4.11	4.61	3.81
		Total	5853.33	8129.25	5829.49	5803.25	5481.75	5298.15

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 13. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and gamma ray irradiated garlic

Functional Group	Irradiation dose (kGy)											
	0		1		3		5		7		10	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Alcohols	3	0.3	4	0.5	6	0.5	6	0.2	6	0.5	6	0.6
Aldehydes	7	0.3	7	0.3	9	0.7	9	0.3	9	0.5	9	0.7
Esters	3	0.4	3	0.6	3	0.7	3	0.4	3	0.6	3	0.6
S-containing compounds	26	98.7	26	98.5	26	97.9	26	98.5	26	98.1	27	97.9
Miscellaneous	8	0.4	9	0.2	9	0.3	10	0.5	9	0.3	8	0.3
Total	39	100.0	40	100.0	44	100.0	44	100.0	44	100.0	45	100.0

5. 감마선 조사된 양파의 휘발성 유기성분 변화

조사하지 않은 양파를 control로 하고, 감마선 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy로 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE 방법으로 추출한 마늘의 휘발성 유기성분을 GC/MS로 분석하였으며 chromatogram은 Fig. 8과 같다. GC/MS 분석에 의하여 동정된 휘발성 유기성분의 조성과 함량은 Table 14에 나타내었고, 동정된 휘발성 유기성분의 관능기에 따른 상대적 농도는 Table 15에 나타내었다.

양파에서 총 40종의 휘발성 유기화합물이 분리·동정되었고 그 중 황화합물이 24종으로 71.5%를 차지하였으며, aldehyde류는 5종으로 21.3%, alcohol류 3종으로 1.5%, ketone류 1종으로 0.1%, ester가 2종으로 3.9%으로 확인되었다. 양파의 주요 휘발성 유기성분으로는 dipropyl trisulfide(14.88 mg/kg), propanethiol (33.47 mg/kg) 및 2-methyl-2-pentanal(26.37 mg/kg)이 확인되었으며, 전체 휘발성 유기성분 함량(131.98 mg/kg)에서 56.6%를 차지하였다. 그 외에 다수의 황화합물이 건양파 특유의 휘발성 특성을 구성하였으며 특히, trisulfide류가 건양파의 휘발성 유기성분의 특성에 기여하는 것으로 나타났다.

이러한 sulfide류는 양파세포가 파괴될 때 alliinase에 의해서 S-alkyl- 또는 S-alkenyl-L-cysteine sulfoxide류로부터 분해되어 생성된 alkyl 또는 alkenyl thiosulfinate가 다시 반응하여 생성된다(169). 양파의 특징적 향에 기여하는 주요한 화합물로 Boelens 등은 propyl thiosulfonate (freshly cut onion), propyl propenyl disulfide와 propyl propenyl trisulfide (boiled onion), 그리고 dimethyl thiophene (fried onion)을 확인하고 이러한 화합물들의 생성경로의 연구 발표하였다(170). 또한, methyl propyl disulfide, dimethyl trisulfide, dipropyl disulfide, (Z)-Propenyl propyl disulfide는 양파에서 중요한 황화합물로 특징적이라고 보고된 바 있다(171-173).

본 연구에서 상당량 확인된 2-methyl-2-pentenal은 propanal 두 분자로부터 aldol condensation과 계속되는 dehydration에 의해 형성되는데 propanal은 생양파의 중요한 향 화합물 중의 하나로 이는 중요한 양파의 향 전구물질인 *S*-propenyl-cystein-S-oxide가 불안정한 lachrymatory factor(최루요소)인 thiopropanal S-oxide를 형성하며 자연적으로 propanal과 sulfur 형태로 재배열되어 2-methyl-2-pentenal을 생성

한다(170).

본 연구에서는 propyl thiosulfonate가 확인되지 않았는데 이는 thiosulfonate류가 낮은 증기압과 높은 수용성에 기인되어 유기성분 추출시 증류되는 동안 추출용매층으로 전환되지 않고 수용층에 남아있기 때문으로 *Allium*속 식물의 휘발성성분 분석에서 잘 동정되어지지 않는다고 하였다(170).

1 kGy로 조사된 양파의 휘발성 유기성분의 총량은 134.80 mg/kg 으로 비조사구와 유사하게 나타났다. 양파에서 총 40종의 휘발성 유기화합물이 분리·동정되었고 그 중 황화합물이 25종으로 72.2%를 차지하였으며, aldehyde류, alcohol류, ketone류, ester류가 확인되었으며, 그 관능기별 함량은 비조사구와 유사하게 나타났다. 주요화합물로는 dipropyl trisulfide, propanethiol 및 2-methyl-2-pentanal, methyl propyl disulfide, dimethyl trisulfide, dipropyl disulfide, (Z)-Propenyl propyl disulfide가 확인되어졌다. 그 중 propanethiol, dipropyl trisulfide는 각각 27.27 mg/kg, 13.67 mg/kg으로 비조사구에 비해 감소되어 나타났다.

3 kGy로 조사된 양파에서의 총량은 105.58 mg/kg으로 비조사구에 비해 약 21.0% 감소하여 나타났다. 이와 같은 경향으로, propanethiol, 2-methyl-4-pentanal, methyl propyl disulfide, dipropyl disulfide, methyl propyl trisulfide도 3 kGy 조사 선량에서 그 함량이 감소되었다. 반면, dipropyl trisulfide는 증가되어졌다. 그러나 주요화합물의 구성화합물에 있어서는 비조사구와 유사하게 확인 되었다.

5 kGy로 조사된 양파의 휘발성 유기성분의 총량은 103.01 mg/kg이며, 동정된 화합물은 40종이었다. 주요 화합물은 비조사구 및 조사선량별 시료들과 유사하게 확인되었고, 황함화물의 함량변화에 있어서 조사선량별로 증가되었다. Diproyl trisulfide는 22.76 mg/kg으로 비조사구에 비해 65.4% 증가되었고, dimethyl trisulfide, methyl propyl trisulfide도 이와 유사한 경향을 나타냈다. 반면, 특이적으로 propanethiol은 비조사구에 비해 감소하였지만, 3 kGy로 조사보다는 높게 나타났다.

7 kGy로 조사된 양파에서는 황함화합물의 함량이 조사선량별 시료 중 87.2%로 가장 높게 나타남 반면, aldehyde 류는 5.1%로 최소 함량으로 확인되었다. 주요 화합물을 살펴보면, diproyl trisulfide가 가장 높게 나타났으며, 이는 비조사구 및 조사선량별에서도 가장 높은 함량으로 확인되었다. 또한 (Z)-propenyl propyl disulfide 및 methyl propyl trisulfide도 같은 경향으로 나타났다. 반면, propanethiol, 2-methyl

-2-pentanal, methyl propyl disulfide, (E)-prophenyl propyl trisufate는 7 kGy의 조사선량에서 비조사구 및 다른 선량별 시료 들 중 가장 낮은 함량으로 나타났다.

10 kGy의 조사선량에서의 휘발성 유기성분의 총 함량은 131.38 mg/kg으로 7 kGy 조사에서 비해 증가되었으나 비조사구와 유사하게 확인되었다. 그러나 황함화합물의 비율은 7 kGy 조사된 시료보다 감소되었지만 비조사구 및 조사선량별 시료와 비교하여 증가되었다. 주요화합물의 구성은 비조사 및 조서선량별 시료모두 유사한 경향을 나타냈으며, 그 함량에 있어서는 유의적인 변화를 확인되지 않았다.

Farkas 등(192)은 8~10 kGy의 조사 선량에서 휘발성 유기성분의 변화를 확인할 수 있었다고 보고하였고, Bachman 과 Gieszczynska(193) 는 7.5~15 kGy로 조사된 다양한 향신 채소류의 휘발성유기성분의 변화에 대해 연구보고 하였다. 본 연구에서는 3~7 kGy 조사 선량에서 양파의 휘발성 유기성분이 가장 많은 변화를 나타냄을 확인하였다. 이로 인해 조사처리로 인해 양파에서 특이적인 화합물이 생성되지 않음을 확인함으로써 그 안전성에 대한 근거로 제시할 수 있을 것으로 사료되며, 위생화 목적에 따른 조사선량의 설정에 대한 근거자료로 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

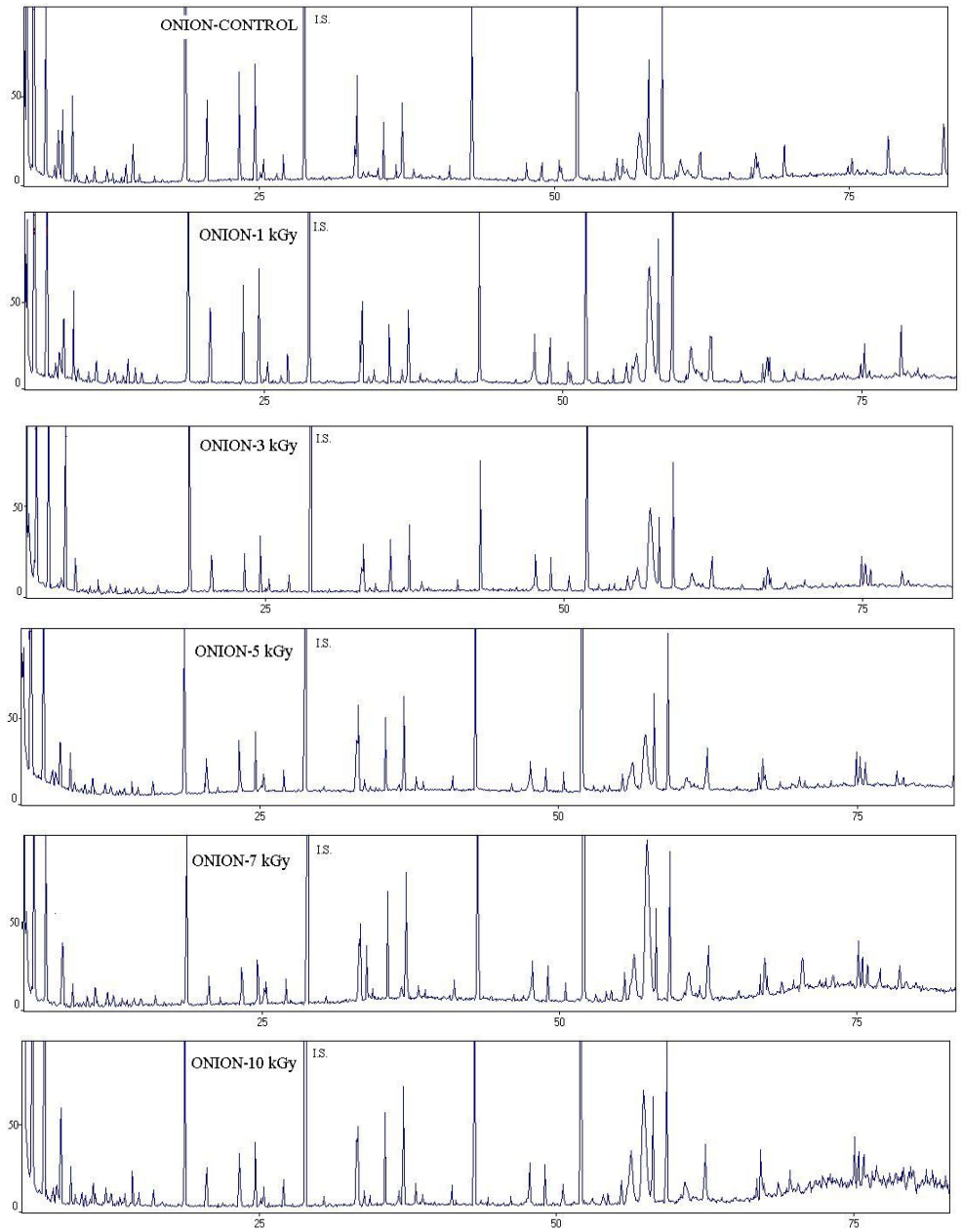

Fig. 8. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non- and gamma ray irradiated dried onion at dose of 1, 3, 5, 7 and 10 kGy.

Table 14. Volatile organic compounds identified in non- and gamma ray irradiated dried onion

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
1	835	Ethyl formate	0.14	0.08	0.36	0.11	0.14	0.14
2	846	1-Propanethiol	33.47	27.27	20.27	25.84	16.08	29.30
3	902	2-Propene-1-thiol	0.78	0.72	0.17	0.34	0.07	0.31
4	905	Ethyl acetate	5.00	4.78	4.68	5.48	3.66	7.00
5	910	Diethyl acetal	0.17	0.04	0.08	0.14	-	0.02
6	928	3-Methylbutanal	0.29	0.33	0.13	0.24	0.10	0.24
7	936	Propylene sulfide	0.99	0.55	0,24	0.19	-	0.30
8	947	Ethanol	1.30	1.09	3.74	0.85	1.30	1.64
9	969	2,4-Dimethylfuran	1.47	1.54	0.74	0.64	0.41	0.65
10	977	2,3-Butadione	0.13	0.19	0.18	0.20	0.22	0.19
11	990	(E)-3-penten-2-one	-	-	0.12	0.09	0.14	0.21
12	1012	3,3-Dimethyloctane	0.27	0.40	0.41	0.35	0.48	0.50
13	1036	2-Butanol	0.37	0.26	0.19	0.15	0.30	0.56
14	1068	Dimethyl disulfide	0.43	0.52	0,12	0.16	0.13	0.23
15	1079	Hexanal	0.82	0.33	0.17	0.26	0.22	0.81
16	1154	2-Methyl-4-pentanal	26.37	27.92	11.82	5.84	5.10	7.06
17	1183	Pyridine	0.18	-	0.11	0.16	0.35	0.39
18	1185	2,5-Dimethyl thiophene	2.07	1.82	1.23	0.80	0.70	0.87
19	1227	Methyl propyl disulfide	2.83	2,38	1.23	1.19	0.85	1.23
20	1229	2-Pentylfuran	0.27	-	0.24	0.26	0.60	0.53
21	1248	2,4-Dimethyl thiophene	3.22	3,17	2.00	1.64	1.32	1.64
22	1258	(Z)-Propenyl methyl disulfide	0.43	0.51	0.33	0.38	0.52	0.46
23	1282	(E)-Propenyl methyl disulfide	0.73	0.63	0.51	0.57	0.75	0.75
I.S.[2)]	1308	Butyl benzene	-	-	-	-	-	-

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 14. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
24	1372	Dimethyl trisulfide	0.92	1.34	0.80	1.54	1.82	1.80
25	1375	Dipropyl disulfide	2.80	2.37	1.58	2.30	2.32	2.04
26	1407	(Z)-Propenyl propyl disulfide	1.59	1.51	1.97	2.04	3.18	2.57
27	1425	Allyl propyl disulfide	0.26	0.36	0.13	-	-	-
28	1428	1,3-di-tetra-butylbenzene	-	0.05	0.09	0.27	0.15	0.23
29	1432	(E)-Propenyl propyl disulfide	2.01	1.73	2.41	2.46	3.93	3.31
30	1492	2-Ethyl-1-hexanol	0.36	0.30	0.46	0.38	0.54	0.39
31	1523	Methyl propyl trisulfide	5.68	6.06	5.00	6.47	9.46	8.37
32	1595	(Z)-3,5-Dimethyl-1,2,4-trithiolane	0.43	1.62	1.49	0.96	1.42	1.02
33	1616	(E)-3,5-Dimethyl-1,2,4-trithiolane	0.46	1.37	1.38	0.76	1.44	1.39
34	1641	2-Acetyl thiazole	0.66	0.77	0.39	0.58	0.73	0.60
35	1666	Dipropyl trisulfide	14.88	13.67	15.76	22.76	32.45	25.91
36	1723	2-Methyl-4,5-dihydrothiophene	0.94	0.74	0.68	0.53	1.50	0.98
37	1732	1,2,4-Trithiolane	0.51	0.22	0.33	1.07	0.38	-
38	1752	5,6-dihydro-2,4,6-trimethyl-4H-1,3,5-dithiazine	7.25	14.96	15.47	7.28	6.85	17.46
39	1770	(Z)-Prophenyl propyl trisulfate	3.77	4.39	3.29	2.90	2.94	3.80
40	1790	(E)-Prophenyl propyl trisulfate	6.32	8.33	5.30	5.16	4.71	5.59
Total			131.98	134.80	105.58	103.31	107.22	131.38

[1)]Retention index

Table 15. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and gamma ray irradiated dried onion

Functional Group	Irradiation dose (kGy)											
	0		1		3		5		7		10	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Alcohol	3	1.5	3	1.2	3	4.2	3	1.3	3	2.0	3	2.0
Aldehydeds	5	21.3	4	21.3	4	11.6	4	6.3	4	5.1	4	6.2
Esters	2	3.9	2	3.6	2	4.8	2	5.4	2	3.5	2	5.4
Heterocyclic compounds	3	1.5	3	1.1	3	1.0	3	1.0	3	1.3	3	1.2
Hydrocarbons	1	0.2	2	0.3	2	0.5	2	0.6	2	0.6	2	0.6
Ketone	1	0.1	1	0.1	2	0.3	2	0.3	2	0.3	2	0.3
S-containing compounds	24	71.5	25	72.2	25	77.7	24	85.1	24	87.2	23	84.4
Total	15	100.0	15	100.0	16	100.0	16	100.0	16	100.0	16	100.0

제 3절 전사선 조사에 의한 향신 채소류의 휘발성 유기성분 특성

1. 전자선 조사된 고춧가루의 휘발성 유기성분 변화

조사하지 않은 고춧가루를 control로 하고, 전자선 1, 3, 5, 7 및 10 kGy로 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE방법으로 휘발성 유기성분을 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 9과 같고, 동정한 성분과 이들의 상대적 농도는 Table 16에, 관능기별 함량비교는 Table 17에 나타내었다.

고춧가루에서 확인된 휘발성 유기성분은 총 38 종으로 acid류 1종(0.6%), alcohol류 6종(31.5%), aldehyde류 11종(35.8%), ester류 5종(21.2%), hydrocarbon류 7종(4.7%), ketone류 4종(4.5%) 및 heterocyclic compound 4종(1.7%)이었으며 유기성분 총량은 118.98 mg/kg이었다. 고춧가루에 특징적으로 존재하는 주요 휘발성 유기성분으로는 ethyl acetate, 2-methy butanal, 3-methylbutanal, hexanal, pyridine, 2-pentylfuran, benzaldehyde, linalool, (E,E)-2,4-decadienal, β-ionone, 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, methyl linolenate 등이 확인되었다.

1, 3, 5, 7 및 10 kGy의 선량으로 전자선 조사된 고춧가루에서는 각각 39종의 화합물이 확인되었으며, 휘발성 유기성분 조성은 대조군과 비슷하였다. 1, 3, 5, 7 및 10 kGy 전자선 조사된 고춧가루의 총량은 각각 140.29 mg/kg, 189.29 mg/kg, 295.58 mg/kg, 168.71 mg/kg 및 297.18 mg/kg 이었으며 특히, 10 kGy로 전자선 조사된 고춧가루에서 대조군보다 약 2.5배 정도의 최대 함량이 확인되었다.

전자선 조사된 고춧가루의 주요 관능그룹은 aldehyde류, alcohol류, ester류 및 heterocyclic compound류로 확인되었으며 이는 대조군과 비슷한 양상을 보였다.

1 kGy의 선량으로 조사된 고춧가루에서 확인된 휘발성 유기성분은 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, methyl palmitate, methyl linolenate, (E,E)-2,4-decadienal, ethyl acetate, 3-methylbutanal, β-ionone, furfural, benzaldehyde, hexanal, 2-methylbutanal, 2-pentylfuran, pyridine, linanol 순으로 함량이 다른 향기성분 보다 높게 나왔으며, 이들은 비조사 고춧가루에서 주요 성분으로 확인되었던 화합물들과 일치했다. 비조사 고춧가루에 비해서 methyl linolenate(6.88 mg/kg)의 함량은 1.3

배, (Z)-9,17-octadecadienal(25.96 mg/kg)은 1.4배, 1-tridecanol(39.97 mg/kg)은 1.2배 증가되었다. 이 밖에 ethyl acetate(4.26 mg/kg), (E,E)-2,4-decadienal(6.51 mg/kg)은 각각 2.1배, 1.8배 정도 감소한 것으로 나타났다.

3, 5, 7 그리고 10 kGy의 선량으로 조사된 고춧가루에서 확인된 휘발성 유기성분은 비조사구 및 1 kGy로 조사된 고춧가루에서 확인된 주요 화합물들이 일치 하였으나, 그 함량에 있어서의 변화를 확인하였다. 3 kGy로 조사된 고춧가루에서 (Z)-9,17-octadecadienal, 1-tridecanol, methyl linolenate, (E,E)-2,4-decadienal, ethyl acetate 및 3-methylbutanal 등의 함량이 높게 확인됐으며, methyl linolenate은 비조사 고춧가루에서 확인된 함량에 비해 3.5배, (Z)-9,17-octadecadienal은 2.9배 증가하였다. 1-tridecanol은 비조사구에 비해 1.6배 높게 확인되었고, 반면 ethyl acetate, 2-methylbutannal, 3-methylbutanal, hexanal β-ionone 등 비조사수에 비해 감소되는 화합물들도 확인되었으나 이는 1 kGy로 조사했을 때의 함량과 유사하게 나타났다.

5 kGy로 조사된 고춧가루의 휘발성 유기성분 중 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, methyl linolenate, ethyl acetate, 3-methylbutanal 및 β-ionone의 함량이 가장 높게 나타났으며, 비조사구에 비해 증가됨을 확인하였다. 5 kGy의 조사선량에서 특이적으로 비조사구에 비해 증가되었으며, 그 중 1-tridecanol(117.44 mg/kg)으로 비조사구에 비해 3.5배, (Z)-9,17-octadecadienal(82.49 mg/kg)는 4.4배 그리고 methyl linolenates(21.55 mg/kg)는 4.0배로 가장 많은 증가율을 보였다. hexanal은 1.24 mg/kg으로 1 kGy 와 3 kGy에서는 비조사구와 비슷한 함량으로 확인되었으나 5 kGy 조사에서는 1.6배 감소하였다. 또한, ethyl acetate은 2.7배 감소하였으나 3 kGy의 조사시료에서와는 유사함 함량을 나타냈다. (E,E)-2,4-decadienal은 1.39 mg/kg으로 조사선량별 중 가장 낮은 함량으로 확인되었다.

7 kGy로 조사된 고춧가루의 휘발성 유기성분의 함량을 살펴보면, 5 kGy로 조사된 고춧가루에서 비조사구에 비해 증가됨을 나타냈으나, 특이적으로 7kGy에서 감소되는 경향을 나타냈다. 가장 높은 함량의 1-tridecanol의 경우 비조사구에 비해 1.4배 증가하였으나, 5 kGy 조사 함량에 비해 2.4배 감소하였으며, (Z)-9,17-octadecadienal은 비조사와 비교하여 2.0배 증가하였으나, 5 kGy 조사 함량에 비해 2.3배 감소하는 경향을 나타냈다. methyl palmitate, pyridine, 2-penthylfuran 그리고

linalool등에서도 같은 경향을 나타내었다.

10 kGy로 조사된 고춧가루의 휘발성 유기화합물은 가장 높은 함량을 나타내는 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, methyl linolenate를 확인하였다. 그리고 동정된 다른 휘발성 유기화합물들은 비조사구 및 1, 3, 5, 7 kGy로 조사된 고춧가루에서 동정된 화합물과 같은 결과를 나타냈다. 특징적으로 비조사구에 비해 주요 화합물 즉, 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, methyl linolenate의 함량이 각각 3배, 4.5배, 3.7배 씩 크게 증가되었다. 또한 비조사구에 비해 변함이 없는 화합물이 확인되었다. 비조사구와 비교하여 그 함량이 감소되는 화합물로는 ethylacetate, hexanal, (E,E)-2,4-decadienal을 확인하였다.

전자선 조사된 고춧가루에서 1 kGy로 조사된 시료에서 비조구에 비해 가장 변화가 적었으며, 10 kGy의 조사 시료에서 주요 화합물에 가장 많은 함량 변화가 나타났다. 또한 조사된 시료에서 특이적인 화합물은 검출되지 않았으며, 이로 인하여 고춧가루에 위생화 목적으로 감마선 조사처리를 했을 때 목적에 따른 적정 조사 선량을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

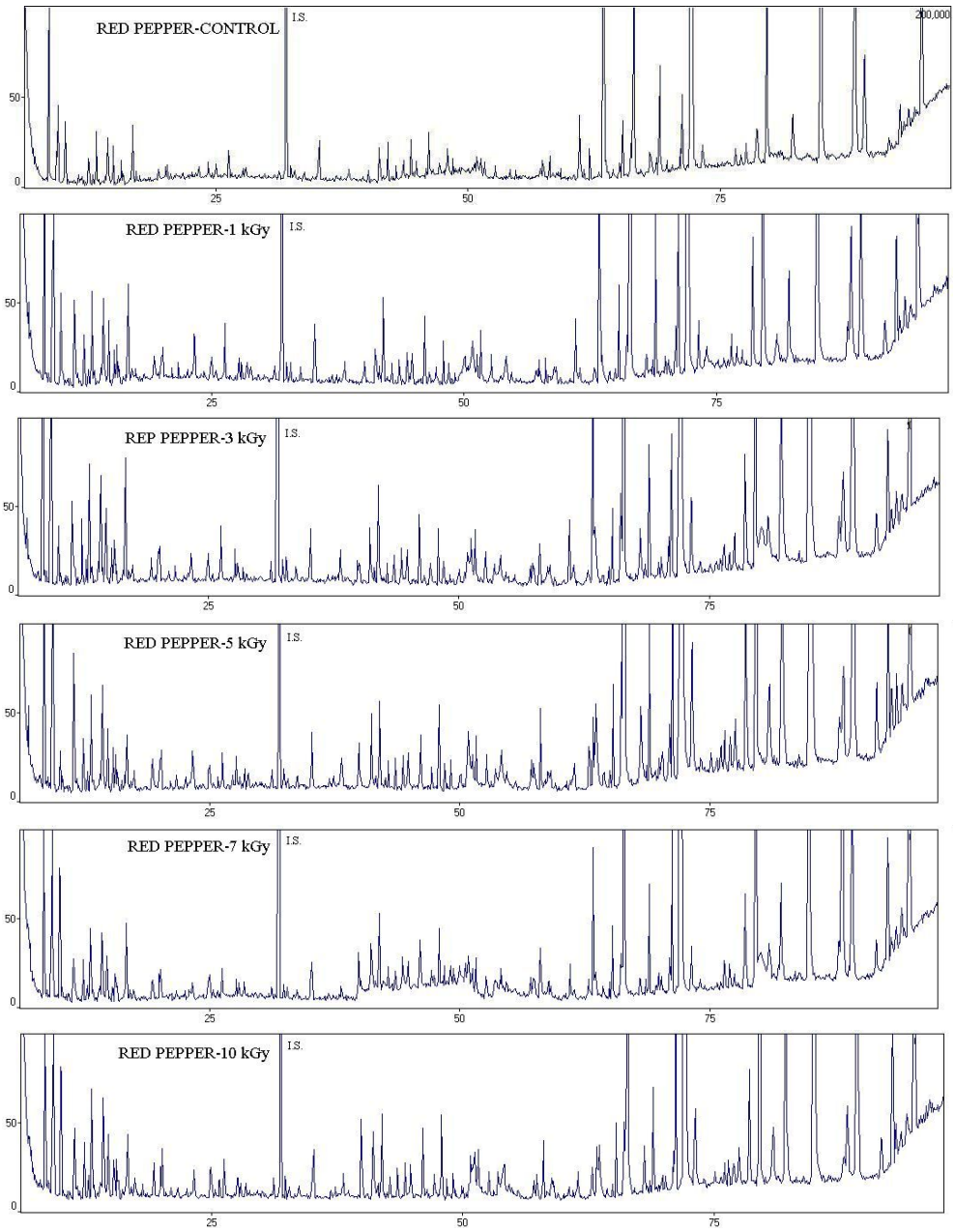

Fig. 9. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non- and electron beam irradiated red pepper powder at dose of 1, 3, 5, 7 and 10 kGy.

Table 16. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam irradiated red pepper powder

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
1	852	Ethyl acetate	9.00	4.26	3.58	3.30	3.93	5.62
2	871	2-Methylbutanal	1.42	1.36	1.26	1.41	1.60	1.91
3	874	3-Methylbutanal	3.27	3.00	2.94	2.80	3.20	3.83
4	891	Ethanol	2.31	1.57	0.71	0.54	2.73	2.84
5	949	2,3-Butanedione	0.54	1.16	1.03	1.65	1.12	1.63
6	957	Pentanal	0.32	0.34	0.32	0.23	0.40	0.21
7	964	2-Methylpentanal	0.41	0.32	0.34	0.30	0.40	0.39
8	1007	2-Methylnonane	0.43	0.42	0.47	0.37	0.40	0.57
9	1014	3-Methylnonane	1.83	1.36	1.43	1.22	1.60	2.04
10	1038	3,7-Dimethylnonane	1.57	1.39	1.53	1.57	1.73	1.97
11	1082	Hexanal	2.01	1.92	2.04	1.24	2.03	1.66
12	1137	1-Methylpyrrole	0.40	0.79	0.51	0.71	0.90	0.57
13	1187	Pyridine	0.53	0.98	0.28	1.23	0.51	0.69
14	1213	3-Methylbutanol	0.20	0.36	0.46	0.16	0.44	0.17
15	1232	2-Pentylfuran	0.65	1.22	0.92	0.68	1.03	0.76
I.S[2)]	1313	Butylbenzene	-	-	-	-	-	-
16	1320	4-Methylpentanol	0.33	0.14	0.49	0.34	0.39	0.23
17	1327	(*E*)-2-Heptenal	0.23	0.24	0.56	0.22	0.32	0.14
18	1360	Hexanol	0.42	0.65	0.48	0.41	0.80	1.38
19	1362	2-Methyl tridecane	0.75	0.93	0.73	1.08	1.08	0.13
20	1392	2-Methyl tetradecane	0.23	0.20	0.18	0.39	0.20	0.36

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 16. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
21	1430	1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene	-	0.11	0.36	0.84	0.94	1.64
22	1434	2,3-Dimethylhexene	0.43	0.64	0.55	0.43	0.48	0.48
23	1449	Acetic acid	0.75	0.94	0.30	1.43	1.73	2.19
24	1462	Furfural	0.88	2.21	1.92	1.80	3.20	2.85
25	1485	2,3,5,6-Tetramethylpyrazine	0.49	0.72	0.54	0.63	0.89	1.06
26	1524	Benzaldehyde	1.61	2.04	1.57	1.58	2.13	3.16
27	1553	Linalool	0.62	0.81	0.87	1.65	1.57	2.42
28	1628	Pulegone	0.40	0.46	0.76	0.44	0.23	0.22
29	1652	1,2-Dimethoxybenzene	0.31	0.46	0.50	0.31	0.320	0.25
30	1773	(*E,Z*)-2,4-ecadienal	1.93	1.45	8.14	0.25	1.23	0.10
31	1819	(*E,E*)-2,4-Decadienal	11.87	6.51	7.08	1.39	4.45	1.84
32	1864	Geranyl acetone	1.86	1.75	1.18	1.63	1.75	2.18
33	1956	*β*-Ionone	2.60	2.65	2.33	2.54	2.60	2.82
34	2017	Methyl pentadecanoate	1.65	3.18	2.06	5.44	3.88	7.02
35	2038	1-Tridecanol	33.55	39.97	52.71	117.44	49.07	100.67
36	2070	13-Tetradecynoic acid methylester	0.71	1.06	1.11	3.84	1.20	2.03
37	2196	Methyl palmitate	8.40	19.90	14.62	30.05	22.79	35.15
38	2337	(*Z*)-9,17-Octadecadienal	18.64	25.96	53.63	82.49	36.96	83.63
39	2475	Methyl linolenate	5.44	6.88	18.82	21.55	8.51	20.36
		Total	118.98	140.29	189.29	295.58	168.71	297.18

[1)]Retention index

Table 17. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and electron beam irradiated red pepper powder

Functional Group	Irradiation dose (kGy)											
	0		1		3		5		7		10	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Acids	1	0.6	1	0.7	1	0.2	1	0.5	1	1.0	1	0.7
Alcohols	6	31.5	6	31.0	6	29.4	6	40.8	6	32.6	6	36.3
Aldehydes	11	35.8	11	32.3	11	42.2	11	31.7	11	33.1	11	33.6
Esters	5	21.2	5	25.2	5	21.2	5	21.7	5	23.9	5	23.6
Hydrocarbons	7	4.7	8	3.9	8	3.0	8	2.1	8	4.0	8	2.5
Ketones	4	4.5	4	4.3	4	2.8	4	2.1	4	3.4	4	2.3
heterocyclic compounds	4	1.7	4	2.6	4	1.2	4	1.1	4	2.0	4	1.0
Total	34	100.0	35	100.0	35	100.0	35	100.0	35	100.0	35	100.0

2. 전자선 조사된 생강의 휘발성 유기성분 변화

조사하지 않은 생강을 control로 하고, 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy 전자선 조사하여 얻은 생강의 휘발성 유기성분을 SDE방법으로 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻어진 chromatogram은 Fig. 10에 도식하였다. GC/MS 분석에 의하여 동정된 휘발성 유기성분의 조성과 상대적 농도를 Table 18에 나타내었고, 동정된 휘발성 유기성분의 관능기에 따른 상대적 함량은 Table 19에 나타내었다.

건조 생강에서 분리 동정된 성분은 총 70종으로, 33종의 hydrocarbon류(83.8%)가 대부분을 차지하였고 그 외에 18종의 alcohol류와 8종의 aldehyde류가 확인되었으며 ketone류 6종, ester류 및 기타화합물은 각각 3종으로 확인되었다. 생강에서 확인된 주요 휘발성 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, *β*-bisabolene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, germacrene D, (*Z*)-citral, camphene등 이었으며, 건조 생강의 주된 유기성분으로 확인되었다.

전자선 조사된 생강에서 분리 동정된 휘발성 유기성분은 모두 비조사된 생강에서 분리 동정된 화합물로 확인되었으며, 휘발성 유기성분의 총 함량은 조사된 후 증가되어졌다. 1 kGy의 선량으로 조사된 생강에서 확인된 관능기에 따른 휘발성 유기성분으로는 hydrocarbon류가 84.7%로 비조사 시료와 동일하게 가장 많이 함유되어 있었으며, 순차적으로 alcohol류 11.0%, aldehyde류 3.3%, ketone류 0.8%, 기타 0.2% 그리고 ester류가 0.1%로 나타내었다. 주된 휘발성 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, *β*-bisabolene, germacrene D, camphene, (*Z*)-citral 순으로 *β*-bisabolene과 (*Z*)-citral은 각각 811.8 mg/kg, 419.6 mg/kg로 대조군과 비교하여 감소되었다. 3 kGy의 선량으로 조사된 건생강에서 확인된 휘발성 유기성분의 관능기에 따른 상대적인 함량은 hydrocarbon류 85.4%, alcohol류 10.2%, aldehyde류 3.3%, ketone류 0.8%, 기타 0.1%, ester류 0.1% 순으로 나타내었으며, 주된 휘발성 유기성분은 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, *β*-bisabolene, germacrene D, camphene, (*Z*)-citral 순으로 확인되었다. 그 중 *α*-zingiberene과 *β*-sesquiphellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene은 각각 6313.9 mg/kg, 3440.1 mg/kg, 1944.2 mg/kg로 확인되어 비조사 시료보다 상당량 증가함을 확인하였다. 5 kGy의 선량으로 조사된 건생강에서 확인

된 휘발성 유기성분의 peak area%를 관능기에 따라 분류하면 hydrocarbon류 85.2%, alcohol류 10.3%, aldehyde류 3.5%, ketone류 0.8%, 기타 0.2% 그리고 ester류의 화합물은 0.1%로 확인하였으며, 주된 휘발성 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, *β*-bisabolene, germacrene D, camphene, (*Z*)-citral 순으로 확인되었다. 7 kGy의 선량으로 조사된 생강에서도 hydrocarbon류가 85.22%로 휘발성 유기성분 중 가장 많이 함유되었으며 이어서 alcohol류가 10.6%, aldehyde류가 3.4%, ketone류가 0.5% 그리고 기타, ester류의 화합물은 각각 0.2%, 0.1%로 확인하였다. 주된 휘발성 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, *β*-bisabolene, germacrene D, camphene, (*Z*)-citral 순으로 확인되었다. 10 kGy의 선량으로 조사된 건생강의 휘발성 유기성분을 관능기에 따라 분류하면, hydrocarbon류 85.5%, alcohol류 10.3%, aldehyde류 3.2%, ketone류 0.8%, 기타 0.2% 그리고 ester류 0.1% 순으로 확인되었으며, 주된 휘발성 유기성분은 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-bisabolene, *β*-phellandrene, germacrene D, camphene, (*Z*)-citral으로 확인되었다.

전자선 조사된 시료에서도 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, *β*-bisabolene 등이 주요 유기성분으로 확인되어 비조사구와 마찬가지로 terpene류의 화합물이 주로 확인되었으며, 조사 후에 hydrocarbon류의 전체적인 비율에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 나타났다. 그러나 전체적인 휘발성 유기성분의 함량은 조사 전과 비교하여 다소 증가하는 경향을 나타내었으며, 특히 주요 유기성분 중의 하나인 *β*-bisabolene은 1, 3, 5, 7 kGy의 선량으로 조사한 시료에서는 비조사구보다 감소하는 경향을 보이다 10 kGy의 선량에서는 특이적으로 증가하였다. 그리고 또 다른 주요화합물로써 생강에서 레몬과 같은 향을 내는 (*Z*)-citral은 비조사 시료에서 463.9 mg/kg (2.9%)로 확인되었지만 조사선량이 증가할수록 함량이 감소하는 경향을 보였다. 이와 같은 경향으로 동정된 화합물 중 6-methyl-5-heptene-2-one과 camphor은 선량이 증가함에 따라 함량이 감소하는 것을 확인하였고, *β*-myrcene, (*Z*)-*β*-farnesen, germacrene D는 1 및 3 kGy에서는 증가하는 경향을 보이다가 3 kGy 이상의 선량들에서는 특이적으로 감소되었다. 또한, 조사 되지 않은 건조생강의 전체적인 휘발성 유기성분 함량은 15,785.4 mg/kg로 나

타났으며, 선량별로 조사된 건조 생강의 전체적인 휘발성 유기성분의 함량은 1, 3, 5, 7 및 10 kGy에서 각각 16,170.7 mg/kg, 19,383.7 mg/kg, 17,866.8 mg/kg, 16,394 mg/kg 및 17.653.2 mg/kg으로 확인되었다. 조사전과 비교하여 선량별 조사 후의 시료에서 확인된 전체적인 휘발성 유기성분은 3 kGy까지는 증가하다가 5 kGy 및 7 kGy로 조사된 시료에서는 감소하는 경향을 보였으나 다시 선량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 결론적으로 생강의 휘발성 향기성분 조성에 대한 전자선 조사 영향은 나타나지 않았으며, 주요 성분의 함량은 3 kGy의 조사 시료에 가장 많은 변화를 나타냈다. 1 kGy의 저선량 조사에서 확인된 생강의 휘발성 유기성분은 비조사구에 비해 많은 변화가 나타나지 않았으며 대부분의 화합물들의 상호 유의적인 변화는 확인되지 않았다. 이로인해서 전자선 조사된 생강의 위생화 목적으로 감마선 조사처리를 했을 때 목적에 따른 적정 조사 선량을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

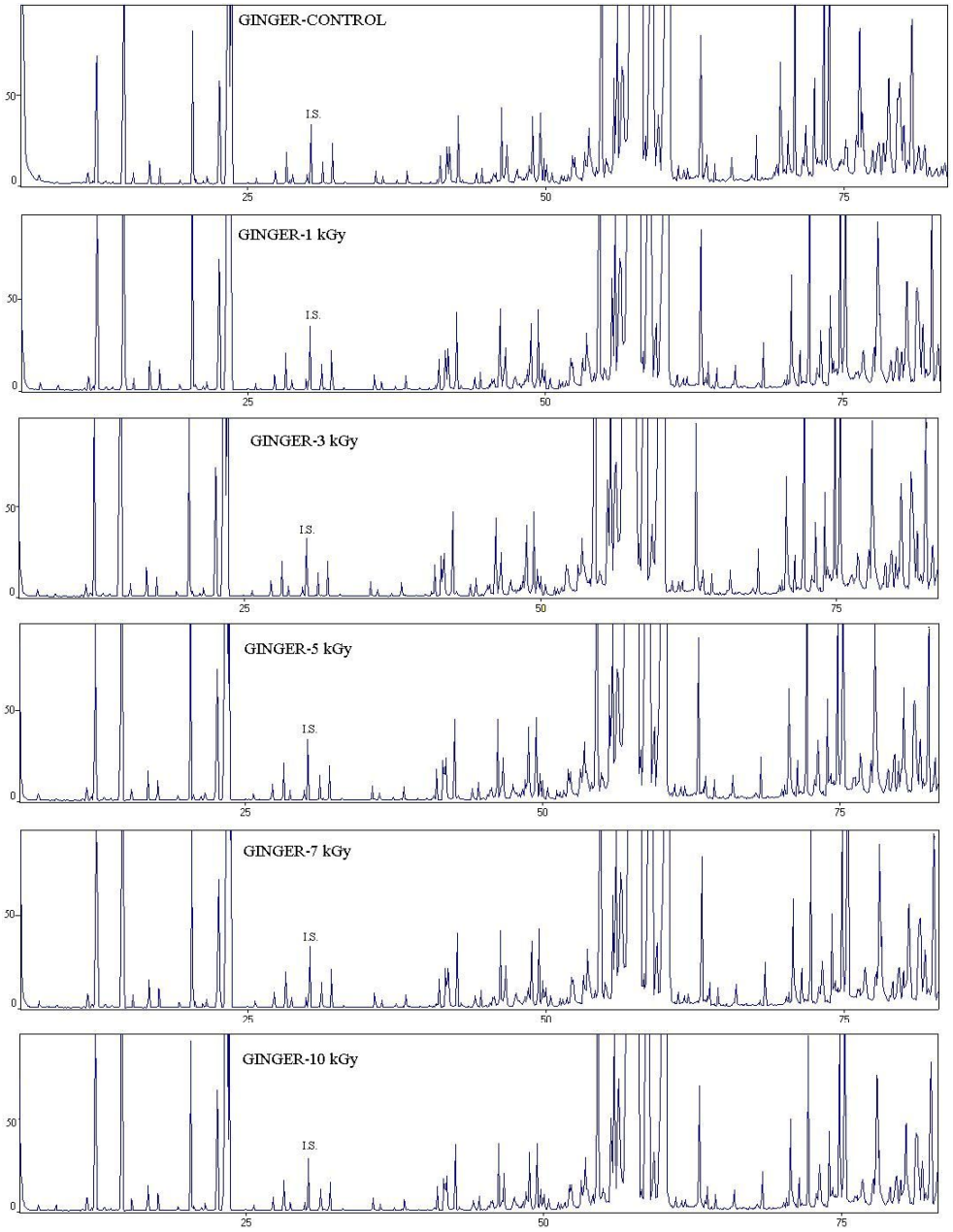

Fig. 10. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non- and electron-beam dried ginger at dose of 1, 3, 5, 7 and 10 kGy.

Table 18. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam irradiated dried ginger

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
1	849	Ethyl acetate	3.1	3.4	4.0	4.2	3.1	3.4
2	912	Ethanol	2.0	2.3	1.3	0.9	1.4	3.8
3	973	Tricyclene	9.8	10.3	10.9	11.3	11.4	12.3
4	981	Ocimene	1.7	2.3	0.7	2.0	2.5	2.7
5	988	α-Pinene	144.1	161.2	169.9	167.1	163.4	182.4
6	1034	Camphene	460.9	501.6	554.9	521.8	491.6	540.3
7	1049	Hexanal	7.1	7.1	8.4	7.2	7.4	8.4
8	1073	β-Pinene	18.6	21.4	23.2	22.6	21.0	22.6
9	1087	Sabinene	11.7	14.9	14.9	15.2	14.2	14.8
10	1134	β-Myrcene	149.5	165.1	172.3	168.5	161.3	166.3
11	1138	α-Fenchene	4.6	4.7	5.0	4.5	4.8	4.9
12	1153	2-Heptanone	5.2	5.2	5.5	4.6	5.1	5.3
13	1169	Limonene	179.7	198.3	208.8	208.0	196.5	201.2
14	1181	β-Phellandrene	841.7	933.1	1020.6	988.0	945.6	967.1
15	1184	1,8-Cineole	296.1	302.3	340.3	322.5	312.6	322.5
16	1214	γ-Terpinene	3.7	4.1	3.9	4.7	4.3	4.3
17	1239	ρ-Cymene	11.3	12.0	13.1	13.2	12.4	13.0
18	1253	Terpinolene	25.9	27.3	27.6	29.2	27.1	28.2
19	1360	Octanal	6.8	6.9	7.3	6.5	7.0	7.1
20	1277	Perillene	6.0	6.8	6.4	7.3	6.6	6.2
I.S[2)]	1282	Butylbenzene	-	-	-	-	-	-
21	1295	2-Heptanol	16.5	18.0	18.6	18.1	18.1	18.9
22	1307	6-Methyl-5-heptene-2-one	33.6	28.8	28.4	27.4	29.2	26.2
23	1362	2-Nonanone	9.5	10.2	10.8	11.4	10.3	10.8
24	1399	(*E*)-2-Octenal	9.5	10.3	10.4	10.5	9.5	9.8

[1)]Retention index [2)]Internal standard

Table 18. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
25	1443	δ-Elemene	25.6	26.4	29.9	28.5	24.3	25.5
26	1451	Citronellal	35.3	35.2	39.1	36.2	35.3	34.6
27	1455	Cyclosativene	50.4	51.6	60.9	56.8	48.0	51.5
28	1466	α-Copaene	68.9	71.8	82.8	78.9	67.4	72.2
29	1489	Camphor	12.9	12.3	13.3	13.1	12.7	11.5
30	1495	2-Nonanol	11.5	13.3	14.6	14.0	13.0	13.2
31	1514	Limonene oxide	15.9	14.8	15.4	17.4	16.9	16.5
32	1522	Linalool	72.4	74.1	76.9	73.3	71.9	73.8
33	1529	(*E*)-β-Bergamotene	43.3	44.7	51.3	47.0	41.9	45.3
34	1543	(*E*)-*p*-2-menthen-1-ol	12.9	10.2	13.7	19.6	12.3	13.6
35	1556	Bornyl acetate	7.3	7.2	7.4	7.5	7.4	7.7
36	1559	Aromadendrene	22.0	22.6	25.7	25.0	22.5	24.6
37	1564	β-Elemene	71.6	68.1	94.1	91.0	66.9	69.0
38	1567	Isocaryophyllene	4.1	4.9	7.7	8.3	3.5	4.8
39	1573	2-Undecanone	67.7	71.0	84.6	79.8	71.2	72.7
40	1578	4-Terpineol	20.8	21.0	23.6	25.1	24.8	24.2
41	1588	α-Gurjunene	10.9	11.7	9.9	8.2	11.8	13.9
42	1600	Myrtenal	7.6	7.9	8.2	8.1	7.1	8.0
43	1617	(*E*)-2-Decenal	25.2	25.7	30.6	28.4	28.9	28.5
44	1620	α-Humulene(=α-Caryophyllene)	28.2	22.6	29.5	24.7	28.9	30.5
45	1640	(*Z*)-β-Farnesene	138.2	160.5	171.2	164.7	153.9	156.5
46	1658	(*Z*)-Citral	463.9	419.6	523.1	505.9	451.4	454.5
47	1664	γ-Muurolene	26.0	25.9	28.7	27.9	31.8	26.6
48	1676	α-Terpineol	99.1	95.6	107.2	99.7	97.3	102.2
49	1688	Germacrene D	598.2	601.2	655.8	599.9	599.7	638.4
50	1696	α-Cedrene	352.6	297.6	327.8	344.0	312.7	344.8

[1)]Retention index

Table 18. Continued

(unit:mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
51	1711	α-Zingiberene	3775.6	4945.9	6313.9	5678.0	5149.5	5639.8
52	1715	β-Bisabolene	1751.1	811.8	871.0	845.2	849.3	1040.8
53	1731	(*Z,E*)-α-Farnesene	1549.5	1557.0	1944.2	1754.2	1512.4	1630.7
54	1741	δ-cadinene	129.1	125.4	152.5	144.8	123.4	133.4
55	1760	β-Sesquiphellandrene	2751.5	2770.3	3440.1	3095.9	2811.2	3032.9
56	1762	α-phellandren-8-ol	6.5	8.3	3.9	5.4	6.7	11.6
57	1773	Myrtenol	13.0	12.2	9.7	11.3	12.3	4.0
58	1782	Geranyl acetate	3.9	4.4	8.5	8.1	3.8	6.1
59	1788	2-Tridecanone	6.9	6.7	6.8	7.6	7.2	6.1
60	1811	Germacrene B	152.8	155.5	191.7	172.1	151.2	154.7
61	1825	Nerol	20.5	21.9	22.2	21.6	21.1	22.4
62	1840	(*E*)-2-Dodecenal	12.8	14.7	16.6	15.6	13.9	14.8
63	1968	Caryophyllene oxide	6.2	5.9	4.5	6.6	5.3	6.3
64	1982	Nerolidol	121.9	116.1	126.0	121.7	120.5	116.8
65	2019	β-bisabolol	165.7	158.5	187.7	170.3	155.9	156.8
66	2043	β-Farnesol	36.7	37.9	52.2	42.0	30.8	37.1
67	2064	Elemol	87.8	81.4	96.8	91.7	79.4	79.1
68	2085	α-Bisabolol	169.9	180.0	197.6	169.8	155.1	161.1
69	2096	α-Cedrol	277.9	297.6	323.9	298.7	273.6	271.4
70	2223	α-Eudesmol	126.9	118.8	138.8	129.5	118.9	117.4
71	2344	(*E*)-farnesol	68.1	65.3	74.9	67.0	62.6	62.8
		Total	15,785.4	16,170.7	19,383.7	17,866.8	16,394.0	17,653.2

[1)]Retention index

Table 19. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and electron beam irradiated dried ginger

Functional Group	Irradiation dose (kGy)											
	0		1		3		5		7		10	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Alcohols	18	11.4	18	11.0	18	10.2	18	10.3	18	10.6	18	10.3
Aldehydes	8	3.6	8	3.3	8	3.3	8	3.5	8	3.4	8	3.2
Esters	3	0.1	3	0.1	3	0.1	3	0.1	3	0.1	3	0.1
Hydrocarbons	33	83.8	33	84.7	33	85.4	33	85.2	33	85.2	33	85.5
Ketones	6	0.9	6	0.8	6	0.8	6	0.8	6	0.5	6	0.8
Miscellaneous	3	0.2	3	0.2	3	0.1	3	0.2	3	0.2	3	0.2
Total	68	100.0	68	100.0	68	100.0	68	100.0	68	100.0	68	100.0

3. 전자선 조사된 대파의 휘발성 유기성분 변화

조사되지 않은 대파를 control로 하고, 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy의 선량으로 전자선 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE방법으로 휘발성 유기성분을 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 11와 같고, 동정한 성분과 이들의 상대적 농도는 Table 20에, 관능기별 함량비교는 Table 21에 나타내었다.

Control로 사용된 방사선 조사하지 않은 대파에서 총 45종의 휘발성 유기성분이 분리 동정 되었으며, 관능기별로 분류한 결과 S-containing compound류 20종, aldehyde류 8종, alcohol류 5종, ketone류 4종, furan류 3종, ester류 2종, hydrocarbon류 2종 그리고 acid류 1종이 동정되었으며, 이들의 총 peak area는 S-containing compound류 54.0%, aldehyde류 21.1%, ketone류 15.3%, alcohol류 4.2%, ester류 2.9%, furan류 1.2%, hydrocarbon류 1.1% 그리고 acid류 0.3%로 황함유화합물이 대파의 휘발성 유기성분에 크게 기여하는 것으로 확인되었다.

대표적인 휘발성 유기 성분으로는 2-methyl-2-pentenal, 2-tridecanone, propanethiol, 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane, dipropyl trisulfide, 2-propenthiol등이었다. 대파의 자극적인 향기의 특성을 내는 sulfide류는 총 12종으로 monosulfide는 propylene sulfide 1종, disulfide는 (*E*)-propenyl propyl disulfide, (*Z*)-propenyl propyl disulfide 그리고 propyl butyl disulfide 등 7종, trisulfide는 (Z)-propenyl propyl trisulfide, (*E*)-propenyl propyl trisulfide 그리고 methyl propyl trisulfide등으로 확인되었다.

전자선 1 kGy로 조사된 시료에서는 총 45종의 휘발성 유기 화합물이 동정되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 55.8%, aldehyde류 17.2%, ketone류 17.1%, alcohol류 5.6%, ester류 2.0%, furan류 1.2%, hydrocarbon류 0.8% 그리고 acid류 0.3%로 각각 20종, 8종, 4종, 5종, 2종, 3종, 2종 그리고 1종이 확인되었다. 대표적인 휘발성 유기 성분으로는 2-methyl-2-pentenal(12.4%), 2-tridecanone (11.6%), propanethiol(8.4%), 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane(5.8%), 2-propenthiol (5.4%) 그리고 dipropyl trisulfide(5.1%), 등이 확인 되었으며, 비조사군과 주요 화합물의 구성은 유사하였으나, 2-propenthiol와 propylene sulfide는 다소 증가 하였다. 전자선 3 kGy로 조사된 시료에서는 총 46종의 휘발성 유기 화합물이 동정 되었으

며, 관능기에 따라 S-containing compound류 56.2%, aldehyde류 20.6%, ketone류 14.4%, alcohol류 4.7%, ester류 2.2%, furan류 1.0%, hydrocarbon류 0.7% 그리고 acid류 0.1%로 확인되었다. 전자선 5 kGy로 조사된 시료에서는 총 47종의 휘발성 유기 화합물이 동정 되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 62.5%, aldehyde류 12.7%, ketone류 15.0%, alcohol류 3.5%, ester류 3.7%, furan류 1.3%, hydrocarbon류 1.1% 그리고 acid류 0.3%로 확인되었다. 5 kGy의 주요 화합물의 구성은 1 kGy와 유사하나 ketone류인 3-methyl-3-buten-2-one이 추가로 확인되었다. 전자선 7 kGy로 조사된 시료에서는 총 47종의 휘발성 유기 화합물이 동정 되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 59.6%, aldehyde류 17.5%, ketone류 12.7%, alcohol류 4.1%, ester류 3.5%, furan류 1.3%, hydrocarbon류 1.2% 그리고 acid류 0.2%로 확인되었다. 7 kGy의 특징적인 화합물로는 5 kGy에서 확인된 ketone류인 3-methyl-3-buten-2-one이 비슷한 함량으로 7 kGy에서도 확인되었다. 전자선 10 kGy로 조사된 시료에서는 총 47종의 휘발성 유기 화합물이 동정 되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 56.3%, aldehyde류 18.6%, ketone류 13.7%, alcohol류 4.9%, ester류 3.4%, furan류 1.5%, hydrocarbon류 1.4% 그리고 acid류 0.3%로 확인되었다. 10 kGy의 특징적인 화합물로는 ketone류인 3-methyl-3-buten-2-one이 5 와 7 kGy와 비슷한 함량으로 10 kGy에서도 확인되었다. 대파의 주요 향기 성분인 2-propenthiol, propylene sulfide, 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane은 선량이 증가할수록 증가하여 7 kGy에서 최대 함량을 보였으며, 7 kGy 이상의 선량에서는 감소하는 경향을 보였다. (*Z*)-propenyl propyl disulfide, (*E*)-propenyl propyl disulfide 그리고 dipropyl trisulfide는 선량이 증가할수록 증가하여 5 kGy에서 최대 함량을 보였으며, 5 kGy 이상의 선량에서는 감소하는 경향을 보였다. 조사 전과 비교하여 선량별 조사 후 전체 휘발성 유기화합물의 함량은 비조사 시료에서는 347.03 mg/kg이였고, 1, 3, 5, 7 및 10 kGy에서는 각각 293.54 mg/kg, 273.89 mg/kg, 223.90 mg/kg, 218.81 mg/kg 그리고 273.91 mg/kg로 비조사구에서 가장 높았으며 조사선량이 증가할수록 감소하다 7 kGy에서 가장 낮은 양이 확인되었고 10 kGy에서 증가함을 확인하였다.

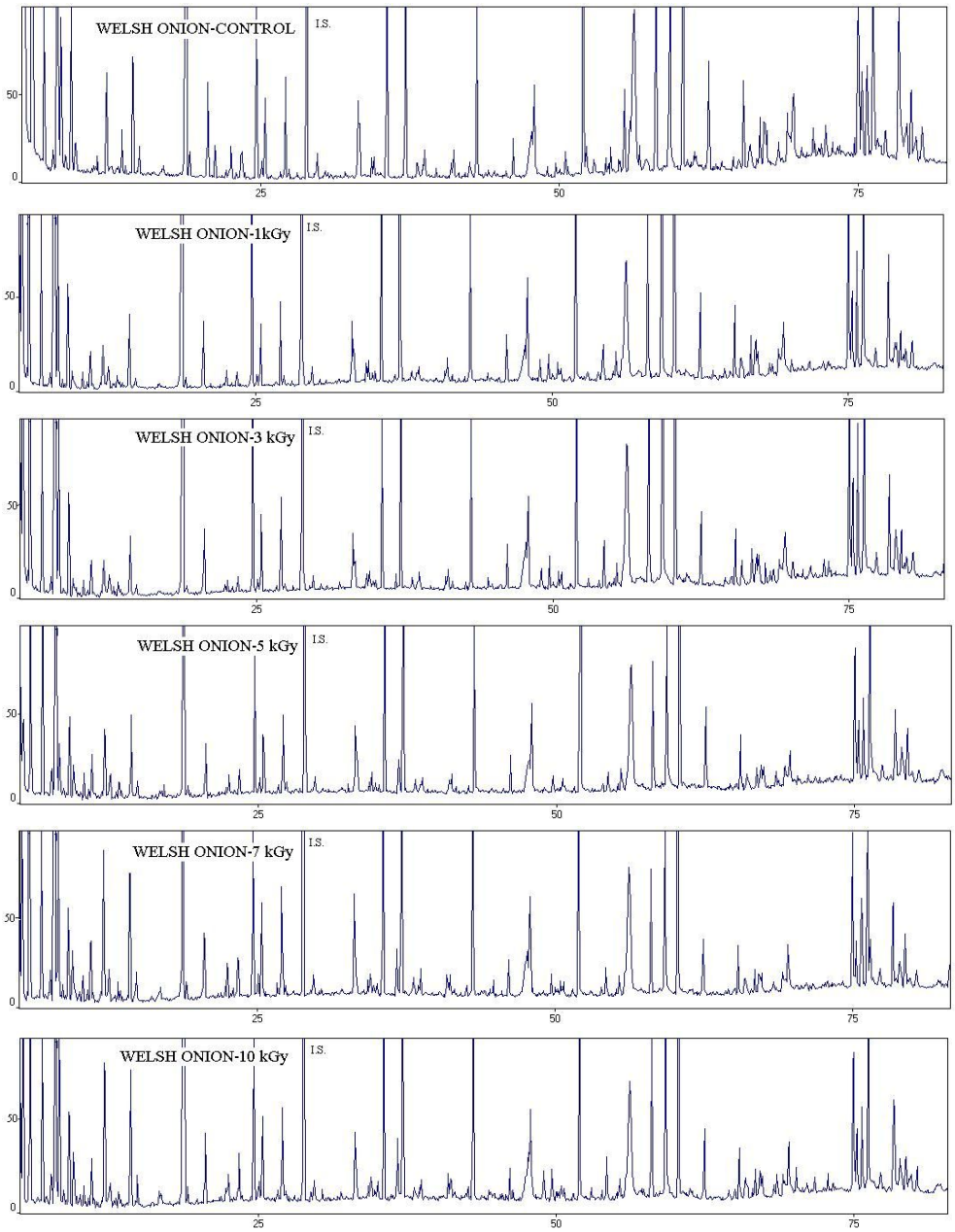

Fig. 11. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non- and electron beam irradiated dried welsh onion at dose of 1, 3, 5, 7 and 10 kGy.

Table 20. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam irradiated dried welsh onion

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
1	805	Propanal	11.27	8.97	9.90	1.42	3.67	4.30
2	846	Propanethiol	33.62	24.51	22.77	24.04	17.55	23.27
3	902	Ethyl acetate	9.41	5.57	5.72	7.48	6.81	7.97
4	926	3-Methylbutanal	0.33	0.40	0.42	0.45	0.20	0.78
5	934	2-Propenthiol	15.55	15.87	21.58	18.28	22.50	23.05
6	937	Propylene sulfide	10.53	11.29	14.11	12.75	14.21	15.31
7	944	Ethanol	3.79	4.68	5.10	1.60	3.91	5.27
8	954	2-Ethylfuran	0.30	0.39	0.11	0.46	0.21	0.35
9	966	2,4-Dimethyl furan	2.94	2.56	2.34	1.54	1.57	2.12
10	975	Vinyl acetate	0.64	0.42	0.42	0.89	0.84	1.36
11	978	Pentanal	0.55	0.32	0.31	0.34	0.35	0.62
12	987	3-Methyl-3-buten-2-one	-	-	-	0.26	0.21	0.40
13	994	2,2,5,5,-Tetramethyl pentane	0.18	0.38	0.38	0.53	0.66	0.57
14	1009	2,2-Dimethyl octanol	0.35	1.01	0.31	1.05	0.17	1.33
15	1034	2-Butenal	3.17	1.52	1.36	2.34	4.04	4.58
16	1077	Hexanal	3.21	2.09	1.68	2.33	2.89	3.63
17	1088	2-Methyl-2-butenal	0.69	0.25	0.23	0.48	0.62	0.94
18	1154	2-Methyl-2-pentenal	52.82	36.30	42.09	20.50	25.72	34.96
19	1182	2,5-Dimethylthiophene	3.14	2.25	2.16	1.68	1.63	2.43
20	1212	2-Hexenal	1.25	0.58	0.33	0.55	0.83	1.02
21	1224	Methyl propyl disulfide	0.88	0.15	0.34	0.15	0.35	0.57
22	1226	2-Pentyl furan	0.81	0.64	0.39	0.84	0.97	1.60
23	1245	2,4-Dimethyl thiophene	8.69	7.21	6.48	5.12	5.06	6.37
24	1256	(*Z*)-Methyl propenyl disulfide	2.84	2.51	2.57	2.08	2.59	2.77

[1)]Retention index

Table 20. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
25	1280	(*E*)-Methyl propenyl disulfide	3.62	3.18	3.19	2.54	2.83	3.60
I.S.[2)]	1305	Bultylbenzene	-	-	-	-	-	-
26	1370	Dimethyl trisulfide	2.42	2.09	1.63	2.21	2.99	2.67
27	1372	Dipropyl disulfide	1.53	1.20	0.91	0.78	0.61	0.82
28	1404	(*Z*)-Propenyl propyl disulfide	11.36	11.16	9.04	8.28	7.23	8.22
29	1423	1,3-bis[1,1-dimethyl-ethyl]-benzene	-	0.26	0.42	0.80	1.21	2.16
30	1429	(*E*)-Propenyl poryl disulfide	13.85	13.99	10.57	10.15	8.34	8.62
31	1444	Acetic acid	0.88	0.72	0.29	0.55	0.32	0.93
32	1520	Methyl propyl trisulfide	9.91	8.75	7.30	8.24	7.97	8.56
33	1568	2-Furyl ethyl ketone	1.08	1.47	1.39	0.93	1.18	0.71
34	1595	Undecanone	2.62	3.27	3.39	2.89	2.73	3.51
35	1612	3,5-Dimethyl-1,2,4-trithiolane	0.56	0.78	0.74	0.19	0.18	1.48
36	1638	2-Acethyl thiazole	0.68	0.51	0.67	0.35	0.44	0.43
37	1663	Dipropyl trisulfide	18.76	14.90	10.21	13.89	8.68	9.86
38	1721	*β*-Bisabolene	3.54	1.76	1.12	1.14	0.71	1.19
39	1735	3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane	19.19	17.14	10.48	15.55	15.90	16.78
40	1767	(*Z*)-Propenyl propyl trisulfide	14.79	9.42	11.33	5.60	4.35	7.93
41	1787	(*E*)-Propenyl propyl trisulfide	11.84	13.47	15.00	5.51	5.33	8.88
42	1807	2-Tridecanone	36.11	33.91	25.26	21.84	18.66	25.12
43	1855	Propyl butyl disulfide	3.59	3.47	2.78	2.44	1.68	2.45
44	1921	5-Ethyl-2-nonanol	2.27	2.35	1.81	1.93	1.21	2.16
45	1966	*α*-Isopropyl benzyl alcohol	1.13	0.83	0.74	0.55	0.37	0.58
46	2221	5-Methyl-2-octylfuran-3-one	13.31	11.40	9.51	7.58	5.05	7.71
47	2272	6-Ethyl-4,5-decanediol	7.03	7.64	5.01	2.80	3.28	3.97
Total			347.03	293.54	273.89	223.9	218.81	273.91

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 21. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and electron beam irradiated dried welsh onion

Functional Group	Irradiation dose (kGy)											
	0		1		3		5		7		10	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Acids	1	0.3	1	0.3	1	0.1	1	0.3	1	0.2	1	0.3
Alcohols	5	4.2	5	5.6	5	4.7	5	3.5	5	4.1	5	4.9
Aldehydes	8	21.1	8	17.2	8	20.6	8	12.7	8	17.5	8	18.6
Esters	2	2.9	2	2.0	2	2.2	2	3.7	2	3.5	2	3.4
Furans	3	1.2	3	1.2	3	1.0	3	1.3	3	1.3	3	1.5
Hydrocarbons	2	1.1	2	0.8	3	0.7	3	1.1	3	1.2	3	1.4
Ketones	4	15.3	4	17.1	4	14.4	5	15.0	5	12.7	5	13.7
S-containing compounds	20	54.0	20	55.8	20	56.2	20	62.5	20	59.6	20	56.3
Total	45	100.0	45	100.0	46	100.0	47	100.0	47	100.0	47	100.0

4. 전자선 조사된 마늘의 휘발성 유기성분 변화

조사하지 않은 마늘을 control로 하고, 1, 3, 5, 7 및 10 kGy로 전자선 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE방법으로 휘발성 유기성분을 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 12과 같고, 동정한 성분과 이들의 상대적 농도는 Table 22에, 관능기별 함량비교는 Table 23에 나타내었다.

마늘에서 동정된 휘발성 유기성분은 총 47종으로 그중 26종이 S-containing compound류 이었으며, 이들이 전체 휘발성 유기성분의 98.7%로 대부분을 차지하였다. 이들 외에도 alcohol류 3종, aldehyde류 7종, ester류 3종 및 기타 화합물 8종이 확인되었다. 조사하지 않은 마늘에서는 diallyl disulfide와 diallyl trisulfide, methyl allyl disulfide, 3-(allylthio)propionic acid 및 methyl-2-propenyl trisulfide가 주요화합물로 확인되었으며 이들 화합물들은 마늘의 특징적인 향미를 나타냄을 확인하였다.

비조사 및 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy로 조사한 마늘에서의 휘발성 유기성분의 총함량은 5853.33 mg/kg, 6361.28 mg/kg, 7009.39 mg/kg, 7359.55 mg/kg, 6790.95 mg/kg 및 5675.24 mg/kg이 확인되었고, 조사 선량이 증가할수록 그 함량 또한 증가되어졌으며, 5 kGy의 조사 시료에서 그 함량이 가장 높게 나타났다. 하지만 7 및 10 kGy 조사 시료에서는 그 함량이 감소되어 10 kGy의 조사 시료에서는 비조사 시료보다 더 낮은 함량으로 나타났다. 대표적인 화합물로 dially disulfide는 비조사 시료에서 2002.33 mg/kg으로 확인되었으나, 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy에서는 1969.07 mg/kg, 2245.06 mg/kg, 2254.81 mg/kg, 1947.96 mg/kg 및 1765.27 mg/kg으로 조사 선량이 증가됨에 따른 유의적인 변화를 확인할 수는 없었다. 하지만 5 kGy의 조사 시료에 가장 높은 함량을 나타내어 총 함량에서와 같은 경향을 나타냈다. Methyl 2-propenyl trisulfide, dially trisulfide 또한 유사한 경향을 나타냈다. 마늘의 전자선 조사에 의한 연구로는 Kim 등(254)에 의해 향신 채소류의 위생화를 위한 방안으로 보고된 바 있으나 전자선 조사에 의한 휘발성 유기성분에 대한 연구보고는 없었다. 결론적으로 마늘의 휘발성 향기성분 조성에 대한 전자선 조사 영향은 나타나지 않았으며, 주요 성분의 함량 변화를 확인하였다. 5 kGy의 조사시료에서 가장 많은 변화를 보였으며, 10 kGy의 선량에서 비조사구와 유사한 함량을 보이며 조사 후 변화

가 적은 경향을 나타냈다. 이러한 연구 결과를 토대로 전사선 조사에 의한 마늘의 휘발성 유기성분의 변화연구에 대해 더 다양한 연구 방안를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

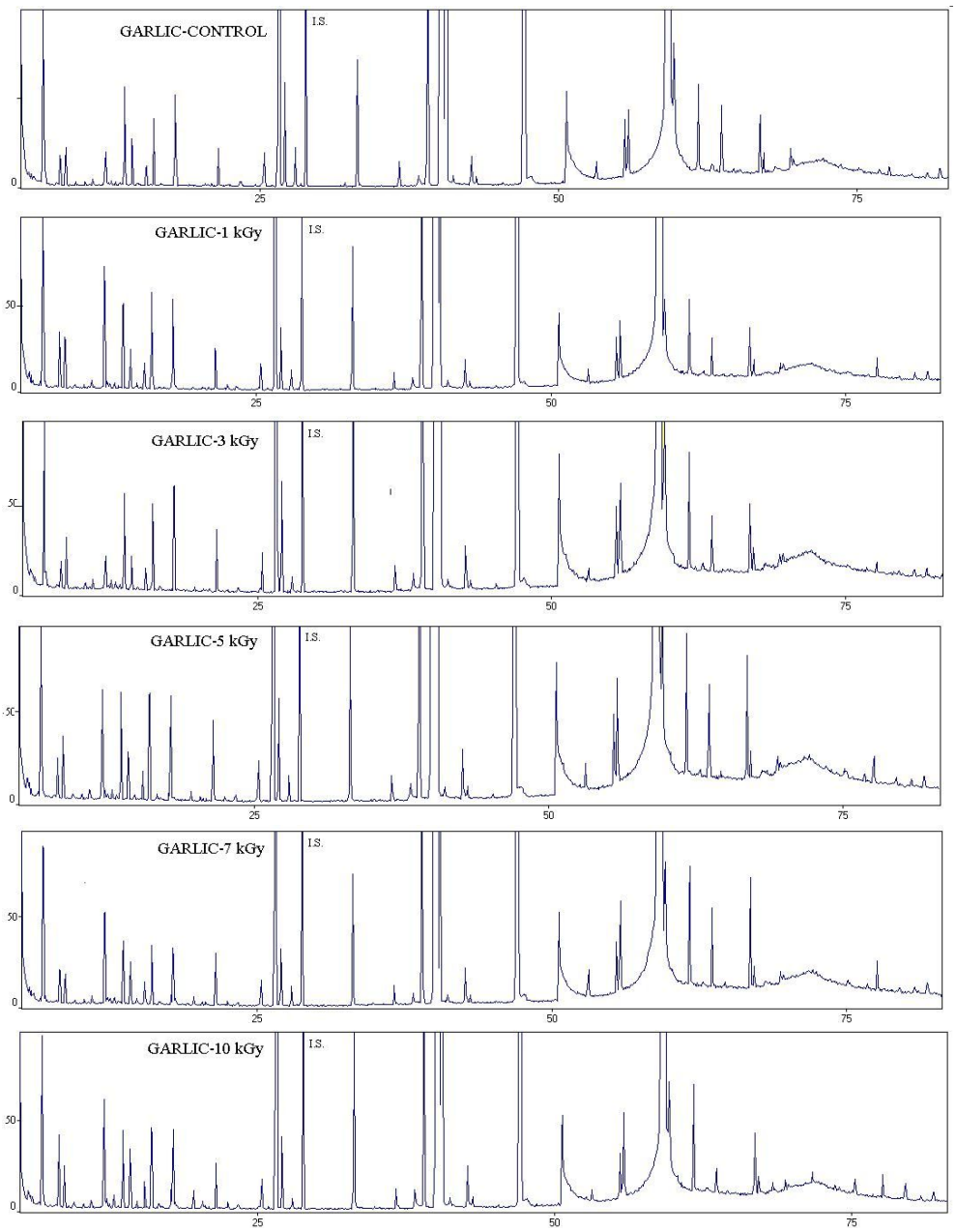

Fig. 12. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non- and electron beam irradiated dried garlic at dose of 1, 3, 5, 7 and 10 kGy.

Table 22. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam irradiated dried garlic

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
1	842	Ethyl formate	0.88	1.59	0.95	1.66	1.33	1.39
2	852	1-Propanethiol	0.72	1.13	0.60	0.53	0.89	0.51
3	864	2-Propenal	0.69	0.52	0.43	0.40	1.01	0.86
4	896	Butanal	-	0.53	0.07	0.40	1.14	0.51
5	906	Ethyl acetate	21.47	39.50	24.97	30.45	22.07	21.87
6	911	1,1-Diethoxy ethane	1.06	0.96	1.49	0.57	1.38	1.04
7	948	Ethanol	3.41	8.42	3.07	3.76	4.52	8.22
8	960	Allyl methyl sulfide	4.35	7.48	5.05	6.15	3.61	4.51
9	980	Pentanal	0.17	0.63	0.87	0.64	-	-
10	997	2,2,4-Trimethylhexane	-	0.70	0.76	0.58	0.88	0.58
11	1013	3,7-Dimethyl nonane	0.59	1.19	1.18	1.18	1.24	0.91
12	1037	3-Butenal	4.71	20.98	4.34	12.55	13.85	14.36
13	1042	3-Methyl-3-buten-2-one	-	1.72	-	1.28	1.02	1.54
14	1047	2,2,5,5-Tetramethylhexane	-	1.11	1.01	0.50	0.76	1.17
15	1054	Allyl vinyl ether	0.28	1.16	0.81	0.96	0.87	1.40
16	1069	Dimethyl disulfide	14.25	15.27	11.77	12.71	9.51	10.70
17	1080	Hexanal	6.51	7.11	4.09	5.38	6.90	7.90
18	1090	2-Methyl-2-butenal	-	0.97	-	-	-	1.21
19	1101	2-Ethenyl-2-butenal	2.54	4.56	2.91	3.74	2.51	3.97
20	1113	2-Propenol	9.75	18.50	11.72	13.86	9.77	12.07
21	1141	4-Penten-2-ol	-	0.75	0.56	1.09	1.41	2.92
22	1144	Diallyl sulfide	13.80	16.85	13.88	13.09	9.28	11.69
23	1172	3-Buten-1-ol		0.59	0.61	1.31	1.54	2.65
24	1198	1-(1-Propenylthio)propane	5.66	8.07	8.43	9.68	8.84	6.77
25	1215	(*Z*)-2-Heptenal	-	1.16	-	-	0.98	1.18
26	1228	Methyl propyl disulfide	0.69	0.61	0.73	0.62	0.52	0.76
27	1260	1,3-Dithiane	5.95	6.07	6.45	6.00	4.92	5.64

[1)]Retention index

Table 22. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
28	1277	Methyl allyl disulfide	312.69	272.86	277.20	276.46	222.15	255.27
29	1284	Propenyl methyl disulfide	17.08	13.03	15.99	14.40	10.82	12.20
30	1295	3-Methylpyridine	6.85	4.29	2.49	3.85	3.99	2.02
I.S[2)]	1309	Butylbenzene	-	-	-	-	-	-
31	1374	Dimethyl trisulfide	31.16	34.07	32.60	37.90	31.12	36.33
32	1426	(*E*)-Propenyl propyl disulfide	4.60	4.08	3.97	3.85	3.88	4.00
33	1451	Methional	0.95	4.93	3.05	3.83	2.69	6.44
34	1463	2-Vinyl-1,3-dithiane	77.30	67.10	81.69	82.39	65.35	62.39
35	1482	Diallyl disulfide	2002.33	1969.07	2245.06	2254.81	1947.96	1765.27
36	1486	3-(Allylthio)propionic acid	293.68	217.79	293.19	267.73	207.12	187.01
37	1494	2-Ethyl-1-hexanol	1.26	1.50	1.38	1.60	1.52	1.52
38	1518	Dimethyl thioacetamide	5.89	7.60	9.17	10.29	10.20	10.72
39	1525	Methyl propyl trisulfide	1.41	1.28	1.90	1.79	1.88	2.84
40	1588	Methyl 2-propenyl trisulfide	636.73	741.54	789.36	892.58	800.48	688.30
41	1645	Cyclopenthyl ethyl sulfide	41.83	38.33	59.88	50.52	57.87	50.29
42	1686	Methylcyclohexyl sulfide	3.03	3.71	3.07	4.95	6.15	2.68
43	1728	3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane	12.55	11.22	10.99	12.82	13.09	11.42
44	1733	3-Vinyl-4H-1,2-dithiin	15.43	17.70	17.90	19.40	27.61	25.32
45	1794	Diallyl trisulfide	2198.84	2694.23	2939.96	3151.00	3147.64	2311.54
46	1799	Allyl 1-propenyl trisulfide	43.24	38.92	67.00	70.94	35.28	61.09
47	1844	2-Vinyl-4H-1,3-dithiin	18.05	19.66	21.30	23.82	30.23	23.10
48	1885	2-Ethoxy-4-methyl cyclohexanone	11.10	8.43	8.30	14.95	16.09	5.45
49	1967	2-Methoxy-5-methylthiophene	11.84	12.55	10.84	21.45	24.72	12.79
50	1975	1-Phenyl-1-propanol	3.25	4.14	4.14	4.56	4.90	4.21
51	2263	Ethyl palmitate	1.56	5.09	2.21	4.55	7.46	4.82
		Total	5853.33	6361.28	7009.39	7359.55	6790.95	5675.24

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 23. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and electron beam irradiated dried garlic

Functional Group	Irradiation dose (kGy)											
	0		1		3		5		7		10	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Alcohols	3	0.3	6	0.5	6	0.3	6	0.4	6	0.3	6	0.6
Aldehydes	7	0.3	8	0.6	6	0.2	6	0.3	6	0.4	7	0.5
Esters	3	0.4	3	0.7	3	0.4	3	0.5	3	0.5	3	0.5
S-containing compounds	26	98.7	26	97.8	26	98.9	26	98.5	26	98.4	27	98.2
Miscellaneous	8	0.4	8	0.3	7	0.2	8	0.3	8	0.4	9	0.3
Total	39	100.0	43	100.0	41	100.0	41	100.0	41	100.0	43	100.0

5. 전자선 조사된 양파의 휘발성 유기성분 변화

조사하지 않은 양파를 control로 하고, 1, 3, 5, 7 그리고 10 kGy 전자선 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE 방법으로 추출한 양파의 휘발성 유기성분을 GC/MS로 분석하였으며 chromatogram은 Fig. 13과 같다. GC/MS 분석에 의하여 동정된 휘발성 유기성분의 조성과 함량은 Table 24에 나타내었고, 동정된 휘발성 유기성분의 관능기에 따른 상대적 농도는 Table 25에 나타내었다.

양파에서 총 40종의 휘발성 유기화합물이 분리·동정되었고 그 중 황함화합물이 25종으로 71.5%를 차지하였으며, aldehyde류, ester류, alcohol류, heterocyclic compound류, hydrocarbon류, ketone류 순으로 확인되었다. 양파의 주요 휘발성 유기성분으로는 dipropyl trisulfide, propanethiol 및 2-methyl-2-pentanal이 확인되었으며, trisulfide류가 건양파의 휘발성 유기성분의 특성에 기여하는 것으로 나타났다.

1 kGy로 조사된 양파의 휘발성 유기성분의 총량은 125.15 mg/kg으로 비조사구에 비해 감소되어져 나타났다. 양파에서 총 40종의 휘발성 유기화합물이 분리·동정되었고 그 중 황화합물이 25종으로 74.1%를 차지하였으며, aldehyde류, alcohol류, ketone류, ester류, hetrocyclic compound류가 확인되었으며, 그 관능기별 함량은 비조사구와 유사하게 나타났다. 주요화합물로는 dipropyl trisulfide, propanethiol 및 2-methyl-2-pentanal, methyl propyl disulfide, dimethyl trisulfide, dipropyl disulfide, (Z)-Propenyl propyl disulfide가 확인되어졌다. 그 중 propanethiol, dipropyl trisulfide는 각각 27.27 mg/kg, 13.67 mg/kg으로 비조사구에 비해 감소되어 나타났다.

3 kGy로 조사된 양파에서의 총량은 132.27 mg/kg이었으며, 동정된 화합물은 38여종 이었다. 주요 sulfide 화합물들에 있어서 그 함량이 비조사 및 1 kGy 조사시료에 비해 증가 되어졌다. 반면, propanethiol은 26.35 mg/kg의 함량으로 감소되어졌다.

5 kGy로 조사된 양파의 휘발성 유기성분의 총량은 139.27 mg/kg이며, 동정된 화합물은 40여 종이었다. 관능기별 화합물중 황함화합물의 함량은 81.6%로 조사선량별 중 가장 높게 나타났으며, aldehyde류는 12.9%로 가장 낮게 나타났다. 주요 화합물은 비조사구 및 조사선량별 시료들과 유사하게 확인되었고, 황함화물의 함량변화에

있어서 조사선량별로 증가되었다. Diproyl trisulfide는 19.46 mg/kg으로 비조사구에 비해 75.9% 증가되었고, dimethyl trisulfide, methyl propyl trisulfide, (E)-propneyl propyl disulfide도 이와 유사한 경향을 나타냈다. 반면, 특이적으로 propanethiol은 비조사구에 비해 감소하였지만, 3 kGy로 조사보다는 높게 나타났다.

7 kGy로 조사된 양파에서의 휘발성 유기성분의 총량은 103.21 mg/kg으로 비조사구에 비해 감소되어 가장 낮은 함량으로 나타났다. 2-methyl-2-pentanal 및 propanethiol은 주요 화합물로 확인되었으며 조사 선량별 시료 중 가장 낮은 함량을 나타냈다. Dipropyl disulfide, (E)-propenyl propyl disulfide, methyl propyl trisulfide, 및 dipropyl trisulfid, 또한, 같은 경향으로 나타났다.

10 kGy의 조사선량에서의 휘발성 유기성분의 총함량은 124.18 mg/kg으로 7 kGy 조사에서 비해 증가되었으나 비조사구에 비해 감소되어 나타났다. 동정된 화합물은 40여 종으로 관능기별 구성은 비조사 및 조서선량별 시료 모두 유사한 경향을 나타냈으며, 그 함량에 있어서는 유의적인 변화를 확인되지 않았다.

본 연구에서는 7 kGy 조사 선량에서 양파의 휘발성 유기성분이 가장 많은 변화를 나타냄을 확인하였다. 이로 인해 조사처리로 인해 양파에서 특이적인 화합물이 생성되지 않음을 확인함으로써 그 안전성에 대한 근거로 제시할 수 있을 것으로 사료되며, 위생화 목적에 따른 조사선량의 설정에 대한 근거자료로 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

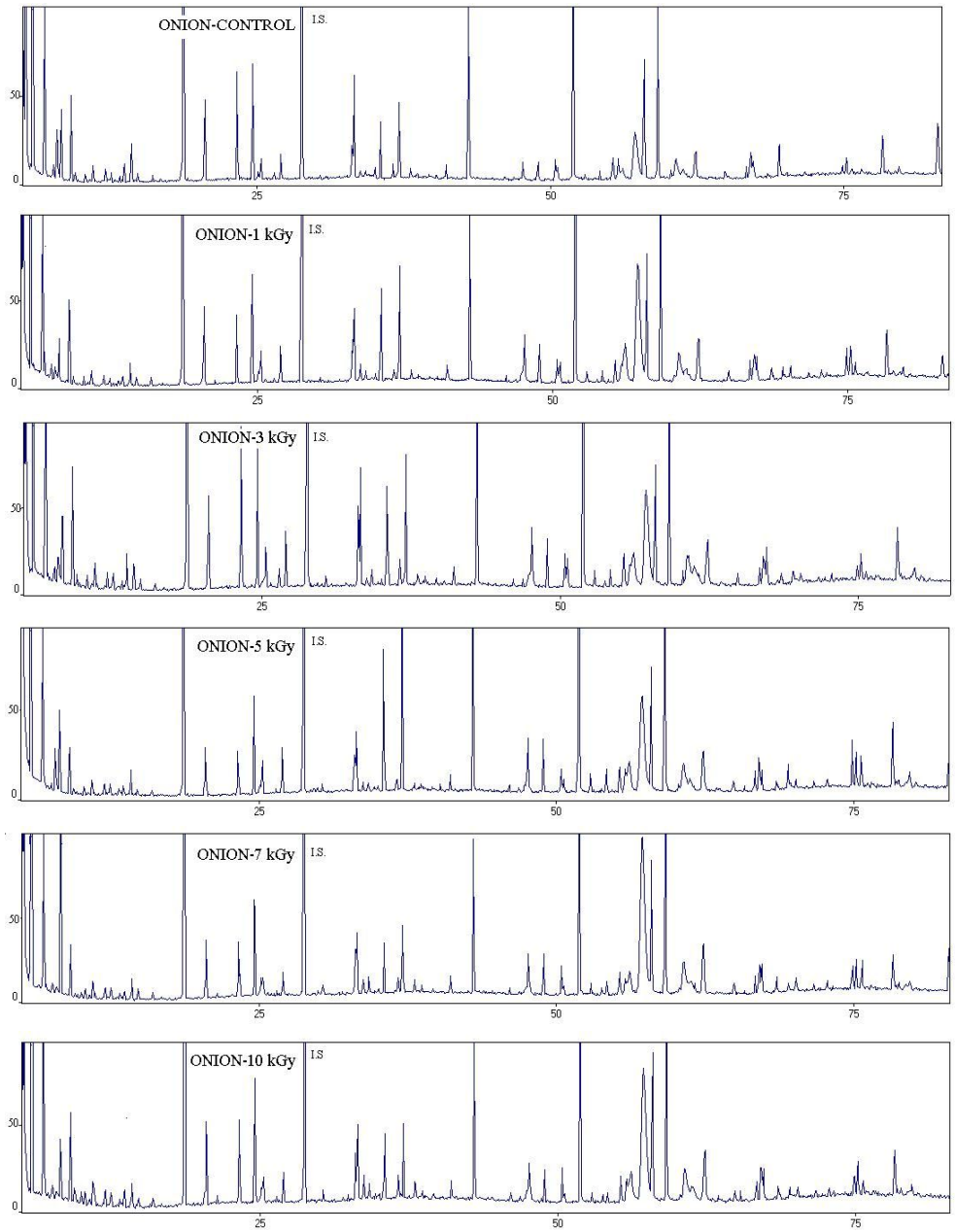

Fig. 13. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non- and electron beam irradiated dried onion at dose of 1, 3, 5, 7 and 10 kGy.

Table 24. Volatile organic compounds identified in non- and electron-beam irradiated dried onion

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
1	833	Ethyl formate	0.14	0.16	0.10	0.18	0.31	0.03
2	844	1-Propanethiol	33.47	29.09	26.35	27.26	13.23	23.67
3	898	2-Propene-1-thiol	0.78	0.7	0.75	0.68	0.28	0.58
4	901	Ethyl acetate	5.00	5.41	4.22	2.90	3.25	5.58
5	907	Diethyl acetal	0.17	0.31	0.1	0.07	-	0.10
6	925	3-Methylbutanal	0.29	0.27	0.26	0.12	0.14	0.19
7	934	Propylene sulfide	0.99	0.22	0.57	1.1	0.32	0.19
8	944	Ethanol	1.30	0.65	1.05	1.77	3.42	0.97
9	967	2,4-Dimethylfuran	1.47	1.24	1.68	0.85	0.88	1.46
10	976	2,3-Butadione	0.13	0.10	0.21	0.10	0.08	0.27
11	990	(E)-3-penten-2-one	-	-	-	-	0.07	0.21
12	1012	3,3-Dimethyloctane	0.27	0.18	0.39	0.34	0.37	0.46
13	1035	2-Butanol	0.37	0.15	0.28	0.27	0.27	0.3
14	1068	Dimethyl disulfide	0.43	0.23	0.67	0.12	0.25	0.34
15	1079	Hexanal	0.82	0.52	0.47	0.68	0.44	0.49
16	1153	2-Methyl-4-pentanal	26.37	22.55	27.8	16.75	15.71	23.24
17	1182	Pyridine	0.18	0.27	0.24	0.11	0.19	0.42
18	1184	2,5-Dimethyl thiophene	2.07	1.72	1.90	1.4	1.47	1.98
19	1227	Methyl propyl disulfide	2.83	1.4	3.49	1.11	1.37	1.91
20	1228	2-Pentylfuran	0.27	0.14	-	0.41	0.46	0.67
21	1247	2,4-Dimethyl thiophene	3.22	2.84	3.11	3.2	2.46	3.03
22	1258	(Z)-Propenyl methyl disulfide	0.43	0.58	0.94	1.06	0.45	0.46
23	1282	(E)-Propenyl methyl disulfide	0.73	0.79	0.39	1.44	0.54	0.8
I.S.[2)]	1307	Butyl benzene		-	-	-	-	-

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 24. Continued.

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Irradiation dose (kGy)					
			0	1	3	5	7	10
24	1372	Dimethyl trisulfide	0.92	0.87	1.89	1.38	0.88	1.18
25	1374	Dipropyl disulfide	2.80	1.65	2.57	1.9	1.55	1.76
26	1406	(Z)-Propenyl propyl disulfide	1.59	2.24	2.19	4.33	1.37	1.61
27	1424	Allyl propyl disulfide	0.26	0.2	0.6	-	0.17	0.09
28	1428	1,3-di-tetra-butylbenzene	-	0.05	0.13	0.21	0.3	0.35
29	1431	(E)-Propenyl propyl disulfide	2.01	2.85	2.95	5.71	1.7	1.86
30	1492	2-Ethyl-1-hexanol	0.36	0.31	0.35	0.53	0.53	0.17
31	1522	Methyl propyl trisulfide	5.68	4.79	8.36	7.35	4.52	4.84
32	1595	(Z)-3,5-Dimethyl-1,2,4-trithiolane	0.43	1.61	1.33	2.14	1.24	1.4
33	1616	(E)-3,5-Dimethyl-1,2,4-trithiolane	0.46	1.16	1.05	1.72	1.38	0.99
34	1641	2-Acetyl thiazole	0.66	0.7	0.92	0.68	1.00	1.08
35	1666	Dipropyl trisulfide	14.88	12.39	15.08	19.46	9.51	10.25
36	1722	2-Methyl-4,5-dihydrothiophene	0.94	0.78	1.04	1.26	0.92	0.76
37	1732	1,2,4-Trithiolane	0.51	0.65	0.39	0.64	0.37	0.28
38	1756	5,6-dihydro-2,4,6-trimethyl-4H-1,3,5-dithiazine	7.25	15.19	11.09	16.82	20.39	18.96
39	1770	(Z)-Prophenyl propyl trisulfate	3.77	3.53	3.21	4.73	4.16	4.35
40	1790	(E)-Prophenyl propyl trisulfate	6.32	6.52	5.22	7.98	7.26	6.91
41	2039	3,6-Dimethyl-1,2,4,5-tetrathiane	0.90	-	-	-	-	-
		Total	131.98	125.15	132.27	139.07	103.21	124.18

[1)]Retention index

Table 25. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non- and electron beam irradiated onion

Functional Group	Irradiation dose (kGy)											
	0		1		3		5		7		10	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Alcohol	3	1.5	3	0.9	3	1.3	3	1.8	3	4.1	3	1.2
Aldehydeds	5	21.3	5	19.0	4	21.6	5	12.9	4	15.8	4	19.3
Esters	2	3.9	2	4.5	2	3.3	2	2.2	2	3.5	2	4.5
Heterocyclic compounds	3	1.5	3	1.3	2	1.5	3	1.0	3	1.5	3	2.1
Hydrocarbons	1	0.2	2	0.2	2	0.4	2	0.4	2	0.7	2	0.7
Ketone	1	0.1	1	0.1	1	0.2	1	0.1	2	0.2	2	0.4
S-containing compounds	25	71.5	24	74.1	24	71.9	24	81.6	24	74.4	24	71.9
Total	15	100.0	16	100.0	14	100.0	16	100.0	16	100.0	16	100.0

제 4절 고선량 조사가 향신 채소류의 휘발성 유기성분에 미치는 영향

1. 고선량 조사된 고춧가루의 감마선 및 전자선 선원별 비교

조사하지 않은 고춧가루를 control로 하고, 감마선 및 전자선 30 kGy로 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE방법으로 휘발성 유기성분을 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 15과 같고, 동정한 성분과 이들의 상대적 농도는 Table 26에, 관능기별 함량비교는 Table 27에 나타내었다.

고춧가루에서 확인된 휘발성 유기성분은 총 38 종으로 acid류, alcohol류, aldehyde류 , ester류, hydrocarbon류, ketone류 및 heterocyclic compound 4종이었으며 유기성분 총량은 118.98 mg/kg이었다. 고춧가루에 특징적으로 존재하는 주요 휘발성 유기성분으로는 ethyl acetate, 2-methy butanal, 3-methylbutanal, hexanal, pyridine, 2-pentylfuran, benzaldehyde, linalool, (E,E)-2,4-decadienal, β-ionone, 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, methyl linolenate 등이 확인되었다.

30 kGy로 감마선 조사된 고춧가루에서 확인된 휘발성 유기성분 총 39 종으로 acid류 1종(0.8%), alcohol류 6종(35.8%), aldehyde류 11종(37.8%), ester류 5종(12.9%), hydrocarbon류 7종(5.5%), ketone류 4종(4.2%) 및 heterocyclic compound 4종(3.0%)이었으며 유기성분 총량은 127.97 mg/kg이었다. 주요 휘발성 유기성분은 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, methyl linolenate, (E,E)-2,4-decadienal, ehtylacetate 및 methyl palmitate의 순으로 높은 함량을 나타냈었고, 이는 비조사구와 유사하였으나 그 함량의 차이를 확인하였다.

30 kGy로 전자선 조사된 고춧가루에서 확인된 휘발성 유기성분 총 39 종으로 acid류 1종(0.9%), alcohol류 6종(33.7%), aldehyde류 11종(32.7%), ester류 5종(25.3%), hydrocarbon류 7종(3.6%), ketone류 4종(2.2%) 및 heteocyclic compound 4종(1.7%)이었으며 유기성분 총량은 184.66 mg/kg이었다. 주요 휘발성 유기성분은 비조사구 및 감마선 조사구와 유사하였으나 그 함량에 차이를 나타냈다.

고선량으로 조사된 각 선원별 휘발성 유기성분의 변화를 비교하면, 화합물의 조성에는 큰 차이가 없었으나 전반적인 함량에는 차이를 보였다. 각 선원별 관능기별 함량을 볼 때 30 kGy의 감마선 조사된 고춧가루에서 alcohol류 및 aldehyde류가 각각

35.8%, 37.8%로 가장 높게 확인되고 heterocyclic compound의 경우도 3.0%로 비조사구 및 전자선 조사구에 비해 높게 나타났다. 반변 ester류는 12.9% 가장 낮은 구성을 나타냈다. 30 kGy의 전자선 조사된 고춧가루 경우 비조구와 유사한 경향을 나타냈으나 ketone류는 2.2%로 가장 낮은 비율로 나타났다.

선원별 휘발성 유기성분의 총량은 전반적으로 비조사구에 비해 감마선 및 전자선의 총량이 증가됨을 확인 할 수 있었는데, 감마선 조사의 경우 비조사구에 비해 1.1%, 전자선 조사의 경우 약 1.6배 증가되어졌다. 각각의 화합물에 대해 감마선 및 전자선 조사에 의한 영향은 화합물에 다른 영향을 미치는 걸로 나타났다. 주요 화합물들의 함량비교를 볼 때, 1-tridecanol은 감마선 조사에서 42.05 mg/kg, 전자선 조사에서 58.85 mg/kg으로 비조사구 22.50 mg/kg에 비해 증가되었다. 그 증가율로 볼 때 감마선 조사에 비해 전사선 조사의 경우 높게 나타났고, (Z)-9,17-octadecadienal 및 methyl linolenaten 및 linalool의 경우도 같은 경향을 나타내었다. 반면, 2,3-butanedione, pyridine, furfural 및 2,3,5,6-tetramethylpyrazine은 비조사구에 비해 선원별 조사시 그 함량이 증가하였으나 다른 화합물과는 대조적으로 감마선 조사의 경우가 더 높은 증가율을 보였다. 또한, 선원별 조사에 의해 그 함량이 감소되어진 경우도 확인하였는데 그중, ethyl acetate는 비조사구에서 9.00 mg/kg의 함량이 감마선조사에서는 3.12 mg/kg, 전자선조사에서 2.59 mg/kg으로 감소되어졌고, (E,E)-2,4-decadienal 및 β-ionone 역시 비조사구에 비해 감소되었고, 감마선 조사에 비해 전자선 조사시 감소 비율이 더 높게 나타났다.

선원별 조사 고춧가루에서의 휘발성 유기화합물의 변화가 각각 다른 경향을 나타낸 화합물도 있었는데, hexanal은 비조사구에서 2.01 mg/kg으로, 감마선 조사시 3.23 mg/kg으로 증가하였고, 전자선 조사시 1.72 mg/kg으로 감소되면서 선원별 다른 경향을 나타냈다. 4-methylpentanol, (E)-2-hepenal 및 benzaldehyde도 같은 경향으로 분석되어졌다.

이러한 결과에서 선원별 고선량으로 조사된 고춧가루에서의 변화에서 유의적인 변화를 확인할 수는 없었으나, 감마선 및 전자선 조사가 고춧가루에서 각각 다른 영향을 미쳤으며, 이에 대한 추가적인 연구를 통해 시료에 미치는 activity와의 연관성을 확인할 필요가 있다고 사료된다.

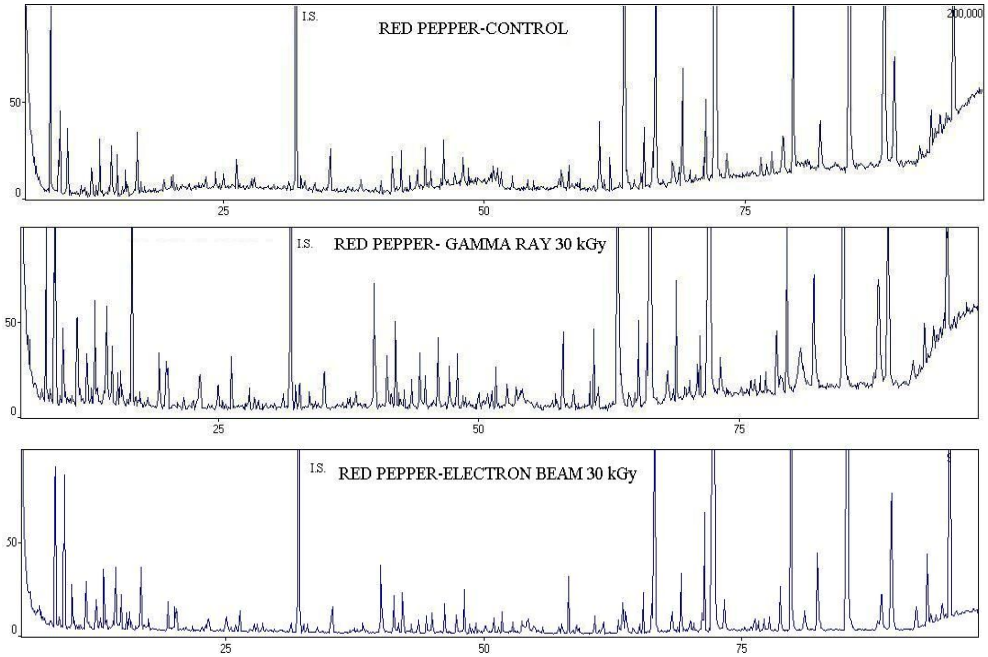

Fig. 14. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non-, gamma ray and electron beam-irradiated red pepper powder at dose of 30 kGy.

Table 26. Volatile organic compounds identified in non-, gamma ray and electron beam-irradiated red pepper powder at dose of 30 kGy

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Control	Gamma ray	Electronic beam
1	852	Ethyl acetate	9.00	3.12	2.59
2	871	2-Methylbutanal	1.42	1.61	1.14
3	874	3-Methylbutanal	3.27	3.75	2.32
4	891	Ethanol	2.31	1.28	0.86
5	949	2,3-Butanedione	0.54	1.35	0.80
6	957	Pentanal	0.32	0.42	0.29
7	964	2-Methylpentanal	0.41	0.23	0.30
8	1007	2-Methylnonane	0.43	0.20	0.27
9	1014	3-Methylnonane	1.83	1.40	1.12
10	1038	3,7-Dimethylnonane	1.57	1.47	1.54
11	1082	Hexanal	2.01	3.23	1.72
12	1137	1-Methylpyrrole	0.40	0.89	0.84
13	1187	Pyridine	0.53	1.32	0.72
14	1213	3-Methylbutanol	0.20	0.08	0.17
15	1232	2-Pentylfuran	0.65	0.77	0.96
I.S[2)]	1313	Butylbenzene	-	-	-
16	1320	4-Methylpentanol	0.33	0.55	0.20
17	1327	(*E*)-2-Heptenal	0.23	0.24	0.09
18	1360	Hexanol	0.42	0.84	0.56
19	1362	2-Methyl tridecane	0.75	0.67	0.80
20	1392	2-Methyl tetradecane	0.23	0.16	0.11
21	1430	1,3-bis[1,1-dimethylethyl]-benzene	-	2.21	1.87
22	1434	2,3-Dimethylhexene	0.43	0.69	0.41
23	1449	Acetic acid	0.75	1.00	1.63
24	1462	Furfural	0.88	2.22	1.87
25	1485	2,3,5,6-Tetramethylpyrazine	0.49	0.81	0.53

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 26. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Control	Gamma ray	Electronic beam
26	1524	Benzaldehyde	1.61	2.03	1.54
27	1553	Linalool	0.62	1.05	1.64
28	1628	Pulegone	0.40	0.39	0.28
29	1652	1,2-Dimethoxybenzene	0.31	0.27	0.44
30	1773	(*E,Z*)-2,4-ecadienal	1.93	1.66	0.22
31	1819	(*E,E*)-2,4-Decadienal	11.87	8.38	1.21
32	1864	Geranyl acetone	1.86	1.28	1.27
33	1956	*β*-Ionone	2.60	2.39	1.67
34	2017	Methyl pentadecanoate	1.65	1.15	4.08
35	2038	1-Tridecanol	33.55	42.05	58.85
36	2070	13-Tetradecynoic acid methylester	0.71	0.55	1.03
37	2196	Methyl palmitate	8.40	4.75	26.39
38	2337	(*Z*)-9,17-Octadecadienal	18.64	24.59	49.71
39	2475	Methyl linolenate	5.44	6.96	12.66
		Total	118.98	127.97	184.66

[1)]Retention index

Table 27. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non-, gamma ray and electron beam-irradiated red pepper powder at dose of 30 kGy

Functional Group	Control		Gamma ray		Electron beam	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Acids	1	0.6	1	0.8	1	0.9
Alcohols	6	31.5	6	35.8	6	33.7
Aldehydes	11	35.8	11	37.8	11	32.7
Esters	5	21.2	5	12.9	5	25.3
Hydrocarbons	7	4.7	8	5.5	8	3.6
Ketones	4	4.5	4	4.2	4	2.2
Heterocyclic compounds	4	1.7	4	3.0	4	1.7
Total	38	100.0	39	100.0	39	100.0

2. 고선량 조사된 생강의 감마선 및 전자선 선원별 비교

조사하지 않은 생강을 control로 하고, 감마선 30 kGy로 조사한 것과 전자선 30 kGy로 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE방법으로 휘발성 유기성분을 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 15와 같고, 동정한 성분과 이들의 상대적 농도는 Table 28에, 관능기별 함량비교는 Table 29에 나타내었다.

건조 생강에서 확인된 주요 휘발성 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, *β*-bisabolene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, germacrene D, (*Z*)-citral, camphene등 이었으며, 이는 건조 생강의 주된 유기성분으로 확인되었다.

감마선 30 kGy의 고선량으로 조사된 건조생강에서 확인된 휘발성 유기성분을 관능기에 따라 분류하면 hydrocarbon류가 88.2%로 가장 많은 비율을 차지하였으며 이어서 alcohol류가 7.6%, aldehyde류가 3.2%, ketone류가 0.8% 그리고 기타화합물과 ester류가 각각 0.2%, 0.1% 순으로 나타내었다. 주된 휘발성 유기성분은 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-bisabolene, *β*-phellandrene, germacrene D, camphene, (*Z*)-citral 순으로 확인되었으며, 휘발성 유기화합물의 총량은 17,109.2 mg/kg으로 비조사구에 비해 증가됨을 확인하였다.

전자선 30 kGy의 고선량으로 조사한 건조 생강에서 확인된 휘발성 유기성분을 관능기에 따라 분류하면 hydrocarbon류는 86.22%로 가장 높은 비율을 차지하였고, alcohol류는 9.7%, aldehyde류가 3.2%, ketone류가 0.7%, 기타 0.2% 그리고 ester류의 화합물 0.1% 순으로 확인되었으며, 주된 휘발성 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-bisabolene, *β*-phellandrene, camphene, (*Z*)-ctral, grmacrene D 순으로 확인되었으며, 휘발성 유기화합물의 총량은 17,454.1 mg/kg으로 비조사구 및 감마선 조사시료보다 증가되어져 나타났다.

고선량으로 조사된 각 선원별 휘발성 유기성분의 변화를 비교하면, 화합물의 조성에는 큰 차이가 없었으나 전반적인 함량에는 차이를 보였다. 각 선원별 관능기별 함량을 볼 때 30 kGy의 감마선 조사된 생강에서 hydrocarcon류가 비조사구 및 전자선 조사구에 비해 높게 나타났다. 반면 alcohol류는 가장 낮은 구성을 나타냈고, aldehyde류는 비조사구에 비해 감마선 및 전자선 조사 후 그 함량이 감소되어졌다.

선원별 휘발성 유기성분의 총량은 전반적으로 비조사구에 비해 감마선 및 전자선

의 총량이 증가됨을 확인 할 수 있었는데, 감마선 조사의 경우 비조사구에 비해 1.1, 전자선 조사의 경우 1.1배 증가되어졌다. 각각의 화합물에 대해 감마선 및 전자선 조사에 의한 영향은 화합물에 다른 영향을 미쳤다.

선원별 고선량 조사된 생강에서 변화를 살펴보면 가장 많은 함량으로 확인된 α-zingiberene은 비조사구에서 3775.6 mg/kg이었으나, 감마선 및 전자선 조사 후 5325.0 mg/kg 및 5552.0 mg/kg으로 조사 후 그 함량이 증가하였고, 전자선 조사 후 그 함량이 더 증가되었다. (Z,E)-α-farnesene, β-myrcene, lmonene, β-phellandrene 및 1,8-cineole 등 같은 경향을 나타냈었다. 반면, α-pinene 및 camphene은 조사 후 비조사구에 비해 증가되었고, 감마선 조사했을 때 그 증가율이 높게 확인되었다. 특이적으로 (Z)-β-farnesene은 감마선 조사에 의해서는 그 함량이 감소되었으나 전자선 조사에 의해서 그 함량이 증가되어짐을 보였다.

이러한 결과에서 선원별 고선량으로 조사된 생강에서의 변화에는 유의적인 변화를 확인할 수 없었으나. 감마선 및 전자선의 차이가 생강에서 다른 활성을 나타내며 그에 대한 정확한 근거는 추가적인 연구를 통해 마련되어져야 할 것으로 사료된다.

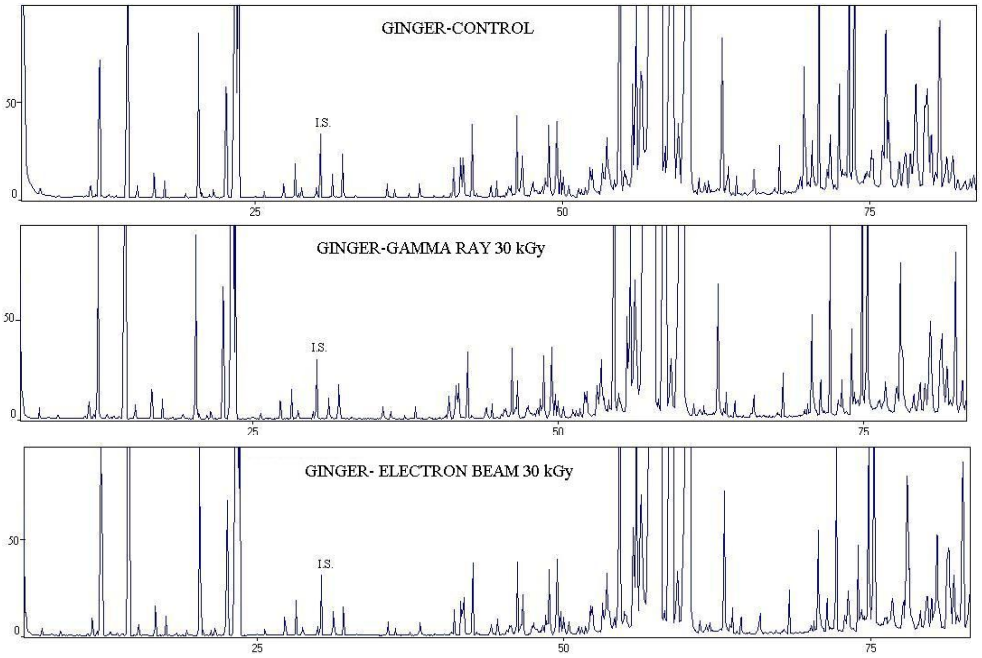

Fig. 15. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non-, gamma ray and electron beam irradiated dried ginger at dose of 30 kGy.

Table 28. Volatile organic compounds identified in non-, gamma ray and electron beam irradiated dried ginger at dose of 30 kGy

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Control	Gamma ray	Electron beam
1	849	Ethyl acetate	3.1	5.5	3.3
2	912	Ethanol	2.0	2.2	2.3
3	973	Tricyclene	9.8	14.3	13.6
4	981	Ocimene	1.7	2.8	2.1
5	988	α-Pinene	144.1	203.5	198.6
6	1034	Camphene	460.9	603.3	593.8
7	1049	Hexanal	7.1	8.8	7.4
8	1073	β-Pinene	18.6	22.5	23.1
9	1087	Sabinene	11.7	15.1	15.2
10	1134	β-Myrcene	149.5	153.0	165.9
11	1138	α-Fenchene	4.6	5.3	5.0
12	1153	2-Heptanone	5.2	4.9	4.6
13	1169	Limonene	179.7	189.5	208.7
14	1181	β-Phellandrene	841.7	905.8	972.4
15	1184	1,8-Cineole	296.1	318.1	329.3
16	1214	γ-Terpinene	3.7	3.8	4.3
17	1239	ρ-Cymene	11.3	15.8	15.6
18	1253	Terpinolene	25.9	24.0	28.3
19	1360	Octanal	6.8	5.8	6.1
20	1277	Perillene	6.0	5.8	6.7
I.S.[2)]	1282	Butylbenzene	-	-	-
21	1295	2-Heptanol	16.5	16.0	18.7
22	1307	6-Methyl-5-heptene-2-one	33.6	27.8	23.5
23	1362	2-Nonanone	9.5	10.1	10.5
24	1399	(*E*)-2-Octenal	9.5	8.4	9.3

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 28. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Control	Gamma ray	Electronic beam
25	1443	δ-Elemene	25.6	21.0	23.5
26	1451	Citronellal	35.3	31.8	32.6
27	1455	Cyclosativene	50.4	46.7	48.3
28	1466	α-Copaene	68.9	63.9	69.0
29	1489	Camphor	12.9	11.6	11.8
30	1495	2-Nonanol	11.5	11.9	12.8
31	1514	Limonene oxide	15.9	15.7	15.0
32	1522	Linalool	72.4	71.5	71.8
33	1529	(*E*)-β-Bergamotene	43.3	41.0	42.4
34	1543	(*E*)-*p*-2-menthen-1-ol	12.9	13.8	13.9
35	1556	Bornyl acetate	7.3	7.5	7.0
36	1559	Aromadendrene	22.0	22.7	24.0
37	1564	β-Elemene	71.6	65.4	69.7
38	1567	Isocaryophyllene	4.1	5.4	6.8
39	1573	2-Undecanone	67.7	66.2	72.6
40	1578	4-Terpineol	20.8	20.9	20.9
41	1588	α-Gurjunene	10.9	14.4	16.4
42	1600	Myrtenal	7.6	6.6	6.4
43	1617	(*E*)-2-Decenal	25.2	28.5	28.4
44	1620	α-Humulene (=α-Caryophyllene)	28.2	28.8	28.5
45	1640	(*Z*)-β-Farnesene	138.2	95.1	151.9
46	1658	(*Z*)-Citral	463.9	433.8	445.6
47	1664	γ-Muurolene	26.0	31.0	34.1
48	1676	α-Terpineol	99.1	98.8	103.1
49	1688	Germacrene D	598.2	573.9	510.9
50	1696	α-Cedrene	352.6	355.6	355.0

[1)]Retention index

Table 28. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Control	Gamma ray	Electronic beam
51	1711	α-Zingiberene	3775.6	5325.0	5552.0
52	1715	β-Bisabolene	1751.1	1179.8	1010.1
53	1731	(*Z,E*)-α-Farnesene	1549.5	1458.0	1568.9
54	1741	δ-cadinene	129.1	128.3	133.6
55	1760	β-Sesquiphellandrene	2751.5	3015.7	3019.4
56	1762	α-phellandren-8-ol	6.5	6.7	6.9
57	1773	Myrtenol	13.0	14.2	12.1
58	1782	Geranyl acetate	3.9	2.5	3.5
59	1788	2-Tridecanone	6.9	6.9	6.3
60	1811	Germacrene B	152.8	148.7	157.8
61	1825	Nerol	20.5	23.5	23.4
62	1840	(*E*)-2-Dodecenal	12.8	12.4	13.6
63	1968	Caryophyllene oxide	6.2	5.0	5.6
64	1982	Nerolidol	121.9	123.7	119.1
65	2019	β-bisabolol	165.7	157.6	159.3
66	2043	β-Farnesol	36.7	28.2	30.4
67	2064	Elemol	87.8	78.7	81.6
68	2085	α-Bisabolol	169.9	162.0	180.6
69	2096	α-Cedrol	277.9	279.8	293.2
70	2223	α-Eudesmol	126.9	119.5	120.8
71	2344	(*E*)-farnesol	68.1	77.4	65.2
		Total	15,785.4	17,109.2	17,454.1

[1)]Retention index

Table 29. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non-, gamma ray and electron beam-irradiated dried ginger at dose of 30 kGy

Functional Group	Control		Gamma ray		Electron beam	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Alcohols	18	11.4	18	7.6	18	9.7
Aldehydes	8	3.6	8	3.2	8	3.2
Esters	3	0.1	3	0.1	3	0.1
Hydrocarbons	33	83.8	32	88.2	33	86.2
Ketones	6	0.9	6	0.8	6	0.7
Miscellaneous	3	0.2	3	0.2	3	0.2
Total	70	100.0	70	100.0	71	100.0

3. 고선량 조사된 대파의 감마선 및 전자선 선원별 비교

조사하지 않은 건조 대파를 control로 하고, 감마선 30 kGy로 조사한 것과 전자선 30 kGy로 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE방법으로 휘발성 유기성분을 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 16와 같고, 동정한 성분과 이들의 상대적 농도는 Table 30에, 관능기별 함량비교는 Table 31에 나타내었다.

Control로 사용된 방사선 조사하지 않은 대파에서 총 45종의 휘발성 유기성분이 분리 동정 되었으며, 관능기별로 분류한 결과 S-containing compound류 20종, aldehyde류 8종, alcohol류 5종, ketone류 4종, furan류 3종, ester류 2종, hydrocarbon류 2종 그리고 acid류 1종이 동정되었으며, S-containing compound가 대파의 휘발성 유기성분에 크게 기여하는 것으로 확인되었다.

대표적인 휘발성 유기 성분으로는 2-methyl-2-pentenal, 2-tridecanone), propanethiol, 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane, dipropyl trisulfide, 2-propen- thiol등이었다. 건대파의 자극적인 향기의 특성을 내는 sulfide류는 총 12종으로 monosulfide는 propylene sulfide 1종, disulfide는 (*E*)-propenyl propyl disulfide, (*Z*)-propenyl propyl disulfide 그리고 propyl butyl disulfide 등 7종, trisulfide는 (Z)-propenyl propyl trisulfide, (*E*)-propenyl propyl trisulfide 그리고 Methyl propyl trisulfide등으로 확인되었다.

감마선 30 kGy로 조사된 시료에서는 48종의 휘발성 유기 화합물이 동정되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 54.0%, aldehyde류 17.3%, ketone류 17.3%, alcohol류 4.5%, ester류 3.2%, furan류 1.4%, hydrocarbon류 2.1% 그리고 acid류 0.3%로 확인되었다. 30 kGy에서는 allylsulfide를 추가로 확인하였다. 주요 화합물로는 2-methyl-2-pentenal, 2-tridecanone, propanethiol, 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane, dipropyl trisulfide, 2-propenethiol등이었다. Sulfide류는 총 12종으로 monosulfide는 propylene sulfide 1종, disulfide는 (*E*)-propenyl propyl disulfide, (*Z*)-propenyl propyl disulfide 그리고 propyl butyl disulfide 등 7종, trisulfide는 (Z)-propenyl propyl trisulfide, (*E*)-propenyl propyl trisulfide 그리고 Methyl propyl trisulfide등으로 확인하였다.

전자선 30 kGy로 조사된 시료에서는 총 48종의 휘발성 유기 화합물이 동정 되었

으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 48.0%, aldehyde류 20.4%, ketone류 19.3%, alcohol류 5.1%, ester류 3.4%, furan류 1.4%, hydrocarbon류 1.9% 그리고 acid류 0.3%로 확인되었다. 주요 화합물로는 2-methyl-2-pentenal, 2-tridecanone, propanethiol, 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane, dipropyl trisulfide, 2-propenthiol등이었다. Sulfide류는 총 12종으로 monosulfide는 propylene sulfide 1종, disulfide는 (*E*)-propenyl propyl disulfide, (*Z*)-propenyl propyl disulfide 그리고 propyl butyl disulfide 등 7종, trisulfide는 (Z)-propenyl propyl trisulfide, (*E*)-propenyl propyl trisulfide 그리고 Methyl propyl trisulfide등으로 확인하였다.

고선량으로 조사된 각 선원별 휘발성 유기성분의 변화를 비교하면, 화합물의 조성에는 큰 차이가 없었으나 전반적인 함량에는 차이를 보였다. 각 선원별 관능기별 함량을 볼 때 30 kGy의 감마선 조사된 대파에서 S-containing compound류는 비조사구와 감마선 조사시 유사한 비율을 나타냈으나 전사선 조사 후 감소되었다. Alcohol류 및 ketone 류는 조사 후 비율이 증가되었고, 감마선 조사에 비해 전자선 조사 후 그 증가율이 더 큰 것으로 확인되어졌다. 반면, aldehyde류는 비조사구에 비해 감마선 및 전자선 조사 후 그 함량이 감소되어졌고 그 감소율은 감마선이 더 높았다.

선원별 고선량 조사된 대파에서 변화를 살펴보면 가장 많은 함량으로 확인된 2-methyl-2-pentenal은 비조사구에서 52.82 mg/kg이었으나, 감마선 및 전자선 조사 후 34.37 mg/kg 및 36.14 mg/kg으로 조사 후 그 함량이 감소하였고, 감마선 조사 후 그 함량이 가장 낮게 나타났다. 또한, (Z)-propenyl propyl disulfide,dipropyl trisulfide 및 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane도 같은 경향으로 확인되었다. 2-tridecanone, 5-methyl-2-octylfuran-3one, propylene sulfide 및 2-propenthiol에서는 비조사구에 비해 조사 후 함량이 증가되었고, 전자선 조사 후 가장 높은 함량을 나타내었다. 선원별 휘발성 유기성분의 총량은 전반적으로 비조사구에 비해 감마선 및 전자선의 총량이 감소됨을 확인 할 수 있었는데, 전자선 조사 후 가장 낮은 함량으로 나타났다. 각각의 화합물에 대해 감마선 및 전자선 조사에 의한 영향은 화합물에 다른 영향을 미치는 것으로 나타났다.

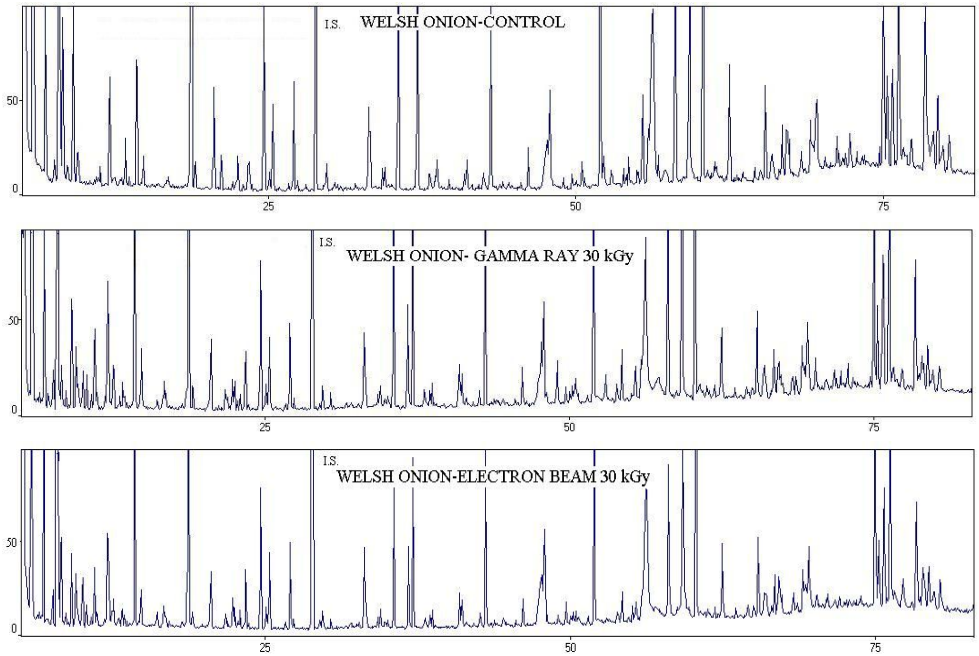

Fig. 16. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non-, gamma ray and electron beam irradiated dried welsh onion at dose of 30 kGy.

Table 30. Volatile organic compounds identified in non-, gamma ray and electron beam irradiated dried welsh onion at dose of 30 kGy

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Control	Gamma ray	Electron beam
1	805	Propanal	11.27	7.97	10.39
2	846	Propanethiol	33.62	33.23	21.11
3	902	Ethyl acetate	9.41	9.28	8.89
4	926	3-Methylbutanal	0.33	1.12	0.98
5	934	2-Propenthiol	15.55	19.56	23.60
6	937	Propylene sulfide	10.53	13.47	16.55
7	944	Ethanol	3.79	1.42	2.79
8	954	2-Ethylfuran	0.30	0.18	0.33
9	966	2,4-dimethyl furan	2.94	2.66	1.94
10	975	Vinyl acetate	0.64	1.66	1.64
11	978	Pentanal	0.55	0.91	0.85
12	987	3-Methyl-3-buten-2-one	-	1.17	1.64
13	994	2,2,5,5,-Tetramethyl pentane	0.18	1.06	0.86
14	1009	2,2-Dimethyl octanol	0.35	2.47	1.94
15	1034	2-Butenal	3.17	5.09	4.08
16	1077	Hexanal	3.21	6.47	7.21
17	1088	2-Methyl-2-butenal	0.69	1.96	1.37
18	1154	2-Methyl-2-pentenal	52.82	34.37	36.14
19	1182	2,5-Dimethylthiophene	3.14	2.54	2.53
20	1199	Allylsulfide	-	0.57	0.40
21	1212	2-Hexenal	1.25	0.85	0.96
22	1224	Methyl propyl disulfide	0.88	0.45	0.42
23	1226	2-Pentyl furan	0.81	2.06	2.12
24	1245	2,4-Dimethyl thiophene	8.69	6.27	6.64
25	1256	(*Z*)-Methyl propenyl disulfide	2.84	2.93	3.41

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 30. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Control	Gamma ray	Electronic beam
26	1280	(*E*)-Methyl propenyl disulfide	3.62	3.58	3.77
I.S.[2)]	1305	Butylbenzene	-	-	-
27	1370	Dimethyl trisulfide	2.42	3.32	3.85
28	1372	Dipropyl disulfide	1.53	0.77	0.49
29	1404	(*Z*)-Propenyl propyl disulfide	11.36	7.89	6.48
30	1423	1,3-bis[1,1-dimethyl-ethyl]-benzene	-	3.61	4.06
31	1429	(*E*)-Propenyl propyl disulfide	13.85	10.17	7.78
32	1444	Acetic acid	0.88	1.14	0.87
33	1520	Methyl propyl trisulfide	9.91	9.93	8.72
34	1568	2-Furyl ethyl ketone	1.08	1.68	1.35
35	1595	Undecanone	2.62	3.63	3.45
36	1612	3,5-Dimethyl-1,2,4-trithiolane	0.56	1.63	0.18
37	1638	2-Acethyl thiazole	0.68	0.68	0.88
38	1663	Dipropyl trisulfide	18.76	14.92	9.29
39	1721	*β*-Bisabolene	3.54	2.35	1.05
40	1735	3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane	19.19	18.96	11.05
41	1767	(*Z*)-Propenyl propyl trisulfide	14.79	14.61	9.38
42	1787	(*E*)-Propenyl propyl trisulfide	11.84	15.05	10.72
43	1807	2-Tridecanone	36.11	37.91	41.47
44	1855	Propyl butyl disulfide	3.59	2.86	3.38
45	1921	5-Ethyl-2-nonanol	2.27	3.68	3.47
46	1966	*α*-Isopropyl benzyl alcohol	1.13	0.39	0.39
47	2221	5-Methyl-2-octylfuran-3-one	13.31	14.31	16.07
48	2272	6-Ethyl-4,5-decanediol	7.03	6.51	7.29
		48	347.03	339.30	314.23

[1)]Retention index

Table 31. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non-, gamma ray and electron beam irradiated dried welsh onion at dose of 30 kGy

Functional Group	Control		Gamma ray		Electron beam	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Acids	1	0.3	1	0.3	1	0.3
Alcohols	5	4.2	5	4.5	5	5.1
Aldehydes	8	21.1	8	17.3	8	19.7
Esters	2	2.9	2	3.2	2	3.4
Furans	3	1.2	3	1.4	3	1.4
Hydrocarbons	2	1.1	3	2.1	3	1.9
Ketones	4	15.3	5	17.3	5	20.4
S-containing compounds	20	54.0	21	54.0	21	47.9
Total	45	100.0	48	100.0	48	100.0

4. 고선량 조사된 마늘의 감마선 및 전자선 선원별 비교

조사하지 않은 마늘을 control로 하고, 감마선 과 전자선 30 kGy로 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE방법으로 휘발성 유기성분을 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 17과 같고, 동정한 성분과 이들의 상대적 농도는 Table 32에, 관능기별 함량비교는 Table 33에 나타내었다.

마늘에서 동정된 휘발성 유기성분은 총 47종으로 그중 26종이 황함유화합물이었으며, 이들이 전체 휘발성 유기성분의 98.7%로 대부분을 차지하였다. 이들 외에도 alcohol류 3종, aldehyde류 7종, ester류 3종 및 기타 화합물 8종이 확인되었다. 조사하지 않은 마늘에서 diallyl disulfide와 diallyl trisulfide, methyl allyl disulfide, 3-(allylthio)propionic acid 및 methyl-2-propenyl trisulfide으로 다량 확인되어 이들 화합물들이 마늘의 특징적인 향미를 나타냄을 확인하였다.

30 kGy로 감마선 조사된 마늘에서 확인된 휘발성 유기성분 총 55 종으로 alcohol류 6종(1.0%), aldehyde류 9종(0.9%), ester류 3종(0.8%) 및 S-containing compound 27종(96.8%)이었으며, 유기성분 총량은 4845.60 mg/kg이었다. 주요 휘발성 유기성분은 diallyl trisulfide, diallyl disulfide, methyl 2-propenyl trisulfide, methyl allyl disulfide 및 dimethyl trisulfide의 순으로 높은 함량을 나타냈었고, 이는 비조사구와 유사하였으나 그 함량의 차이를 확인하였다.

30 kGy로 전자선 조사된 마늘에서 확인된 휘발성 유기성분 총 55 종으로 alcohol류 7종(0.8%), aldehyde류 7종(0.6%), ester류 3종(0.6%) 및 S-containing compound 27종(97.6%)이었으며, 유기성분 총량은 5794.55 mg/kg이었다. 주요 휘발성 유기성분은 비조사구 및 감마선 조사구와 유사하였으나 그 함량의 차이를 보였다.

고선량으로 조사된 각 선원별 휘발성 유기성분의 변화를 비교하면, 화합물의 조성에는 큰 차이가 없었으나 전반적인 함량에는 차이를 보였다. 각 선원별 관능기별 함량을 볼 때 30 kGy의 감마선 조사된 마늘에서 S-containing compound류는 조사 후 감소되는 경향을 나타냈고, 감마선 조사 후에 더 감소되어졌다.

선원별 고선량 조사된 마늘에서 변화를 살펴보면 가장 많은 함량으로 확인된 dially trisulfide는 비조사구에서 2198.84 mg/kg이었으나, 조사 후 감마선 조사시료에서 2050.61 mg/kg으로 가장 낮은 함량으로 감소되었고, 전자선 조사시료에서는

2649.29 mg/kg으로 비조사구에 비해 증가되었다. Dimethyl disulfide, dimethyl trisulfide, diallyl sulfide 및 1-(1-propenylthio)propane은 조사 후 모두 그 함량이 증가되었고, 전자선 조사 후 가장 높게 증가하였다. 반면, methyl allyl disulfide는 조사 후 감소되었고, 전자선 조사시료에서 가장 낮게 나타났다. Diallyl disulfide, methyl 2-propenyl trisulfide 및 allyl propenyl trisulfide 또한 조사 후 감소되었지만, 이들 화합물들은 감마선 조사시료에서 가장 낮은 함량으로 나타났다.

선원별 휘발성 유기성분의 총량은 전반적으로 비조사구에 비해 감마선 및 전자선의 총량이 감소됨을 확인 할 수 있었는데, 감마선 조사 후 가장 낮은 함량으로 나타났다. 각각의 화합물에 대해 감마선 및 전자선 조사에 의한 영향은 화합물에 다른 영향을 미치는 것으로 나타났다.

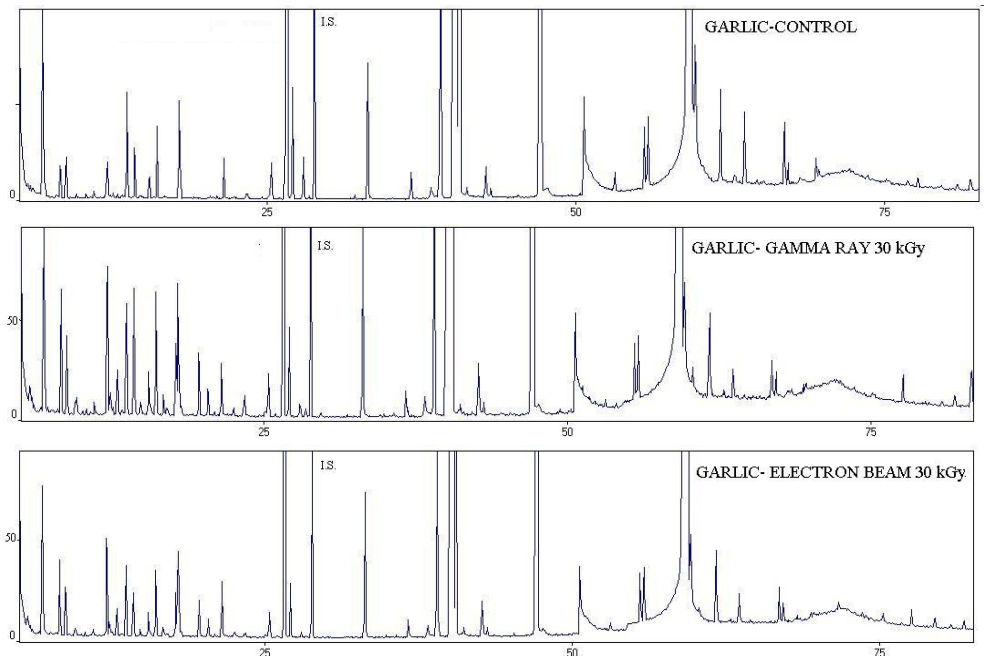

Fig. 17. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non-, gamma ray and electron beam irradiated dried garlic at dose of 30 kGy.

Table 32. Volatile organic compounds identified in non-, gamma ray and electron beam irradiated dried garlic at dose of 30 kGy

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Control	Gamma ray	Electron beam
1	842	Ethyl formate	0.88	1.94	1.70
2	852	1-Propanethiol	0.72	0.77	0.92
3	864	2-Propenal	0.69	0.56	0.99
4	896	Butanal	-	0.63	0.68
5	906	Ethyl acetate	21.47	34.70	26.88
6	911	1,1-Diethoxy ethane	1.06	-	1.40
7	948	Ethanol	3.41	12.44	11.62
8	960	Allyl methyl sulfide	4.35	7.75	7.42
9	980	Pentanal	0.17	2.01	1.86
10	997	2,2,4-Trimethylhexane	-	0.56	0.63
11	1013	3,7-Dimethyl nonane	0.59	1.10	1.11
12	1037	3-Butenal	4.71	16.91	18.04
13	1042	3-Methyl-3-buten-2-one	0.57	2.04	3.10
14	1047	2,2,5,5-Tetramethylhexane	-	0.43	1.17
15	1054	Allyl vinyl ether	0.28	4.20	5.31
16	1069	Dimethyl disulfide	14.25	13.10	13.10
17	1080	Hexanal	6.51	13.65	7.96
18	1090	2-Methyl-2-butenal	0.32	1.57	1.19
19	1101	2-Ethenyl-2-butenal	2.54	5.06	4.57
20	1113	2-Propenol	9.75	15.26	13.49
21	1141	4-Penten-2-ol	-	8.68	8.22
22	1144	Diallyl sulfide	13.80	16.24	16.40
23	1147	2-Methyl-2-pentenal	-	0.90	0.98
24	1149	Butanol	-	1.31	7.67
25	1172	3-Butenol	-	7.89	3.64
26	1198	1-(1-Propenylthio)propane	5.66	6.62	10.06
27	1215	(*Z*)-2-Heptenal	-	0.99	1.21
28	1228	Methyl propyl disulfide	0.69	0.81	0.65
29	1230	2-Pentyl furan	0.83	2.29	-
30	1260	1,3-Dithiane	5.95	6.30	6.46

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 32. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Control	Gamma ray	Electronic beam
31	1277	Methyl allyl disulfide	312.69	242.77	239.08
32	1284	Propenyl methyl disulfide	17.08	12.47	12.15
33	1295	3-Methylpyridine	6.85	2.19	1.61
I.S[2)]	1309	Butylbenzene	-	-	-
34	1374	Dimethyl trisulfide	31.16	33.69	37.07
35	1426	(*E*)-Propenyl propyl disulfide	4.60	3.66	4.27
36	1429	1,3-bis[1,1-dimethyl-ethyl]-benzene	-	1.50	1.06
37	1449	Acetic acid	0.95	0.88	-
38	1451	Methional	0.95	2.57	3.75
39	1463	2-Vinyl-1,3-dithiane	77.30	54.65	59.17
40	1482	Diallyl disulfide	2002.33	1374.40	1519.51
41	1486	3-(Allylthio)propionic acid	293.68	150.81	165.82
42	1494	2-Ethyl-1-hexanol	1.26	1.13	1.72
43	1518	Dimethyl thioacetamide	5.89	9.04	10.91
44	1525	Methyl propyl trisulfide	1.41	1.62	2.21
45	1588	Methyl 2-propenyl trisulfide	636.73	610.23	725.46
46	1645	Cyclopenthyl ethyl sulfide	41.83	20.22	56.96
47	1686	Methylcyclohexyl sulfide	41.83	2.96	3.09
48	1728	3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane	3.03	10.59	15.80
49	1733	3-Vinyl-4H-1,2-dithiin	12.55	12.52	17.68
50	1794	Diallyl trisulfide	2198.84	2050.61	2649.29
51	1799	Allyl 1-propenyl trisulfide	43.24	24.64	42.39
52	1813	(*E*)-1,3-Dimethoxycyclohexane	-	2.62	-
53	1844	2-Vinyl-4H-1,3-dithiin	18.05	15.43	20.35
54	1885	2-Ethoxy-4-methyl cyclohexanone	11.10	4.10	5.90
55	1967	2-Methoxy-5-methylthiophene	11.84	7.07	10.79
56	1975	1-Phenyl-1-propanol	3.25	4.20	4.95
57	2263	Ethyl palmitate	1.56	3.65	5.15
		Total	5853.33	4845.60	5794.55

[1)]Retention index

Table 33. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non-, gamma ray and electron beam irradiated dried garlic at dose of 30 kGy

Functional Group	Control		Gamma ray		Electron beam	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Alcohols	3	0.3	6	1.0	7	0.8
Aldehydes	7	0.3	9	0.9	7	0.6
Esters	3	0.4	3	0.8	3	0.6
S-containing compounds	26	98.7	27	96.8	27	97.6
Miscellaneous	8	0.4	10	0.4	10	0.4
Total	47	100.0	55	100.0	54	100.0

5. 고선량 조사된 양파의 감마선 및 전자선 선원별 비교

조사하지 않은 건조 양파를 control로 하고, 감마선 30 kGy로 조사한 것과 전자선 30 kGy로 조사한 것을 시료로 사용하여 SDE방법으로 휘발성 유기성분을 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram은 Fig. 18와 같고, 동정한 성분과 이들의 상대적 농도는 Table 34에, 관능기별 함량비교는 Table 35에 나타내었다.

Control로 사용된 방사선 조사하지 않은 양파에서 총 40종의 휘발성 유기성분이 분리 동정 되었으며, 관능기별로 분류한 결과 S-containing compound류 25종, aldehyde류 5종, alcohol류 3종, heterocyclic compound류 3종, ester류 2종, ketone류 1종 그리고 hydrocarbon류 1종이 동정되었으며, S-containing compound류가 양파의 휘발성 유기성분에 크게 기여하는 것으로 확인되었다.

대표적인 휘발성 유기 성분으로는 propanethiol, 2-methyl-4-pentanal, methyl propyl disulfide, 2,4-dimethjkyl thiophene, dipropyl disulfide, (E)-propneyl propyl disulfide, methyl propyl trisulfide, dipropyl trisulfide등으로 확인되었다.

감마선 30 kGy로 조사된 시료에서는 39종의 휘발성 유기 화합물이 동정되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 71.5%, aldehyde류 9.0%, heterocyclic compound류 1.5%, ester류 3.9%, ketone류 0.1%, alcohol류 1.5%, hydrocarbon류 0.2%이 확인되었다. S-containing compound류는 비조사구에 비해 증가되었으나, aldehyde류는 감소되어져 나타났다. 30 kGy로 조사된 양파에서의 휘발성 유기화합물의 총량은 89.49 mg/kg으로 비조사구 131.98 mg/kg에 비해 22.2% 감소되어져 나타났다. 주요 화합물의 함량을 살펴보면, 가장 많은 함량을 차지하는 propanethiol은 22.41 mg/kg으로 비조사구에 비해 33.1% 감소되어졌다. 또한, methyl propyl disulfide 및 2,4-dimethyl thiophene, dipropyl disulfide도 같은 경향을 나타내었다.

전자선 30 kGy로 조사된 시료에서는 41종의 휘발성 유기 화합물이 동정되었으며, 관능기에 따라 S-containing compound류 73.8%, aldehyde류 14.8%, ester류 4.5%, heterocyclic compound류 2.3%, alcohol류 2.1%, hydrocarbon류 1.3%, ketone류 0.6%이 확인되었다. S-containing compound류는 비조사구에 비해 증가되었으나, aldehyde류는 감소되어져 나타났다. 30 kGy로 조사된 양파에서의 휘발성 유기화합

물의 총량은 112.89 mg/kg으로 비조사구에 비해 감소되었으나 감마선 조사시료보다는 증가되어져 나타났다. 주요 화합물의 함량을 살펴보면, 가장 많은 함량을 차지하는 propanethiol은 21.13 mg/kg으로 비조사구에 비해 26.9% 감소되어졌다. 또한, methyl propyl disulfide 및 2,4-dimethyl thiophene, dipropyl disulfide도 같은 경향을 나타내었다. 주요 S-containing compound류의 함량은 비조사구보다 증가 되어졌으며, 이는 감마선 조사시료보다 그 함량은 낮았다.

이러한 결과에서 선원별 고선량으로 조사된 양파에서의 변화에서 유의적인 변화를 확인할 수는 없었으나, 감마선 및 전자선 조사가 양파에 미치는 영향은 다른 차이를 보였다. 이에 대한 추가적인 연구를 통하여 양파에서 위생화 처리 및 저장성 증진을 위한 목적으로 선원별 활용에 대한 정확한 메카니즘을 밝혀 과학적인 데이터를 기반으로 그 활용도를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

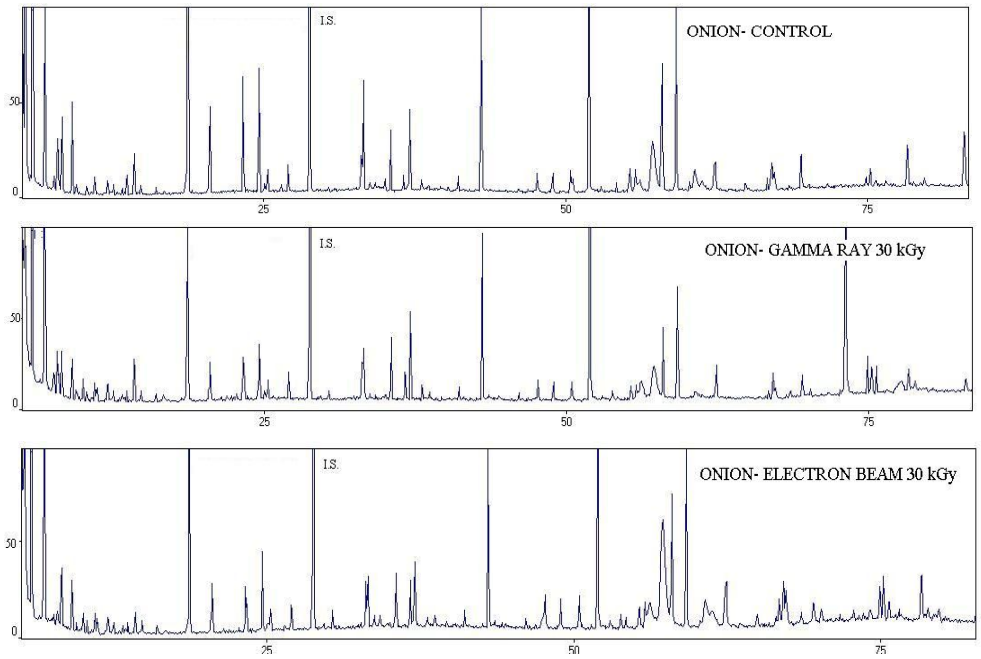

Fig. 18. GC/MS total ion chromatograms of the volatile organic compounds from non-, gamma ray and electron beam irradiated dried onion at dose of 30 kGy.

Table 34. Volatile organic compounds identified in non-, gamma ray and electron beam irradiated dried onion at dose of 30 kGy

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Control	Gamma ray	Electron beam
1	833	Ethyl formate	0.14	0.17	0.09
2	844	1-Propanethiol	33.47	22.41	21.13
3	898	2-Propene-1-thiol	0.78	0.31	0.58
4	901	Ethyl acetate	5.00	7.96	4.18
5	907	Diethyl acetal	0.17	0.16	0.07
6	925	3-Methylbutanal	0.29	0.25	0.19
7	934	Propylene sulfide	0.99	0.78	0.4
8	944	Ethanol	1.30	0.80	1.10
9	967	2,4-Dimethylfuran	1.47	0.60	0.93
10	976	2,3-Butadione	0.13	0.25	0.17
11	990	(E)-3-penten-2-one	-	0.36	0.36
12	1012	3,3-Dimethyloctane	0.27	0.42	0.51
13	1016	Thiopene	-	-	0.41
14	1035	2-Butanol	0.37	0.47	0.4
15	1068	Dimethyl disulfide	0.43	0.18	0.28
16	1079	Hexanal	0.82	1.01	0.48
17	1153	2-Methyl-4-pentanal	26.37	6.63	13.08
18	1182	Pyridine	0.18	0.37	0.35
19	1184	2,5-Dimethyl thiophene	2.07	0.94	1.46
20	1227	Methyl propyl disulfide	2.83	1.25	1.53
21	1228	2-Pentylfuran	0.27	0.80	0.84
22	1247	2,4-Dimethyl thiophene	3.22	1.63	2.47
23	1258	(Z)-Propenyl methyl disulfide	0.43	0.47	0.51

[1)]Retention index,

Table 34. Continued

(unit: mg/kg)

Peak No.	R.I.[1)]	Compound Name	Control	Gamma ray	Electron beam
24	1282	(E)-Propenyl methyl disulfide	0.73	0.70	0.77
I.S.[2)]	1307	Butyl benzene	-	-	-
26	1372	Dimethyl trisulfide	0.92	1.21	1.34
27	1374	Dipropyl disulfide	2.80	1.40	1.33
28	1406	(Z)-Propenyl propyl disulfide	1.59	1.78	1.65
29	1424	Allyl propyl disulfide	0.26	-	-
30	1428	1,3-di-tetra-butylbenzene	-	0.72	1.3
31	1431	(E)-Propenyl propyl disulfide	2.01	2.58	1.99
32	1492	2-Ethyl-1-hexanol	0.36	0.28	0.51
33	1522	Methyl propyl trisulfide	5.68	5.26	5.77
34	1595	(Z)-3,5-Dimethyl-1,2,4-trithiolane	0.43	0.92	1.31
35	1616	(E)-3,5-Dimethyl-1,2,4-trithiolane	0.46	0.58	0.76
36	1641	2-Acetyl thiazole	0.66	0.40	1.19
37	1666	Dipropyl trisulfide	14.88	13.23	10.62
38	1722	2-Methyl-4,5-dihydrothiophene	0.94	0.49	1.39
39	1732	1,2,4-Trithiolane	0.51	0.38	0.62
40	1756	5,6-dihydro-2,4,6-trimethyl-4H-1,3,5-di thiazine	7.25	5.51	17.40
41	1770	(Z)-Prophenyl propyl trisulfate	3.77	2.37	5.11
42	1790	(E)-Prophenyl propyl trisulfate	6.32	3.46	8.17
43	2039	3,6-Dimethyl-1,2,4,5-tetrathiane	0.90	-	-
			131.98	89.49	112.89

[1)]Retention index, [2)]Internal standard

Table 35. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds from in non-, gamma ray and electron beam irradiated dried onion at dose of 30 kGy

Functional Group	Control		Gamma ray		Electron beam	
	No.	Area%	No.	Area%	No.	Area%
Alcohol	3	1.5	3	1.7	3	2.1
Aldehydeds	5	21.3	4	9.0	5	14.8
Esters	2	3.9	2	9.1	2	4.5
Heterocyclic compounds	3	1.5	2	2.0	3	2.3
Hydrocarbons	1	0.2	2	1.3	2	1.9
Ketone	1	0.1	2	0.7	2	0.6
S-containing compounds	25	71.5	24	76.3	24	73.8
Total	40	100.0	39	100.1	41	100.0

제 5 장 요 약

본 연구에서는 우리나라 식품산업에서 널리 사용하고 있는 향신 채소류의 감마선 및 전자선 조사에 의한 향신 채소류의 휘발성 유기성분을 분석하여 과학적인 데이터를 확보하여, 감마선 및 전자선 조사된 주요 향신 채소류의 변화 연구 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 고춧가루, 생강, 대파, 마늘 및 양파를 구입하여 조사되지 않은 시료를 대조구로 하고 1, 3, 5, 7, 10 및 30 kGy의 선량으로 감마선 및 전자선 조사한 후 SDE 추출법을 이용하여 휘발성 유기성분을 추출하고 GC/MS로 분석하였다.

1. 감마선 조사된 향신 채소류의 휘발성 유기성분 변화 분석

가. 고춧가루에서 분리 동정된 휘발성 유기성분은 38여종으로 alcohol류 6종(31.5%), aldehyde류 11종(35.8%), ester류 5종(21.2%), hydrocarbon류 7종(4.7%), ketone류 4종(4.5%), acid류 1종(0.6%) 및 heterocyclic compound 4종(1.7%)이었으며 유기성분 총량은 118.98 mg/kg이었다. 주요 성분으로는 ethyl acetate, 2-methy butanal, 3-methylbutanal, hexanal, pyridine, 2-pentylfuran, benzaldehyde, linalool, (*E,E*)-2,4-decadienal, β-ionone, 1-tridecanol, (*Z*)-9,17-octadecadienal, methyl linolenate등이 확인되었다. 감마선 조사된 고춧가루에서 10 kGy로 조사된 시료에서 가장 많은 변화를 보였으며, 조사에 의한 특이적인 화합물은 검출되지 않았다.

나. 생강에서 분리 동정된 휘발성 유기성분은 70여종의 화합물이 확인되었다. 주요 관능기별 화합물 중 hydrocarbon류(83.8%)가 대부분을 차지하였고, monoterpene류, sesquiterpene류, oxygenated monoterpene류, oxygenated sesquiterpene류가 확인되었다. 주요 휘발성 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, *β*-bisabolene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, germacrene D, (*Z*)-citral, camphene, *α*-zingiberene 및 *β*-sesquiphellandrene로

유기성분의 대부분을 차지하여 건조 생강의 주된 유기성분으로 확인되었다. 비조사 및 조사선량별 생강의 휘발성 유기성분의 변화를 살펴보면 비조사구에 비해 조사선량별 시료의 함량이 전체적으로 증가되었으며, 7 kGy 조사선량에서 가장 많은 변화를 확인하였다. 반면 1 kGy의 조사시료는 비조사와 가장 유사하게 확인되어 저선량에서 생강의 주요 향미성분에 대한 영향은 적은 것으로 나타났다.

다. 대파에서는 45여종의 휘발성 유기성분이 분리 동정 되었으며, 관능기별로 분류한 결과 S-containing compound류가 약 50%이상으로 가장 많은 비율을 나타냈으며, 주요 휘발성 유기 성분으로는 2-methyl-2-pentenal, 2-tridecanone, propanethiol, 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane, dipropyl trisulfide, 2-propenthiol 등이었다. 조사된 시료를 보면 비조사 시료를 기준으로 조사선량이 증가할수록 대파의 휘발성 유기성분의 총 함량은 감소되었으며, 10 kGy에서 가장 많은 변화를 나타냈다. 또한 조사처리에 의한 특이적인 화합물은 검출되지 않았다.

라. 마늘에서 동정된 휘발성 유기성분은 총 40여종으로 S-containing compound류가 98.7%로 대표적인 화합물로 dially disulfide 및 dially trisulfide가 확인되었다. 감마선 조사된 마늘에서 1 kGy의 저선량으로 조사할 때 휘발성 유기성분의 함량이 증가하여 가장 많은 변화를 나타냈으며, 다른 선량별 시료에서는 비조사구에 비해 큰 변화를 보이지 않았다.

마. 양파에서 동정된 휘발성 유기성분은 총 40여종으로 S-containing compound류가 71.5%를 차지하였으며, aldehyde류, alcohol류, ketone류, ester류가 확인되었다. 양파의 주요 휘발성 유기성분으로는 dipropyl trisulfide, propanethiol 및 2-methyl-2-pentanal이 확인되었다. 조사된 양파는 선량에 따라 휘발성 유기성분의 함량에 변화를 나타냈으며, 그 중 3~7 kGy 조사선량에서 감소되는 경향으로 가장 많은 변화를 나타냈으며, 조사에 의한 특이적인 화합물은 검출되지 아니하였다.

2. 전자선 조사된 향신 채소류의 휘발성 유기성분 변화 분석

가. 전자선 조사된 고춧가루에서는 각각 39여종의 화합물이 확인되었으며, 주요 휘발성 유기성분으로는 ethyl acetate, 2-methy butanal, 3-methyl-butanal, hexanal, pyridine, 2-pentylfuran, benzaldehyde, linalool, (E,E)-2,4-decadienal, β-ionone, 1-tridecanol, (Z)-9,17-octadecadienal, methyl linolenate 등이 확인되었다. 전자선 조사된 고춧가루에서 1 kGy의 저선량 조사에서 가장 적은 영향을 받았으나, 10 kGy의 조사 시료에서 주요화합물의 함량의 증가로 가장 많은 변화를 나타냈다.

나. 전자서 조사된 생강의 주요 휘발성 유기성분은 3 kGy의 조사 시료에서 증가되어 가장 많은 변화를 나타내었으나, 1 kGy의 저선량 조사에서는 그 영향이 가장 낮은 것으로 확인되었다. 주요 휘발성 유기성분으로는 *α*-zingiberene, *β*-sesquiphellandrene, *β*-bisabolene, (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-phellandrene, germacrene D, (*Z*)-citral, camphene 등 terpene류의 화합물이 주로 확인되었으며, 조사 후에 hydrocarbon류의 전체적인 비율에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 나타났다.

다. 전자선 조사된 대파에서 47여종의 휘발성 유기성분을 확인하였고, 주요 향기 성분인 2-propenthiol, propylene sulfide, 3,5-diethyl-1,2,4-trithiolane, (*Z*)-propenyl propyl disulfide, (*E*)-propenyl propyl disulfide 그리고 dipropyl trisulfide는 5~7 kGy에서 가장 많은 함량의 변화를 나타냈다. 또한 휘발성 유기성분의 총함량은 조사선량에 따라 감소되었으며, 조사에 따른 특이적인 화합물은 검출되지 않았다.

라. 전자선 조사된 마늘에서는 48~54여종의 화합물의 화합물 중 S-containing compoun류는 97.6~98.9%로 대부분을 차지하여 관능기적 특징에서도 조사하지 않은 시료와 큰 차이가 없음을 확인하였다. 5 kGy의 조사시료에서 가

장 많은 변화를 보였으며, 10 kGy의 선량에서 비조사구와 유사한 함량을 보이며 조사에 의한 영향이 가장 낮은 것으로 확인됐다.

마. 전자선 조사된 양파에서 동정된 화합물은 40여종으로 관능기별 구성은 비조사 및 조사 선량별 시료 모두 유사한 경향을 나타냈으며, 그 함량에 있어서는 유의적인 변화를 확인되지 않았다. 조사 선량이 증가할수록 휘발성 유기성분의 총 함량은 감소되어 나타났으며, 7 kGy에서 시료 중 가장 낮은 함량으로 가장 많은 변화를 나타냈다.

3. 선량별 고선량 조사가 향신 채소류의 휘발성 유기성분에 미치는 영향

고선량으로 조사된 향신 채소류는 각 선원별 휘발성 유기성분의 함량에 차이를 보였다. 고춧가루 및 생강에서 선원별 휘발성 유기성분의 총량은 전반적으로 비조사구에 비해 감마선 및 전자선 조사 시료에서 총함량이 증가되었고, 전자선 조사에 의한 영향이 더 크게 나타났다. 생강의 주요 화합물 중 (*Z,E*)-*α*-farnesene, *β*-myrcene, lmonene, *β*-phellandrene 및 1,8-cineole 등 같은 경향을 나타냈었으나, 다른 경향을 나타내는 화합물들이 확인되어졌다.

대파에서는 비조사구에 비해 감마선 및 전자선 조사 시료에서 총함량이 감소되었는데, 전자선 조사 후 가장 낮은 함량으로 나타났다. 2-methyl-2-pentenal, (Z)-propenyl propyl disulfide 및 dipropyl trisulfide은 조사 후 그 함량이 감소하였고, 감마선 조사 후 그 함량이 가장 낮게 나타나 대파에서의 선원별 조사에 대한 다른 영향을 미치는 것을 확인하였다.

또한, 마늘 및 양파에서도 선원별 조사 후 휘발성 유기성분의 총함량이 감소되었으나, 감마선 조사시료에서 가장 낮은 함량으로 나타났다. 마늘에서의 dially trisulfide는 조사 후 감마선 조사시료에서 가장 낮은 함량으로 감소되었고, 전자선 조사시료에서는 비조사구에 비해 증가되어졌다. 양파에서의 주요 S-containing compound류의 함량은 전자선 조사에 의해 그 변화가 많았으며, aldehyde류는 감마선 조사에 의해 감소되어졌다. Propanethiol 및 dipropyl trisulfide는 조사 후 감소되었고, 전자선 조사에 의한 영향이 더 크게 나타났다.

본 연구에서는 감마선 및 전사선 조사된 향신 채소류의 휘발성 향기성분 변화를 분석함으로써 감마선 및 전사선 조사가 휘발성 유기성분에 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 주요 성분의 함량의 변화만 확인되었을 뿐 감마선 및 전자선 조사에 의한 특이적인 화합물이 생성되거나 소멸되지 않았다. 조사 후 휘발성 성분의 추출효율과 상관성은 낮았으나, 향신 채소류의 종류에 따라 조사 선원 및 조사 선량에 대한 감수성은 다른 것으로 확인되었다. 이로 인해 조사처리가 향신 채소류의 주요 특징인 정유성분, 신미성분 및 향미성분에 크게 영향을 미치지 않는 것을 확인하므로서 선원별 조사에 의한 향신 채소류에 관한 연구 및 활용에 있어서 과학적인 근거자료로 뒷받침 될 수 있을 것으로 사료되어진다. 이러한 결과를 토대로 위생화 처리, 에너지 효율 및 유용성분의 추출효율을 고려하여 향신 채소류의 조사처리에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되어져야 한다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. Park KW. 2006. Situatio and future of herb industry. *J. Kor. Herbs and Aromatherapy* 2: 28-47.
2. Kim MR. 2002. Function of spices and herbs. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 12: 431-453.
3. Shahidi FS, Han XQ. 1993. Encapsulation of food ingredients. *Crit Rev. Food Sci.* 33: 501-547.
4. Pagington JS. 1987. β-Cyclodextrin: The success of molecular inclusion. Chemistry in Britain. May 455-458.
5. Lee SW. Kim KS. Lee SS. Jo YK. 1973. Studies on Fruit Characters and Chemical Components in Several Varieties of Pepper. *Hort. Environ. Biotechnol.* 13: 27-34
6. Kim DY. Rhee CO. 1980. Color and carotenoid changes during storage of dried red pepper. *Korea J. Food Sci. Technol.* 12: 53-58.
7. Kim HK. Park MH. Min BY. Suh KB. 1984. Sorption characteristics of red pepper powder with relative humidity and temperature. *Korean J. Food Sci. Technol.* 16: 108-112.
8. Iwamoto M. Cho RK. Uozumi J. IIno K. 1984. Near infrared reflectance spectrum of red pepper and its applicability to determination of capsaicin content. *Nippon Shokuhin. Kogyo Gakkaishi* 31: 120-125.
9. Matsufuji H. Nakamura H. Chino M. Takeda M. 1998. Antioxidant Activity of Capsanthin and the Fatty Acid Esters in Paprika (Capsicum annuum). *J. Agric. Food Chem.* 46: 3468-3472.
10. Connell DW. 1969. The pungent principles of ginger and their importance incertain ginger products. *Food Technol. Austral.* 21: 570-575.
11. Lee CB. 1979. Illustrated Flora of Korea. Hyangmoon Publish Co. Seoul. Korea.

12. Kim MR. 2002. Function of spices and herbs. *J. East Asian Dietary Life.* 12: 431-453.
13. Kim WJ. Choi HS. 2002. Cheonyun Hwangsunryo. Hoyil Publising, Seoul, Korea.
14. Mathew AG. Krishnamurthy N. Nambudiri ES. Lewis YS. 1973. Oil of ginger. *Flavour Ind.* 4: 226-232.
15. The korean society of food and nutrition. 1999. Food ingredients dictionary. South Korea prior Researcher. Seoul.
16. Seo DC. Chung SM. Lee JY. Kim YS. Chung JH. 1996. Effect of oriental onion (*Allium fistulosum*) on platelet aggregation. *J. Food Hyg. Saf.* 11: 273-276.
17. Ching LS. Mohamed S. 2001. Alpha-tocopherol content in 62 edible tropical plants. *J. Agric. Food Chem.* 49: 3101-3105.
18. Sterling C. 1978. Gorgeous glorious garlic. Reader's Dig. 115: 61-64.
19. Jo JS. 1990. Food materials, Gijeunyungusa, Seoul. pp. 154-155.
20. Cavallito CJ. Buck JS. Suter CM. 1944. Allicin the antibacterial principle of Allium sqativum, II. Determinationof the chemical structure. *J. Am. Chem. Soc.* 66: 1952-1954.
21. Boleans M, de Valois PJ, Wobben HJ, vander Gen, 1971. A Volatile flavor compounds from onion. *J. Agric. Food Chem.* 19: 984-991.
22. Small LD, Bailey JH, Cavallito CJ, Allyl thiosulfinates. 1947. *J. Am Chem. Soc.* 69: 1710-1713.
23. Nishimura H, Hanny W, Mizutani J. 1988. "Volatile flavor components and antithrombotic agent." *J. Agric. Food Chem.* 36: 564-569.
24. Watanabe T. 1988. "Utilization of principles of garlic." *Food porcessing* 23; 40-42.
25. Kwon SK. 2003. "Organosulfur compounds from Allium sativum and physiological activities." *J. Appl. Pharmacol.* 11: 8-32.
26. Lee JW, Lee JG, Do JH, Sung HS. 1997. "Comparison of volatile flavor

components between fresh and odorless garlic." *Agric. Chem. Biotech.* 40: 451-454.

27. Park WK, Park BH, Park YH. 2000. Encyclopedia of food and food science. Shin Kwang Publishing Co Seoul pp. 281-282.
28. Kee HJ, Park YK. 2002. "Preparation and quality properties of extruded snack using onion pomace and onion. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32: 578-583.
29. Sheo HJ, Lim HJ, Jung DL. 1993. "Effects of onion juice on toxicity lead in rat." *J. Korean Soc. Food Nutr.* 22: 138-143.
30. Block E. 1986. "Antithrombotic organosulfur compounds from garlic." *J. Am. Soc.* 108: 1045-1049.
31. Jurdi-H D, Macneil JH, Yared CM. 1987. "Antioxidant activity of onion and garlic juices in stored cooked ground lamb." *J. Food Prot.* 50: 411-417.
32. Ra KS, Suh HJ, Chung SH, Con JY. 1997. "Antioxidant activity of solvent extrct from onion skin." *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 349-345.
33. Govindarajan VS. 1982. Ginger-chemistry, technology and quality evaluation : Part 1 and 2. CRC. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 17: 1-96 and 189-258.
34. Sohn KH. 1990. Food scientific aspect of seasoning spices. *Korean J. Dietary Culture* 5: 391-397.
35. Anon. September 1993. Food safety. Food Irradiation Newsletter. Vienna.
36. Vajdi M, Pereire RR. 1973. Comparative effects of ethylene oxide, γ-irradiation and microwave treatments on selected spices. *J. Food Sci.* 38: 893-895.
37. UNEP. 1995. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Report of the methylbromide technical options committee. p 294.
38. Marcotte M. 1998. Irradiation as a disintegration method update on methyl bromide phase out, regulatory action and emerging opportunities. *Radia. Phys. Chem.* 52: 85-90.
39. WTO. 1998. The WTO Agreements Series 4; Sanitary & Phytosanitary Measures: Printed in Switzerland.

40. Kwon JH et al. 1999. Quarantine treatment of agricultural products for export and import by gamma irradiation. KAERI/CM-289/98. p 174.
41. Oh KN. Lee SY. 2004. Effects of gamma irradiation on the functional and structural characteristics of soy protein isolates. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 20: 256-264.
42. Kwon OJ. Yook HS. Kim SA. Byun MW. 1997. Effect of Gammaa ray and heat treatment on sterilization of Escherichia coli O157:H7. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 1016.
43. Kim JK. Jo C. Kim HJ. Lee JW. Hwang HJ. Byun MW. 2005b. Micro-biological safety of minimally processed white radish in modified atmosphere packaging combined with irradiation treatment. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 11.
44. Suresh D. Pillai LA. Braby L et al., 2005. Electron Beam Technology for Food Irradiation. The International Review of Food Science and Technology (Winter 1004/2005). An Official Publication of the International Union of Food Science and Technology (IUFoST).
45. Miller RD. 2005. Electronic Irradiation of Foods. An Introduction to the Technology. Springer. New York.
46. Kwon JH. 2003. Commercialization of food irradiation technology and the identification of irradiated foods. *Food Sci. Indu.* 36: 50-55.
47. Byun MW. Lee JW. 2003. Application of irradiation technology for food safety and security. *Food Sci. Indu.* 36: 25-41.
48. Kim BK. Lee JE. Tusneem Kausar. Kim DH. Yang JG. Byun MW. Kwon JH. 2004. Identification Characteristics of Irradiated Dried Red Pepper during Storage by the Analysis of Electron Spin Resonance and Hydrocarbons. *J Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33: 1522-1528.
49. Stewart EM. 2004. Food irradiation: more pros than cons Biologist 51: 91-94.
50. Hannan RS. 1955. Science and technological problems in using ionizing radiations for the preservations of food. dept. sci. Indust. Res. *Food*

Investigation Report No. 61. H.M.S.O.
51. WHO. 1992. Global health situation and projections estimates, Geneva, Switzerland.
52. WHO. 1981. Wholesomeness of Irradiated Food (Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee), *Technical Report Series.* 651.
53. ICGFI, 1994. Summary report. Eleventh Meeting of the International Consultative Group on Food Irradiation. 2 - 4 Nov 1994, FAO/IAEA /WHO.
54. Thayer DW. Boyd JB. Lakitz FL. Hampson JW. 1995. Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. *J. Food Sci.* 60: 63-67.
55. Kyzlink V. 1990. Principles of food preservation. Dev. *Food Sci.* 22: 337.
56. WHO, 1999. High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiation with doses above 10 kGy, Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group, WHO Technical Report Series, No. 890, Geneva.
57. Codex Alimentarius Commission. 2003a. Codex General Standard Irradiated Foods, CODEX STAN 106-1983, REV. 1-2003
58. Codex Alimentarius Commission. 2003b. Recommended International Code of Practice for Radiation Processing of Food. CAC/RCP 19-1979, Rev. 2-2003
59. GIA. 2005. Food Irradiation Trends. A Global Strategic Business Report. Global Industry Analysts, Inc.
60. Korean Food and Drug Administration. Food Code. 2007.
61. Codex Alimentarius Commission: Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities used for the Treatment of Foods. CAC/VOL. XV. FAO, Rome, 1984.
62. Korean Food and Drug Administration. Food Code. 2004.
63. 보건복지부. 2007. 보건복지부 고시 제2004-41호, 2007. 4. 1
64. 식품공전. 2008. 식품의약품안전청 고시 제2008-51호
65. 식품의약품안전청 공고 제 2010-69호. 2010. 3
66. Bendini A. Toschi TG. Lercker G. 1998. Influence of γ-irradiation and microwaves on the linear unsaturated hydrocarbon fraction in spices. *Z.*

Lebensm. Unters. Forsch. A 207: 214-218.

67. Bergaentzle M. Sanguer F. Hasselman, C. Marchioni E. 1994. Etection of γ-irradiated raw-milk camembert cheeses by capillary gas chromatographic analysis of volatile hydrocarbons. *Food Chem.* 51: 177-182.
68. Biedermann M. Grob K. Fröhlich D. Meier W. 1992. On-line coupled liquid chromatography-gas chromatography(LC-GC) for detecting irradiation of fat-containing foods. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 195: 409-416.
69. Choi CR. Hwang KT. 1997. Detection of hydrocarbons in irradiated and roasted sesame seeds. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 74: 469-472.
70. European Committee for Standardization. 1996. Foodstuffs-Detection of irradiated food containing fat-Gas chromatographic/Mass spectrometric analysis of hydrocarbons, European Standard-EN 1784.
71. Farag SEA.. 1996. Detection of irradiated fruits by gas-chromatographic methods. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 202: 451-457.
72. Hampson JW. Jones KC. Foglia TA. Kohout K. 1996. Supercritical fluid extraction of meat lipids: an alternative approach to the identification of irradiated meats. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 73: 717-721.
73. Hartmann M. Ammon J. Berg H. 1997. Detection of radiation-induced hydrocarbons in processed food and complex lipid matrices: a new solid phase extraction(SPE) method for detection of irradiated components in food. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A.* 204: 231-236.
74. Hwang KT. Park JY. Kim CK. 1997. Application of hydrocarbons as markers for detecting post-irradiation of imported meat and fish. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 1109-1115.
75. Hwang KT. Yoo JH. Kim CK. 2001. Hydrocarbons detected in irradiated and heat-treated eggs. *Food Res. Int. 34*: 321-328.
76. Hwang KT. 1999. Hydrocarbons detected in irradiated pork, baken and ham. *Food Res. Int.* 32: 389-394.
77. Kim KS. Kim EA. Lee HJ. Yang JS. Byun MW. 1999. Quantitative com-

parison of radiation-induced hydrocarbons from irradiated beef, pork and chicken. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32: 301-307.

78. Lee HJ. Byun MW. Kim KS. 2000. Detection of radiation-induced hydrocarbons and 2-alkylcyclobutanones in irradiated perilla seeds. *J. Food Protect.* 63: 1563-1569.
79. Lee HJ. Lee MY. Kim KS. 1999. Detection of radiation-induced hydrocarbons and 2-alkylcyclobutanones from peanut. *Korean J. Food Sci. Nutr.* 4: 270-275.
80. Lesgards G. Pouliquen I. Giarmarchi P. Raffi J. Prost M. 1993. Study of radio-induced compounds from lipids-alkanes and alkenes. In Recent advances on the detection of irradiated food. Lenardi M.. Raffi JJ. Belliardo JJ. (eds.), EUR/14315/EN, BCR, Brussels, Luxembourg, pp. 251- 260.
81. Merino L. Cerda H. 2000. Control of imported irradiated frozen meat and poultry using the hydrocarbon method and the DNA comet assay. *Eur. Food Res. Technol.* 211: 298-300.
82. Morehouse KM. Ku Y. 1990. A gas chromatographic method for the identification of gamma-irradiated frog legs. *Radiat. Phys. Chem.* 35: 337-341.
83. Morehouse KM. Ku Y. 1993. Identification of irradiated foods by monitoring radiolytically produced hydrocarbons. *Radiat. Phys. Chem.* 42: 359-362.
84. Morehouse KM. Kiesel M. Ku Y. 1993. Identification of meat treated with ionizing radiation by capillary gas chromatographic determination of radiolytically produced hydrocarbons. *J. Agric. Food Chem.* 41: 758-763.
85. Nawar WW. Balboni JJ. 1970. Detection of irradiation treatments in foods. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 53: 726-729.
86. Nawar WW. Champagne JR. Dubravic MF. LeTellier PR. 1969. Recovery and measurement of volatiles from lipids: hydrocarbons in irradiated fats. *J. Agric. Food Chem.* 17: 645-648.
87. Schreiber GA. Schulzki G. Spiegelberg A. Ammon J. Bänziger U. Baumann

P. Brockmann R. Droz C. Fey P. Fuchs K. Gemperle C. Göllner T. Hees C. Jarh D. Jonas K. Krölls W. Langer M. Lohse H. Mildau G. Parsch F. Pfordt J. Ronnefahrt B. Rümenapp J. Ruge W. Stemmer H. Studer B. Trapp C. Voigt F. Vreden N. Wohlfarth R. Bögl K. 1995.. An interlaboratory study on the detection of irradiated camembert, avocado, papaya and mango by gas chromatographic analysis of radiation-induced hydrocarbons. bgvv, Berlin, Germany.

88. Schulzki G. Spiegelberg A. Bögl KW. Schreiber GA. 1995. Detection of radiation-induced hydrocarbons in baked sponge cake prepared with irradiated liquid egg. *Radiat. Phys. Chem.* 46: 765-769.
89. Schulzki G. Spiegelberg A. Bögl KW. Schreiber GA. 1995. Detection of radiation-induced hydrocarbons in camembert irradiated before and after the maturing process: comparison of florisil column chromatography and on-line coupled liquid chromatography-gas chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 43: 372-376.
90. Schulzki G. Spiegelberg A. Bögl KW. Schreiber GA. 1997. Detection of radiation-induced hydrocarbons in irradiated fish and prawns by means of on-line coupled liquid chromatography-gas chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 45: 3921-3927.
91. Sjöberg AMK. Tuominen TP. Kiutamo T. 1992. Evaluation of a gas chromatographic method for detection of irradiation of chicken and a chicken meat product. *J. Sci. Food Agric.* 59: 65-75.
92. Spiegelberg A. Schulzki G. Helle N. Bögl KW Schreiber GA. 1994. Methods for routine control of irradiated food: optimization of a method for detection of radiation-induced hydrocarbons and its application to various foods. *Radiat. Phys. Chem.* 43: 433-444.
93. Tuominen J. Sjöberg AM. Kiutamo T. Sippola E. 1993. Identification of irradiation of chicken by gas chromatography. In Recent advances on the detection of irradiated food. Lenardi M. Raffi JJ. Belliardo JJ. (eds.),

EUR/14315/EN, BCR, Brussels, Luxembourg, pp 275-285.

94. Villavicencio ACH. Mancini-Filho J. Hartmann M. Ammon J. Delincée H. 1997. Formation of hydrocarbons in irradiated Brazilian beans: gas chromatographic analysis to detect radiation processing. *J. Agric. Food Chem.* 42: 4215-4220.

95. Ahmad A. Satter A. Ali I. Iqbal MZ. 1999. Effect of gamma irradiation on thermoluminescence emissions from dust of Asian plant nuts." *Nahrung* 43: 39-41.

96. Ammon MHJ. Berg H. 1996. Nachweeis einer Strahlenbehandlung in weiter verarbeiteten Lebensmitteln anhand der Analytik strahleninduzierter Kohlenwasserstoffe. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* 92: 137-141.

97. Autio T. Pinnioja SI. 1990. Identification of irradiated foods by the thermo luminescence of mineral contamination. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 191: 177-180.

98. Correcher V. Muñiz JL. Gómez-Ros JM. 1998. Dose dependence and fading effect of the thermoluminescence signals in γ-irradiated paprika. *J. Sci. Food Agric.* 76: 149-155.

99. Heide L. Bögl K W. 1987. The identification of irradiated spices with thermo- and chemiluminescence measurements. *Int. J. Food Sci. Technol.* 22: 93-103.

100. Heide L. Guggenberger R. Bögl KW. 1990. Application of thermolumine scence measurements to detect irradiated strawberries." *J. Agric. Food Chem.* 38: 2160-2163.

101. Kiyak N. 1995. Application of thermoluminescence technique to identify radiation processed foods. *Radiat. Phys. Chem.* 46: 721-723.

102. Mammon A. Abdul-Fattah A. Abulfaraj WH. 1994. Thermoluminescence of irradiated herbs and spices. *Radiat. Phys. Chem.* 44: 203-206.

103. Oduko JM. Spyrou NM. 1990. Thermoluminescence of irradiated foodstuffs. *Radiat. Phys. Chem.* 36: 603-607.

104. Pinnioja S. Autio T. Niemi E. Pensala O. 1993. Import control of irradiated foods by the thermoluminescence method. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 196: 111-115.

105. Pinnioja S. Siitari-Kauppi M. Lindberg A. 1999. Effect of feldspar composition on thermoluminescence in minerals separated from food. *Radiat. Phys. Chem.* 54: 505-516.

106. Raffi J. Yordanov ND. Chabane S. Douif L. Gancheva V. Ivanova S. 2000. Identification of irradiation treatment of aromatic herbs, spices and fruits by electron paramagnetic resonance and thermoluminescence. Spectrochim. Acta (A) 56: 409-416.

107. Schreiber GA. Ziegelmann B. Quitzsch G. Helle N. Bögl KW. 1993. Luminescence techniques to identify the treatment of foods by ionizing irradiation. *Food Structure* 12: 385.

108. Schreiber GA. Hoffmann A. Helle N. Bögl KW. 1994. Methods for routine control of irradiated food: determination of the irradiation status of shellfish by thermoluminescence analysis. *Radiat. Phys. Chem.* 43: 533.

109. Schreiber GA. Helle N. Bögl KW. 1995. An interlaboratory trial on the identification of irradiated spices, herbs, and spice-herb mixture by thermoluminescence analysis. *J. AOAC Int.* 78: 88-93.

110. Soika C. Delincée H. 2000. Thermoluminescence analysis for detection of irradiated food: luminescence characteristics of minerals for different types of radiation and radiation doses. *Lebensm. Wiss. u. Technol.* 33: 431-439.

111. Soika C. Delincée H. 2000. Thermoluminescence analysis for detection of irradiated food-effects of dose rate on the glow curves of quartz. *Lebensm. Wiss. u. Technol.* 33: 440-443.

112. Basfar AA. Rehim FA. Al-Kahtani HA. Alnasser MA. 2001. Accuracy of the calibration curve method for absorbed dose assessment in irradiated refrigerated chicken bone. *J. Food Sci.* 66: 95-98.

113. Carlsen CU. Andersen ML. Skibsted LH. 2001. Oxidative stability of pro-

cessed pork, assay based on ESR-detection of radicals. Eur. *Food Res. Technol.* 213: 170-173.

114. Delincée H. 1996. Detection methods for irradiated foods-an overview. *Radiat. Phys. Chem.* 48: 378-379.

115. Desrosiers MF. Simic MG. 1988. Postirradiation dosimetry of meat by electron spin resonance spectroscopy of bones. *J. Agric. Food Chem.* 36: 601-603.

116. Desrosiers MF. 1989. γ-Irradiated seafoods-Identification and dosimetry by electron paramagnetic resonance spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 37: 96-100.

117. Desrosiers MF. Le FG. 1993. Estimation of the absorbed dose in radiation-processed food. 4. EPR measurements on egg shell." *J. Agric. Food Chem.* 41: 1471-1475.

118. Duliu OG. 2000. Electron paramagnetic resonance identification of irradiated cuttlefish(*Sepia officinalis* L.). *Appl. Radiat. Isot.* 52: 1385-1390.

119. Esteves UP. Andrade ME. Empis J. 1999. Detection of prior irradiation of dried fruits by electron spin resonance(ESR). *Radiat. Phys. Chem.* 55: 737-742.

120. Ghelawi MA. Moore JS. Bisby RH. Dodd NJF. 2001. Estimation of absorbed dose in irradiated dates(Phoenix dactylifera L.): test of ESR reponse function by a weighted linear least-squares regression analysis. *Radiat. Phys. Chem.* 60: 143-147.

121. Goodman BA. Mcphail DB. Duthie DML. 1989. Electron spin resonance spectroscopy of some irradiated food stuffs. *J. Sci. Food Agric.* 47: 101-111.

122. Gray R. Stevenson MH. 1989. The effect of post-irradiation cooking on the ESR signal in irradiated chicken drumsticks. *Int. J. Food Sci. Technol.* 24: 447-450.

123. Jesus EFO. Rossi AM. Lopes RT. 2000. Identification and dose determination using ESR measurements in the flesh of irradiated vegetable products. *Appl.*

Radiat. Isot. 52: 1375-1383.

124. Korkmaz M. Polat M. 2000. Free radical kinetics of irradiated durum wheat. *Radiat. Phys. Chem.* 58: 169-179.
125. Morehouse KM. Ku Y. 1992. Gas chromatographic and electron spin resonance investigations of irradiated shrimp. *J. Agric. Food Chem.* 40: 1963-1971.
126. Onori S. Pantaloni M. Baccaro S. Fuochi PG. 1996. Influencing factors on ESR bone dosimetry. *Appl. Radiat. Isot.* 47: 1637-1640.
127. Raffi J. Angel JP. Buscarlet L. Martin C. 1988. Electron spin resonance identification of irradiated strawberries. *J. Chem. Soc. Faraday Trans. I* 84: 3359-3362.
128. Stevenson MH. Gray R. 1989. An investigation into the effect of sample preparation methods on the resulting ESR signal irradiated chicken bone. *J. Sci. Food Agric.* 48: 261-267.
129. Stevenson MH. Gray R. 1989. The effect of irradiation dose, storage time and temperature on the ESR signal in irradiated chicken drumsticks. *J. Sci. Food Agric.* 48: 269-274.
130. Stewart EM. Stevenson MH. 1997. Identification of irradiated Norway lobster(Nephrops norvegicus) using electron spin resonance(ESR) spectroscopy and estimation of applied dose using re-irradiation: results of an in-house blind trial. *J. Sci. Food Agric.* 74: 469-472.
131. Sünnetçioğlu MM. Dadayl D. 2000. The use of simulation in the EPR spin probe technique for detection of irradiated seeds. *Talanta.* 53: 69-74.
132. Yordanov ND. Mladenova B. 2001. EPR studies on gamma-irradiated snails hard tissues. *Radiat. Phys. Chem.* 60: 191-193.
133. Ziegelmann B. Bögl KW. Schreiber GA. 1999. TL and ESR signals of molluse shells-correlations and suitability for the detection of irradiated foods. *Radiat. Phys. Chem.* 54: 413-423.
134. Cerda H. 1998. Detection of irradiated fresh chicken, pork and fish using the DNA comet assay. *Lebensm Wiss u Technol.* 31: 89-92.

135. Cerda H. 1998. Detection of irradiated frozen food with the DNA comet assay: interlaboratory test. *J. Sci. Food Agric.* 76: 435-442.
136. Cerda H, Koppen G. 1998. DNA degradation in chilled fresh chicken studies with the neutral comet assay. *Z. Lebensm Unters Forsch. A* 207: 2-25.
137. Delincée H. Villavicencio ACH. Mancini-Filho J. 1998. Protein quality of irradiated Brazilian beans. *Radiat. Phys. Chem.* 52: 43-47.
138. Delincée H. 1998. Detection of irradiated food: DNA fragmentation in grapefruits. *Radiat. Phys. Chem.* 52: 135-139.
139. Jabir AW. Deeble DJ. Wheatley PA. Smith CJ. Parsons BJ. Beaumont PC. Swallow AJ. 1989. DNA modifications as a means of detecting the irradiation of wheat. *Radiat. Phys. Chem.* 34: 935-940.
140. Koppen G. Cerda H. 1997. Identification of low-dose irradiated seeds using the neutral comet assay. *Lebensm Wiss u. Technol.* 30: 452-457.
141. Shao C. Saito M. Yu Z. 1999. Radiation induced DNA strand breaks measured by a modified method of gel scanning. *Radiat. Phys. Chem.* 56: 547-551.
142. Villavicencio ACH. Mancini-Filho J. Delincée H. 1998. Application of different techniques to identify the effects of irradiation on Brazilian beans after six months storage. *Radiat. Phys. Chem.* 52: 161-166.
143. Ahn Du, Jo C, Olson DG, 2000. Anaysis of volatile components and the sensory characteristics of irradiated raw pork. *Meat Sci.* 54: 209-215.
144. Cha YJ, Kim H. Park SY, Kim SJ, Yoo YJ. 2000. Identification of irradiation-induced volatile flavor compounds in beef. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29: 1042-1049.
145. GIA. 2005. Food Irradiation Trends. A Global Strategic Business Report. Global Industry Analysts, Inc.
146. 한국원자력연구원. 2007. 한국원자력연구원. 2007. 방사선식품분야특허조사.
147. Lee J, Lee MH, Kwon JH. 2000. Effects of electron beam irradiation on physicochemical qualities of red pepper powder. *Korean J. Food Sci.*

Technol. 32: 271-276.

148. Ding Lianzhong, Ding Shiyue, Zhu Yan, Li Yizu, Zhu Songmei. 1998. A study on chemical composition of spices irradiated by electron beam. *Radiat. Phys. Chem.* 52: 49-52.
149. Shim SL, No KM, Kim KS, Song GD. 2010. Effect of electron beam irradiation on volatile organic compounds of vitis labrusca L. *Korean J. Food Preserv.* 17: 151-159.
150. Schultz TH, Flath RA, Mon TR, Enggling SB, Teranishi R. 1977. Isolation of Volatile Components from a Model System. *J. Agric. Food Chem.* 25: 446-449.
151. Nickerson GB, Likens ST. 1966. Gas Chromatography Evidence for the Occurrence of Hop Oil Components in Beer. *J. Chromatogr.* 21: 1-5.
152. Robert PA. 1995. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromato Graphy/Mass Spectroscopy, Illinois : Allured Publishing Corporation.
153. Stehagen E, Abbrahansom S, Mclafferty FW. 1974. The Wiley/NBS Registry of Mass Spectral Data. NY John Wiley and Sons.
154. Davies NW. 1990. Gas Chromatographic Retention Indices of Monoterpenes and Sesquiterpenes on Methyl Silicone and Carbowax 20M Phases. *J. Chromato.* 503: 1-24.
155. Sadtler Research Laboratories. 1986. The Sadtler Standard Gas Chromatography Retention Index Library, USA: Sadtler.
156. Kovats ES. 1958. *Helv. Chim. Acta.* 41: 1915.
157. Schultz TH, Flath RA, Mon TR, Enggling SB, Teranishi R. 1977. Isolation of volatile components from a model system. *J. Agric. Food Chem.* 25: 446-449.
158. Chung MS, Lee MS. 2003. Analysis of volatile compounds in *Elsholtzia splendens* by solid phase micro-extraction. *Korean J. Soc. Food Cookery Sci.* 19: 79-82.
159. Kim YS, Park ER, Kim KS. 2003. Volatile components of chestnut (Castanea

crenata Sieb. et Zucc.) Flower. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32: 801-805.

160. Javier Mateo, Mercedes Aguirrezábal, Concepción Domínguez, José María Zumalacárregui. 1997. Volatile compounds in spanish paprika. *J. Food Composition and Analysis.* 10: 225-232.
161. HO CT, Chen Q. 1994. Lipids in food flavors. Lipid in food flavors. *American chemical society.* 1: 2-14.
162. Kim YS, Oh HI. 1993. Volatile flavor components of traditional and commercial kochujang. *Korean J Food Sci. Technol.* 25: 494-501.
163. Zhang Y. Ritter WJ, Barker CC, Traci PA, Ho CT. 1994. Volatile formation by lipid-mediated mallard reaction in model system. *Lipid in food flavor. American chemical society.* 4: 49-60.
164. Choi JY, Lee TS. 2003. Characteristics of volatile flavor compounds in Kochujang prepared with commercial enzyme during fermentation. *J. Korean Soc, Appl. Bio Chem.* 46: 207-213.
165. Kim YS, Oh HI. 1993. Volatile flavor components of traditional and commercial Kochujang. *Korean J. Food Sci. Technol.* 25: 494-501.
166. Nam KC, Min BR, Yan H, Lee EJ, Mendonca A. Wesley I, Ahn DU. 2003. Effect of dietary vitamin E and irradiation on lipid oxidation, coloer and volatiles of fresh and previously frozen turkey breast patties. *Meat Sci.* 65: 513-521.
167. Kim H, Cho WJ, Jung YJ, Lee YM, Jeong EJ, Yoo YJ, Byun MW, Cha YJ. 2002. Irradiation-induced volatile compounds in irradiated chicken by P&T method. *J. Korean Soc Food. Sci. Nutr.* 31: 958-984.
168. Kim H Ahn JS, Sin YM, Lee YJ, Lee KH, Byun MW and Cha YJ. 2005. Identification of irradiation-induced volatile marker compounds in irradiated red pepper powder. *J. Korean Soc. Food Sci Nutr.* 34: 236-242.
169. Möllenbeck S, König T, Schreier P, Schwab W, Rajaonarivony J, Ranarivelo L. 1997. Chemical composition and analyses of enantiomers of essential oils from Madagascar. Flavor *Frag. J.* 12: 63-69

170. Singh G, Maurya S, Catalan C, de Lampasona MP. 2005. Studies on essential oils. Part 42: chemical, antifungal, antioxidant and sprout suppressant studies on ginger essential oil and its oleoresin. *Flavour Frag. J.* 20: 1-6.
171. Chen CC, Ho CT. 1988. Gas chromatographic analysis of volatile components of ginger oil (*Zingiber officinale* Roscoe) extracted with liquid carbon dioxide. *J. Agric. Food Chem.* 36: 322-328.
172. Kim JS, Koh MS, Kim YH, Kim MK, Hong JS. 1991. Volatile flavor components of Korean ginger (Zingiber officinale Roscoe). *Korean J. Food Sci. Technol.* 23: 141-149.
173. Moon HI, Lee HJ. 1997. Volatile aromatic components of ginger (zingiber officinale Roscoe) rhizomes and Japanese spice bush (Lindera obtusiloba BL). *Korean J. Crop Sci.* 42: 7-13.
174. Millar JG. 1998. Rapid and simple isolation of zingiberene from ginger essential oil. *J. Nat Prod.* 61: 1025-1026.
175. Prasad SV, Gholap AS, Prasad T. 1997. Effect or γ-irradiation on the volatile oil constituents of fresh ginger (Zingiber officinale) rhizome. Canadian Inst. *Food Sci. Technol.* 30: 41-43.
176. Connell DW. 1970. The chemistry of the essential oil & oleoresin of ginger. *Flavour Ind* 1: 677-693.
177. Chen CC, Ho CT. 1988. Gas chromatographic analysis of volatile components of ginger oil (Zingiber offcinale Roscoe) estracted with liquid carbon dioxide. *J. Agric. Food Chem.* 36: 322-328.
178. Wu, J.J. and Yang, J.S. 1994. Effects of γ-irradiation on the volatile compounds of ginger rhizome (Zingiber officinale Roscoe). *J. Agric. Food Chem.* 42: 2574-2577.
179. Andrews LS, Cadwallader KR, Grodner RM, Chung HY. 1995. Chemical and microbial quality of irradiated ground ginger. *J. Food Sci.* 60: 829-832.
180. Song HP, Shim SL, Jung IS, Kim DH, and Kim KS. 2009. Analysis of

volatile organosulfur compounds in Korean Allium Species. *Korean J. Food Preserv.* 16: 929-937.

181. Block E. 1992. The organo-sulfur chemistry of the genus allium/ implications for the organic chemistry of sulfur. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 31: 1135-1178.
182. Virtanen AI and Spare CG. 1961. Isolation of the precursor of the lachrymatory factor in onion(*Allium Cepa*). *Suomen Kem., B* 34: 72.
183. Moisio T, Space GG and Virtanen AI. 1963. Mass spectral Studies of the chemical nature of the lachrymatory factor foemed enzymically from S-(1-propenyl)-cysteine sulfoxide isolated from onion(*Allium Cepa*). *Suomem Kem., B* 35: 29.
184. Boelens M, De Valois PJ, Wobben HJ, Van der Gen. 1971. A "Volatile flavor compounds from onion." *J. Agric. Food Chem.* 19: 984-991.
185. Lee JW, Lee JG, Do JH, Sung HS. 1997. "Comparison of volatile flavor components between fresh and odorless garlic." *Agric. Chem. Biotech.* 40: 451-454.
186. Brondnitz MH, Pascale JV, Derslice LV. 1971. "Flavor components of garlic extract." *J. Agric. Food Chem.* 19: 273-275.
187. Park ER, Jo JO, Kim SM, Le MY, Kim KS. 1998. "Volatile Flavor Components of Leek (Allium tuberosum Rottler)." *J. Korean Soc Food Sci Nutr.* 27: 563-567.
188. Senhl, A., Schliack, M., Loser, R., Stanislaus, F. and Wagner, H. 1992 Inhibition of cholesterol synthesis in vitro by extracts and isolated compounds prepared form galic and wild garlic. Atherosclerosis. 94: 79.
189. Kwon JH, Yoon HS. 1985. Changes in flavor components of garlic resulting from gamma irradiation. *J. Food Sci.* 50: 1193-1195.
190. Ceci LN, Curzio OA, Pomilio AB. 1991. Effects of irradiation and storage on the flavor of garlic bulbs cv 'red'. *J. Food Sci.* 56: 44-46.
191. Wu JJ, Yang JS, Liu MS. 1996. Effects of irradiation on the volatile compounds of garlic (*Allium sativum* L.). *J. Sci. Food Agric.* 70: 506-508.

192. Farkas J. 1985. Radiation processing of dry food ingredients. a review. *Radiat. Phys. Chem.* 25: 271-280.
193. Bachman S, Gieszczynska J. 1973. Studies on some microbial and chemical aspects of irradiated spice. Aspects of the introduction of food irradiation in developing countries. STI pibl 1326, *International Atomic Energy Agency(IAEA)*, Vienna pp. 43-59.

감사의 글

2001년 우연히 찾아뵌 교수님과의 인연을 시작으로 실험실 생활을 시작하여 석사과정에 입학한 게 바로 엊그제 같은데, 벌써 10여 년에 가까운 세월이 흘러 박사과정을 마치게 되었습니다. 항상 부족하기만 했던 제게 한결 같은 관심과 때로는 엄한 질타로 자식에게 어떤 것이 더 약이 되는지 몸소 실천하며 가르쳐 주시고, 그런 훌륭한 가르침에 오늘날 이렇게 크나 큰 결실을 맺게 해주신 지도 교수님이신 김 경수 교수님께 머리 숙여 감사드립니다.

바쁘신 가운데에서도 정성스레 논문을 심사하여 주시고, 세심한 부분까지 신경 써 주신 유상하 교수님께 진심으로 감사드립니다. 먼 길 마다하지 않으시고 귀중한 시간을 내어 고견과 충언으로 마지막까지 신경을 써 주신 변명우 교수님, 권중호 교수님, 박선희 박사님께 깊은 감사의 마음을 드립니다. 그리고 학부과정부터 석사, 박사과정까지 조언과 격려를 아끼지 않으셨던 서화중 교수님, 이명렬 교수님, 노희경 교수님, 장해춘 교수님, 김복희 교수님, 이소정 교수님께도 깊이 감사드립니다.

어려운 여건에서도 학위를 무사히 마칠 수 있도록 배려해 주신 식품의약품안전청 오혜영 부장님, 이영자 과장님께 감사드리며, 바쁜 업무에도 관심을 가져주시고 응원해주신 문귀임 연구관님, 전대훈 연구관님, 엄미옥 연구관님, 권용관 연구관님, 그리고 김승환 선생님, 김준현 선생님, 안현주 선생님, 최희주 선생님, 박나영 선생님, 원선아 선생님 모두에게 감사의 말씀을 드립니다. 그동안 함께해온 한국건강기능식품 협회 및 연구원의 소중한 분들에게도 고마움을 전합니다.

제게 처음이자 가장 큰 선배님이신 박은령 박사님, 이정민 박사님, 그리고 어려운 시기들을 함께 보내면서 의지했던 서혜영 박사님, 언제나 우리와 함께하는 든든한 송현파 박사님 너무나 감사했습니다. 항상 실험실의 큰 어른이셨던 홍철희 교수님, 배움에는 끝이 없다는 것을 몸소 보여주신 정양모 박사님과 김관수 박사님, 부드러운 카리스마의 한규재 박사님, 예쁜 웃음을 지니신 전삼녀 박사님, 동기라고 항상

챙겨주시는 정 많은 정찬희 교수님께 감사와 존경을 표합니다.

연구실 방장으로써 너무나 고생이 많았지만 올 한해 좋은 결실을 맺은 심성례 박사님, 실험실 동기에서 직장 동료로, 졸업동기가 된 노기미 박사님 축하합니다. 앞으로 고생을 많이 해야 하는 정인선 선생님, 유일한 청일점 재성, 늦깎이 학업에 열심이신 전동복 선생님, 이순임 선생님, 항상 막내동생 같은 수형, 우리 연구실 귀여운 막내 가연, 수미 항상 웃는 모습으로 최선을 다해 좋은 결실을 맺길 바랍니다. 그리고 그 동안 식품분석실과 인연이 있었던 많은 선후배들에게 깊은 감사를 드립니다. 또한, 자연과학대학에서 가장 열심히 연구하며 고생하는 영양생화학 실험실, 영양판정실험실, 식품미생물 실험실, 임상영양학 실험실의 선후배님 모두에게 더 많은 발전과 행운이 함께 하길 바랍니다.

행복할 때 같이 웃어주고 힘들 때 눈물 대신 힘이 되어주며, 못난 모습까지 감싸주느라 애쓴 현주, 선하, 혜정, 은, 지수 그리고 선희, 나의 사랑하는 벗, 모두 너무나 고맙고 사랑합니다. 항상 격려와 관심을 주셨던 친지들에게도 감사의 마음을 전하며, 저의 유년시절을 너무나 잘 보살펴 주시며 예쁘게 키워주시느라 굽은 허리에 죄송함을 담아 외할머니께 존경과 가슴 깊은 감사를 전합니다.

당신이 약한 줄도 모르시며 아련한 사랑과 강한 정신력으로 자식들에게 헌신하신 어머니 김희정님의 은혜에 평생 갚아도 모자람을 몸과 마음에 새겨 보답하겠습니다. 그리고 무사히 학업을 마칠 수 있도록 항상 응원해주고 버팀목이 되어준 영성오빠, 은형언니, 철이 형부 그리고 사랑스런 나의 조카 현우, 연우 내 소중한 가족 모두에게 감사하며 이 영광을 함께 하고 싶습니다.

마지막으로 먼 곳에서 사랑하는 막내딸을 너무나 자랑스러워하고 계실 존경하는 아버님 영전에 이 논문을 바칩니다. 사랑합니다.

2010년 7월

김 준 형

저작물 이용 허락서

학 과	식품영양학과	학 번	20057382	과 정	박사
성 명	한글: 김준형 한문 : 金俊亨 영문 : Kim, Jun-Hyoung				
주 소	광주광역시 동구 서석동 375 조선대학교 자연과학대학 2616호				
연락처	E-MAIL : jhkim02@korea.kr				
논문제목	한글 : 향신 채소류의 휘발성 유기성분에 대한 감마선 및 전자선 조사의 영향 영어 : Effect of gamma ray and electron beam irradiation on volatile organic compounds of spicy vegetables				

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( ) 반대(o)

2010년 8월

저작자: 김 준 형 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하