

2013年 8月
博士學位論文

2
0
1
3
年

8
月

博
士
學
位
論
文

식품조사에 의한 축산가공품의
지방유도산물 및
휘발성 유기성분 변화 연구

식품조사에 의한 축산가공품의
휘발성 유기성분 변화 연구
지방유도산물 및

朝鮮大學校 大學院

食品營養學科

鄭 仁 仙

鄭

仁

仙

식품조사에 의한 축산가공품의
지방유도산물 및
휘발성 유기성분 변화 연구

Study of Induced Hydrocarbons and
Volatile Organic Compounds as Impacts of
 γ -Ray and e-Beam Irradiation in Selected
Livestock Products

2013年 8月 23日

朝鮮大學校 大學院

食品營養學科

鄭 仁 仙

식품조사에 의한 축산가공품의
지방유도산물 및
휘발성 유기화합물 변화 연구

指導教授 金 敬 洙

이 論文을 博士學位 申請論文으로 提出함.

2013年 4月

朝鮮大學校 大學院

食品營養學科

鄭 仁 仙

鄭仁仙의 博士學位論文을 認准함

委員長	朝鮮大學校	柳相河	
委員	又松大學校	邊明宇	
委員	韓國科學技術研究院	朴京洙	
委員	白石文化大學校	鄭燦熙	
委員	朝鮮大學校	金敬洙	

2013年 6月

朝鮮大學校 大學院

목 차

ABSTRACT X III

Part I. 식품조사에 의한 축산가공품의 지방유도산물 변화 1

제 1 장 서 론 2

제 1절 연구배경 및 목적 2

제 2절 축산가공품의 국내외 현황 8

제 2 장 재료 및 방법 19

제 1 절 실험재료 및 기기 19

1. 재료 19

2. 시약 20

3. 기기 20

제 2 절 실험방법 21

1. 지방분해산물의 분리 21

가. Florisil 흡착제의 불활성화 21

나. Hydrocarbon류의 분리 21

2. 방사선 조사 시료의 지방추출 21

가. 유기용매추출(solvent extraction) 21

나. Soxhlet 추출(Soxhlet extraction) 22

3. 지방분해산물의 GC/MS 분석 24

4. 지방분해산물의 정량적 분석 24

가. 표준 hydrocarbon류의 정량적 분석 24

제 3 절 식품조사 한 축산가공품에서 유도된 지방분해산물 분석	26
1. 식품조사 한 축산가공품의 지방추출 및 조성분석	26
2. Florisil column chromatography에 의한 지방분해산물 분리	26
3. 지방분해산물의 GC/MS 분리	27
4. 표준 Hydrocarbon류 정량적 분석	32
제 3 장 결과 및 고찰	36
제 1 절 식품조사에 의한 육가공품의 주요 지방분해산물분석	36
1. 햄	38
2. 소시지	44
3. 베이컨	50
4. 육포	56
제 2절 식품조사에 의한 유가공품의 주요 지방분해산물분석	63
1. 자연치즈	63
2. 가공치즈	70
3. 버터	76
4. 조제분유	83
제 4 장 요약	89
참고문헌	91
Part II. 식품조사에 의한 육포 및 치즈의 휘발성 유기성분 분석	100

제 1 장 서 론	101
제 2 장 재료 및 방법	103
제 1 절 실험재료 및 기기	103
1. 시료	103
2. 시약	103
3. 분석기기	103
제 2 절 휘발성 유기성분의 추출 및 분석조건 수립	105
1. 추출방법에 따른 휘발성 유기성분의 수율 및 특성	105
2. 추출된 휘발성 유기성분의 분리 및 분석을 위한 최적의 기기분석 조건 수립	107
가. Gas chromatography (GC)의 분석	107
나. Gas chromatography/mass spectrometer (GC/MS)의 분석	107
제 3 절 축산가공품의 휘발성 유기성분 분석	110
1. 휘발성 유기성분의 추출	110
2. 휘발성 유기성분의 확인 및 정량 분석	110
가. 머무름지수의 수립	110
나. 휘발성 유기성분의 확인	111
다. 휘발성 유기성분의 정량	111
제 3 장 결과 및 고찰	113
제 1 절 휘발성 유기성분의 분석 조건 수립	113
1. 휘발성 유기성분의 분석기기 조건	113
2. n-Alkane의 머무름 지수	113
제 2 절 축산가공품의 품종별 휘발성 유기성분	116
1. 육포의 휘발성 유기성분 변화 분석	116

2. 식품조사(감마선, 전자선)된 육포의 휘발성 유기성분	127
3. 치즈의 휘발성 유기성분 변화	139
4. 식품조사(감마선, 전자선)에 의한 치즈의 휘발성 유기성분	148
제 4 장 요약	166
참고문헌	167

표 목 차

Table 1-1. Absorbed dose by beneficiary food	5
Table 1-2. Radioactivity standard	6
Table 1-3. Detection methods for irradiated food groups	7
Table 1-4. World market for processed food	9
Table 1-5. World market by item processed food	10
Table 1-6. Production scale current state of livestock processed products	13
Table 1-7. Changes in production and sale of meat substitute	15
Table 1-8. Import situation processed meat products	16
Table 1-9. Dairy supply and demand performance and Raw milk	18
Table 1-10. Import unit imports and trends of milk processing products	18
Table 1-11. Analysis condition for identification of radiation-induced hydrocarbons by GC/MS	28
Table 1-12. Radiolytic products of irradiated lipid	29
Table 1-13. Retention time of hydrocarbons by GC/MS analysis	30
Table 1-14. Parameters of regression analysis of hydrocarbons standard	35
Table 1-15. Crude fat content of the sample	37
Table 1-16. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in ham	39
Table 1-17. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated ham ..	39
Table 1-18. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in ham	42
Table 1-19. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated ham ..	42
Table 1-20. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in sausage	45
Table 1-21. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated sausage	45
Table 1-22. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in sausage	48
Table 1-23. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated sausage	48
Table 1-24. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in bacon	51

Table 1-25. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated bacon	51
Table 1-26. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in bacon	54
Table 1-27. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated bacon	54
Table 1-28. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in beef jerky	58
Table 1-29. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in gamma irradiated	58
Table 1-30. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in beef jerky	61
Table 1-31. Parameters of regression analysis of hydrocarbons beef jerky	61
Table 1-32. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in nature cheese	65
Table 1-33. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated nature cheese	65
Table 1-34. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in nature cheese	68
Table 1-35. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated nature cheese	68
Table 1-36. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in processed cheese	71
Table 1-37. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated processed cheese	71
Table 1-38. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in processed cheese	74
Table 1-39. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in processed cheese	74
Table 1-40. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in butter	78
Table 1-41. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in butter	78
Table 1-42. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in butter	81
Table 1-43. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated butter	81

Table 1-44. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in Infant formula	84
Table 1-45. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated Infant formula	84
Table 1-46. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in Infant formula	87
Table 1-47. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated Infant formula	87
Table 2-1. GC conditions for identification of organic components	108
Table 2-2. GC/MS conditions for identification of volatile components	109
Table 2-3. Retention time of n-alkanes for gas chromatographic retention index	115
Table 2-4. Volatile organic compounds identified in non-irradiated beef jerky	121
Table 2-5. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds in beef jerky	125
Table 2-6. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in identified volatile organic compounds in non- irradiated beef jerky	126
Table 2-7. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky	131
Table 2-8. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky	135
Table 2-9. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky	136
Table 2-10. Volatile organic compounds identified in non-irradiated cheese ..	142
Table 2-11. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds in cheese	146
Table 2-12. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in identified volatile organic compounds in cheese	147

Table 2-13. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam or gamma ray irradiated cheese	154
Table 2-14. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated cheese	158
Table 2-15. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated cheese	159
Table 2-16. Aromatic characterization of identified major volatile components in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky and cheese	162

도 목 차

Fig. 1-1. Livestock processed products by type production status	13
Fig. 1-2. Analysis of radiation-induced hydrocarbons	23
Fig. 1-3. Total ion chromatograms of hydrocarbons standard mixtures by GC/MS analysis	31
Fig. 1-4. Mass spectra and standard curve of authentic hydrocarbons	33
Fig. 1-5. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons from non- and 10 kGy irradiated ham	40
Fig. 1-6. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated ham	40
Fig. 1-7. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated ham	43
Fig. 1-8. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated ham	43
Fig. 1-9. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non - and 10 kGy irradiated sausage	46
Fig. 1-10. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated sausage	46
Fig. 1-11. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non - 10 kGy irradiated sausage	49
Fig. 1-12. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated sausage	49
Fig. 1-13. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non - and 10 kGy irradiated bacon	52
Fig. 1-14. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated bacon	52
Fig. 1-15. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated bacon	55
Fig. 1-16. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from	

irradiated bacon	55
Fig. 1-17. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated beef jerky	59
Fig. 1-18. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated beef jerky.	59
Fig. 1-19. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated beef jerky	62
Fig. 1-20. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated beef jerky.	62
Fig. 1-21. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- 10 kGy irradiated nature cheese	66
Fig. 1-22. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated nature cheese	66
Fig. 1-23. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non-5, 10 kGy irradiated nature cheese	69
Fig. 1-24. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated nature cheese	69
Fig. 1-25. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated processed cheese	72
Fig. 1-26. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated processed cheese	72
Fig. 1-27. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non-5, 10 kGy irradiated processed cheese	75
Fig. 1-28. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated processed cheese	75
Fig. 1-29. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated butter	79
Fig. 1-30. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated butter	79
Fig. 1-31. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons	

in non- and 10 kGy irradiated butter	82
Fig. 1-32. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated butter	82
Fig. 1-33. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated fortified milk powder	85
Fig. 1-34. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated fortified milk powder	85
Fig. 1-35. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated fortified milk powder	88
Fig. 1-36. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated fortified milk powder	88
Fig. 2-1. Diagram of simultaneous distillation and extraction (SDE) apparatus according to Likens and Nickerson	106
Fig. 2-2. Analysis of volatile flavor components from livestock	112
Fig. 2-3. GC/MS chromatogram of n-alkane standard mixture	114
Fig. 2-4. GC/MS chromatograms of the volatile organic compounds from beef jerky	120
Fig. 2-5. GC/MS chromatograms of the volatile organic compounds from gamma and e-beam irradiated beef jerky	130
Fig. 2-6. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky	137
Fig. 2-7. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky	138
Fig. 2-8. GC/MS chromatograms of the volatile organic compounds from cheese	141
Fig. 2-9. GC/MS chromatograms of the volatile organic compounds from gamma and e-beam irradiated cheese	153
Fig. 2-10. Relative content of functional groups in identified volatile organic	

compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated
cheese 160

Fig. 2-11. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in
identified volatile organic compounds in non- and electron beam or
gamma ray irradiated cheese 161

ABSTRACT

Study of Induced Hydrocarbons and Volatile Organic Compounds as Impacts of γ -Ray and e-Beam Irradiation in Selected Livestock Products

Jeong, In Seon

Advisor : Prof. Kim, Kyong Su, Ph.D.

Department of Food and Nutrition

Graduate School of Chosun University

Part I .

- A. Livestock research on the domestic distribution of processed products, which are gamma-ray and electron beam irradiated, was carried out based on their chemical characteristics. Fat was extracted from the meat products of ham, sausage, bacon, jerky. The same was done from dairy products of cheese, butter and powdered milk. And finally the separated hydrocarbons were analyzed by GC/MS.
- B. 1-tetradecene ($C_{14:1}$) derived from palmitic acid, 1-hexadecene ($C_{16:1}$) derived from stearic acid and 8-heptadecene ($C_{17:1}$) and 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$) derived from oleic acid were found to be suitable to use as a marker and determine whether the samples were irradiated or not.

- C. The induced hydrocarbons on irradiation of the samples, which were meat(ham, sausage, bacon, jerky) and dairy products(cheese, butter, milk), increased significantly with irradiation dose. That helps to determine the minimum dose of irradiation required to identify whether the sample is irradiated or not.
- The compounds C_{n-2} of oleic acid and stearic acid and C_{n-1} of palmitic acid show high amount presence after gamma rays and electron beam irradiation in ham. Sausage sample also shows similar trend with that of ham.
 - The induced hydrocarbons on bacon, which was irradiated by gamma ray, show C_{n-2} and C_{n-1} compounds on oleic acid and high amount C_{n-1} on stearic acid and palmitic acid. On the other hand, electron beam irradiated bacon showed high amount of C_{n-2} on oleic acid and C_{n-1} on stearic acid and palmitic acid.
 - The irradiated beef jerky by gamma and electron beam showed high amount of C_{n-2} on oleic acid and stearic acid and C_{n-1} on palmitic acid.
 - Gamma and electron beam irradiated natural cheese showed high amount of C_{n-2} in oleic acid stearic acid and C_{n-1} in palmitic acid at all given doses. The same results was obtained from processed cheese.
 - The C_{n-2} hydrocarbon in butter, 1,7-hexadecadiene which is derived from oleic acid was not detected either by gamma rays or electron beam.
 - The induced hydrocarbons by gamma-ray were detected at all doses and show high amount C_{n-1} hydrocarbons on oleic acid, stearic acid and palmitic

acid. On the other hand the induced hydrocarbons by electron beam show high amount of C_{n-2} hydrocarbons on oleic acid and stearic acid. The outcome suggested that different results could be obtained from similar amount of gamma-ray and electron beam irradiated samples.

- D. In the result of induced hydrocarbons by gamma and electron beam irradiation, the amount of hydrocarbons produced were depend on the absorbed dose of gamma and electron beam irradiation. According to this study therefore, no significant difference was obtained between gamma ray and electron beam irradiation.

Part II.

- A. This study was performed to find the impacts of γ -ray and e-beam irradiation in beef jerky and Cheese. The volatile organic compounds in agricultural products which are beef jerky and cheese by simultaneous distillation and extraction(SDE) method and identified by GC/MS analysis.
- B. Ninety four compounds were identified in beef jerky, major compounds were hexadecanal, ethyl alcohol, (Z)- β -caryophyllene, ethyl acetate, furfuryl alcohol, α -curcumene.
- Total 40 type of Terpenoid compounds were confirm in beef jerky and the amount is 12.239 mg/kg. The ratio of sesquiterpene shows about 3-fold higher than monoterpene.
 - The content of aldehyde was non irradiation(7.936 mg/kg), electron beam irradiation(1.748 mg/kg) and gamma ray irradiation(0.601mg/kg) in 20 kGy. It shows gamma irradiation make decrease compounds amount.

- The amount of change in volatile organic compounds by gamma irradiation is more decrease than electron beam irradiation.
- C. Total 69 compounds were identified in cheese, major compounds were ethyl alcohol, nerodirol, ethyl acetate, 2-pentadecanone, hexadecanal, 2-methyl-1-phenyl-1-propanol, butyrophenone, acetic acid.
- Total 32 type of terpenoid compounds were confirm in cheese and the amount is 6.951 mg/kg. Total 6 types of oxygenated sesquiterpenes relative ratio was 5.767 mg/kg the major group.
 - The type of Caryophyllene compounds were increase the amount after irradiation and spathulenol, β -sesquiphellandrene and 2-butyl furan were confirm only irradiated cheese.
 - The volatile compounds of non irradiation and gamma-ray and e-beam irradiation were similar, but the amount was significantly decreased after irradiation.
- D. The amount of change in volatile organic compounds by gamma irradiation is more decrease than electron beam irradiation.

Part I

식품조사에 의한 축산가공품의 지방유도산물변화 분석

Study on Radiation Induced Hydrocarbons
of Irradiation Livestock Products

제 1 장 서 론

제 1절 연구배경 및 목적

최근 과학기술은 경제활동규모의 확대, 정보통신의 진보와 더불어 교통의 발달로 비약적으로 발전하였다. 과학의 발전과 함께 사회적, 문화적, 지리적 등의 요인은 식생활에 큰 영향을 미치며, 이에 따라 고유의 특성을 갖는다. 우리나라는 소득의 증대와 여성의 사회진출 증가, 교육수준의 향상과 같은 변화로 일인가구와 핵가족이 증가하게 되었고 이에 따라 편의식품(convenience foods), 즉석식품(ready to eat foods) 등의 외식산업이 발달하게 되었다(1).

한편, 식육가공업체들은 건강, 위생, 간편 등을 앞세워 소비자들의 새로운 소비양식에 부응하기 위하여 냉장식품의 다양화를 모색하고 식품의 미생물 생성을 막기 위해 Cold chain system을 강화하고 있다. 냉장식품은 미생물학 안전성을 위하여 저온의 온도를 유지하여야 하는데 냉장온도에서도 생육할 수 있는 저온균의 관리에 신경써야한다(2,3).

식육을 이용하여 가공한 식품에서 발생하는 질병을 방지하기 위하여 축산물의 원료처리, 가공, 포장, 유통 등의 단계에서 오염을 줄이는 것이 중요하다. 식품산업에서 식중독의 원인이 되는 미생물의 성장을 억제시키기 위해 건조, 훈연 등의 방법에서 살균, 냉동, 냉장의 물리적 방법과 훈증제 등 화학적 방법 등이 이용되고 있으며 1990년대 이후 방사선 조사가 널리 이용되고 있다(4).

세계시장의 개방화와 더불어 교역대상 상품의 검역 및 품질보증의 중요성이 증대되고 이에 따라 방사선 조사기술의 이용 및 방사선 조사식품의 교역물량이 증가하고 있다. 식품에 이용되고 있는 방사선 선종의 경우 국제식품규격(Codex)에 따라서 감마선을 허용하고 있다. 과거 국내에서는 감마선만을 감자, 양파, 마늘, 밤, 생버섯 등의 신선식품류와 건조식육, 어패류 분말, 장류분말, 전분, 인삼제품류, 건조채소류 등 26개 식품에 대하여 조사가 허용되어(5) 있었으나 2012년부터 공업용으로만 이용되어 오던 전자선도 허용하여 식품조사라는 명칭으로 통일하고 있다(Table 1-1,2)(6).

식품 조사란 식품 또는 식품재료를 위생적으로 품질을 개선하거나 식품 본질의 상태에 변화가 가장 적게 보존하는 방법으로, 방사선 조사는 살균, 속도조절, 성장조절 등의 효과를 나타내는 기술이다(7). 식품조사는 화학적 방법인 훈증제 대신 식품의 미생물에 의해 생기는 육류, 가금류, 해산물 등의 질병 방지, 해충구제, 저장기간의 연장 등의 방법으로 사용된다(8). 이러한 이유로 식품조사에 대한 인지도가 높아짐에 따라 식품조사여부에 대한 관심도 날로 증가하고 있다.

식품조사는 WHO (World Health Organization), IAEA (International Atomic Energy Agency), FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)와 같은 국제기구에서 인정받아 현재 52개국에서 240여종의 식품에 대한 조사가 허가되어 있다(Table 1-3)(9).

Codex(국제식품규격위원회)에서는 모든 식품에 대해 조사를 허용하고 있으며 조사기준이 권고에 머무르는 수준이 아니라 강제적으로 시행하고 있다. 이에 OECD 가입국의 일원인 우리나라에서도 식품위생을 위한 기술로서 필수적인 식품조사 기술의 위생적 사용을 위하여 부정적인 소비자의 식품조사에 대한 불안을 불식시키고 수용성제고를 위하여 정확한 식품조사이용을 위한 노력이 필요하다(10-12).

Codex는 조사식품에 대한 표준규격을 채택 권장하고 있으며 45개국(280여기)에서 조사시설이 운영 중이다. 이러한 시설의 이용으로 국제교역에서 조사식품의 물량이 크게 증가할 것으로 예상된다. 또한 조사된 식품의 조사관련 표기를 의무화하고 규정된 선량과 허가된 시설에서 식품조사를 실시하도록 하고 있다. 하지만 식품을 조사하였다는 표시인 “Radura” 표기는 아직 의무사항이 아닌 선택사항으로 하고 있다(13). 우리나라에서는 수출입 식품의 식품조사가 늘어나면서 식품조사에 대한 표기가 의무화되어 식품조사여부 확인이 필요하게 되었다.

식품조사 판별을 위한 판별기술연구는 미국, EU 등의 선진국과 세계소비자연맹(IOCU, International Organization of Consumers' Union)에 의해 1980년대 이후 본격적으로 시작되었다. 독일 노이에르베르그회의(1986)에서 식품조사판별의 필요성을 언급한 바 있고, IAEA/WHO/FAO(1990-1994)에서 식품조사판별을 위한 공정을 발표하여 식품조사에 대한 관심이 세계적으로 높아졌다. 이런 식품조사에 대한 검지를 위한 연구로는 조사에 의하여 생성된 radical을 분석하는 방법인 ESR법(14-29), 건조채소, 향신료에 적용 가능한 TL, PSL법(30-46)의 물리적 방법, hydrocarbon류나 2-alkylcyclobutanone류를 분석하는 화학적인 방법(47-74)과, Comet assay(75-83)의

생물학적 방법들이 이용된다. 그러나 다양한 원재료의 복합식품이나 혼합원료 등에는 적용이 어려운 실정이다.

국제원자력기구(IAEA), 미국의 식품의약국(FDA), 유럽공동체(EC)의 Community Bureau of Reference (BCR), 영국의 농수산식품성(MAFA), 독일의 연방보건국(BGA) 등에서 식품조사를 판별할 수 있는 방법들이 진행 중이며 품목에 따른 적절한 조사판별 기준설정이 필요하다. 또한, 10 kGy 이하 선량의 식품조사는 영양학적, 독성학적으로 어떠한 해가 없다고 JECFI에서 발표함으로써(84-87) 최근 우리나라도 여러 분야의 연구자들에 의해 식품조사를 통한 식품의 위생화, 저장성, 안전성, 가공적성 등에 관한 연구가 수행되었다. 이러한 조사식품을 확인할 수 있는 판별기술은 소비자의 알권리와 선택의 폭을 보장해주고, 우리나라 농업 경쟁력 제고와 식품산업의 발전에 긍정적인 기여를 할 방안으로 인식될 것이다.

2000년 이후 현재 세계적으로 감마선, 전자선, X선을 식품조사에 이용하고 있으며 사용 가능한 선원과 선종을 확대하고 있다(88). 전체적으로 감마선이 전자선에 비하여 식품조사에 더 많이 이용되고 있지만 점차 전자선도 일반화되고 있다(89). 그러므로 방사선 조사식품을 판별하기 위한 실질적인 방법이 필요하며, 조사 표기된 제품이 식품에 대한 방사선 조사 공정에 따라 허용선량 내에서 처리되었는지 또는 식품에 조사표기가 되어 있지 않을 때 이를 분석·확인할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 우리나라 주요 수출입 품목 중 방사선 조사처리가 예상되는 축산가공품을 육가공품과 유가공품으로 나누어 선량별(1-10 kGy)로 식품조사(감마선 및 전자선)를 통하여 생성되는 지방산유도산물과 휘발성 유기성분에 관하여 연구하고자 하였다. Part I에서는 축산가공품의 식품조사에 의한 지방분해산물을 분석하여 과학적 data를 마련하고자 하였으며 Part II는 육가공품과 유가공품 중 육포와 치즈의 휘발성 유기성분을 분석하여 식품조사 후 변화를 확인하고자 하였다. 그러므로 조사품목 확대 및 조사 선종을 통하여 식품조사 된 축산가공품의 식품안전을 위한 기초자료로서 제시하고자 하였다.

Table 1-1. Absorbed dose by beneficiary food

품 목	조사목적	선량(kGy)
감자, 양파, 마늘	발아억제	0.15 이하
밥	살충·발아억제	0.25 이하
생버섯 및 건조버섯	살충·속도조절	1 이하
난분	살균	5 이하
곡류, 두류 및 그 분말	살균·살충	5 이하
전분	살균	5 이하
건조식육 및 어패류 분말	살균	7 이하
된장, 고추장, 간장분말	살균	7 이하
건조채소류	살균	7 이하
효모·효소식품	살균	7 이하
조류식품	살균	7 이하
알로에 분말	살균	7 이하
인삼(홍삼 포함) 제품류	살균	7 이하
건조향신료 및 이들 조제품	살균	10 이하
복합조미식품	살균	10 이하
소스류	살균	10 이하
김출차	살균	10 이하
분말차	살균	10 이하
환자식	살균	10 이하

식품의약품안전처, 식품기준 및 규격(제 2013-14호)

Table 1-2. Radioactivity standard

핵종	대상 식품	기준(Bq/kg, L)
^{131}I	영아용 조제식, 성장기용 조제식, 영·유아용 곡류조제식, 기타 영·유아식, 영·유아용 특수조제식품	100
	우유 및 유가공품	100
	기타 식품 ¹⁾	300
$^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$	모든식품	370

¹⁾ 기타식품은 영아용 조제식, 성장기용 조제식, 영·유아용 곡류조제식, 기타 영·유아식, 영·유아용 특수조제식품, 유 및 유가공품을 제외한 모든 식품을 말한다.

Table 1-3. Detection methods for irradiated food groups

Detection methods	Food group
Physical methods	
Thermoluminescence	Spices, herbs, seasonings, shrimps, fruits & vegetables, grains, potatoes, crustaceae, shellfish
Photostimulated luminescence	Spices, herbs, seasonings, crustaceae, shellfish
Electron spin resonance	Bone-containing foods(poultry, meat, fish, frog legs), cellulose containing foods (vegetables, nuts, strawberries), crystalline sugar containing food(dried mango, dried fig), shellfish, paprika, pepper powder, egg shell, crustaceae
Viscosity	Pepper, cinnamon, allspice
Electrical impedance	Potatoes
Near-infrared spectroscopy	Spices
Chemical methods	
Hydrocarbons	Chicken, beef, pork, camembert cheese, fish, avocado, mango, papaya, egg powder
2-Alkylcyclobutanones	Chicken, beef, pork, liquid whole egg, camembert cheese, mango
σ -Tyrosine	Chicken, shrimps, shellfish, fish, frog legs, egg white
Peroxides	Pork, chicken, liquor, egg powder
Gas	Frozen beef and frozen shrimp
Comet assay	Chicken, pork, fish, seeds, beans, some spices
Immunochemistry	Chicken, prawns
Biochemical methods	
Germination method	Citrus, apple, grains
DEFT/APC	Spices, beef, chicken, pepper, medical herbs
LAL	Chicken

제 2절 축산가공품의 국내·외 현황

1. 축산가공품의 국내·외 현황

가. 국외현황

세계가공식품의 시장규모는 2010년 2,830십억 달러로 추정하고 있으며, 2006~2014년 기간 동안 연평균 5.2% 증가할 것으로 보고 있다. 식품산업은 연평균(2006년-2010년) 약 3% 이상의 꾸준한 성장세를 이어가고 있다(Table 1-4). 2010년 기준 가공식품 세계시장을 품목별로 살펴보면 육류, 어류, 가금류 제품이 약 551십억 달러로 전체의 19.5%를 차지하고 있고 전년대비 3.8%의 성장률을 보이고 있다. 그 다음으로 즉석조리식품(Chilled food)이 494십억 달러로 17.5%, 유제품(Dairy food)이 377십억 달러로 13.3%를 각각 차지하고 있다. 그리고 스낵류(Savoury snacks)는 전년대비 5.4%, 연평균 5.2%의 성장률을 나타내고 있어 가공 식품품목 중 가장 높게 성장하고 있다(Table 1-5)(90).

Table 1-4. World market for processed food

(단위: 십억 달러, %)

구분	2006	2007	2008	2009	2010	연평균성장율 (06-10)
가공식품 세계시장	2,439	2,530	2,676	2,725	2,830	
전년대비 증가율	3.6	3.7	3.8	3.8	3.8	3.79

주) 2009-2010년 데이터 연간 추정치 이용

자료: DATAMONITOR Interactive Consumer Database, 2010.

Table 1-5. World market by item processed food

(단위: 십억 달러, %)

품목	2006	2007	2008	2009	2010		성장률	
					시장 규모	비중	전년 대비 성장률	CAGR (06-10)
Meat, fish&poultry¹⁾	476.4	494.0	511.9	531.0	551.0	19.5	3.8	3.7
chilled food	424.6	441.3	457.9	475.6	494.2	17.5	3.9	3.9
Dairy food	317.3	331.4	348.1	360.6	377.1	13.3	4.6	4.4
Bakery & Cereals	328.5	338.5	348.9	360.5	372.1	13.1	3.2	3.2
Frozen food	171.1	177.7	184.7	191.8	199.3	7.0	3.9	3.7
Confectionery	141.1	145.9	150.7	155.1	159.6	5.6	2.9	3.1
Sauces, dressings & Condiments	91.1	94.2	97.5	100.9	104.5	3.7	3.5	3.5
Dried food	88.6	91.8	95.1	98.6	102.1	3.6	3.6	3.6
Canned food	74.5	76.4	78.4	80.4	82.5	2.9	2.6	2.6
Savory snacks	67.1	70.4	73.8	77.9	82.0	2.9	5.4	5.2
Oils & Fats	58.7	61.6	64.6	68.7	72.3	2.6	5.3	5.4
Ready meals	68.5	70.9	73.9	76.9	80.1	2.8	4.1	4.0
Ice cream	50.0	51.8	53.8	55.9	58.1	2.1	4.0	3.8
Pasta & Noodles	39.8	41.6	43.6	45.5	47.6	1.7	4.4	4.5
Spreads	18.5	19.1	19.9	20.5	21.2	0.8	3.4	3.6
Soup	15.1	15.7	16.3	16.9	17.6	0.6	3.8	3.8
Baby food	7.6	7.9	8.1	8.4	8.7	0.3	3.3	3.3

주¹⁾ Meat, fish & poultry에는 냉장, 냉동포함

자료: DATAMONITOR Interactive Consumer Database, 2010.

○ 중국

중국의 GDP는 8.7% 증가하였고 이 중 식품의 소비는 GDP 대비 3.4%. 2009년 매출액 기준 5만 위안을 초과하는 식품제조기업은 총 36,319개이며, 이 중 식품가공업(Food Processing)이 약 63.0%로 가장 높은 비중을 차지함.

○ 미국

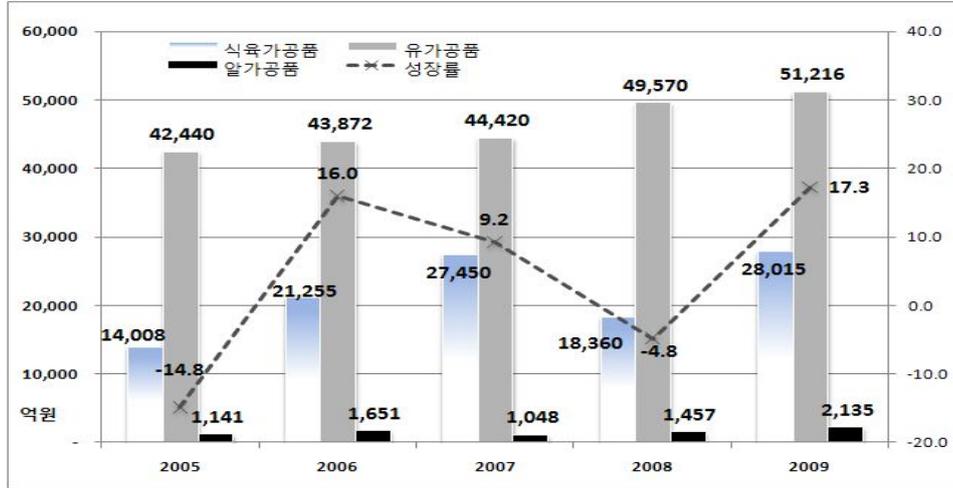
2009년 미국의 식품 소비금액은 815십억 달러로 전체 GDP 중 5.7%를 차지함. 1인당 소비금액은 약 2,650달러. 2009년 식품 무역수지는 약 2,093백만 달러 적자를 냄. 수출액 전년 대비 13% 감소한 약 67,562백만 달러였으며, 수입액은 약 69,656백만 달러 추정됨.

○ 호주

식품 소비금액은 54.6십억 달러로 전체 GDP 중 6.0%를 차지하고 있었으며, 1인당 소비금액은 약 2,446달러로 1인당 소비금액은 전체적인 소비금액이 약 15배 큰 미국의 1인당 식품소비금액과 비슷한 수준. 식품 무역수지는 약 12,418백만 달러 흑자를 기록. 2009년 식품 수출액 약 18,592백만 달러, 수입액은 6,174백만 달러임.

나. 국내현황

식품제조산업(2009)의 총생산 실적 중 유가공품의 62.9%, 식육가공품 34.4%, 알가공품 2.6% 등의 순서로 나타나 유가공품의 생산량이 가장 높은 것으로 확인하였다 (Figure 1-1). 유가공품의 생산액은 2005년 42,440억원에서 2009년 51,216억원으로 꾸준한 증가세를 보였으며, 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 식육가공품은 2005년부터 꾸준히 증가하다가 2008년 감소하였으나, 2009년 52.0%로 다시 큰 폭으로 상승하였다. 이러한 식육가공품의 생산량은 2008년 -4.8%로 소폭 감소하였으나, 2009년 17.3% 증가하는 축산가공품의 전체 성장률과 비슷한 경향을 나타냈다(91).



자료: 식품의약품안전처, 식품의 식품첨가물 생산실적, (2005-2009).

Figure 1-1. Livestock processed products by type production status.

Table 1-6. Production scale current state of livestock processed products

(단위: 억원, %)

구분	2005	2006	2007	2008	2009	2009 비중	CAGR (05-09)
축산가공품	생산액	57,588	66,778	72,918	69,387	81,366	20.1 9.0
	성장률	-14.8	16.0	9.2	-4.8	17.3	

자료: 식품의약품안전처, 식품 및 식품첨가물 생산실적, (2005-2009).

식육가공품의 생산량과 판매량은 2004년 이후 꾸준한 성장세를 보였다. 2차 육가공품 중 소시지를 제외한 모든 육가공품의 생산량은 2010년 156,646톤에서 2011년 162,980톤으로 4.0% 증가를 보이고 판매량 또한 소시지를 제외한 모든 품목에서 2010년 154,914톤에서 161,495톤으로 4.2% 증가한 것을 볼 수 있다(Table 1-7). 베이컨은 전체 대비 비중은 적으나, 2011년 5,451톤으로 전년대비 27%로 상승하였고, 다른 가공품에 비해 상승폭이 큰 것으로 나타나 육가공제품에 대한 소비자의 선택권 확대와 다품목, 고급화 제품 판매 확대에 의한 것으로 여겨진다. 수입현황 또한 2006년부터 꾸준히 증가하고 있으며, 햄의 경우 2012년 7,330톤 이상 수입되어 6년 새 수입량이 213.8% 증가하였다. 전체적으로 수입량이 2009년에 약간 감소하는 경향을 보였으나, 2012년 3만 톤을 넘는 꾸준한 증가를 보였다(Table 1-8)(92).

Table 1-7. Changes in production and sale of meat substitute

(단위: 톤)

구분	햄		소시지		베이컨		계	
	생산량	판매량	생산량	판매량	생산량	판매량	생산량	판매량
2004	56,138	54,490	44,068	42,069	2,065	2,040	129,059	123,046
2005	54,242	51,869	42,988	40,744	2,352	2,279	127,842	118,597
2006	58,520	53,671	44,156	43,428	2,765	2,627	132,599	124,453
2007	58,233	54,055	46,183	47,077	3,201	3,143	135,923	128,227
2008	52,070	55,323	50,267	52,813	4,316	3,439	138,123	138,734
2009	53,670	57,427	54,116	50,006	3,911	3,804	138,885	137,722
2010	62,321	61,161	56,103	55,207	4,289	4,170	156,646	154,914
2011	64,240	64,444	53,939	53,589	5,451	5,256	162,980	161,495

자료 : (사) 한국육가공협회

주) 식육가공품중 혼합소시지는 제외

Table 1-8. Import situation processed meat products

(단위 : kg, us\$)

연별	구분	햄	소시지	기타가공품	합계
2006	물량	3,242,825	5,622,493	15,148,536	24,013,854
	금액	10,255,253	12,141,045	22,247,514	44,643,812
2007	물량	5,007,882	7,272,994	14,905,332	26,225,361
	금액	19,461,552	20,162,261	32,990,679	71,653,647
2008	물량	6,942,998	7,634,920	14,085,435	28,663,353
	금액	26,690,801	20,039,890	26,719,225	73,449,916
2009	물량	4,592,600	6,213,314	9,509,400	20,315,314
	금액	18,822,468	17,558,144	21,522,871	57,903,483
2010	물량	5,617,984	7,334,277	9,643,512	22,595,773
	금액	22,132,232	21,785,502	24,535,816	68,453,550
2011	물량	7,287,981	7,780,843	10,436,772	25,505,596
	금액	30,521,896	28,747,408	36,296,651	95,565,955
2012	물량	7,330,389	7,255,724	16,513,937	31,100,050
	금액	32,033,500	28,227,398	57,942,388	118,203,286

자료 : 국립수의과학검역원의 검역기준 자료임

주) 기타는 베이컨, 분쇄가공육, 양념육, 식육추출가공품, 식용우지 등임

조제분유를 제외한 2011년 생산량은 전년대비 감소하였으나, 소비는 10% 이상 증가했다. 생산량에 비해 소비량이 70% 이상 높은 수준으로 이는 수입산이 대부분 차지함을 알 수 있었다(Table 1-9, 1-10). 변화된 생활패턴, 서구화된 식생활과 와인시장의 성장 등 다양한 요소들로 치즈, 버터 등의 유제품 수입량도 함께 증가하였다. 유제품 수입의 80% 이상을 미국, EU, 호주, 뉴질랜드가 차지하고 있으며, 또한 FTA 등의 영향으로 관세철폐와 무관세 쿼터의 외국의 가격경쟁력 증대로 2012년 이후 유제품의 수입량이 계속 증가할 것으로 예상된다(93, 94).

Table 1-9. Dairy supply and demand performance and raw milk

(단위 :톤)

구분	생산	전년대비증감율	소비	전년대비증감율	
원유	1,888,150	-8.9%	3,517,909	10.9%	
자연	3,566	-54.9%	72,671	13.0%	
치즈	가공	21,142	8.5%	26,841	10.6%
계	24,708	-9.8%	99,512	12.3%	
버터	1,152	-56.3%	9,799	7.4%	
조제분유	15,191	4.7%	13,786	-7.2%	

자료 : 낙농편람 (2011)

Table 1-10. Import unit imports and trends of milk processing products

	2006-2008년 평균				국내수입가격	
	물량(톤)	비중(%)	금액(천불)	비중(%)	현행관세	관세철폐
치즈	46,963	100	188,043	100	5,618	4,183
버터	3,465	100	11,011	100	4,586	3,321
조제분유	2,207	100	19,502	100	12,397	9,232
Total	52,635		218,556		22,601	16,736

자료: 농수산물유통공사

제 2 장 재료 및 방법

제 1 절 실험재료 및 기기

1. 재료

가. 시료준비

주요 축산가공품의 식품조사에 의한 지방산 유래산물 분석을 위하여 햄, 소시지, 베이컨, 육포, 자연치즈, 가공치즈, 버터, 조제분유는 광주의 대형마트에서 직접 구입하였다. 이를 비조사 대조시료와 함께 -18°C 로 냉동 저장하여 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($20\pm 1^{\circ}\text{C}$)에서 분당 70 Gy의 선량률로 흡수선량이 1, 3, 5, 7 및 10 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 특급시약을 구입하여 사용하였고 지방분해산물인 hydrocarbon류의 표준물질인 1-tetradecene(C_{14:1}), pentadecane(C_{15:0}), 1-hexadecene(C_{16:1}), 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}), heptadecane(C_{17:0}), 8-heptadecene(C_{17:1})은 미국 Sigma사와 독일 TeLA사로부터 구입하였다. 지방추출 및 chromatography에 사용한 n-hexane 등 유기용매는 Fisher scientific (USA)에서 HPLC grade로 구입하여, 이를 다시 wire spiral packed double distilling (Normschliff Geratebau, Germany) 장치로 재증류한 것을 사용하였다. Florisil (60~100 mesh)은 Fisher scientific (USA) 제품을 구입하여 충전제로 사용하였다.

3. 기기

본 실험에 사용한 모든 유기용매는 Wire spiral packed double distilling 장치 (Normschliff, Wertheim, Germany)에서 증류하였고, 시료의 전처리를 위해 Ultraturrax (IKA Labortechnik, Germany)를 사용하였으며, rotary vacuum evaporator (Buchi, Switzerland)를 이용하여 용매를 제거하였다.

시료에서 지방을 추출하기 위하여 Soxhlet extraction apparatus (SK 케미칼, KOR)를 이용하였다.

지방산 조성분석과 분리된 지방분해산물의 정성 및 정량분석을 위하여 Hewlett Packard 5890 II Plus GC-FID (Hewlett Packard, USA), Agilent Technologies gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS, 7000/Triple Quad, Agilent, Wilmington, DE, USA)를 이용하였다.

제 2 절 실험방법

1. 지방분해산물의 분리

가. Florisil 흡착제의 불활성화

조사시료에서 추출한 지방으로부터 식품조사에 의해 생성된 지방분해 산물인 hydrocarbon류를 분리하기 위하여 florisil column chromatography를 수행하였다. Florisil (Waltham, Massachusetts, USA)은 구입 후 550℃ 회화로(Thermolyne F-48000, Dubuque, Iowa, USA)에서 하룻저녁 태워 오염물을 제거하고 밀봉 저장하였다. Chromatography에 사용하기 위하여 저장된 florisil 을 5시간 이상 130℃에서 탈수하여 상온에서 식힌 후 hydrocarbon류를 분리하기 위해 3%의 물을 가하여 균질화하고 12시간 저장하여 불활성화시켜 충전제로 사용하였다.

나. Hydrocarbon류 분리

Hydrocarbon류의 분리를 위하여 불활성화 시킨 florisil을 200 × 20 mm chromatpgraphy column에 충전한 후, 각 시료에서 추출한 지방 1 g에 정량분석을 위하여 internal standard로서 각각 1 mL n-eicosane (4 µg/mL n-hexane)을 첨가하여 column에 가한 뒤 n-hexane를 이용하여 분리하였다(Figure 1-2).

2. 방사선 조사시료의 지방추출

1, 3, 5, 7 및 10 kGy로 식품조사(감마선 및 전자선)된 축산육가공품(햄, 소시지, 베이컨, 육포)과 축산육가공품(자연치즈, 가공치즈, 버터, 조제분유)을 비조사 시료와 함께 -18℃로 저장하면서 실험에 사용하였다.

가. 유기용매 추출(solvent extraction)

조사선량별 시료를 30 g 씩 비이커에 담아 재증류된 30 mL n-hexane을 첨가하고 Ultra turrax로 여러번 균질화 하였다. 균질화된 시료는 1500 g의 속도로 20분간 원심분리시켜 투명한 상층액을 분리한 후 잔존물에 처음 사용한 유기용매의 1/3을 다시 첨가하여 재추출하였다. 이를 원심분리하여 상층액을 첫 번째 상층액과 합한 후 rotary vacuum evaporator (335 mbar, 40°C)를 사용하여 유기용매를 제거하고 N₂ gas 기류 하에서 잔존 유기용매를 제거한 후 지방만을 취하여 냉동고에 저장하였다.

나. Soxhlet 추출(soxhlet extraction)

조사선량별로 시료 10 g과 Na₂SO₄를 혼합하여 다공성 thimble에 넣고 soxhlet장치에서 약 50 mL의 추출용매 n-hexane을 가하여 지방을 추출하였다. 추출용액은 rotary vacuum evaporator를 이용하여 농축시킨 뒤 N₂ gas를 이용하여 다시 한번 농축한 후 -18°C에 저장하여 실험 시료로 사용하였다

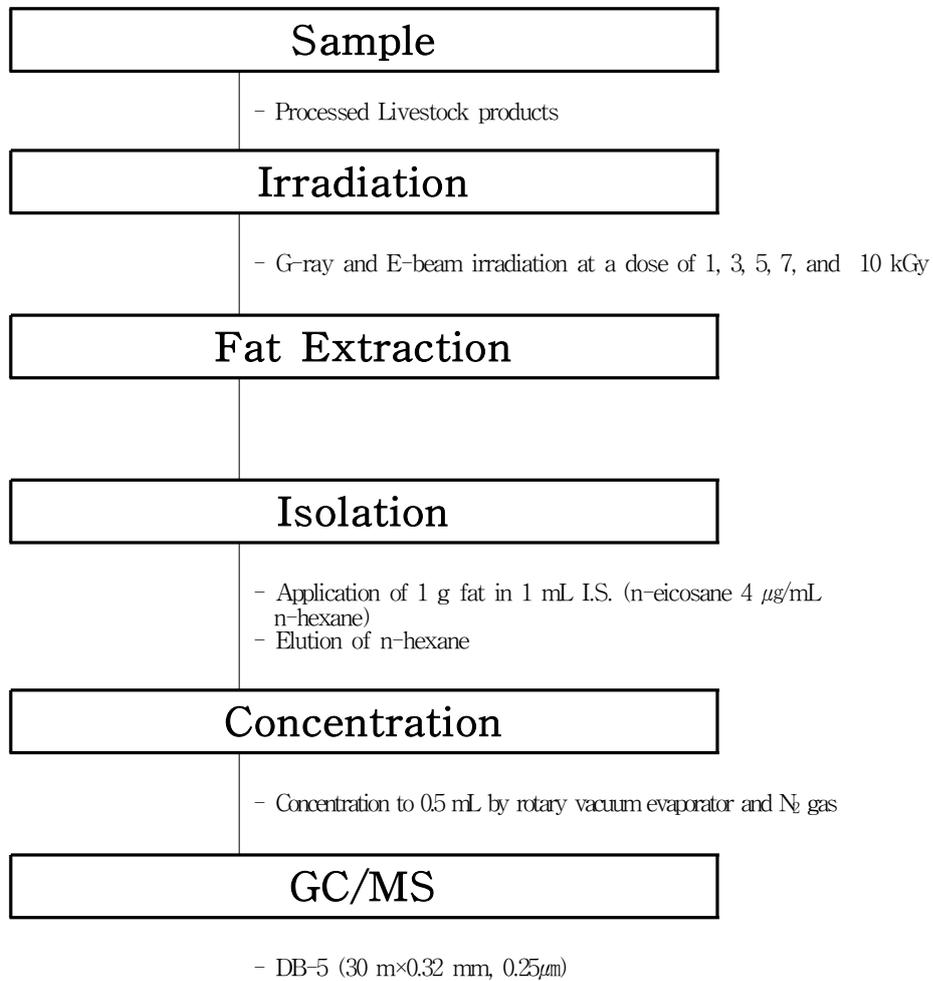


Figure 1-2. Analysis of radiation-induced hydrocarbons.

3. 지방분해산물의 GC/MS 분리

GC/MS 분석기기는 Agilent Technologies gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS, 7000/Triple Quad, Agilent, Wilmington, DE, USA)을 사용하였으며 시료의 이온화는 electron impact ionization (EI)방법으로 하였다. GC/MS 분석 조건은 ionization voltage를 70 eV로 하고, ion source와 injector 온도는 각각 250°C로 하였다. Carrier gas는 helium을 사용하여 유속은 1.0 mL/min으로 하였다. 또한 분석할 분자량의 범위는 40~350(m/z)으로 설정하였다. Capillary column은 DB-5 (30 m × 0.32 mm i.d., 0.25 µm film thickness, J&W Scientific, Santa Clara, California, USA)를 이용하였고, 온도 프로그램은 60°C에서 170°C까지 25°C/min 속도로, 205°C까지 2°C/min 속도로 승온시키고, 다시 270°C까지 10°C/min 속도로 상승시켰다.

4. 지방분해산물의 정량적 분석

가. 표준 Hydrocarbon류의 정량적 분석

Hydrocarbon류는 GC/MS의 total ionization chromatography에 분리된 각 peak의 성분분석 결과와 표준물질인 1-tetradecene(C_{14:1}), pentadecane(C_{15:0}), 1-hexadecene(C_{16:1}), 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}), heptadecane(C_{17:0})과 8-heptadecene(C_{17:1})의 분석을 통하여 mass spectrum 및 retention time을 비교하여 확인하였으며, internal standard와의 ratio를 이용하여 정량하였다.

(1) hydrocarbon류 표준물질 혼합용액 조제

Hydrocarbon류 authentic 표준물질인 1-tetradecene (min. 99%), pentadecane (min. 99%), 1-hexadecene (approx. 99%), heptadecane (approx. 99%), 1,7-hexadecadiene(*cis*, 95.4%), 8-heptadecene (*cis*, 95.4%)의 stock solution을 각

각 조제한 후, internal standard인 n-eicosane 4 µg/mg 농도를 함유하도록 하여 0.1 ~10 ppm의 표준물질 혼합용액을 제조하였다.

(2) Florisil column chromatography에 의한 hydrocarbon류 분리

방사선 비조사 시료에서 추출한 지방 1 g에 조제한 표준물질 혼합용액을 농도별로 1 mL 씩 혼합하여 불활성화시킨 florisil 충전 column에 가하여 hydrocarbon류를 분리하는 방법과 동일하게 실험하였다.

(3) Hydrocarbon류의 표준검량선 작성

Florisil column chromatography로 분리한 hydrocarbon류를 GC/MS로 분석한 결과를 이용하여 표준검량선을 작성하였다.

제 3 절 식품조사 한 축산가공품에서 유도된 지방분해산물 분석

1. 식품조사 한 축산가공품의 지방추출 및 조성분석

가. 지방추출

제 3장 제 2절에서 수립된 방법을 이용하여 축산가공품의 지방을 추출하였다. 이렇게 추출한 지방을 vial에 담아 N₂ gas 충전 후 -18℃에 냉동 저장하였다.

나. 지방산 조성분석

축산가공품의 지방산 조성을 분석하기 위하여 BF₃-MeOH에 의한 methylester화 방법을 이용하였다. 추출비장 25 mg에 internal standard C_{23:0} methylester 1 mL를 첨가하고 0.5 N NaOH 1.5 mL를 가하여 100℃에서 5분간 가열하여 가수분해한 후 2 mL BF₃-methanol 용액을 가하여 다시 100℃에서 30분간 가열하여 methyl ester화 하였다. 여기에 isooctane 1 mL를 가하여 교반하였고 포화 NaCl 용액 5 mL를 가하여 혼합한 후 방치하였으며 isooctane 층을 분리하여 무수 Na₂SO₄로 수분을 제거하고 여과한 후 N₂ gas 기류 하에서 농축하여 분석하였다.

2. Florisil column chromatography에 의한 지방분해산물 분리

가. Hydrocarbon류 분리

제 3장 제 2절에서 수립된 florisil column chromatography를 이용하였다. 불활성화시킨 florisil을 충전하여 방사선 조사 육류에서 추출한 지방에 internal standard로서 1 mL n-eicosane (4 µg/mL n-hexane)을 첨가한 혼합용액을 column에 가한 후 60 mL n-hexane을 용리용매로 하여 3 mL/min의 유속으로 hydrocarbon류를 분리하였다. 이 용리용매는 evaporator에서 2 mL까지 용매를 제거하고 0.5 mL까지 N₂

gas 기류 하에서 농축하여 GC/MS 기기의 분석시료로 하였다.

3. 지방분해산물의 GC/MS 분석

가. Hydrocarbon류의 GC/MS 분석

식품조사 된 축산가공품에서 분리된 hydrocarbon류의 질량분석에 이용한 GC/MS 기기는 GC/MS 분석기기는 Agilent Technologies gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS, 7000/Triple Quad, Agilent, Wilmington, DE, USA)을 사용하였으며 시료의 이온화는 electron impact ionization (EI) 방법으로 하였다. GC/MS 분석 조건은 ionization voltage를 70 eV로 하고, ion source와 injector 온도는 각각 250°C로 하였다. Carrier gas는 helium을 사용하여 유속은 1.0 mL/min으로 하였다. 또한 분석할 분자량의 범위(m/z)는 40~350으로 설정하였다. Capillary column은 DB-5 (30 m × 0.32 mm i.d., 0.25 µm film thickness, J&W Scientific, Santa Clara, California, USA)를 이용하였고, 온도 프로그램은 60°C에서 170°C까지 25°C/min 속도로, 205°C까지 2°C/min 속도로 승온시키고, 다시 270°C까지 10°C/min 속도로 상승시켰다. Hydrocarbon류 분석을 위해 시료 1 µL를 주입하고 split ratio는 20:1으로 하였다(Table 1-11).

Hydrocarbon류는 total ionization chromatogram에 분리된 각 peak의 성분분석과 결과는 표준물질인 1-tetradecene(C_{14:1}), pentadecane(C_{15:0}), 1-hexadecene(C_{16:1}), 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}), heptadecane(C_{17:0}), 및 8-heptadecene(C_{17:1})의 분석에 의한 GC/MS full scan mode mass spectrum을 비교하여 확인하였으며, internal standard로 첨가된 n-eicosane (4 µg/mL n-hexane)을 이용하여 정량하였다.

GC/MS의 full scan mode 분석 후 mass spectrum 및 retention time을 통해 조사에 의해 유도되는 hydrocarbon류를 확인하였다. 식품조사에 의한 지방분해산물인 hydrocarbon류는 Table 1-12에 이들의 chromatogram은 Figure 1-3에 그리고 각 화합물의 retention time은 Table 1-13에 나타내었다.

Table 1-11. Analysis condition for identification of radiation-induced hydrocarbons by GC/MS

	Agilent Technologies 7000
GC/MS	DB-5 (30 m × 0.32 mm I.D., 0.25 μm film thickness, J&W)
Column	Helium (2.0 mL/min)
Carrier gas	60°C -25°C/min-170°C -2°C/min-205°C -10°C/min-270°C
Temp. program	250°C, split ratio 1:20 (0-2 min splitless)
Injector	230°C
Temperature	Ion source and interface 250°C
Ionization	Electron impact ionization (EI)
Ionization voltage	70 eV
Mass range(m/z)	41 ~ 350
Injection volume	1 μL

Table 1-12. Radiolytic products of irradiated lipid

Fatty acids	C _{n-1} hydrocarbons	C _{n-2} hydrocarbons
Palmitic acid	Pentadecane (C _{15:0})	1-Tetradecene (C _{14:1})
Stearic acid	Heptadecane (C _{17:0})	1-Hexadecene (C _{16:1})
Oleic acid	8-Heptadecene (C _{17:1})	1,7-Hexadecadiene (C _{16:2})
Linoleic acid	6,9-Heptadecadiene (C _{17:2})	1,7,10-Hexadecatriene (C _{16:3})
Linolenic acid	3,6,8-Heptadecatriene (C _{17:3})	1,7,10,13-Hexadecatetradecene (C _{16:4})

Table 1-13. Retention time of hydrocarbons by GC/MS analysis

Hydrocarbons	RT ¹⁾ (min)
1-Tetradecene (C _{14:1})	5.06
Pentadecane (C _{15:0})	5.89
1,7-Hexadecadiene (C _{16:2})	6.60
1-Hexadecene (C _{16:1})	6.78
8-Heptadecene (C _{17:1})	7.82
Heptadecane (C _{17:0})	8.11

¹⁾Retention time

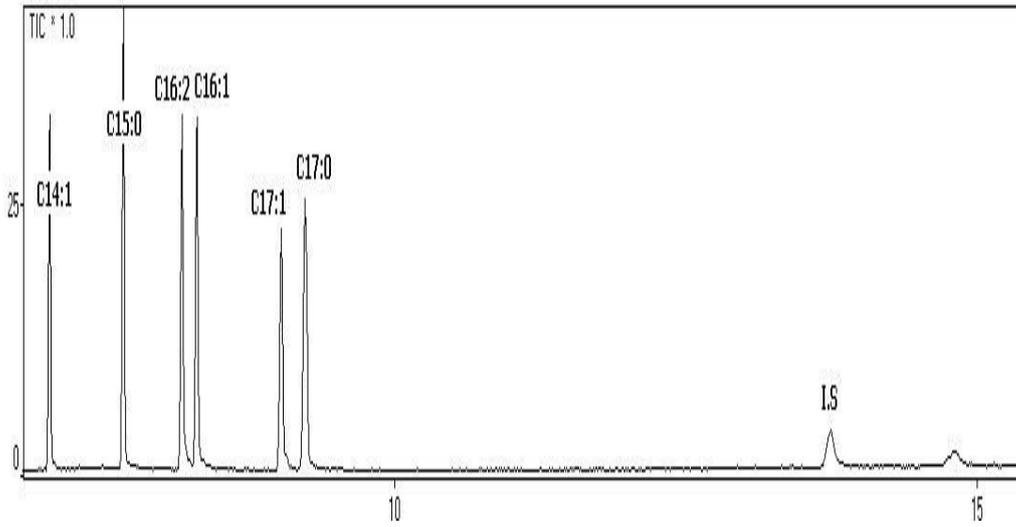


Figure 1-3. Total ion chromatograms of hydrocarbons standard mixtures by GC/MS analysis.

4. 표준 hydrocarbon류 정량적 분석

일반적인 식품에 함유되어 있는 지방산에 방사선을 조사시키면 hydrocarbon류가 생성되고 그 생성량은 지방의 함량에 따라 달라진다. 표준물질 혼합용액과 시료에서 n-eicosane과 hydrocarbon류의 ratio relationship이 일정하게 나타나는지 확인하기 위하여 표준물질을 ppm 별로 조제하여 florisil column chromatography를 수행하였다. 이를 GC/MS 분석하여 이들의 ratio를 확인하여 표준검량선을 작성하였다.

가. Hydrocarbon류의 GC/MS 분석

Hydrocarbon류 표준물질은 palmitic acid에서 유도된 C_{15:0}과 C_{14:1}, stearic acid에서 유도된 C_{17:0}과 C_{16:1} 그리고 oleic acid에서 유도된 C_{17:1}과 C_{16:2}를 0.1~10 ppm 농도의 혼합용액으로 조제하였고 internal standard인 n-eicosane은 4 µg/mg 농도를 함유하도록 혼합하였다. 이들 hydrocarbon류 표준물질 혼합용액을 florisil column chromatography하지 않고 GC/MS 분석하여 각 hydrocarbon류와 internal standard의 ratio를 구하였다.

Florisil column chromatography 시행 전과 후의 hydrocarbon류 표준물질과 internal standard의 ratio 값이 서로 다르게 나타났으며, florisil column chromatography 후에 internal standard인 n-eicosane과의 ratio는 florisil column chromatography 전의 혼합용액보다 약간 낮은 수준을 나타내고 있다. 또한 hydrocarbon류 표준용액은 농도가 높아짐에 따라 직선상으로 비례적으로 증가하였고 이에 따라 함량식을 세웠다(Figure 1-4).

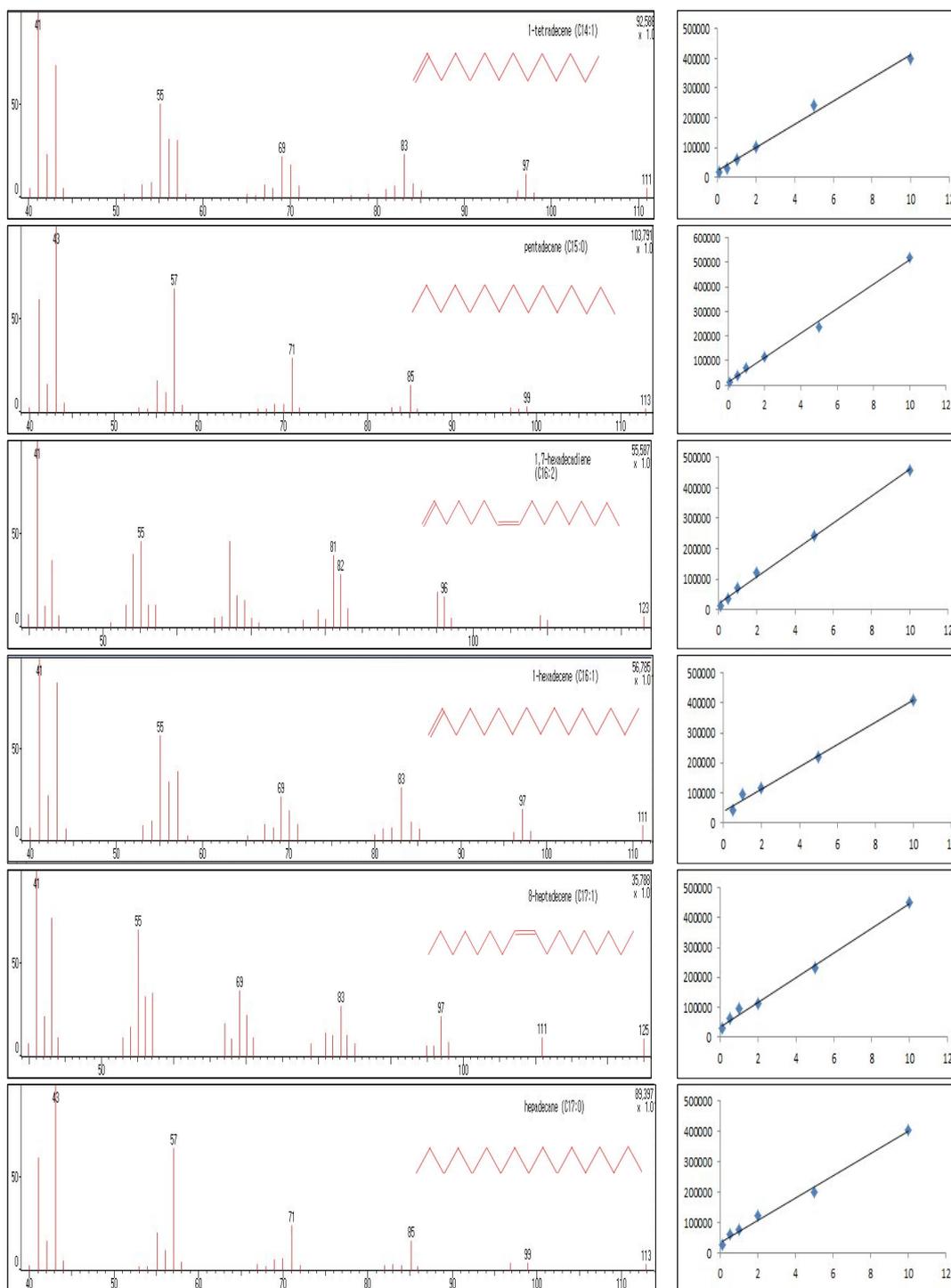


Figure 1-4. Mass spectra and standard curve of authentic hydrocarbons.

나. Hydrocarbon류의 표준검량선 작성 및 회귀분석

방사선 조사에 의해 유도된 hydrocarbon류를 분리하기 위하여 florisil column chromatography 수행 시 hydrocarbon류가 손실되므로 internal standard의 area 비율에 의해 정량된 hydrocarbon류 함량은 특정량의 지방에서 분리된 hydrocarbon류의 실제 함량을 얻기 위해 florisil column chromatography에 의한 분리과정 중 각 hydrocarbon류의 internal standard에 관한 손실 %을 측정할 필요가 있다. 따라서 hydrocarbon류 표준물질 혼합용액을 ppm에 따라 florisil column chromatography하고 이를 확인하여 실제 함량을 측정하는 방법을 제시하였다.

방사선 조사되지 않은 지방 1 g에 hydrocarbon류 표준물질의 농도별 혼합용액을 1 mL 씩 첨가하여 florisil column chromatography를 실행한 후 GC/MS 분석한 결과를 이용하여 hydrocarbon류의 area 값과 internal standard인 4 µg/mg n-eicosane의 area값으로 ratio를 계산하였다. Linear regression equation은 아래와 같다(Table 1-14).

$$y = a\chi + b$$

(y : Area ratio of hydrocarbons/I.S., χ : Concentration of hydrocarbons,
a : Coefficient 1, b : Coefficient 2)

Florisil column chromatography하여 분리된 hydrocarbon류 표준물질의 regression 상수(r^2)가 모두 0.98 이상으로 농도에 따라 직선상으로 증가하여 재현성이 높게 나타났다. 이들 linear equation을 이용하여 방사선 조사된 식품에서 유도된 hydrocarbon류와 internal standard와의 ratio를 구하여 실험 오차값 등을 고려한 생성량을 확인할 수 있었다.

Table 1-14. Parameters of regression analysis of hydrocarbons standard

Hydrocarbons	Linear regression equation	$r^{2\ 1)}$
C _{14:1}	$y^{2)} = 39080x^{3)} + 20105$	0.992
C _{15:0}	$y = 50030x + 9394.1$	0.994
C _{16:1}	$y = 37238x + 39214$	0.984
C _{16:2}	$y = 44328x + 19658$	0.996
C _{17:0}	$y = 36314x + 36939$	0.988
C _{17:1}	$y = 41254x + 35174$	0.993

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)

제 3 장 결과 및 고찰

제 1 절 식품조사에 의한 육가공품의 주요 지방분해산물 분석

방사선 조사에 의해 유리지방산이나 triglyceride로부터 유도된 C_{n-1} hydrocarbon 류와 C_{n-2} hydrocarbon류는 식품조사에 의한 특이적 분해산물로서 식품조사시 지방의 전형적인 분해패턴에 의해 생성된다(52).

육류의 경우 문제가 되고 있는 *E.coli* O157:H7, *Salmonella*, *Clostridium perfringens*와 같은 병원성 미생물의 대부분은 5 kGy 선량 조사에 의해 사멸이 가능하며, 식품조사는 포장이 완료된 후에도 조사처리가 가능하기 때문에 2차 오염 없이 유통될 수 있는 장점이 있다(95). 미국에서는 1993년과 1997년 *E.coli* O157:H7군에 의한 식중독 발생이후 *E.coli* O157:H7의 살균을 위해 냉장·냉동 비가열처리 식육, 식육부산물, 특정 식육제품에 방사선조사를 허가하였으며(96) 신선육의 경우 3.0~4.5 kGy, 냉동육의 경우 7.0 kGy까지 최대 방사선 조사량으로 허가하고 있다(97). 이에 국내 유통되는 육가공품에 감마선 및 전자선을 1, 3, 5, 7 및 10 kGy의 선량으로 조사시켜 유도되는 hydrocarbon류의 함량과 조사선량과의 상관관계 그리고 조사선중에 따른 차이점 및 조사유무 marker를 확인하고자 하였다.

Table 1-15. Crude fat content of the sample

	시료명	조지방 (%)
육가공품	햄	23.12
	베이컨	26.23
	비엔나 소시지	22.8
	육포	2.31

1. 햄

가. 감마선

햄의 감마선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류를 분리, 분석하여 비조사 시료 및 10 kGy 조사된 시료의 chromatogram을 Figure 1-5에, 그리고 조사선량에 따른 생성량과 변화를 Table 1-16과 Figure 1-6에 나타내었다.

햄에 감마선 조사에 의해 함유된 지방산에서 유도되는 hydrocarbon류가 1, 3, 5, 7 및 1 kGy의 모든 선량에서 확인되었으며 조사 선량에 따라 증가하였다.

햄에서 유도된 hydrocarbon류는 동일 선량으로 조사되었을지라도 hydrocarbon류 함량이 각각 다르게 동정되었다. 이는 햄의 지방산 조성차이에 의한 것이라 여겨진다.

햄에는 oleic acid, palmitic acid, stearic acid, linoleic acid의 순으로 지방산이 함유되어 있어서 감마선 조사에 의해 hydrocarbon는 1-tetradecene($C_{14:1}$), pentadecane($C_{15:0}$), 1-hexadecene($C_{16:1}$), heptadecane($C_{17:0}$), 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene($C_{17:1}$)이 비조사 시료에서는 검출되지 않았으며, 1 kGy 이상의 선량으로 조사된 시료에서 검출되었음을 확인하였다.

햄의 주요 hydrocarbon류는 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene($C_{17:1}$)과 stearic acid에서 유래한 1-hexadecene($C_{16:1}$)이었다. 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$)는 8-heptadecene($C_{17:1}$)보다 높게 검출되어 C_{n-2} hydrocarbon류의 높은 함량을 확인하였다. Stearic acid로부터 유도된 1-hexadecene($C_{16:1}$)은 heptadecane($C_{17:0}$) 보다 상대적으로 높은 함량을 나타내었다. 감마선 조사된 햄에서 유도된 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene($C_{17:1}$)과 1-hexadecene($C_{16:1}$)이 모든 시료에서 가장 많이 확인되어 방사선 조사여부를 판단할 수 있는 마커로 활용 가능할 것으로 사료되며 조사선량과 생성량의 regression 상수(r^2)는 0.94 이상으로 조사선량과 높은 상관성을 나타내었다(Table 1-17).

Table 1-16. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in ham

(µg/g fat)						
kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a				
1	1.15 ^b ± 0.11 ²⁾	1.31 ^b ± 0.1	1.70 ^b ± 0.13	0.48 ^b ± 0.16	0.46 ^a ± 0.12	1.55 ^b ± 0.13
3	1.45 ^b ± 0.15	1.79 ^c ± 0.2	3.08 ^c ± 0.27	0.75 ^b ± 0.17	1.04 ^b ± 0.17	3.14 ^c ± 0.18
5	2.09 ^c ± 0.23	3.15 ^d ± 0.17	5.53 ^d ± 0.35	2.22 ^c ± 0.2	1.78 ^c ± 0.21	3.97 ^d ± 0.28
7	3.11 ^d ± 0.31	4.73 ^e ± 0.24	7.93 ^e ± 0.32	2.69 ^d ± 0.26	2.71 ^d ± 0.26	5.77 ^e ± 0.29
10	3.65 ^e ± 0.30	6.82 ^f ± 0.35	8.79 ^f ± 0.38	3.45 ^e ± 0.25	2.9 ^d ± 0.36	7.1 ^f ± 0.26

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

²⁾ Mean ± Standard deviation (n=3)

Table 1-17. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated ham

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ² ¹⁾
C _{14:1}	$y^{2)} = 1.4191x^{3)} - 0.9952$	0.95
C _{16:2}	$y = 1.088x - 1.0323$	0.96
C _{17:1}	$y = 1.9429x - 2.4832$	0.94

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons (µg/g fat)

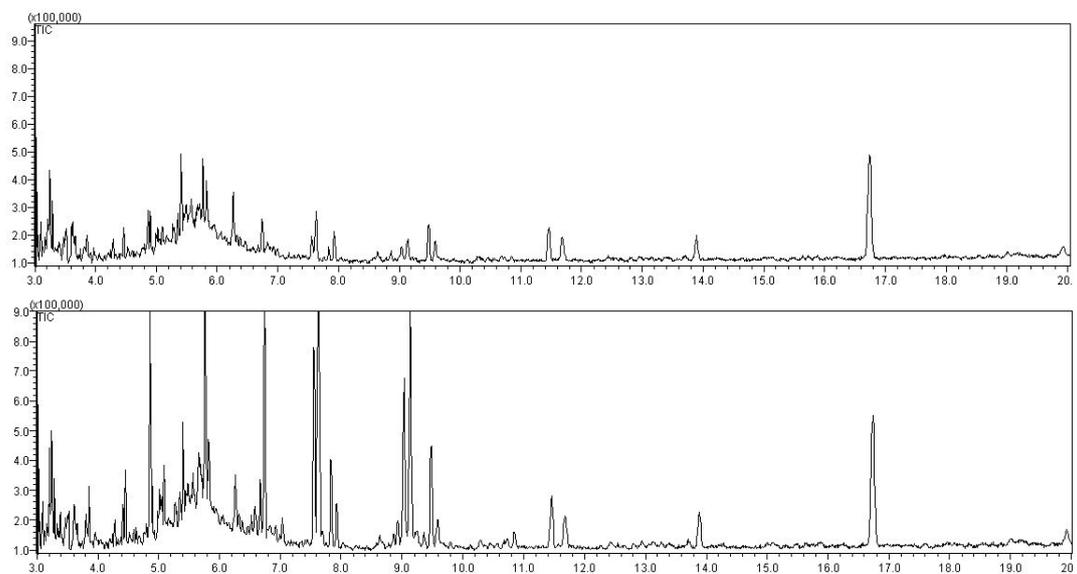


Figure 1-5. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons from non- and 10 kGy irradiated ham.

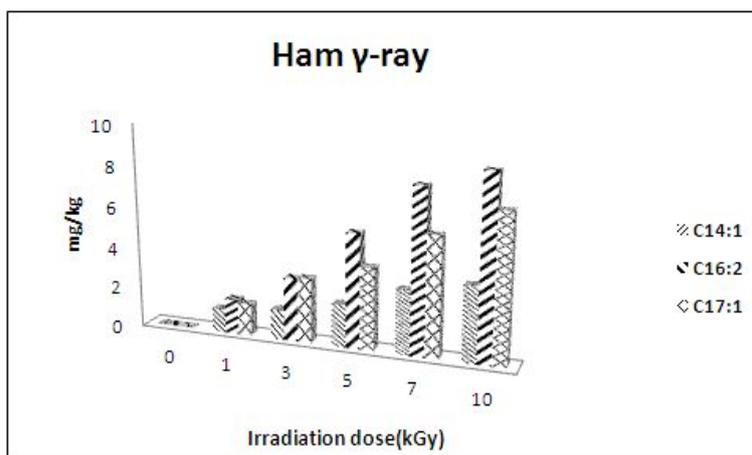


Figure 1-6. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated ham.

나. 전자선

전자선 조사된 햄의 hydrocarbon류를 분리, 분석하여 비조사 시료 및 10 kGy 조사된 시료의 chromatogram을 Figure 1-7에, 그리고 조사선량에 따른 생성량과 변화를 Table 1-18과 Figure 1-8에 나타내었다.

전자선 조사에 의해 햄에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였으며 동일 선량으로 조사되었을지라도 hydrocarbon류 함량이 각각 다르게 동정되어 감마선과 같은 결과를 보였다.

햄에 전자선 조사로 유도된 hydrocarbon류 중 oleic acid에서 유도된 C_{n-1} 화합물인 8-heptadecene보다 C_{n-2} 화합물인 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$)인 높은 함량을 나타내었으며, Stearic acid로부터 유도된 heptadecane($C_{17:0}$)은 1-hexadecene($C_{16:1}$)와 비슷한 함량을 나타내었다. Palmitic acid로부터 유도된 hydrocarbon인 pentadecane($C_{15:0}$)은 1-tetradecene($C_{14:1}$)보다 더 높게 검출되어 C_{n-1} hydrocarbon류의 높은 생성률을 확인하였다. Linoleic acid로부터 유도된 6,9-Heptadecadiene($C_{17:2}$)와 1,7,10-Hexadecatriene($C_{16:3}$)은 지방산 분석에서 낮은 함량으로 확인되어 동정되지 못하였다.

전자선 조사된 햄의 hydrocarbon류인 1-tetradecene($C_{14:1}$), pentadecane($C_{15:0}$), 1-hexadecene($C_{16:1}$), heptadecane($C_{17:0}$), 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene($C_{17:1}$)는 1 kGy 이상의 선량으로 조사된 시료에서 검출되었으며, 비조사 시료에서는 검출되지 않았다.

전자선 조사된 햄에서 생성된 hydrocarbon류의 함량은 조사선량에 따라 증가하였다. 특히 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene($C_{17:1}$)과 stearic acid에서 유래한 1-hexadecene($C_{16:1}$)이 모든 시료에서 가장 많이 확인되어 햄의 주요 hydrocarbon류로서 전자선 조사여부를 판단할 수 있는 판별마커로 활용 가능할 것으로 사료되며 조사선량과 생성량의 regression 상수(r^2)는 0.95 이상으로 조사선량과 높은 상관성을 나타내었다(Table 1-19).

Table 1-18. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in ham

(µg/g fat)

kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^{a 1)}	0 ^a				
1	1.11 ^b ± 0.08 ²⁾	1.94 ^b ± 0.18	1.72 ^b ± 0.19	0.52 ^b ± 0.1	0.77 ^b ± 0.19	1.85 ^b ± 0.16
3	1.79 ^c ± 0.18	2.41 ^c ± 0.19	3.11 ^c ± 0.23	1.07 ^c ± 0.16	1.36 ^c ± 0.15	2.09 ^b ± 0.18
5	2.75 ^d ± 0.19	3.13 ^d ± 0.18	5.37 ^d ± 0.28	1.56 ^c ± 0.22	1.97 ^d ± 0.29	3.87 ^c ± 0.22
7	3.89 ^e ± 0.21	3.97 ^c ± 0.23	7.69 ^e ± 0.31	2.34 ^d ± 0.28	2.94 ^e ± 0.28	5.14 ^d ± 0.29
10	4.58 ^f ± 0.33	7.60 ^f ± 0.3	8.77 ^f ± 0.39	4.95 ^e ± 0.35	4.01 ^f ± 0.37	7.56 ^e ± 0.32

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

²⁾ Mean±Standard deviation (n=3)

Table 1-19. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated ham

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ²¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 1.5865x ³⁾ - 1.9539	0.97
C _{16:2}	y = 0.7245x - 0.8033	0.95
C _{17:1}	y = 1.582x - 0.4733	0.88

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons (µg/g fat)

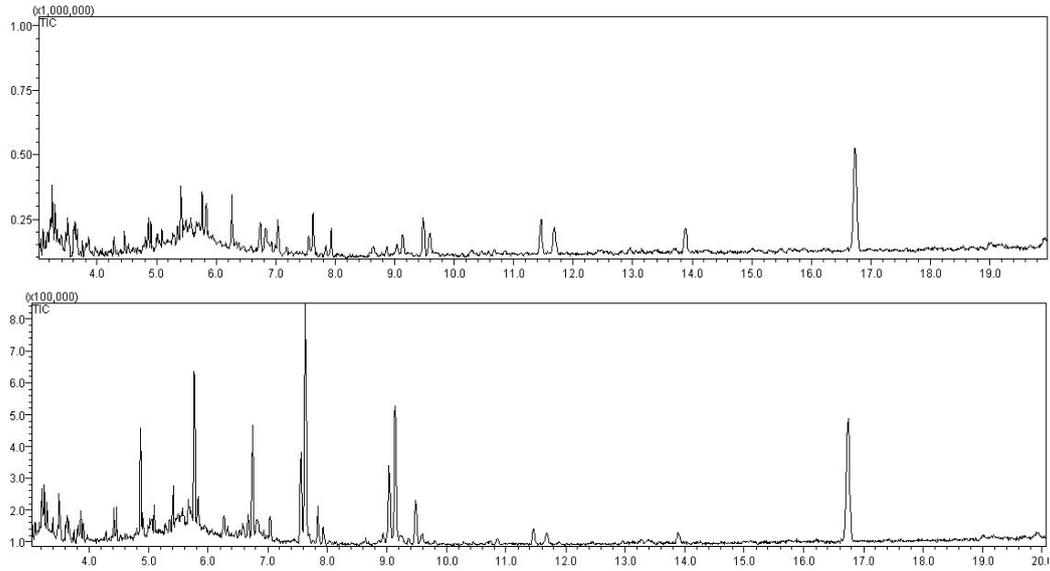


Figure 1-7. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated ham.

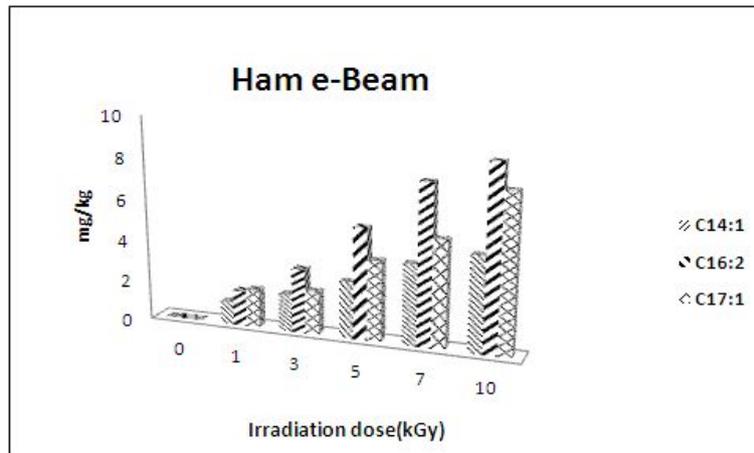


Figure 1-8. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated ham.

2. 소시지

가. 감마선

소시지의 주요 지방산은 oleic acid, palmitic acid, stearic acid의 순으로 함유되어 있으며 hydrocarbon류의 생성을 확인하기 위하여 감마선을 1, 3, 5, 7, 및 10 kGy의 선량으로 조사 후 분리, 분석하여 비조사 시료와 10 kGy 조사된 시료의 chromatogram을 Figure 1-9에, 그리고 조사선량에 따른 생성량과 변화를 Table 1-20과 Figure 1-10에 나타내었다.

감마선 조사된 소시지에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였다. 감마선 조사된 소시지의 hydrocarbon류인 1-tetradecene(C_{14:1}), pentadecane(C_{15:0}), 1-hexadecene(C_{16:1}), heptadecane(C_{17:0}), 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}), 8-heptadecene(C_{17:1})는 1 kGy 이상의 선량으로 조사된 시료에서 검출되었으며, 비조사 시료에서는 검출되지 않았다. 소시지의 주요 hydrocarbon류는 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}), 8-heptadecene(C_{17:1})과 palmitic acid에서 유래한 1-tetradecene(C_{14:1}) 그리고 stearic acid에서 유래한 1-hexadecene(C_{16:1})이었다. 1,7-hexadecadiene(C_{16:2})는 8-heptadecene(C_{17:1})보다 높게 검출되어 C_{n-2}hydrocarbon류의 높은 함량을 확인하였다. Stearic acid로부터 유도된 1-hexadecene(C_{16:1})은 heptadecane(C_{17:0}) 보다 상대적으로 높은 함량을 나타내어 oleic acid와 같은 결과를 보였다. Palmitic acid로부터 유도된 1-tetradecene(C_{14:1})이 pentadecane(C_{15:0})보다 낮게 검출되어 C_{n-1} hydrocarbon류의 높은 생성률을 확인하였다. 감마선 조사된 햄에서 유도된 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}), 8-heptadecene(C_{17:1})과 1-hexadecene(C_{16:1}) 그리고 1-tetradecene(C_{14:1})이 모든 시료에서 가장 많이 확인되어 방사선 조사여부를 판단할 수 있는 검지마커로 활용 가능할 것으로 사료되며 조사선량과 생성량의 regression 상수(r^2)는 0.90 이상으로 조사선량과 높은 상관성을 나타내었다(Table 1-21).

Table 1-20. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in sausage
($\mu\text{g/g}$ fat)

kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
1	1.08 ^b \pm 0.09 ²⁾	1.33 ^b \pm 0.12	1.75 ^b \pm 0.09	0.48 ^b \pm 0.08	0.55 ^b \pm 0.1	1.38 ^b \pm 0.07
3	1.81 ^c \pm 0.18	1.47 ^b \pm 0.18	3.13 ^c \pm 0.23	1.06 ^c \pm 0.16	0.80 ^b \pm 0.14	2.92 ^c \pm 0.18
5	2.59 ^d \pm 0.22	2.68 ^c \pm 0.24	5.38 ^d \pm 0.28	2.22 ^d \pm 0.23	1.56 ^c \pm 0.18	3.95 ^d \pm 0.24
7	3.28 ^e \pm 0.27	4.66 ^d \pm 0.38	7.75 ^e \pm 0.31	3.04 ^e \pm 0.28	2.57 ^d \pm 0.27	5.80 ^e \pm 0.31
10	5.97 ^f \pm 0.34	5.80 ^e \pm 0.39	10.01 ^f \pm 0.36	5.10 ^f \pm 0.39	3.06 ^e \pm 0.29	8.20 ^f \pm 0.33

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean \pm Standard deviation (n=3)

Table 1-21. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated sausage

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ²¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 1.5865x ³⁾ - 1.9539	0.99
C _{16:2}	y = 0.7245x - 0.8033	0.98
C _{17:1}	y = 1.582x - 0.4733	0.92

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)

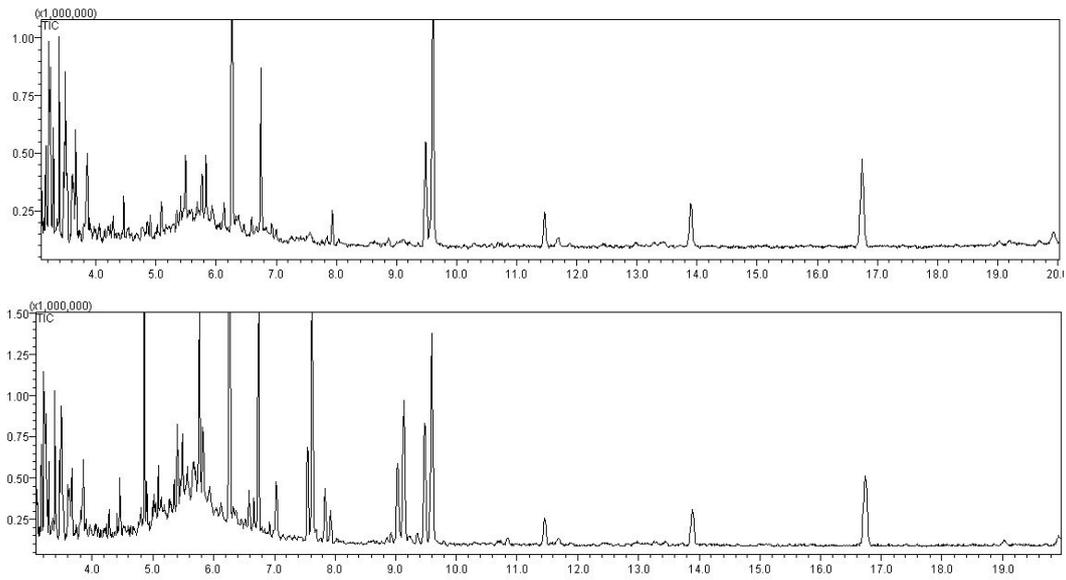


Figure 1-9. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated sausage.

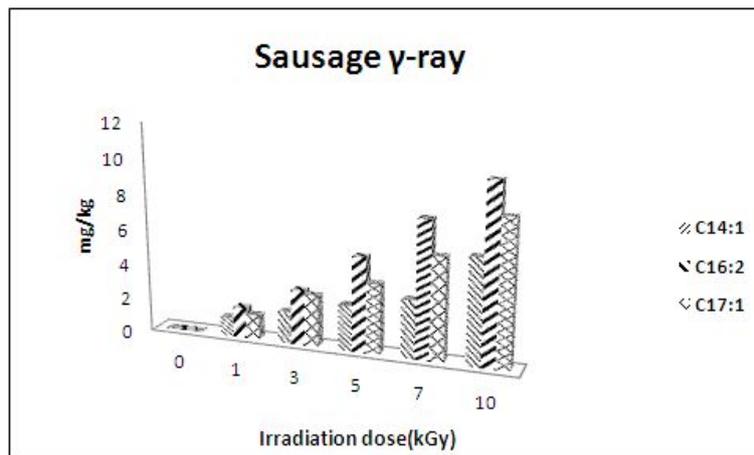


Figure 1-10. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated sausage.

나. 전자선

전자선 조사된 소시지의 hydrocarbon류를 분리, 분석하여 비조사 시료 및 10 kGy 조사된 시료의 chromatogram을 Figure 1-11에, 그리고 조사선량에 따른 생성량과 변화를 Table 1-22과 Figure 1-12에 나타내었다.

전자선 조사된 소시지의 hydrocarbon류인 1-tetradecene($C_{14:1}$), pentadecane($C_{15:0}$), 1-hexadecene($C_{16:1}$), heptadecane($C_{17:0}$), 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene($C_{17:1}$)는 1 kGy 이상의 선량으로 조사된 시료에서 검출되었으며, 비조사 시료에서는 검출되지 않았다. 주요 hydrocarbon류는 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$)과 8-heptadecene($C_{17:1}$)이었으며 특히 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$)는 8-heptadecene($C_{17:1}$)보다 높게 검출되어 C_{n-2} hydrocarbon류의 높은 함량을 확인하였다. Stearic acid로부터 유도된 1-hexadecene($C_{16:1}$)은 heptadecane($C_{17:0}$)보다 높은 함량을 나타내었으며 이는 oleic acid와 유사한 결과를 보였다. Palmitic acid로부터 유도된 pentadecane($C_{15:0}$)은 1-tetradecene($C_{14:1}$)보다 더 높은 생성률을 확인하였다. 전자선 조사된 소시지에서 생성된 hydrocarbon류 중 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene($C_{17:1}$), 1-hexadecene($C_{16:1}$)과 1-tetradecene은 조사선량에 따라 증가하였으며 모든 시료에서 가장 많이 확인되어 방사선 조사여부를 판단할 수 있는 검지마커로 활용 가능할 것으로 사료되며 조사선량과 생성량의 regression 상수(r^2)는 0.96이상으로 조사선량과 높은 상관성을 나타내었다(Table 1-23).

Table 1-22. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in sausage
($\mu\text{g/g}$ fat)

kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
1	1.11 ^b \pm 0.08 ²⁾	1.02 ^b \pm 0.12	1.70 ^b \pm 0.13	0.53 ^a \pm 0.11	0.61 ^b \pm 0.16	1.87 ^b \pm 0.12
3	1.93 ^c \pm 0.19	2.35 ^c \pm 0.21	3.11 ^c \pm 0.23	1.21 ^b \pm 0.26	0.87 ^b \pm 0.18	2.07 ^b \pm 0.24
5	2.61 ^d \pm 0.21	4.06 ^d \pm 0.17	6.34 ^d \pm 0.21	2.00 ^c \pm 0.23	1.61 ^c \pm 0.17	5.85 ^c \pm 0.26
7	3.84 ^e \pm 0.29	5.98 ^e \pm 0.22	8.12 ^e \pm 0.23	3.40 ^d \pm 0.28	1.95 ^c \pm 0.23	6.10 ^c \pm 0.23
10	5.96 ^f \pm 0.34	7.78 ^f \pm 0.3	10.34 ^f \pm 0.41	5.94 ^e \pm 0.34	2.99 ^d \pm 0.32	8.58 ^d \pm 0.34

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean \pm Standard deviation (n=3)

Table 1-23. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated sausage

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ²¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 1.5865x ³⁾ - 1.9539	0.97
C _{16:2}	y = 0.7245x - 0.8033	0.95
C _{17:1}	y = 1.582x - 0.4733	0.88

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)

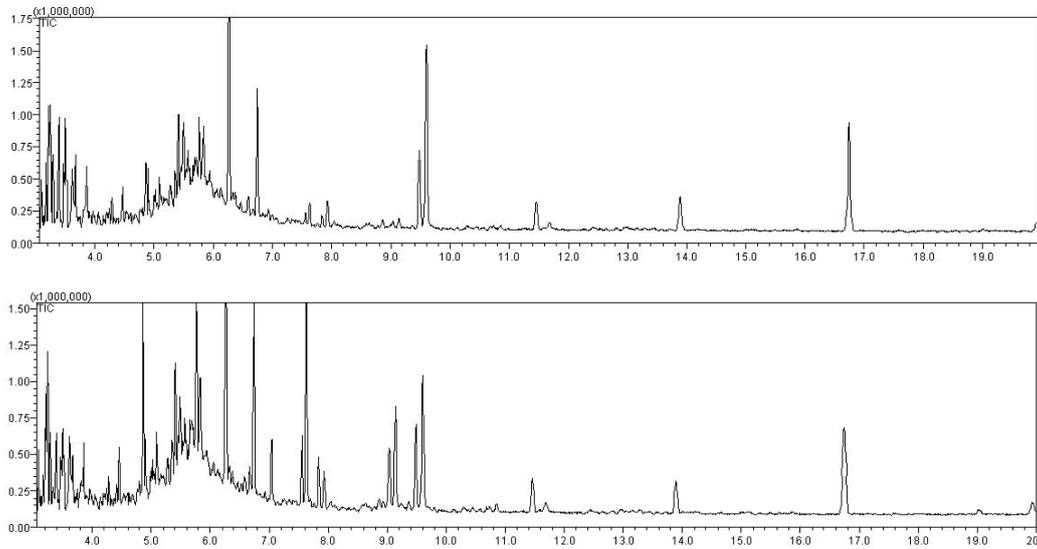


Figure 1-11. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non-10 kGy irradiated sausage.

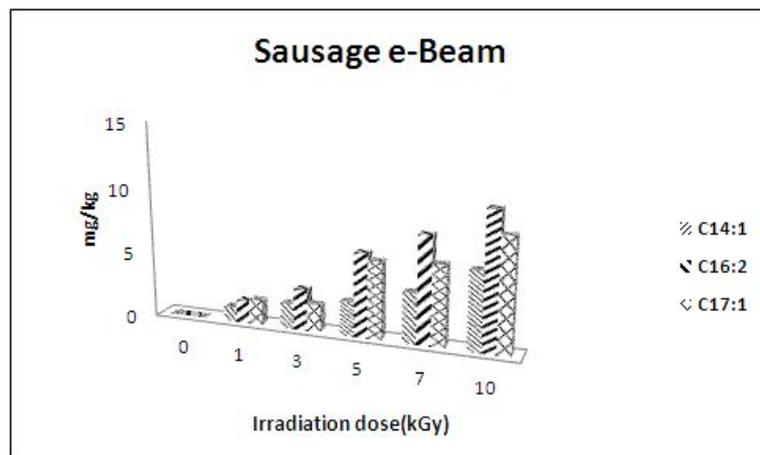


Figure 1-12. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated sausage.

3. 베이컨

가. 감마선

베이컨의 주요 지방산은 oleic acid, palmitic acid, stearic acid의 순으로 함유되어 있으며 hydrocarbon류의 생성을 확인하기 위하여 감마선을 1, 3, 5, 7, 및 10 kGy의 선량으로 조사 후 분리, 분석하여 비조사 시료와 10 kGy 조사된 시료의 chromatogram을 Figure 1-13에, 그리고 조사선량에 따른 생성량과 변화를 Table 1-24과 Figure 1-14에 나타내었다.

감마선 조사된 베이컨에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였다. 감마선 조사된 베이컨의 hydrocarbon류인 1-tetradecene(C_{14:1}), pentadecane(C_{15:0}), 1-hexadecene(C_{16:1}), heptadecane(C_{17:0}), 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}), 8-heptadecene(C_{17:1})는 1 kGy 이상의 선량으로 조사된 시료에서 검출되었으며, 비조사 시료에서는 검출되지 않았다. 베이컨의 주요 hydrocarbon류는 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}), 8-heptadecene(C_{17:1})과 palmitic acid에서 유래한 1-tetradecene(C_{14:1}) 그리고 stearic acid에서 유래한 1-hexadecene(C_{16:1})이었다. Oleic acid로부터 유도된 C_{n-2} hydrocarbon류인 1,7-hexadecadiene(C_{16:2})은 C_{n-1} hydrocarbon류인 8-heptadecene(C_{17:1})보다 높게 검출되어 C_{n-2} hydrocarbon류의 높은 함량을 확인하였다. Stearic acid로부터 유도된 1-hexadecene(C_{16:1})은 heptadecane(C_{17:0}) 보다 상대적으로 낮은 함량을 나타내어 oleic acid와 다른 결과를 보였다. 1-hexadecene(C_{16:1})과 heptadecane(C_{17:0})의 비는 0.76으로 확인되었다. 또한 Palmitic acid로부터 유도된 C_{n-2} hydrocarbon류인 1-tetradecene(C_{14:1})이 C_{n-1} hydrocarbon류인 pentadecane(C_{15:0})보다 낮게 검출되어 C_{n-1} hydrocarbon류의 높은 생성률을 확인하여 stearic acid와 같은 경향을 나타내었다. 감마선 조사된 베이컨에서 유도된 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}), 8-heptadecene(C_{17:1})과 1-hexadecene(C_{16:1}) 그리고 1-tetradecene(C_{14:1})이 모든 시료에서 가장 많이 확인되어 방사선 조사여부를 판단할 수 있는 검지마커로 활용 가능할 것으로 사료되며 조사선량과 생성량의 regression 상수(r^2)는 0.90 이상으로 조사선량과 높은 상관성을 나타내었다(Table 1-25).

Table 1-24. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in bacon

							($\mu\text{g/g fat}$)
kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}	
0	0 ^{a 1)}	0 ^a					
1	0.51 ^b \pm 0.10 ²⁾	1.36 ^b \pm 0.07	1.10 ^b \pm 0.11	0.58 ^b \pm 0.15	0.50 ^b \pm 0.13	1.30 ^b \pm 0.23	
3	0.87 ^b \pm 0.21	1.80 ^b \pm 0.27	2.43 ^c \pm 0.22	1.19 ^c \pm 0.26	1.28 ^c \pm 0.27	1.73 ^c \pm 0.17	
5	1.47 ^c \pm 0.24	3.10 ^c \pm 0.33	4.24 ^d \pm 0.24	1.95 ^d \pm 0.25	1.60 ^c \pm 0.17	2.29 ^d \pm 0.22	
7	2.90 ^d \pm 0.29	3.92 ^d \pm 0.34	5.75 ^e \pm 0.26	2.37 ^d \pm 0.28	3.27 ^d \pm 0.26	4.39 ^e \pm 0.28	
10	4.14 ^e \pm 0.36	6.07 ^e \pm 0.38	6.55 ^f \pm 0.49	3.52 ^e \pm 0.43	6.00 ^e \pm 0.31	7.96 ^f \pm 0.27	

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

²⁾ Mean \pm Standard deviation (n=3)

Table 1-25. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated bacon

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ²¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 0.3902x ³⁾ - 0.4095	0.93
C _{16:2}	y = 0.2256x - 0.3052	0.87
C _{17:1}	y = 0.2292x - 0.3315	0.98

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g fat}$)

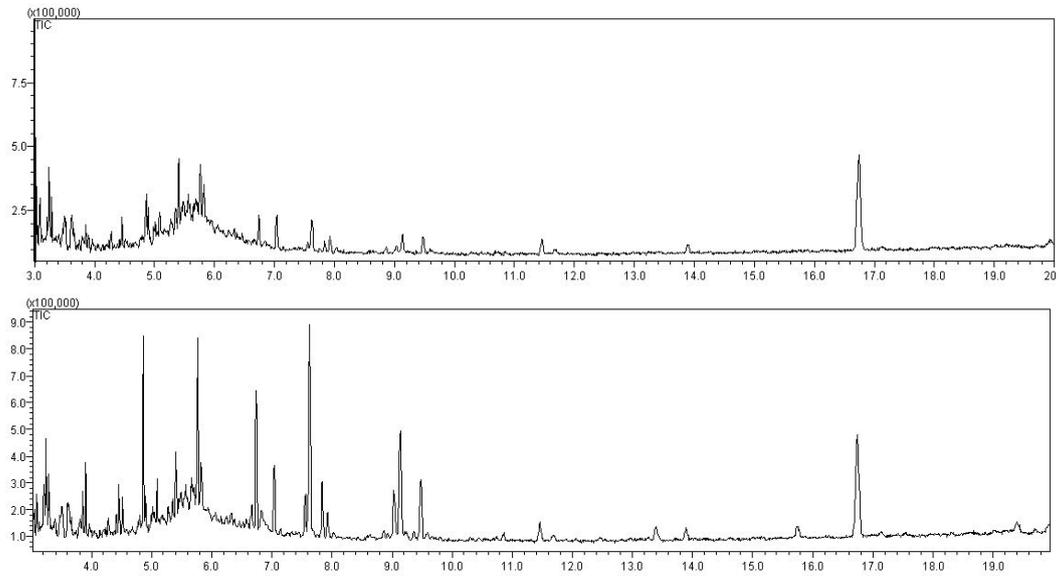


Figure 1-13. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated bacon.

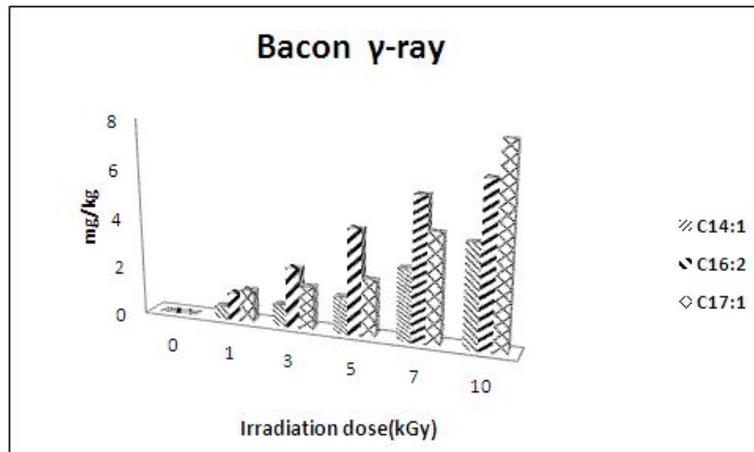


Figure 1-14. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated bacon.

나. 전자선

전자선 조사된 베이컨의 hydrocarbon류의 생성을 확인하기 위하여 전자선을 1, 3, 5, 7, 및 10 kGy의 선량으로 조사 후 분리, 분석하여 비조사 시료와 10 kGy 조사된 시료의 chromatogram을 Figure 1-15에, 그리고 조사선량에 따른 생성량과 변화를 Table 1-26과 Figure 1-16에 나타내었다.

전자선 조사된 베이컨에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였다. 전자선으로 조사된 베이컨에서 생성된 hydrocarbon류인 1-tetradecene($C_{14:1}$), pentadecane($C_{15:0}$), 1-hexadecene($C_{16:1}$), heptadecane($C_{17:0}$), 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene($C_{17:1}$)는 1 kGy 이상의 선량으로 조사된 시료에서 검출되었으며, 비조사 시료에서는 검출되지 않았다.

베이컨의 주요 hydrocarbon류는 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene($C_{17:1}$)과 palmitic acid에서 유래한 1-tetradecene($C_{14:1}$) 그리고 stearic acid에서 유래한 1-hexadecene($C_{16:1}$)이었다. Oleic acid로부터 유도된 C_{n-2} hydrocarbon류인 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$)과 C_{n-1} hydrocarbon류인 8-heptadecene($C_{17:1}$)의 비는 1.88으로 확인되었다. Stearic acid로부터 유도된 C_{n-2} hydrocarbon류인 1-hexadecene($C_{16:1}$)은 C_{n-1} hydrocarbon류인 heptadecane($C_{17:0}$)보다 상대적으로 낮은 함량을 나타내어 oleic acid와 다른 결과를 보였다. 또한 Palmitic acid로부터 유도된 C_{n-2} hydrocarbon류인 1-tetradecene($C_{14:1}$)이 C_{n-1} hydrocarbon류인 pentadecane($C_{15:0}$)보다 낮게 검출되어 C_{n-1} hydrocarbon류의 높은 생성률을 확인하여 stearic acid와 같은 경향을 나타내었다. 전자선 조사된 베이컨에서 유도된 hydrocarbon류 중 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene($C_{17:1}$), 1-hexadecene($C_{16:1}$) 그리고 1-tetradecene($C_{14:1}$)은 모든 시료에서 가장 많이 확인되어 방사선 조사여부를 판단할 수 있는 검지마커로 활용 가능할 것으로 사료되며 조사선량과 생성량의 regression 상수(r^2)는 0.90 이상으로 조사선량과 높은 상관성을 나타내었다(Table 1-27).

Table 1-26. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in bacon

(µg/g fat)						
kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^{a 1)}	0 ^a				
1	1.04 ^b ± 0.16 ²⁾	0.37 ^a ± 0.16	1.33 ^b ± 0.11	0.45 ^b ± 0.14	0.70 ^b ± 0.15	0.36 ^a ± 0.13
3	1.16 ^b ± 0.18	1.61 ^b ± 0.19	2.58 ^c ± 0.25	0.77 ^b ± 0.21	1.55 ^c ± 0.17	1.59 ^b ± 0.18
5	2.45 ^c ± 0.23	3.75 ^c ± 0.25	5.03 ^d ± 0.29	1.76 ^c ± 0.24	2.84 ^d ± 0.26	3.86 ^c ± 0.25
7	2.68 ^c ± 0.28	5.17 ^d ± 0.28	5.58 ^e ± 0.35	2.98 ^d ± 0.31	3.09 ^d ± 0.23	5.09 ^d ± 0.28
10	4.3 ^d ± 0.33	8.04 ^e ± 0.36	7.38 ^f ± 0.38	3.92 ^e ± 0.39	4.14 ^e ± 0.35	7.73 ^e ± 0.36

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean±Standard deviation (n=3)

Table 1-27. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated bacon

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ²¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 0.3902x ³⁾ - 0.4095	0.95
C _{16:2}	y = 0.2256x - 0.3052	0.95
C _{17:1}	y = 0.2292x - 0.3315	0.84

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons (µg/g fat)

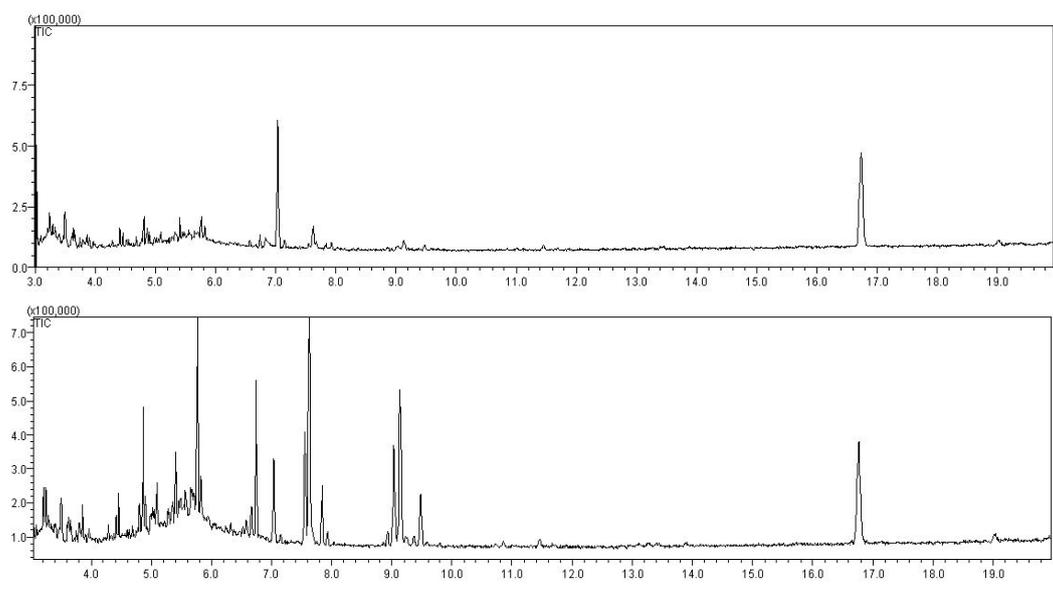


Figure 1-15. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated bacon.

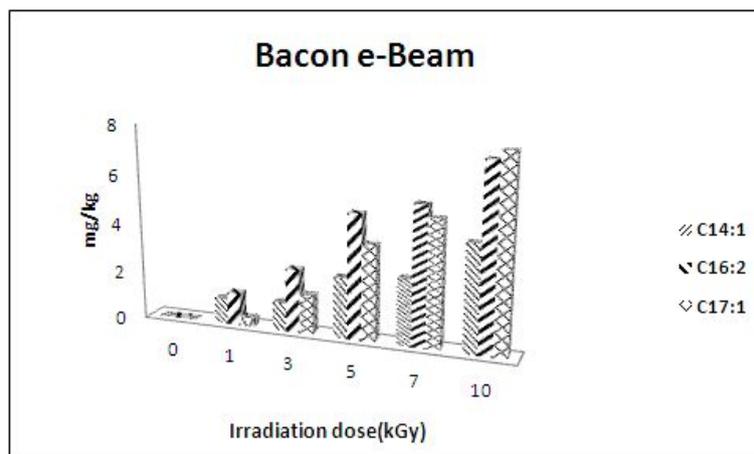


Figure 1-16. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated bacon.

4. 육포

가. 감마선

감마선을 1, 3, 5, 7 및 10 kGy의 선량으로 육포에 조사하여 hydrocarbon류의 생성량을 확인하였다. 비조사 시료와 10 kGy의 선량으로 조사된 시료 각각의 chromatogram은 Figure 1-17에 나타내었고 생성된 hydrocarbon류와 생성량은 Figure 1-18과 Table 1-28에 나타내었다. 감마선 조사에 의해 육포에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였으며 동일 선량으로 조사되었을지라도 hydrocarbon류 함량이 각각 다르게 동정되었으며 이는 육포의 지방산 조성차이에 의한 것이라 여겨진다.

감마선 조사된 육포의 hydrocarbon류인 1-tetradecene ($C_{14:1}$), pentadecane ($C_{15:0}$), 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$), 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$)는 조사된 시료의 모든 선량에서 확인 되었다. 이는 황의 연구에서 육류에 감마선을 조사하여 얻은 지방산 분해산물과 같은 결과를 나타내었다(98).

육포의 주요 hydrocarbon류는 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)과 8-heptadecene ($C_{17:1}$)이었으며 C_{n-1} hydrocarbon류 보다 C_{n-2} hydrocarbon류가 높은 함량을 나타내었다. Stearic acid로부터 유도된 hydrocarbon류인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$) 또한 C_{n-2} hydrocarbon류의 높은 생성률을 확인하였다. Palmitic acid에서 유도된 hydrocarbon류는 1-tetradecene ($C_{14:1}$) 및 pentadecane ($C_{15:0}$)으로 C_{n-2} 보다 C_{n-1} 화합물이 높은 함량을 보였다.

육포의 지방산 조성 중 가장 높은 함량을 차지하고 있는 oleic acid로부터 감마선 조사에 의해 생성된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)은 모든 선량에서 다른 hydrocarbon류 보다 높게 확인되었다. Stearic acid로부터 유도된 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$) 또한 모지방산인 stearic acid가 육포의 지방에 다량 함유되어 있는 것에 기인하여 높은 함량이 확인되었으며 C_{n-2} 화합물인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 C_{n-1} 화합물인 heptadecane ($C_{17:0}$)보다 비교적 높은 함량을 차지하여 oleic acid와 비슷한 경향을 보였다. 감마선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류의 양적 차이는 육포의 지방산 조성과 감마선 조사선량에 따른 것으로 사료된다. 감마선 조사된 육포에

서 생성된 hydrocarbon류의 함량은 조사선량에 따라 증가하였으며 특히 육포의 주된 지방산인 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene (C_{16:2})과 stearic acid에서 유도된 1-hexadecene (C_{16:1})이 모든 선량에서 가장 많이 확인되어 감마선 조사여부를 판단할 수 있는 판별 마커로 이용될 수 있을 것으로 사료된다(Table 1-29).

Table 1-28. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in beef jerky
($\mu\text{g/g}$ fat)

kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a				
1	1.05 ^b \pm 0.14 ²⁾	1.33 ^b \pm 0.11	1.12 ^b \pm 0.12	0.51 ^b \pm 0.1	0.15 ^a \pm 0.08	1.01 ^b \pm 0.12
3	1.71 ^c \pm 0.19	2.59 ^c \pm 0.22	2.32 ^c \pm 0.22	1.05 ^c \pm 0.17	0.44 ^a \pm 0.23	1.52 ^c \pm 0.13
5	3.02 ^d \pm 0.22	4.09 ^d \pm 0.23	3.53 ^d \pm 0.24	1.81 ^d \pm 0.24	1.60 ^b \pm 0.28	2.85 ^d \pm 0.18
7	3.62 ^d \pm 0.28	4.48 ^d \pm 0.29	5.00 ^e \pm 0.32	2.29 ^e \pm 0.27	2.55 ^c \pm 0.31	4.44 ^e \pm 0.25
10	4.57 ^e \pm 0.34	6.04 ^e \pm 0.33	5.68 ^f \pm 0.39	3.47 ^f \pm 0.38	3.32 ^d \pm 0.35	7.01 ^f \pm 0.36

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean \pm Standard deviation (n=3)

Table 1-29. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in gamma irradiated

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ² ¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 0.3902x ³⁾ - 0.4095	0.93
C _{16:2}	y = 0.2256x - 0.3052	0.87
C _{17:1}	y = 0.2292x - 0.3315	0.98

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)

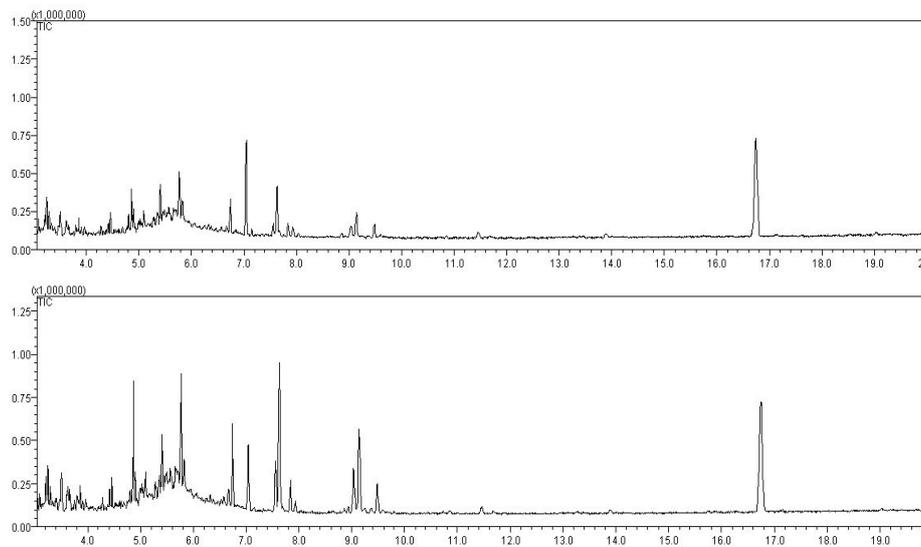


Figure 1-17. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated beef jerky.

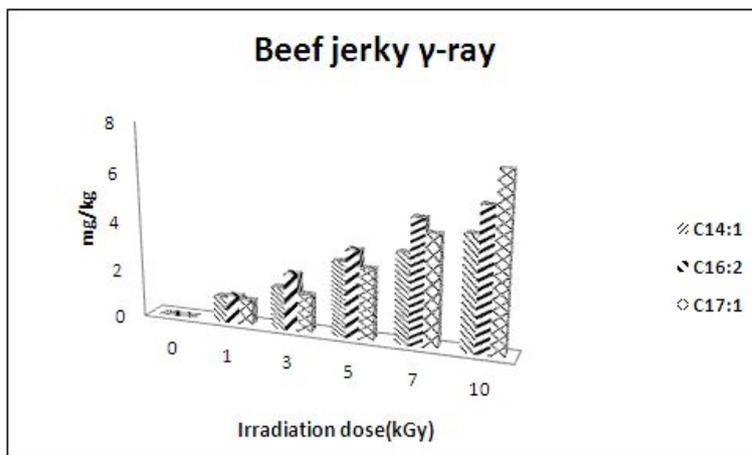


Figure 1-18. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated beef jerky.

나. 전자선

전자선을 1, 3, 5, 7 및 10 kGy의 선량으로 조사하여 hydrocarbon류의 생성량을 확인하였다. 비조사 시료와 10 kGy의 선량으로 조사된 시료 각각의 chromatogram은 Figure 1-19에 나타내었고 생성된 hydrocarbon류와 생성량은 Figure 1-20과 Table 1-30에 나타내었다. 육포에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였으며 육포의 지방산 조성차이에 의해 동일선량일지라도 hydrocarbon류의 함량이 다르게 동정되었다.

전자선 조사된 육포의 hydrocarbon류인 1-tetradecene ($C_{14:1}$), pentadecane ($C_{15:0}$), 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$), 1-hexadecene ($C_{16:1}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$)는 전자선을 조사한 시료의 모든 선량에서 확인 되었다. 이는 이의 소고기, 돼지고기, 닭고기의 연구와 같은 결과를 보였다(99).

육포의 주요 hydrocarbon류는 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)과 8-heptadecene ($C_{17:1}$)이었다. C_{n-1} hydrocarbon류 보다 C_{n-2} hydrocarbon류가 더 높은 함량을 나타내어 감마선 조사한 육포와 같은 결과를 나타내었다. Stearic acid로부터 유도된 hydrocarbon류인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$) 역시 C_{n-2} hydrocarbon류의 높은 생성률을 확인하였다. Palmitic acid에서 유도된 hydrocarbon류는 1-tetradecene ($C_{14:1}$) 및 pentadecane ($C_{15:0}$)으로 C_{n-2} 보다 C_{n-1} 화합물이 높은 함량을 나타내었고, 조사선량에 따라 증가하였다.

육포의 전자선 조사에 의해 생성된 주요 hydrocarbon류는 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$), 1-hexadecene($C_{16:1}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$) 및 1-tetradecene($C_{14:1}$)으로 0, 1, 3, 5, 7 및 10 kGy로 전자선 조사시킨 육포에서 화학적 판별법인 hydrocarbon류를 이용한 GC/MS 분석법이 적용 가능하였다(Table 1-31).

Table 1-30. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in beef jerky
($\mu\text{g/g}$ fat)

kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a				
1	0.43 ^b \pm 0.12 ²⁾	0.63 ^a \pm 0.12	1.27 ^b \pm 0.12	0.48 ^b \pm 0.12	0.69 ^b \pm 0.17	1.08 ^b \pm 0.14
3	1.06 ^c \pm 0.18	2.00 ^b \pm 0.29	2.47 ^c \pm 0.15	0.54 ^b \pm 0.14	0.99 ^b \pm 0.22	1.49 ^c \pm 0.17
5	1.46 ^d \pm 0.26	2.72 ^c \pm 0.27	4.00 ^d \pm 0.24	1.20 ^c \pm 0.24	1.60 ^c \pm 0.28	2.84 ^d \pm 0.18
7	2.04 ^e \pm 0.28	3.12 ^c \pm 0.23	4.35 ^d \pm 0.26	2.06 ^d \pm 0.28	2.39 ^d \pm 0.25	4.22 ^e \pm 0.26
10	4.07 ^f \pm 0.33	5.14 ^d \pm 0.36	7.43 ^e \pm 0.37	3.24 ^e \pm 0.45	4.07 ^e \pm 0.32	6.48 ^f \pm 0.38

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean \pm Standard deviation (n=3)

Table 1-31. Parameters of regression analysis of hydrocarbons beef jerky

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ² ¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 0.3902x ³⁾ - 0.4095	0.95
C _{16:2}	y = 0.2256x - 0.3052	0.95
C _{17:1}	y = 0.2292x - 0.3315	0.84

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)

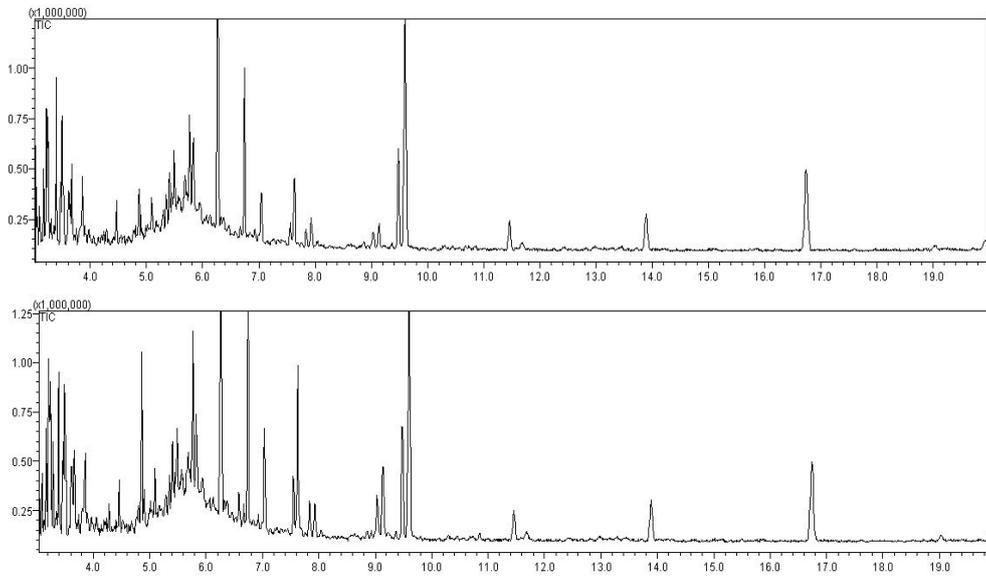


Figure 1-19. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated beef jerky.

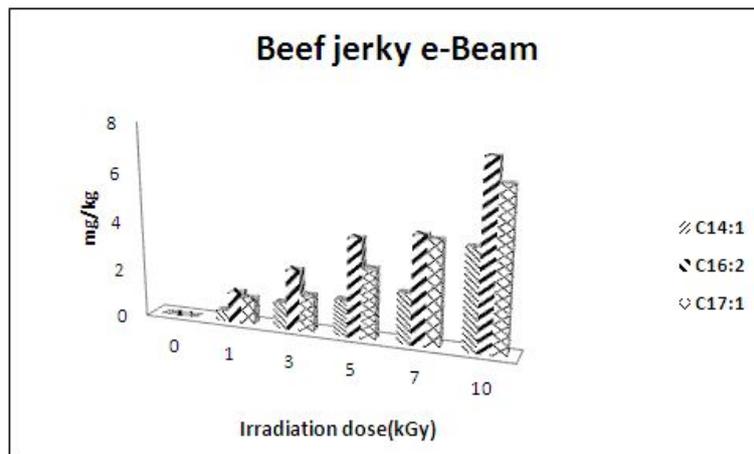


Figure 1-20. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated beef jerky.

제 2 절 식품조사에 의한 유가공품의 주요 지방분해산물 분석

1. 자연치즈

가. 감마선

감마선을 1, 3, 5, 7 및 10 kGy의 선량으로 자연치즈에 조사하여 hydrocarbon류의 생성량을 확인하였다. 비조사 시료와 10 kGy의 선량으로 조사된 시료 각각의 chromatogram은 Figure 1-21에 나타내었고 생성된 hydrocarbon류와 생성량은 Figure 1-22과 Table 1-32에 나타내었다. 감마선 조사에 의해 자연치즈에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였으며 동일 선량으로 조사되었을지라도 hydrocarbon류 함량이 각각 다르게 동정되었으며 이는 자연치즈의 지방산 조성차이에 의한 것이라 여겨진다.

감마선 조사된 자연치즈의 hydrocarbon류인 1-tetradecene ($C_{14:1}$), pentadecane ($C_{15:0}$), 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$), 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$)는 조사된 시료의 모든 선량에서 확인되었다.

자연치즈의 주요 hydrocarbon류는 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)과 8-heptadecene ($C_{17:1}$)이었으며 C_{n-1} hydrocarbon류 보다 C_{n-2} hydrocarbon류가 높은 함량을 나타내었다. Stearic acid로부터 유도된 hydrocarbon류인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$) 또한 C_{n-2} hydrocarbon류의 높은 생성률을 확인하였다. Palmitic acid에서 유도된 hydrocarbon류는 1-tetradecene ($C_{14:1}$) 및 pentadecane ($C_{15:0}$)으로 C_{n-2} 보다 C_{n-1} 화합물이 높은 함량을 보였다.

자연치즈의 지방산 조성 중 가장 높은 함량을 차지하고 있는 oleic acid로부터 감마선 조사에 의해 생성된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)은 모든 선량에서 다른 hydrocarbon류 보다 높게 확인되었다. Stearic acid로부터 유도된 C_{n-2} 화합물인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 C_{n-1} 화합물인 heptadecane ($C_{17:0}$)보다 비교적 높은 함량을 차지하여 oleic acid와 비슷한 경향을 보였다. 감마선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류의 양적 차이는 자연치즈의 지방산 조성과 감마선 조사선량에 따른 것으로 사료된다. 감마선 조사된 자연치즈에서 생성된 hydrocarbon류의 함량은 조사선량에 따

라 증가하였으며 특히 자연치즈의 주된 지방산인 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene (C_{16:2})과 stearic acid에서 유도된 1-hexadecene (C_{16:1})이 모든 선량에서 가장 많이 확인되어 감마선 조사여부를 판단할 수 있는 판별 마커로 이용될 수 있을 것으로 사료된다(Table 1-33).

Table 1-32. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in nature cheese
($\mu\text{g/g}$ fat)

kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a				
1	0.88 ^b \pm 0.07 ²⁾	1.96 ^b \pm 0.09	1.00 ^b \pm 0.12	1.23 ^b \pm 0.08	0.63 ^b \pm 0.09	0.23 ^a \pm 0.08
3	1.20 ^c \pm 0.1	2.15 ^b \pm 0.16	2.20 ^c \pm 0.15	2.39 ^c \pm 0.09	1.20 ^c \pm 0.14	0.71 ^b \pm 0.10
5	2.21 ^d \pm 0.1	3.25 ^c \pm 0.17	3.52 ^d \pm 0.11	3.18 ^d \pm 0.14	1.45 ^d \pm 0.12	0.99 ^c \pm 0.22
7	2.48 ^e \pm 0.13	3.95 ^d \pm 0.16	4.16 ^e \pm 0.16	4.04 ^e \pm 0.18	1.60 ^e \pm 0.11	1.38 ^d \pm 0.14
10	3.47 ^f \pm 0.17	5.15 ^e \pm 0.36	5.25 ^f \pm 0.18	5.00 ^f \pm 0.21	2.79 ^f \pm 0.18	1.97 ^e \pm 0.23

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

²⁾ Mean \pm Standard deviation (n=3)

Table 1-33. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated nature cheese

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ²¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 0.5979x ³⁾ - 0.4099	0.98
C _{16:2}	y = 0.6x - 0.4173	0.99
C _{17:1}	y = 0.3658x - 0.4511	0.98

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)

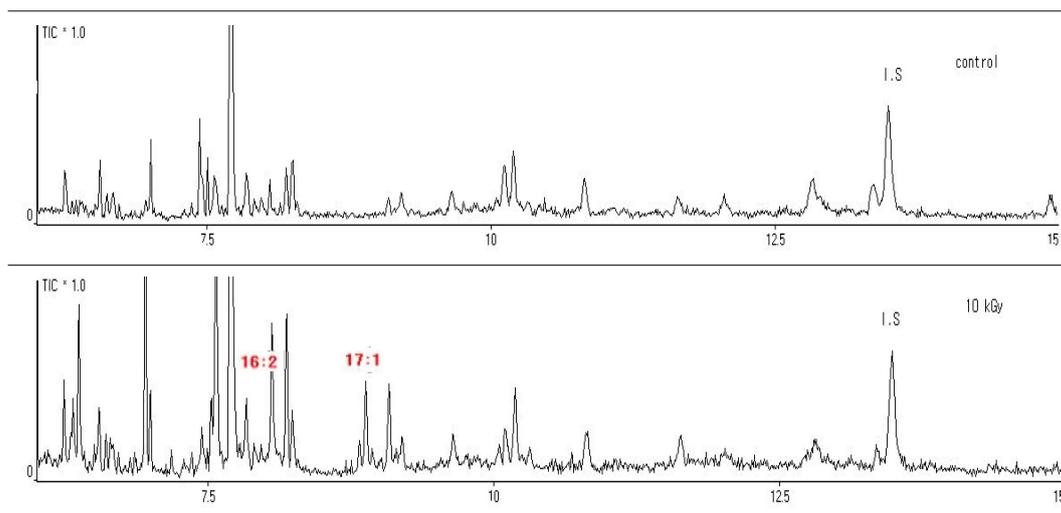


Figure 1-21. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non-10 kGy irradiated nature cheese.

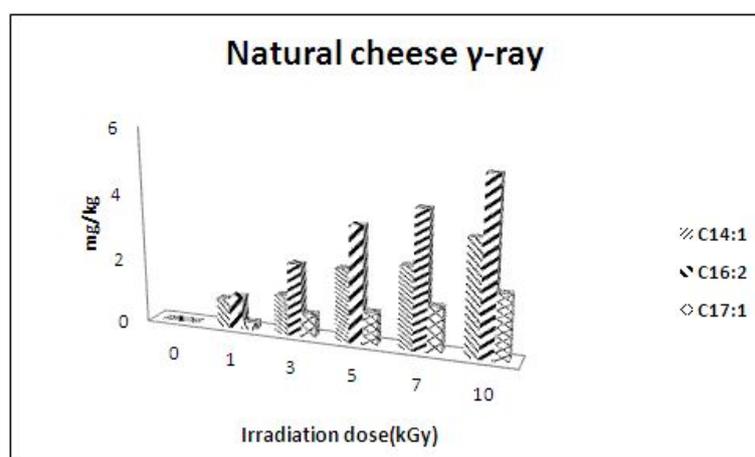


Figure 1-22. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated nature cheese.

나. 전자선

전자선을 1, 3, 5, 7 및 10 kGy의 선량으로 자연치즈에 조사하여 hydrocarbon류의 생성량을 확인하였다. 비조사 시료와 10 kGy의 선량으로 조사된 시료 각각의 chromatogram은 Figure 1-23에 나타내었고 생성된 hydrocarbon류와 생성량은 Figure 1-24과 Table 1-34에 나타내었다. 전자선 조사에 의해 자연치즈에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였다.

전자선 조사된 자연치즈의 hydrocarbon류인 1-tetradecene ($C_{14:1}$), pentadecane ($C_{15:0}$), 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$), 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$)는 조사된 시료의 모든 선량에서 확인 되었다.

자연치즈의 주요 hydrocarbon류는 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)과 8-heptadecene ($C_{17:1}$)이었으며 C_{n-1} hydrocarbon류 보다 C_{n-2} hydrocarbon류가 높은 함량을 나타내었다. Stearic acid로부터 유도된 hydrocarbon류인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$) 또한 C_{n-2} hydrocarbon류의 높은 생성물을 확인하였다. Palmitic acid에서 유도된 hydrocarbon류는 1-tetradecene ($C_{14:1}$) 및 pentadecane ($C_{15:0}$)으로 C_{n-2} 보다 C_{n-1} 화합물이 높은 함량을 보였다.

자연치즈의 지방산 조성 중 가장 높은 함량을 차지하고 있는 oleic acid로부터 전자선 조사에 의해 생성된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)은 모든 선량에서 다른 hydrocarbon류 보다 높게 확인되었다. Stearic acid로부터 유도된 C_{n-2} 화합물인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 C_{n-1} 화합물인 heptadecane ($C_{17:0}$)보다 비교적 높은 함량을 차지하여 oleic acid와 비슷한 경향을 보였다. 전자선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류의 양적 차이는 자연치즈의 지방산 조성과 전자선 조사선량에 따른 것으로 사료된다. 전자선 조사된 자연치즈에서 생성된 hydrocarbon류의 함량은 조사선량에 따라 증가하였으며 특히 자연치즈의 주된 지방산인 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)과 stearic acid에서 유도된 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 모든 선량에서 가장 많이 확인되어 전자선 조사여부를 판단할 수 있는 판별 마커로 이용될 수 있을 것으로 사료된다(Table 1-35).

Table 1-34. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in nature cheese
($\mu\text{g/g}$ fat)

kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^{a 1)}	0 ^a				
1	0.80 ^b \pm 0.09 ²⁾	1.76 ^b \pm 0.14	0.98 ^b \pm 0.12	1.74 ^b \pm 0.1	0.79 ^b \pm 0.04	0.24 ^b \pm 0.08
3	1.51 ^c \pm 0.11	2.89 ^c \pm 0.11	1.42 ^c \pm 0.12	2.45 ^c \pm 0.15	1.20 ^c \pm 0.14	0.67 ^c \pm 0.12
5	2.17 ^d \pm 0.14	3.43 ^d \pm 0.11	1.97 ^d \pm 0.16	2.60 ^c \pm 0.11	1.49 ^c \pm 0.15	0.89 ^c \pm 0.13
7	2.67 ^e \pm 0.13	3.79 ^e \pm 0.14	2.44 ^e \pm 0.16	4.26 ^d \pm 0.13	1.70 ^d \pm 0.22	1.22 ^d \pm 0.18
10	2.91 ^f \pm 0.11	4.48 ^f \pm 0.22	3.27 ^f \pm 0.17	5.57 ^e \pm 0.25	2.65 ^e \pm 0.29	2.00 ^e \pm 0.19

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean \pm Standard deviation (n=3)

Table 1-35. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated nature cheese

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ²¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 0.5979x ³⁾ - 0.4099	0.98
C _{16:2}	y = 0.6x - 0.4173	0.98
C _{17:1}	y = 0.3658x - 0.4511	0.97

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)

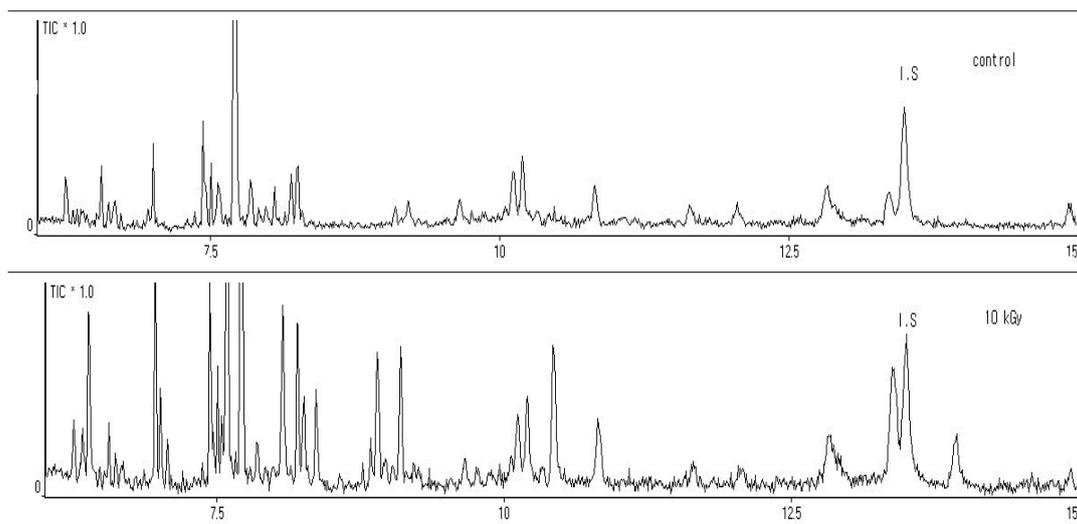


Figure 1-23. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non-10 kGy irradiated nature cheese.

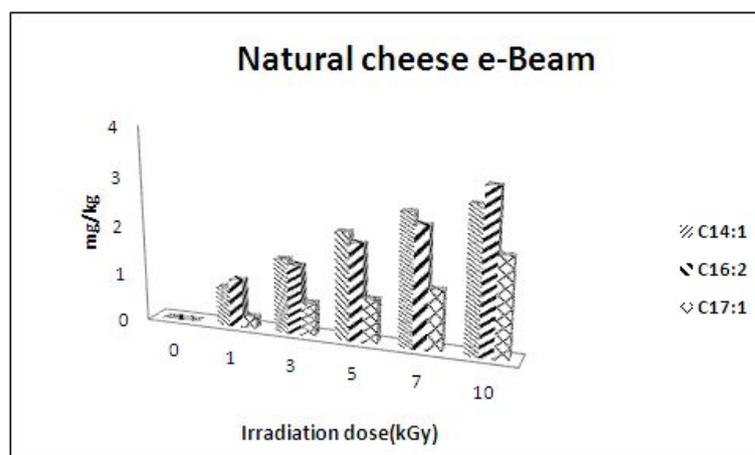


Figure 1-24. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated nature cheese.

2. 가공치즈

가. 감마선

감마선을 1, 3, 5, 7 및 10 kGy의 선량으로 가공치즈에 조사하여 hydrocarbon류의 생성량을 확인하였다. 비조사 시료와 10 kGy의 선량으로 조사된 시료 각각의 chromatogram은 Figure 1-25에 나타내었고 생성된 hydrocarbon류와 생성량은 Figure 1-26과 Table 1-36에 나타내었다. 감마선 조사에 의해 가공치즈에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였으며 동일 선량으로 조사되었을지라도 hydrocarbon류 함량이 각각 다르게 동정되었으며 이는 가공치즈의 지방산 조성차이에 의한 것이라 여겨진다.

감마선 조사된 가공치즈의 hydrocarbon류인 1-tetradecene ($C_{14:1}$), pentadecane ($C_{15:0}$), 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$), 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$)는 조사된 시료의 모든 선량에서 확인되었다.

가공치즈의 주요 hydrocarbon류는 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)과 8-heptadecene ($C_{17:1}$)이었으며 C_{n-1} hydrocarbon류 보다 C_{n-2} hydrocarbon류가 높은 함량을 나타내었다. Stearic acid로부터 유도된 hydrocarbon류인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$) 또한 C_{n-2} hydrocarbon류의 높은 생성률을 확인하였다. Palmitic acid에서 유도된 hydrocarbon류는 1-tetradecene ($C_{14:1}$) 및 pentadecane ($C_{15:0}$)으로 C_{n-2} 보다 C_{n-1} 화합물이 높은 함량을 보였다.

가공치즈의 지방산 조성 중 가장 높은 함량을 차지하고 있는 oleic acid로부터 감마선 조사에 의해 생성된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)은 모든 선량에서 다른 hydrocarbon류 보다 높게 확인되었다. Stearic acid로부터 유도된 C_{n-2} 화합물인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 C_{n-1} 화합물인 heptadecane ($C_{17:0}$)보다 비교적 높은 함량을 차지하여 oleic acid와 비슷한 경향을 보였다. 감마선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류의 양적 차이는 가공치즈의 지방산 조성과 감마선 조사선량에 따른 것으로 사료된다. 감마선 조사된 가공치즈에서 생성된 hydrocarbon류의 함량은 조사선량에 따라 증가하였으며 특히 가공치즈의 주된 지방산인 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)과 stearic acid에서 유도된 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 모든 선량에서 가장 많이 확인되어 감마선 조사여부를 판단할 수 있는 판별 마커로 이용될 수 있을 것으로 사료된다(Table 1-37).

Table 1-36. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in processed cheese

(µg/g fat)						
kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^{a 1)}	0 ^a				
1	0.18 ^b ± 0.04 ²⁾	1.03 ^b ± 0.12	0.82 ^b ± 0.08	1.89 ^b ± 0.09	0.40 ^b ± 0.10	0.19 ^a ± 0.06
3	1.34 ^c ± 0.08	1.46 ^c ± 0.10	1.22 ^c ± 0.11	2.55 ^c ± 0.12	0.62 ^c ± 0.1	0.57 ^b ± 0.09
5	1.73 ^d ± 0.12	2.06 ^d ± 0.16	2.57 ^d ± 0.13	3.24 ^d ± 0.14	0.98 ^d ± 0.14	0.83 ^c ± 0.13
7	3.66 ^e ± 0.14	3.87 ^e ± 0.13	3.78 ^e ± 0.10	3.89 ^e ± 0.11	1.34 ^e ± 0.18	1.04 ^d ± 0.15
10	4.02 ^f ± 0.14	4.53 ^f ± 0.16	5.15 ^f ± 0.15	4.09 ^e ± 0.19	1.77 ^f ± 0.18	1.62 ^e ± 0.17

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean±Standard deviation (n=3)

Table 1-37. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated processed cheese

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ²¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 0.8951x ³⁾ - 1.2871	0.95
C _{16:2}	y = 1.0289x - 1.3503	0.97
C _{17:1}	y = 0.3049x - 0.3682	0.97

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons (µg/g fat)

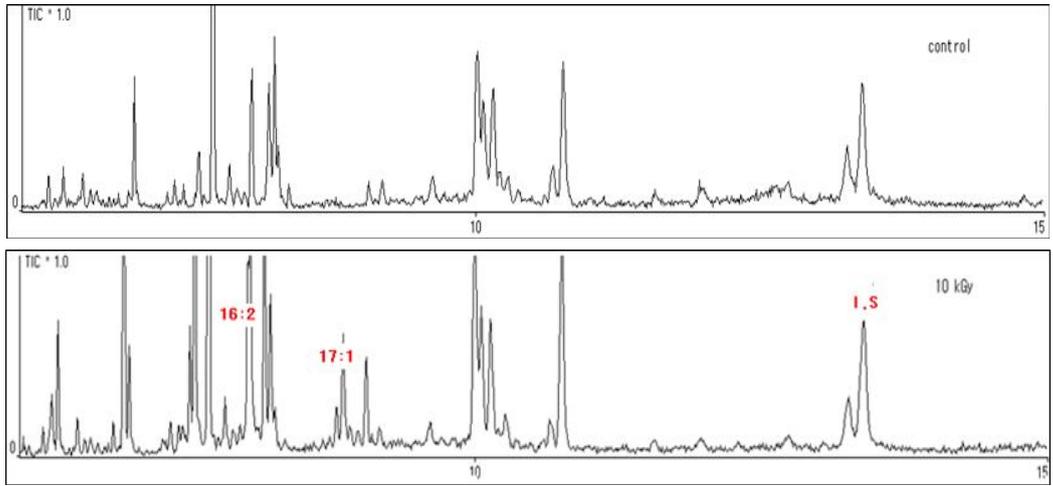


Figure 1-25. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated processed cheese.

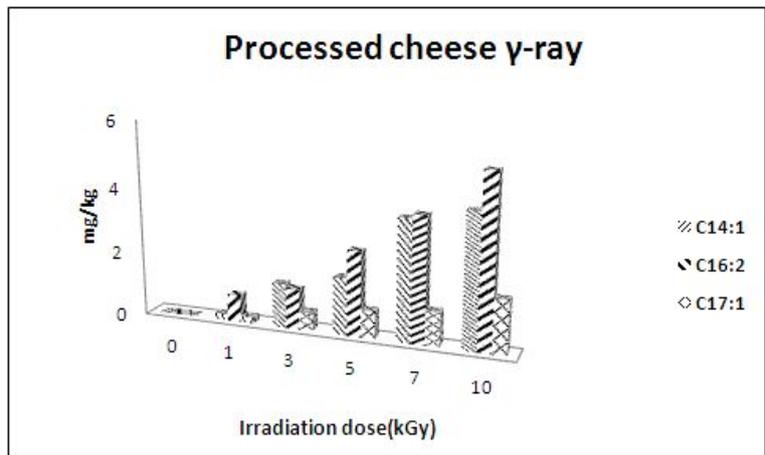


Figure 1-26. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated processed cheese.

나. 전자선

전자선을 1, 3, 5, 7 및 10 kGy의 선량으로 가공치즈에 조사하여 hydrocarbon류의 생성량을 확인하였다. 비조사 시료와 10 kGy의 선량으로 조사된 시료 각각의 chromatogram은 Figure 1-27에 나타내었고 생성된 hydrocarbon류와 생성량은 Figure 1-28과 Table 1-38에 나타내었다. 전자선 조사에 의해 가공치즈에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였으며 동일 선량으로 조사되었을지라도 hydrocarbon류 함량이 각각 다르게 동정되었으며 이는 가공치즈의 지방산 조성차이에 의한 것이라 여겨진다.

전자선 조사된 가공치즈의 hydrocarbon류인 1-tetradecene ($C_{14:1}$), pentadecane ($C_{15:0}$), 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$), 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$)는 조사된 시료의 모든 선량에서 확인되었다.

가공치즈의 주요 hydrocarbon류는 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)과 8-heptadecene ($C_{17:1}$)이었으며 C_{n-1} hydrocarbon류 보다 C_{n-2} hydrocarbon류가 높은 함량을 나타내었다. Stearic acid로부터 유도된 hydrocarbon류인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$) 또한 C_{n-2} hydrocarbon류의 높은 생성물을 확인하였다. Palmitic acid에서 유도된 hydrocarbon류는 1-tetradecene ($C_{14:1}$) 및 pentadecane ($C_{15:0}$)으로 C_{n-2} 보다 C_{n-1} 화합물이 높은 함량을 보였다.

가공치즈의 지방산 조성 중 가장 높은 함량을 차지하고 있는 oleic acid로부터 감마선 조사에 의해 생성된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)은 모든 선량에서 다른 hydrocarbon류 보다 높게 확인되었다. Stearic acid로부터 유도된 C_{n-2} 화합물인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 C_{n-1} 화합물인 heptadecane ($C_{17:0}$)보다 비교적 높은 함량을 차지하여 oleic acid와 비슷한 경향을 보였다. 전자선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류의 양적 차이는 가공치즈의 지방산 조성과 전자선 조사선량에 따른 것으로 사료된다. 전자선 조사된 가공치즈에서 생성된 hydrocarbon류의 함량은 조사선량에 따라 증가하였으며, 특히 가공치즈의 주된 지방산인 oleic acid에서 유도된 1,7-hexadecadiene ($C_{16:2}$)과 stearic acid에서 유도된 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 모든 선량에서 가장 많이 확인되어 전자선 조사여부를 판단할 수 있는 판별 마커로 이용될 수 있을 것으로 사료된다(Table 1-39).

Table 1-38. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in processed cheese

kGy	(µg/g fat)					
	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^{a 1)}	0 ^a				
1	0.64 ^b ± 0.08 ²⁾	1.02 ^b ± 0.11	0.69 ^b ± 0.09	1.51 ^b ± 0.09	0.55 ^b ± 0.13	0.21 ^b ± 0.06
3	1.25 ^c ± 0.09	1.96 ^c ± 0.17	1.85 ^c ± 0.11	3.03 ^c ± 0.17	0.91 ^c ± 0.19	0.56 ^c ± 0.09
5	1.84 ^d ± 0.15	2.55 ^d ± 0.16	2.90 ^d ± 0.12	3.47 ^d ± 0.14	1.01 ^c ± 0.15	0.83 ^d ± 0.13
7	2.34 ^e ± 0.15	3.43 ^e ± 0.13	3.79 ^e ± 0.19	4.68 ^e ± 0.18	1.49 ^d ± 0.16	1.02 ^d ± 0.17
10	4.29 ^f ± 0.17	5.68 ^f ± 0.22	5.85 ^f ± 0.18	4.98 ^f ± 0.21	1.99 ^e ± 0.19	1.90 ^e ± 0.18

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean±Standard deviation (n=3)

Table 1-39. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in processed cheese

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ²¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 0.8951x - 1.2871	0.85
C _{16:2}	y = 1.0289x - 1.3503	0.98
C _{17:1}	y = 0.3049x - 0.3682	0.91

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons (µg/g fat)

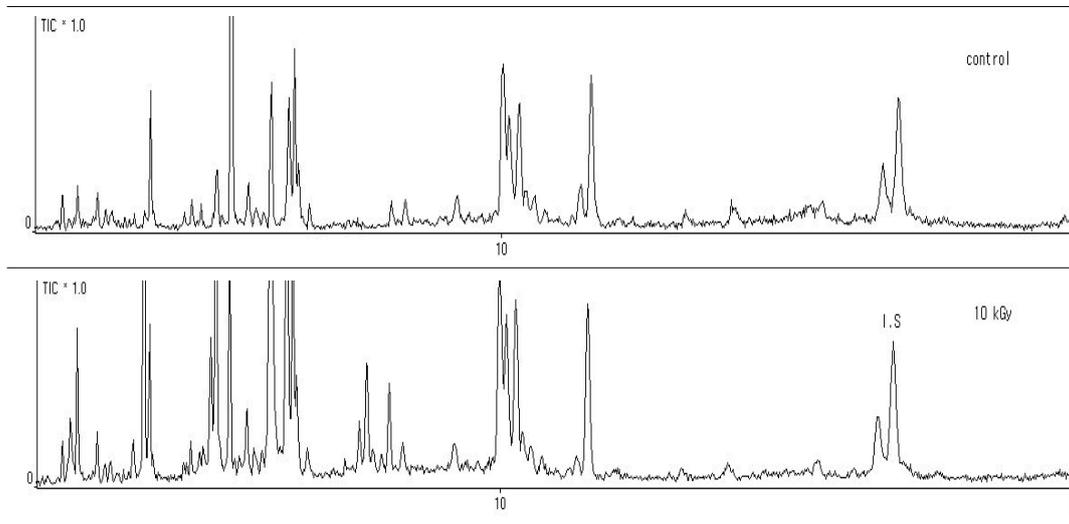


Figure 1-27. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non-10 kGy irradiated processed cheese.

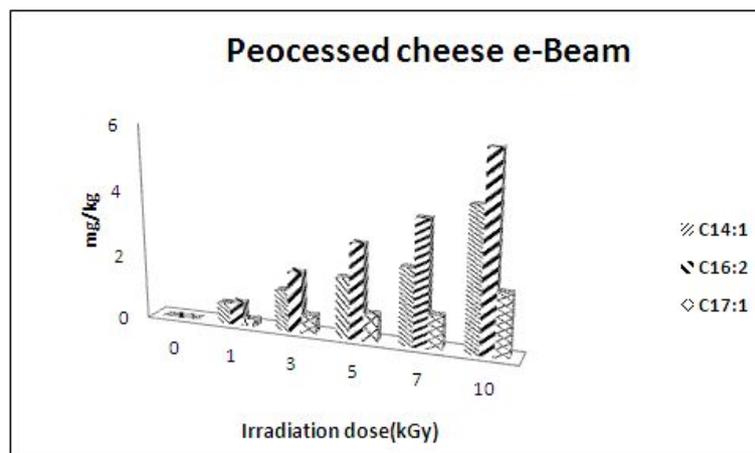


Figure 1-28. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated processed cheese.

3. 버터

가. 감마선

감마선을 1, 3, 5, 7, 및 10 kGy의 선량으로 조사 후 분리, 분석하여 hydrocarbon류의 생성을 확인하였으며, 비조사 시료와 10 kGy 조사된 시료의 chromatogram을 Figure 1-29에, 그리고 조사선량에 따른 생성량과 변화를 Table 1-40과 Figure 1-30에 나타내었다.

버터의 주요 hydrocarbon류는 palmitic acid에서 유도된 1-tetradecene ($C_{14:1}$) 및 pentadecane ($C_{15:0}$)으로 C_{n-2} 보다 C_{n-1} 화합물이 높은 함량을 보였다. Oleic acid에서 유도된 hydrocarbon류는 8-heptadecene ($C_{17:1}$)으로 C_{n-2} hydrocarbon류인 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$)은 전체 선량에서 확인되지 않았다. 이는 버터의 저급 지방산 조성에 의한 것으로 판단하였다. Stearic acid로부터 유도된 hydrocarbon류인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$) 또한 C_{n-2} hydrocarbon류의 높은 생성물을 확인하였다.

버터의 지방산 조성 중 가장 높은 함량을 차지하고 있는 Palmitic acid로부터 감마선 조사에 의해 생성된 1-tetradecene ($C_{14:1}$)은 모든 선량에서 다른 hydrocarbon류보다 높게 확인되었다. Stearic acid로부터 유도된 C_{n-2} 화합물인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 C_{n-1} 화합물인 heptadecane ($C_{17:0}$)보다 비교적 높은 함량을 차지하여 palmitic acid와 비슷한 경향을 보였다.

감마선 조사된 버터의 hydrocarbon류인 1-tetradecene ($C_{14:1}$), pentadecane ($C_{15:0}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$), 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$)는 조사된 시료의 모든 선량에서 확인되었다.

감마선 조사에 의해 버터에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였으며 동일 선량으로 조사되었을지라도 hydrocarbon의 양적 차이는 이는 Palmitic acid, oleic acid, stearic acid의 순으로 함유되어 있는 버터의 지방산 조성차이와 감마선 조사선량에 따른 것으로 여겨진다.

감마선 조사된 버터에서 생성된 hydrocarbon류의 함량은 조사선량에 따라 증가하였으며 특히 버터의 주된 지방산인 palmitic acid에서 유도된 1-tetradecene ($C_{14:1}$)과

stearic acid에서 유도된 1-hexadecene (C_{16:1})이 모든 선량에서 가장 많이 확인되어 감마선 조사여부를 판단할 수 있는 판별 마커로 이용될 수 있을 것으로 사료된다 (Table 1-41).

Table 1-40. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in butter

(µg/g fat)						
kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^{a 1)}	0 ^a	-	0 ^a	0 ^a	0 ^a
1	0.56 ^b ± 0.11 ²⁾	1.44 ^b ± 0.1	-	0.28 ^a ± 0.06	0.25 ^b ± 0.06	0.74 ^b ± 0.09
3	1.97 ^c ± 0.18	1.96 ^c ± 0.21	-	0.64 ^b ± 0.09	0.90 ^c ± 0.14	0.83 ^b ± 0.16
5	3.11 ^d ± 0.22	2.88 ^d ± 0.22	-	1.43 ^c ± 0.21	1.3 ^d ± 0.23	1.22 ^c ± 0.21
7	4.64 ^e ± 0.29	6.01 ^e ± 0.25	-	2.41 ^d ± 0.29	1.53 ^d ± 0.18	1.54 ^d ± 0.25
10	5.95 ^f ± 0.37	7.19 ^f ± 0.34	-	3.35 ^e ± 0.34	2.34 ^e ± 0.25	1.61 ^d ± 0.29

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean±Standard deviation (n=3)

Table 1-41. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in butter

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ²¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 0.6169x ³⁾ - 0.7246	0.99
C _{17:1}	y = 0.15x - 0.1311	0.92

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons (µg/g fat)

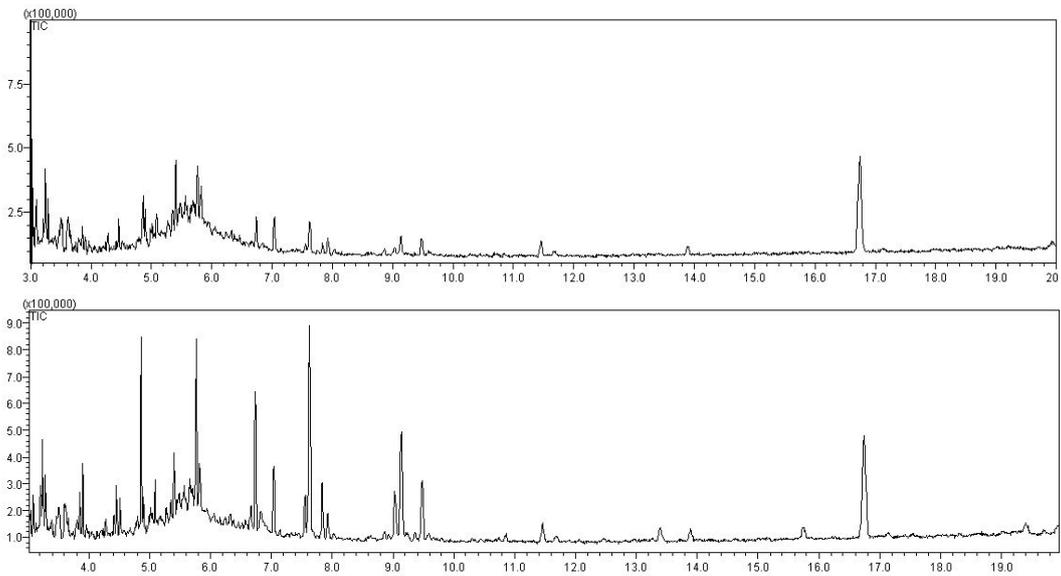


Figure 1-29. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated butter.

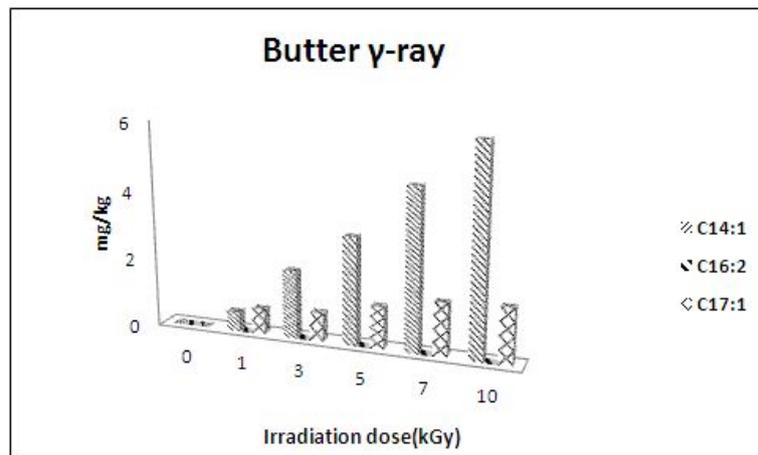


Figure 1-30. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated butter.

나. 전자선

버터의 전자선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류를 확인하기 위하여 전자선을 1, 3, 5, 7, 그리고 10 kGy의 선량으로 조사 후 분리, 분석하여 비조사 시료와 10 kGy 조사된 시료의 chromatogram을 Figure 1-31에, 그리고 조사선량에 따른 생성량과 변화를 Table 1-42과 Figure 1-32에 나타내었다.

전자선 조사에 의해 버터에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였으며 ($C_{15:0}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$), 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$)는 조사된 시료의 모든 선량에서 확인 되었다.

버터의 주요 hydrocarbon류는 palmitic acid에서 유도된 1-tetradecene ($C_{14:1}$) 및 pentadecane ($C_{15:0}$)으로 C_{n-2} 보다 C_{n-1} 화합물이 높은 함량을 보였다. Stearic acid로부터 유도된 hydrocarbon류인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$)은 C_{n-2} hydrocarbon류의 높은 생성률을 확인하였다. Oleic acid에서 유도된 hydrocarbon류는 8-heptadecene ($C_{17:1}$)으로 C_{n-2} hydrocarbon류인 1,7-hexadecadiene은 전체 선량에서 확인되지 않았다. 이는 버터의 저급 지방산 조성에 의한 것으로 판단하였다.

버터의 지방산 조성 중 가장 높은 함량을 차지하고 있는 Palmitic acid로부터 전자선 조사에 의해 생성된 1-tetradecene ($C_{14:1}$)은 모든 선량에서 다른 hydrocarbon류보다 높게 확인되었다. Stearic acid로부터 유도된 C_{n-2} 화합물인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 C_{n-1} 화합물인 heptadecane ($C_{17:0}$)보다 비교적 높은 함량을 차지하여 palmitic acid와 비슷한 경향을 보였다. 전자선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류의 양적 차이는 버터의 지방산 조성과 전자선 조사선량에 따른 것으로 사료된다. 전자선 조사된 버터에서 생성된 hydrocarbon류의 함량은 조사선량에 따라 증가하였으며 특히 버터의 주된 지방산인 palmitic acid에서 유도된 1-tetradecene ($C_{14:1}$)과 stearic acid에서 유도된 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 모든 선량에서 가장 많이 확인되어 전자선 조사 여부를 판단할 수 있는 판별 마커로 이용될 수 있을 것으로 사료된다(Table 1-43).

Table 1-42. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in butter
($\mu\text{g/g}$ fat)

kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a	–	0 ^a	0 ^a	0 ^a
1	0.69 ^b \pm 0.12 ²⁾	1.22 ^b \pm 0.1	–	0.32 ^a \pm 0.1	0.36 ^b \pm 0.13	0.40 ^b \pm 0.08
3	2.37 ^c \pm 0.17	2.05 ^c \pm 0.17	–	1.05 ^b \pm 0.18	0.97 ^c \pm 0.19	0.70 ^b \pm 0.12
5	3.42 ^d \pm 0.22	3.64 ^d \pm 0.18	–	1.95 ^c \pm 0.24	1.43 ^d \pm 0.24	1.27 ^c \pm 0.17
7	4.72 ^e \pm 0.27	5.44 ^e \pm 0.29	–	3.10 ^d \pm 0.23	2.00 ^e \pm 0.28	1.38 ^c \pm 0.21
10	6.02 ^f \pm 0.31	7.36 ^f \pm 0.26	–	4.70 ^e \pm 0.29	2.61 ^f \pm 0.3	1.61 ^d \pm 0.29

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean \pm Standard deviation (n=3)

Table 1-43. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated butter

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ² ¹⁾
C _{16:2}	y ²⁾ = 0.6169x ³⁾ - 0.7246	0.99
C _{17:1}	y = 0.15x - 0.1311	0.98

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)

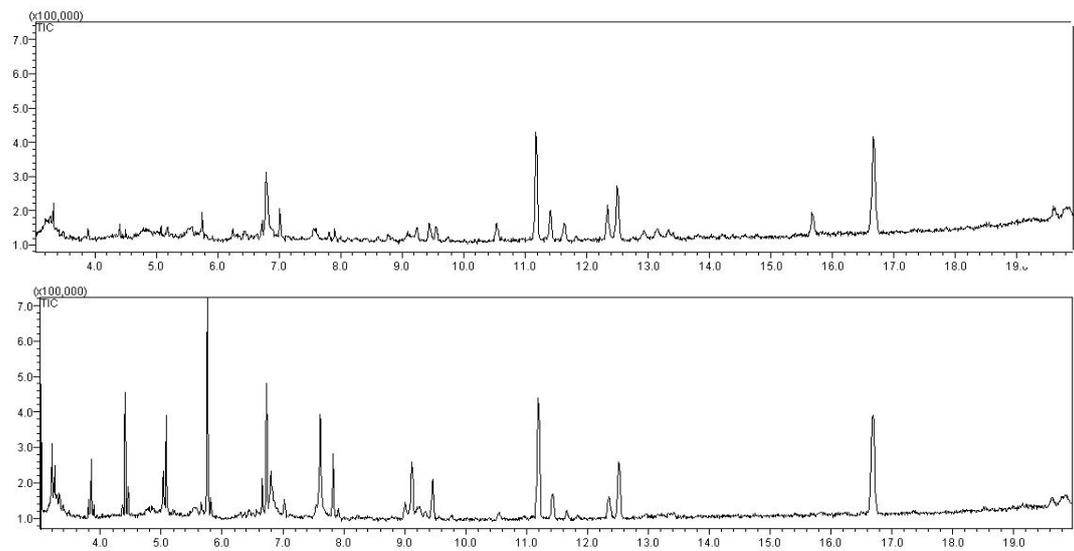


Figure 1-31. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated butter.

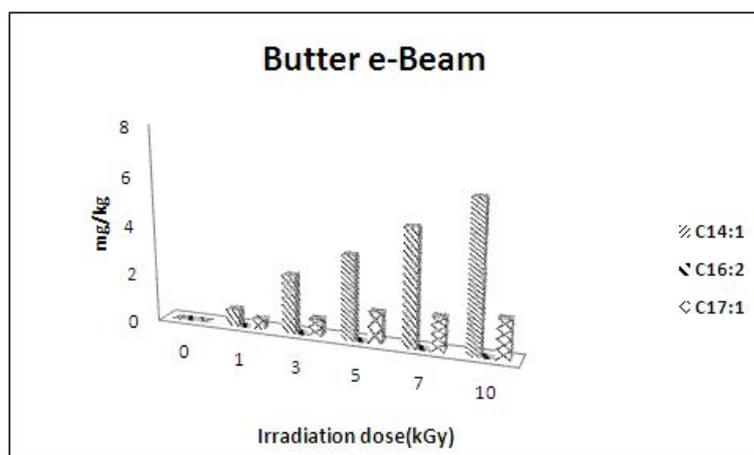


Figure 1-32. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated butter.

4. 조제분유

가. 감마선

조제분유의 주요 지방산은 Palmitic acid, oleic acid, stearic acid의 순으로 함유되어 있으며 hydrocarbon류의 생성을 확인하기 위하여 감마선을 1, 3, 5, 7, 및 10 kGy의 선량으로 조사 후 분리, 분석하여 비조사 시료와 10 kGy 조사된 시료의 chromatogram을 Figure 1-33에, 그리고 조사선량에 따른 생성량과 변화를 Table 1-44과 Figure 1-34에 나타내었다.

감마선 조사에 의해 조제분유에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였으며 동일 선량으로 조사되었을지라도 hydrocarbon류 함량이 각각 다르게 동정되었으며 이는 조제분유의 지방산 조성차이에 의한 것이라 여겨진다.

감마선 조사된 조제분유의 hydrocarbon류인 1-tetradecene ($C_{14:1}$), pentadecane ($C_{15:0}$), 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$), 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$)는 조사된 시료의 모든 선량에서 확인되었다.

조제분유의 주요 hydrocarbon류는 palmitic acid에서 유도된 1-tetradecene ($C_{14:1}$) 및 pentadecane ($C_{15:0}$)으로 C_{n-2} 보다 C_{n-1} 화합물이 높은 함량을 보였다. Oleic acid에서 유도된 hydrocarbon류는 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$)으로 C_{n-1} hydrocarbon류인 8-heptadecene이 높게 확인되어 palmitic acid와 비슷한 결과를 보였다. Stearic acid로부터 유도된 hydrocarbon류인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$) 또한 C_{n-1} hydrocarbon류의 높은 생성률을 확인하였다.

감마선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류의 양적 차이는 조제분유의 지방산 조성과 감마선 조사선량에 따른 것으로 사료된다. 감마선 조사된 조제분유에서 생성된 hydrocarbon류의 함량은 조사선량에 따라 증가하였으며 특히 조제분유의 주된 지방산인 palmitic acid에서 유도된 1-tetradecene ($C_{14:1}$)과 stearic acid에서 유도된 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 모든 선량에서 가장 많이 확인되어 감마선 조사여부를 판단할 수 있는 판별 마커로 이용될 수 있을 것으로 사료된다(Table 1-45).

Table 1-44. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in Infant formula
($\mu\text{g/g}$ fat)

kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^{a 1)}	0 ^a				
1	0.18 ^a \pm 0.05 ²⁾	0.98 ^b \pm 0.12	0.23 ^a \pm 0.07	0.41 ^b \pm 0.09	0.43 ^b \pm 0.09	0.23 ^b \pm 0.08
3	0.46 ^b \pm 0.1	1.08 ^b \pm 0.15	0.53 ^b \pm 0.12	0.65 ^b \pm 0.13	1.03 ^c \pm 0.22	0.59 ^c \pm 0.13
5	0.85 ^c \pm 0.14	2.31 ^c \pm 0.13	0.72 ^c \pm 0.11	1.17 ^c \pm 0.16	1.45 ^d \pm 0.24	1.05 ^d \pm 0.18
7	1.24 ^d \pm 0.21	2.94 ^d \pm 0.17	1.15 ^d \pm 0.16	1.70 ^d \pm 0.19	2.04 ^e \pm 0.23	1.46 ^e \pm 0.13
10	1.63 ^e \pm 0.19	3.09 ^d \pm 0.22	1.47 ^e \pm 0.23	2.24 ^e \pm 0.22	2.75 ^f \pm 0.19	1.95 ^f \pm 0.21

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean \pm Standard deviation (n=3)

Table 1-45. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated Infant formula

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ²¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 0.3362x ³⁾ - 0.4351	0.99
C _{16:2}	y = 0.3097x - 0.3794	0.98
C _{17:1}	y = 0.3957x - 0.5004	0.99

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)

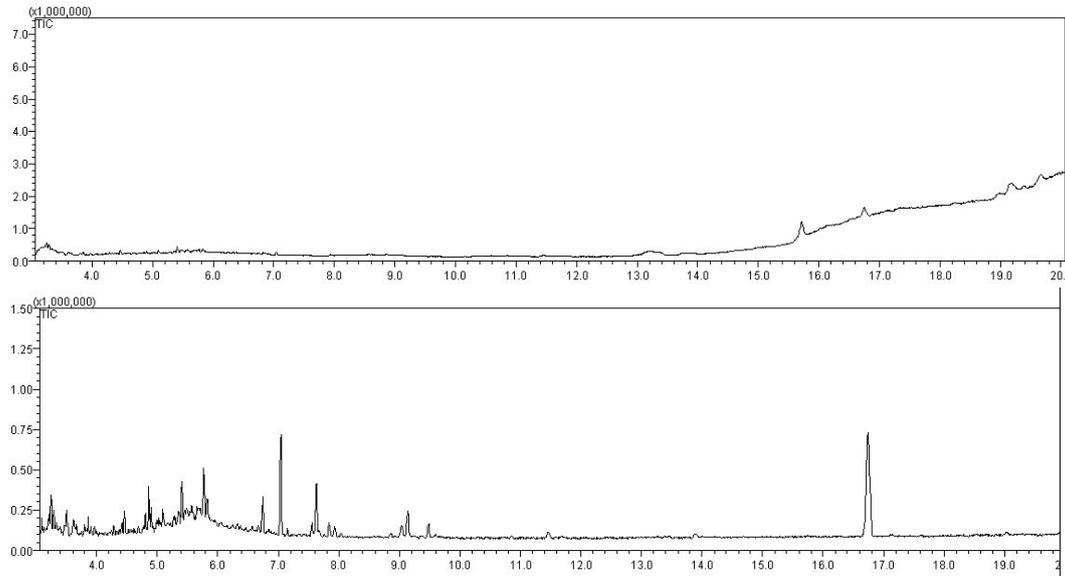


Figure 1-33. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated Infant formula.

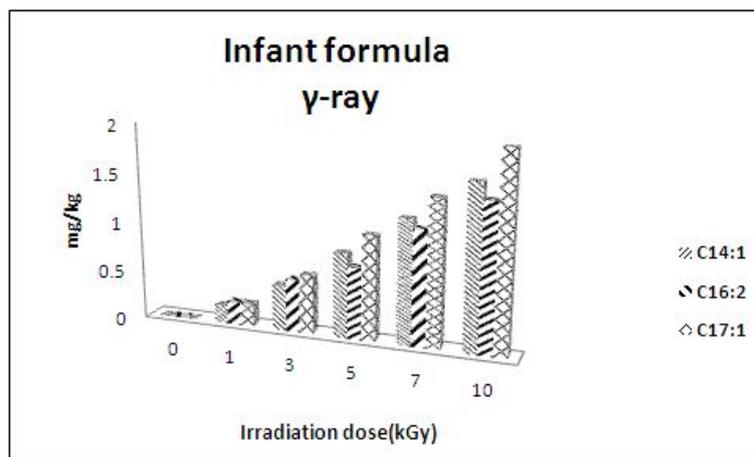


Figure 1-34. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated Infant formula.

나. 전자선

전자선 조사를 통해 조제분유에서 생성되는 hydrocarbon류를 확인하기 위하여 전자선을 1, 3, 5, 7, 및 10 kGy의 선량으로 조사 후 분리, 분석하여 비조사 시료와 10 kGy 조사된 시료의 chromatogram을 Figure 1-35에, 그리고 조사선량에 따른 생성량과 변화를 Table 1-46과 Figure 1-36에 나타내었다.

전자선 조사에 의해 조제분유에서 유도된 hydrocarbon류는 조사선량에 따라 증가하였으며 동일 선량으로 조사되었을지라도 hydrocarbon류 함량이 각각 다르게 동정되었으며 이는 조제분유의 지방산 조성차이에 의한 것이라 여겨진다.

전자선 조사된 조제분유의 hydrocarbon류인 1-tetradecene ($C_{14:1}$), pentadecane ($C_{15:0}$), 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$), 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$)는 조사된 시료의 모든 선량에서 확인 되었다.

조제분유의 주요 hydrocarbon류는 palmitic acid에서 유도된 1-tetradecene ($C_{14:1}$) 및 pentadecane ($C_{15:0}$)으로 C_{n-2} 보다 C_{n-1} 화합물이 높은 함량을 보였다. Oleic acid에서 유도된 hydrocarbon류는 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene ($C_{17:1}$)으로 C_{n-2} hydrocarbon류인 8-heptadecene이 높게 확인되었다. Stearic acid로부터 유도된 hydrocarbon류인 1-hexadecene ($C_{16:1}$)과 heptadecane ($C_{17:0}$) 또한 C_{n-1} hydrocarbon류의 높은 생성률을 확인하여 palmitic acid와 같은 결과를 보였다.

전자선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류의 양적 차이는 조제분유의 지방산 조성과 전자선 조사선량에 따른 것으로 사료된다. 전자선 조사된 조제분유에서 생성된 hydrocarbon류의 함량은 조사선량에 따라 증가하였으며 특히 조제분유의 주된 지방산인 palmitic acid에서 유도된 1-tetradecene ($C_{14:1}$)과 stearic acid에서 유도된 1-hexadecene ($C_{16:1}$)이 모든 선량에서 가장 많이 확인되어 전자선 조사여부를 판단할 수 있는 판별 마커로 이용될 수 있을 것으로 사료된다(Table 1-47).

Table 1-46. Concentrations of radiation-induced hydrocarbons in Infant formula
($\mu\text{g/g}$ fat)

kGy	C _{14:1}	C _{15:0}	C _{16:2}	C _{16:1}	C _{17:0}	C _{17:1}
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a				
1	0.12 ^a \pm 0.04 ²⁾	0.76 ^b \pm 0.12	0.76 ^b \pm 0.11	0.27 ^b \pm 0.05	0.59 ^b \pm 0.04	0.26 ^b \pm 0.06
3	0.50 ^b \pm 0.10	1.87 ^c \pm 0.16	1.17 ^c \pm 0.16	0.42 ^b \pm 0.09	1.36 ^c \pm 0.15	0.57 ^c \pm 0.13
5	0.90 ^c \pm 0.11	2.44 ^d \pm 0.22	1.75 ^d \pm 0.15	1.18 ^c \pm 0.16	1.58 ^c \pm 0.13	0.85 ^d \pm 0.16
7	1.43 ^d \pm 0.16	3.67 ^e \pm 0.24	2.06 ^e \pm 0.18	1.71 ^d \pm 0.19	1.98 ^d \pm 0.22	1.15 ^e \pm 0.12
10	1.98 ^e \pm 0.22	4.55 ^f \pm 0.2	2.28 ^e \pm 0.25	2.53 ^e \pm 0.2	2.49 ^e \pm 0.25	1.71 ^f \pm 0.18

¹⁾ a-f Values with different letters within a column differ significantly (P < 0.05).

²⁾ Mean \pm Standard deviation (n=3)

Table 1-47. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in irradiated Infant formula

Hydrocarbons	Linear regression equation	r ² ¹⁾
C _{14:1}	y ²⁾ = 0.3362x ³⁾ - 0.4351	0.97
C _{16:2}	y = 0.3097x - 0.3794	0.95
C _{17:1}	y = 0.3957x - 0.5004	0.98

¹⁾Regression coefficient

²⁾Area ratio of hydrocarbons

³⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)

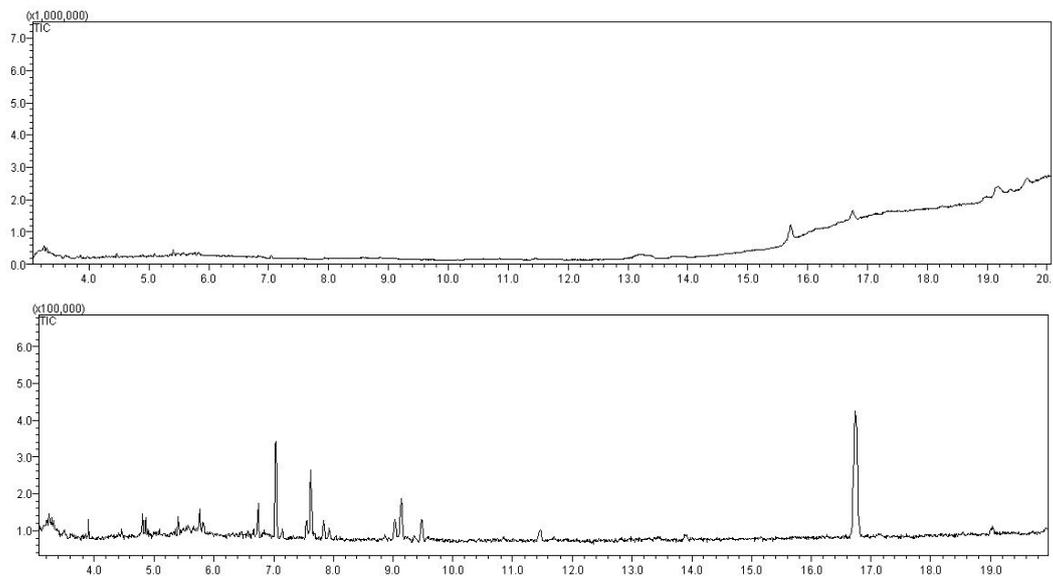


Figure 1-35. GC/MS chromatograms of radiation-induced hydrocarbons in non- and 10 kGy irradiated Infant formula.

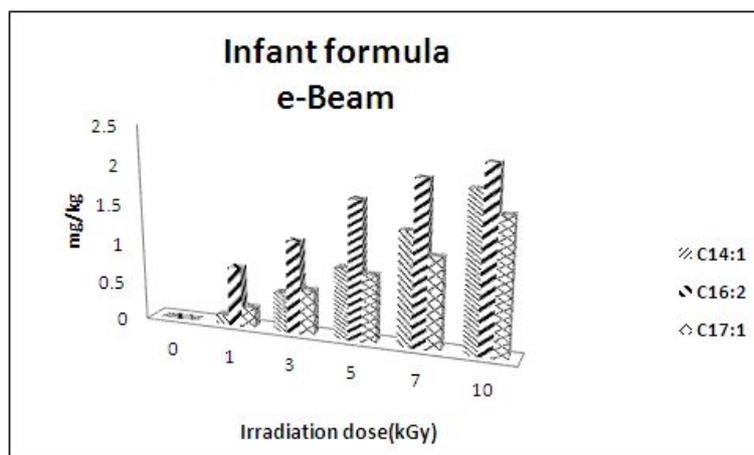


Figure 1-36. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated Infant formula.

제 4 장 요약

가. 국내유통 축산가공식품의 조사여부 판별을 위하여 시료에 감마선 및 전자선을 조사하여 화학적 판별 특성을 확인하였다. 육가공품인 햄, 소시지, 베이컨, 육포와 유가공품인 치즈, 버터, 조제분유의 지방을 추출하여 LC column으로 분리하였으며 분리된 hydrocarbon류를 GC/MS로 분석하였다.

나. Palmitic acid에서 유래된 1-tetradecene($C_{14:1}$)과 stearic acid에서 유래된 1-hexadecene($C_{16:1}$), oleic acid에서 유래된 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), 8-heptadecene($C_{17:1}$) 등이 방사선 조사여부 판별에 marker로 적합하였다.

다. 육가공품(햄, 소시지, 베이컨, 육포) 및 유가공품(자연치즈, 가공치즈, 버터, 조제분유)모두에서 hydrocarbon류가 유의적으로 증가하였고 식품조사 판별 여부가 가능하였다.

- 햄의 경우 감마선 및 전자선 모두 oleic acid과 stearic acid에서 C_{n-2} 화합물이 palmitic acid는 C_{n-1} 화합물이 높게 나타났다. 소시지 또한 감마선 및 전자선 모든 선량에서 oleic acid와 stearic acid는 C_{n-2} 화합물이 palmitic acid는 C_{n-1} 화합물이 높게 확인되어 햄과 같은 결과를 보였다.
- 감마선 조사한 베이컨의 oleic acid는 C_{n-2} 와 C_{n-1} 이 비슷한 함량으로 나타났으며 stearic acid와 palmitic acid 모두에서 C_{n-1} 화합물이 높게 확인되었다. 전자선의 경우는 oleic acid에서 C_{n-2} 화합물이 stearic acid와 palmitic acid는 감마선과 같이 C_{n-1} 화합물이 높게 나타났다.
- 감마선과 전자선 조사한 육포 모두 oleic acid와 stearic acid는 C_{n-2} 화합물이 palmitic acid는 C_{n-1} 화합물이 높게 나타나 햄과 소시지의 결과와 유사하였다.
- 자연치즈는 감마선 및 전자선 조사한 sample 모든 선량에서 oleic acid와

stearic acid에서는 C_{n-2} 화합물이 palmitic acid는 C_{n-1} 화합물이 높은 선량으로 나타났으며, 가공치즈의 경우도 자연치즈의 동일한 결과를 보였다.

- 버터의 경우 oleic acid에서 유래한 C_{n-2} hydrocarbon류인 1,7-hexadecadiene이 감마선과 전자선 모두에서 확인되지 않았으며 이는 버터의 저급 지방산에 의한 것으로 판단하였다. 이외 stearic acid에서 유래하는 1-hexadecene($C_{16:1}$)과 palmitic acid에서 유래하는 1-tetradecene($C_{14:1}$)이 모든 선량에서 높게 나타나 버터의 식품조사 판별 마커로 확인하였다.
- 조제분유에 감마선을 조사하여 생성된 hydrocarbon류는 oleic acid와 stearic acid 그리고 palmitic acid 모두 C_{n-1} 화합물이 전자선 조사한 조제분유의 oleic acid와 stearic acid에서는 C_{n-2} 화합물이 높게 생성되어 감마선과는 다른 결과를 보였으나 그 생성량의 차이는 크지 않았으며, palmitic acid는 감마선과 동일하게 나타났다.

라. 감마선 및 전자선 조사된 시료에서 생성되는 hydrocarbon류를 비교 분석한 결과 감마선과 전자선 조사의 흡수선량에 따라 유사한 검출값을 보였으며, 감마선 및 전자선 조사에 의한 차이점은 확인할 수 없었다.

참 고 문 헌

1. 식품저널. 2007. 식품유통연감. 248
2. FAO, 1984. Codex general standard for irradiated foods and recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used for the treatment of foods, Codex Alimentarius Commission. Rome, Italy. pp. 100-110.
3. FAD, 1980. Final report of the USFDA Bureau of Foods, Irradiated Foods Committee.
4. WHO. 1992. Global health situation and projections estimates, Geneva, Switzerland
5. Korean Food and Drug Administration. 2004. Food Code.
6. Korean Food and Drug Administration. 2012. Food Code.
7. Kwon JH. 2003. Commercialization of food irradiation technology and the identification of irradiated foods. *Food Sci Ind* 36(1): 50-55.
8. Kim KS, Yang JS, Kwon JH. 2003. Method of detection for irradiated foods. *Kor J Food Pre* 10(3): 427-434.
9. ICGFI. 2005. *Clearance database*. International consultative group on food irradiation. Country and products.
10. Kwon JH. 2003. Commercialization of food irradiation technology and the identification of irradiated foods. *Food Sci Indu* 36: 50-55.
11. Byun MW, Lee JW. 2003. Application of irradiation technology for food safety and security. *Food Sci Indu* 36: 25-41.
12. 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.
13. Codex Alimentarius Commission. 1984. 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.

14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. Carlsen CU, Andersen, ML. Skibsted LH. 2001. Oxidative stability of processed pork, assay based on ESR-detection of radicals. *Eur Food Res Technol* 213: 170-173.
20. Korkmaz M, Polat M. 2000. Free radical kinetics of irradiated durum wheat. *Radiat Phys Chem* 58: 169-179.
21. Delincée H. 1996. Detection methods for irradiated foods-an overview. *Radiat Phys Chem* 48: 378-379.
22. 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. .
23. 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.

24. Sünnetçiöğlü MM, Dadayl D. 2000. The use of simulation in the ESR spin probe technique for detection of irradiated seeds. *Talanta* 53: 69-74.
25. Dului OG. Electron paramagnetic resonance identification of irradiated cuttlefish(*Sepia officinalis* L.). *Appl Radiat Isot* 52: 1385-1390, 2000
26. Ziegelmann B, Bögl KW, Schreiber GA. 1999. TL and ESR signals of mollusc shells—correlations and suitability for the detection of irradiated foods. *Radiat Phys Chem* 54: 413-423.
27. 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.
28. Onori S, Pantaloni M, Baccaro S, Fuochi PG. 1996. Influencing factors on ESR bone dosimetry. *Appl Radiat Isot* 47: 1637-1640.
29. Yordanov ND, Mladenova B. 2001. ESR studies on gamma- irradiated snails hard tissues. *Radiat Phys Chem* 60: 191-193.
30. 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.
31. 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.
32. 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.
33. Ammon MHJ, Berg H. 1996. Nachweis einer Strahlenbehandlung in weiterverarbeiteten Lebensmitteln anhand der Analytik strahleninduzierter Kohlenwasserstoffe. *Deutsche Lebensmittel- Rundschau* 92: 137-141.
34. 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.
35. Mammon A, Abdul-Fattah A, Abulfaraj WH. 1994. Thermoluminescence of irradiated herbs and spices. *Radiat Phys Chem* 44: 203-206.
 36. Oduko JM, Spyrou NM. 1990. Thermoluminescence of irradiated foodstuffs. *Radiat Phys Chem* 36: 603-607.
 37. Farag SEA. 1996. Detection of irradiated fruits by gas-chromatographic methods. *Z Lebensm Unters Forsch* 202: 451-457.
 38. 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.
 39. 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.
 40. Hwang KT, Yoo JH, Kim, CK. 2001. Hydrocarbons detected in irradiated and heat-treated eggs. *Food Res Int* 34: 321-328.
 41. European Committee for Standardization. 1996. Foodstuffs Detection of irradiated food containing fat-Gas chromatographic/ Mass spectrometric analysis of hydrocarbons, European Standard EN 1784.
 42. 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.
 43. Bergaentzle M, Sanguer F, Hasselmann C, Marchioni E. 1994. Detection of γ -irradiated raw-milk camembert cheeses by capillary gas chromatographic analysis of volatile hydrocarbons. *Food Chem.* 51: 177-182.
 44. 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.
 45. 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.

46. Kim KS, Kim EA, Lee HJ, Yang JS, Byun MW. 1999. Quantitative comparison of radiation-induced hydrocarbons from irradiated beef, pork and chicken. *Korean J Food Sci Technol* 32: 301-307.
47. 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.
48. 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.
49. Lee H.J, Lee MY, Kim KS. 1999. Detection of radiation-induced hydrocarbons and 2-alkylcyclobutanones from peanut. *Korean J Food Sci Nutr* 4: 270-275
50. Delincée H, Pool-Zobel BL. 1998. Genotoxic properties of 2-dodecylcyclobutanone: a compound formed on irradiation of food containing fat. *Radiat Phys Chem* 52: 39-42.
51. Hamilton L, Stevenson MH, Boyd DR, Brannigan IN, Treacy AB, Hamilton JTG, McRoberts WC, Elliott CT. 1995. Detection of 2-substituted cyclobutanones as irradiation products of lipid-containing foods: synthesis and applications of *cis*- and *trans*-2-(tetradec-5'-enyl) cyclobutanones and 11-(2'-oxocyclobutyl)undecanoic acid. *J. Chem. Soc. Perkin Trans* 1: 139-146.
52. 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, J.J., and Belliardo, J.J. (eds.), EUR/14315/EN, BCR, Brussels, Luxembourg, p 251- 260.
53. 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.
54. Crone AVJ, Hamilton JTG, Stevenson MH. 1992. The detection of 2-dodecylcyclobutanone in radiation-sterilized chicken stored for several years. *Int J Food Sci Technol* 27: 691-696.

55. Nawar WW, Balboni JJ. 1970. Detection of irradiation treatments in foods. *J Assoc Off Anal Chem* 53: 726-729
56. 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.
57. Lembke P, Börnert J, Engelhardt H. 1995. Characterization of irradiated food by SFE and GC-MSD. *J Agri Food Chem* 43: 38-45.
58. 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.
59. Meier W, Artbo A, Nägeli P. 1996. Detection of irradiation of fat containing foods by on-line LC-GC-MS of alkylcyclobutanones. *Mitt Gebiere Lebensm Hyg* 87: 118-122.
60. Tuominen J, Sjöberg A.M, 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, J.J., and Belliardo, J.J. (eds.), EUR/14315/EN, BCR, Brussels, Luxembourg, p 275-285.
61. Crone AVJ, Hand MV, Hamilton JTG, Sharma ND, Boyd DR, Stevenson MH. 1993. Synthesis, characterisation and use of 2-tetradecylcyclobutanone together with other cyclobutanones as markers for irradiated liquid whole egg. *J Sci Food Agric* 62: 361-367.
62. European Committee for Standardization. 1996. Foodstuffs: detection of irradiated food containing fat-gas chromatographic/ mass spectrometric analysis of 2-alkylcyclobutanones, European Standard-EN 1785.
63. McMurray BT, McRoberts W, Hamilton JTG, Elliott CT, Stevenson MH. 1995. Detection of irradiated prawn using 2-alkylcyclobutanones. *Food Sci Technol* 9: 147-148.
64. Stevenson MH, Crone AVJ, Hamilton JTG, McMurray CH. 1993. The use of 2-dodecylcyclobutanone for the identification of irradiated chicken meat and

- eggs. *Radiat Phys Chem* 42: 363-366.
65. Miesch M, Ndiaye B, Hasselmann C, Marchioni E. 1999. 2-Alkylcyclobutanones as markers for irradiated foodstuffs I. Synthesis of saturated and unsaturated standards. *Radiat Phys Chem* 55: 337-344.
 66. Ndiaye B, Jamet G, Miesch M, Hasselmann C, Marchioni E. 1999. 2-Alkylcyclobutanones as markers for irradiated foodstuffs II: the CEN (European Committee for Standardization) method-field of application and limit of utilization. *Radiat. Phys. Chem.* 55: 437-445.
 67. Rahman R, Matabudall D, Haque AK, Sumar S. 1996. A rapid method (SFE-TLC) for the identification of irradiated chicken. *Food Res Int* 29: 301-307.
 68. Stevenson MH, Corne AVJ, Hamilton JTG. 1990. Irradiation detection. *Nature* 344: 202-203.
 69. Stevenson MH. 1992. Progress in the identification of irradiated food. *Trends Food Sci. Technol.* 3: 257-262.
 70. Stevenson MH, Crone AVJ, Hamilton JTG. 1993. The use of 2-alkylcyclobutanones for the detection of irradiated lipid containing foods. In Recent advances on the detection of irradiated food. Lenardi, M., Raffi, J.J., and Belliardo, J.J. (eds.), EUR/14315/EN, BCR, Brussels, Luxembourg, p 333-341.
 71. Stewart EM, Moore S, McRoberts WC, Graham WD, Hamilton JTG. 1998. 2-Alkylcyclobutanones as markers for exotic fruits. *Food Sci Technol Today* 12: 103-105.
 72. Stevenson MH, Klipatrick DJ, McMurray CH. 1994. Collaborative blind trial 2-dodecylcyclobutanone and 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone to detect irradiated chicken, pork and liquid whole egg, FAO/IAEA Report, Vienna.
 73. Stevenson MH. 1996. Validation of the cyclobutanone protocol for detection of irradiated lipid containing foods by interlaboratory trials. In Detection methods for irradiated foods, current status: Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, p 269-284.
 74. Ndiaye B, Horvatovich P, Miesch M, Hasselmann C, Marchioni E. 1999.

- 2-Alkylcyclobutanones as markers for irradiated foodstuffs III: improvement of the field of application on the EN 1785 method by using silver ion chromatography. *J Chr A* 858: 109-115.
75. Cerda H. 1998. Detection of irradiated fresh chicken, pork and fish using the DNA comet assay. *Lebensm Wiss u Technol* 31: 89-92.
76. Cerda H. 1998. Detection of irradiated frozen food with the DNA comet assay: interlaboratory test. *J Sci Food Agric* 76: 435-442.
77. 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.
78. Delincée H, Villavicencio ACH, Mancini-Filho J. 1998. Protein quality of irradiated Brazilian beans. *Radiat Phys Chem* 52: 43-47.
79. Delincée H. 1998. Detection of irradiated food: DNA fragmentation in grapefruits. *Radiat Phys Chem* 52: 135-139.
80. 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.
81. Koppen G, Cerda H. 1997. Identification of low-dose irradiated seeds using the neutral comet assay. *Lebensm Wiss u Technol* 30: 452-457.
82. 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.
83. 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.
84. WHO. 1981. Wholesomeness of irradiated food: Report of A Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series-659, Geneva, Switzerland.
85. FDA. 1986. Irradiation in the production, processing, and handling of food. Federal Register. 51: 13376-13399.
86. WHO. 1997. Food irradiation-Sky's the limit, WHO Press Release WHO/68, Geneva, 1997.

87. WHO. 1997. Review of data on high dose(10-70 kGy) irradiation of food international consultative group on food irradiation. Food Safety Unit.
88. GIA. 2005 Food Irradiation Trends. A Global Strategic Business Report. Global Industry Analysts, Inc.
89. 한국원자력 연구원. 2007. 방사선식품분야특허조사.
90. 식품산업분석보고서, 2010년. 한국보건산업진흥원
91. 식품의약품안전처, 식품의 식품첨가물 생산실적, (2005-2009)
92. 국립수의과학검역원의 검역기준 자료. 2012.
93. 낙농편람 (2011). Dairy supply and demand performance and raw milk
94. 농수산물유통공사. 2008. Import unit imports and trends of milk processing products.
95. Kwon J.H. 1994. Advances in food irradiation and it's potential roles in Korea. J. Food Hygiene and safety. 9(1), 35-49.
96. Korean Food and Drug Administration. 2008. Food Code.
97. ICGFI. 2006. The Use of Irradiation for Food Quality., 7.19
98. Hwang I.M. 2009. Analysis of Radiation Induced Hydrocarbons in Ground beef jerky Gamma-ray and Electron Beam Irradiation. Master's thesis. Chosun University.
99. Lee J.M. 2002. Analytic Study on the Radiolytic Products of Lipid in Irradiated Foods. Doctor's thesis. Chosun University.

Part I I

식품조사에 의한 육포 및 치즈의 휘발성 유기성분 분석

Analysis of Volatile Organic Compounds in
Beef jerky and Cheese by Food Irradiation

제 1 장 서 론

축산가공품은 크게 육가공품과 유가공품으로 나눌 수 있다. 육가공품은 햄, 소시지, 베이컨, 육포 등으로 나눌 수 있으며, 유가공품은 치즈, 버터, 조제분유, 전지분유 등으로 구분할 수 있다. 그 중 육포는 간식에서 특수용도식품까지 그 활용이 광범위하며(1), 저장기간이 길고 예로부터 폐백음식, 술안주 등 우리나라의 전통식품으로 사용되어왔다. 또한, 중국, 일본, 미국, 남미, 아프리카 등 육포를 부르는 고유단어가 있으며 세계적으로 이용되어 온 식품임을 알 수 있다(2). 하지만 축산품 및 축산가공품은 가공형태, 보관 방법 등에 따라 미생물 생장에 적합한 특성이 있어 식중독 및 변패가 쉬운 식품이다(3). 이러한 축육식품을 보다 안전하게 소비할 수 있는 저장가공기술이 필요하다.

치즈는 발효과정과 우유의 종류에 따라 다양하다. 수분의 함유에 따라 경성치즈와 연성치즈로 나뉘고 발효과정에 따라 붙여지는 고유의 이름이 있다. 생산지역의 이름을 붙이는 경우와 효소나 생김새의 형태를 따서 이름을 붙이기도 한다. 치즈는 단백질의 섭취원으로 예전부터 이용되어왔으며 최근 우리나라에서도 와인의 수입증가와 함께 치즈의 수입량도 급격히 증대하고 있다. 이에 우리나라 유가공품 시장에 막대한 영향을 미치며 이는 우리 낙농업계 미치는 파급효과도 예상을 넘어서고 있다.

WHO/IAEA/FAO 등 국제기구는 효용성과 안전성이 높은 비열처리 기술로 방사선조사기술을 미생물의 제어 및 가공적성 개선에 적합한 기술로 인정하고 있으며(4), 미국 등 선진국에서 활발히 식품조사기술의 실용화가 진행되고 있다(5).

방사선 동위원소(Co^{60} , Cs^{136})를 이용한 감마선, 고전압 전자선 가속기를 이용한 전자선, 그리고 X 선 등이 주로 식품조사에 이용되고 있는데 우리나라의 경우 감마선만 26개 항목에 한하여 허용하다 2012 KFDA에서 전자선까지 식품조사선종으로 허가하였다(6). 방사선 조사여부확인 방법은 물리적, 화학적 그리고 생물학적 방법이 있는데 지방을 함유한 식품의 방사선 조사여부 확인방법으로 화학적방법이 있으며 hydrocarbon류와 2-alkylcyclobutanone류가 생성되는 것을 이용한 것이다(7).

식품의 방사선조사는 그 동안 사용되어 왔던 온열처리, 화학약품처리 등에 비하여 처리후 잔류성분이 남지 않으며, 식품의 외관 및 영양성분의 변화가 적은 방법이다.

또한 FTA 등 국제 교역이 증가함에 따라 엄격한 위생검사 통과 수단으로 조사기술이 활용되고 있으며, 방사선 조사식품의 교역량은 증가하고 있는 추세이다(8). 하지만 조사식품에 대한 각국의 규정이 다르므로 방사선 조사유무를 확인하고 적용 가능한 선량 및 선종을 확립하여 국제 정세에 대비가 필요하다(9).

그동안 우유포 및 돈유포, 계유포 등에 대한 연구는 유자 및 매실추출물 첨가한 우유포의 품질특성(10), 솔잎즙과 썩즙을 첨가한 우유포의 품질변화(11), 적포도주를 첨가한 우유포의 품질변화(12), 국내산육가공품의 유형별 첨가물과 영양성분함량 및 표시실태 조사(13), 원산지가 다른 쇠고기 육포의 저장 중 품질 특성(14), 발효주 첨가에 따른 육포의 품질 및 관능 특성(15), 국내 시판육포의 품질평가(16) 등 첨가물에 의한 육포의 저장성 연장과 감마선 조사한 냉동치즈볼의 미생물학적 안전성(17), 전자코를 이용한 치즈의 풍미특성(18), 퀘소블랑코 치즈의 감마선 조사처리 효과(19) 등 전자선 및 감마선 조사한 치즈의 품질에 관한 연구가 최근까지 주류를 이루고 있어 감마선과 전자선을 조사한 육포와 치즈의 지방산분해산물 비교에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 육포와 치즈에 식품조사를 통하여 생성된 휘발성 유기성분의 생성량을 비교하고 국내 조사식품의 다변화를 위한 자료로 삼고자 하였다.

제 2 장 재료 및 방법

제 1 절 실험재료 및 기기

1. 시료

주요 축산가공품으로부터 휘발성 유기성분을 분석하기 위하여 육포와 치즈를 대형마트(광주)에서 직접 구입하였다. 본 실험에 사용한 육포와 치즈는 -70°C 냉동고에 보관하면서 실험 시 사용하였다.

2. 시약

본 연구에 사용한 모든 시약은 특급시약으로 Sigma사 (St. Louis, MO, USA)와 Fisher Scientific (USA)사로부터 구입하였다. 추출 및 chromatography에 사용한 유기용매는 HPLC grade로 구입하여, 이를 다시 wire spiral packed double distilling (Normschliff Geratebau, Germany) 장치로 재증류한 것을 사용하였다. 물은 순수재 증류장치(Millipore corporation, Bedford, USA)에서 얻은 Milli Q water를 사용하였다. 유기용매의 탈수에 사용된 무수 Na_2SO_4 는 650°C 회화로에서 하룻저녁 태운 뒤 desiccator에서 방냉한 후 사용하였다.

3. 분석기기

휘발성 유기성분의 추출을 위하여 연속수증기증류추출장치(Likens & Nickerson type simultaneous steam distillation & extraction apparatus, SDE, Normschliff, Wertheim, Germany), SPME fiber holder와 SPME fiber assembly (57330-U & 57300-U, Supelco, Bellefonte, USA)를 사용하였으며, 추출에 의한 유기용매 분획분

은 Vigreux column (250 mL, Normschliff, Wertheim, Germany)을 이용하여 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 Hewlett Packard 5890 II Plus gas chromatograph-FID (GC-FID, Hewlett Packard, Wilmington, USA)와 Agilent Technologies gas chromatograph/mass spectrometer (GC/MS, 7000, Agilent technologies, Wilmington, DE, USA)를 이용하였다.

제 2 절 휘발성 유기성분의 추출 및 분석조건 수립

1. 추출방법에 따른 휘발성 유기성분의 수율 및 특성

가. 연속수증기증류추출법

(SDE, simultaneous steam distillation and extraction)

분석 시료 50 g과 100 g을 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 사용한다. 휘발성 유기성분의 추출은 Schultz 등(20)의 방법에 따라 개량된 연속수증기증류추출장치(SDE)(21)에서 추출용 시료에 spiral로 충전된 double distilling apparatus로 재증류한 n-pentane:diethylether 혼합용매(1:1, v/v) 200 mL를 사용하여 상압 하에서 2시간 동안 추출하였다. 정량분석을 위해 n-butyl benzene 1 mg을 추출용 시료에 첨가하였다. 유기성분의 유기용매 분획구에 무수 Na₂SO₄를 가하여 수분을 제거한 후, Vigreux column과 질소가스를 이용하여 약 1 mL까지 농축하였다.

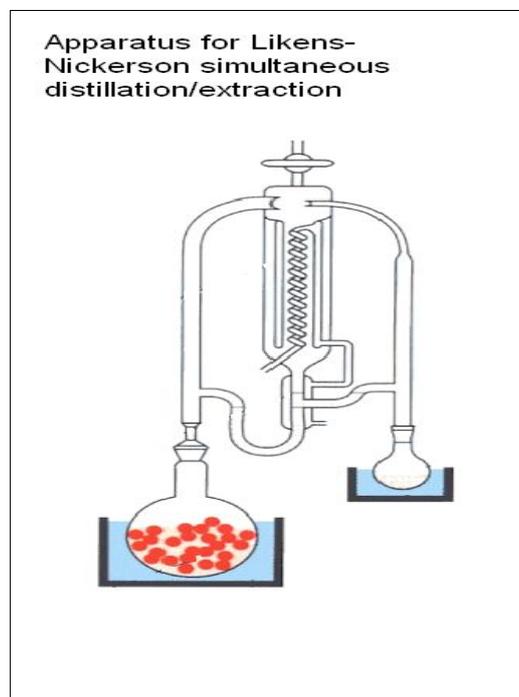


Figure 2-1. Diagram of simultaneous distillation and extraction (SDE) apparatus according to Likens and Nickerson.

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

축산가공품로부터 추출된 유기성분의 분석을 위해서 GC-FID와 GC/MS분석기기의 최적 조건을 수립하였다.

가. Gas chromatography(GC) 분석

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.

축산가공품으로부터 추출, 농축 또는 포집된 유기성분을 GC-FID로 분석하였다. Column은 DB-WAX (60 m × 0.25 mm i.d., 0.25 μm film thickness, J&W, USA)를 사용하였고, 온도 program은 40°C에서 3분간 유지한 다음 2°C/min의 속도로 150°C까지 다시 4°C/min의 속도로 220°C까지 상승시킨 후 5분간 유지하였다. Injector와 detector의 온도는 각각 250°C, 300°C이며, carrier gas는 helium을 사용하여 유속은 1.0 mL/min으로 하였으며 시료는 1 μL를 split ratio 1:20으로 주입하였다(Table 1-2).

나. Gas chromatograph-Mass spectrometer (GC/MS) 분석

질량분석에 사용한 GC/MS는 Agilent technologies Gas chromatograph-mass spectrometer (GC/MS, 7000, Agilent technologies, Wilmington, DE, USA)을 사용하였으며 시료의 ion화는 electron impact ionization(EI)방법으로 행하였다. GC/MS 분석조건은 ionization voltage를 70 eV로 하였고, ion source 온도는 230°C로 하였다. 또한 분석할 분자량의 범위(m/z)는 40 ~ 350으로 설정하였으며, 다른 분석조건들은 GC-FID의 분석조건과 동일한 조건으로 분석하였다(Table 1-3).

Table 2-1. GC conditions for identification of organic components

GC	Hewlett-Packard 5890 series II Plus
Column	DB-WAX (60 m × 0.25 mm I.D., 0.25 μm film thickness, J&W)
Detector	FID
Carrier gas	He(1.0 mL/min)
Make up gas	N ₂ (30 mL/min)
Temp. program	40°C(3 min)-2°C/min-150°C-4°C/min-220°C(5 min)
Detector temp.	300°C
Injector temp.	250°C
Injection volume	1 μL

Table 2-2. GC/MS conditions for identification of volatile components

GC/MS	Agilent technologies 7000
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°C(3 min)-2°C/min-150°C-4°C/min-220°C(5 min)
Injector	250°C
Ion source and interface temp.	230°C
Ionization	electron impact ionization (EI)
Ionization voltage	70 eV
Mass range(m/z)	40~350
Injection volume	1 μL

제 3 절 축산가공품의 휘발성 유기성분 분석

1. 휘발성 유기성분의 추출

육포 및 치즈를 시료로 하여 추출방법에 따른 휘발성 유기성분의 추출조건 실험에서 선택된 연속수증기증류추출(simultaneous steam distillation and extraction, SDE, Normschliff, Germany) 장치를 이용하여 추출하였다.

2. 휘발성 유기성분의 확인 및 정량 분석

가. 머무름 지수의 수립

머무름 지표의 합리적인 표시법으로써 Kovats(22)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 parameter로서 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 충전제, 분리온도 및 다른 chromatography 조건과 무관하게 그 화합물에 들어 있는 탄소 수의 100배와 같은

값을 갖는다. 따라서 n-alkane은 어느 분석 column에서도 항상 CH₄(RI=100), C₂H₆ (RI=200) ... C_nH_{2n+2}(RI=100n)이라는 표준지표를 나타낸다(20).

머무름 지표를 구하기 위하여 n-alkane 표준물질(C₁₀-C₂₅)를 희석하여 혼합액으로 조제하였다. 조제된 혼합액 1 μL를 확립된 최적 분석조건(Table 2)에서 GC-MS 분석하였다. 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.

나. 휘발성 유기성분의 확인

GC/MS에 의해 Total ionization chromatogram (TIC)에 분리된 각 peak의 성분 분석은 mass spectrum library (NIST 12, NIST 62, WILEY 139 와 WILEY 7)와 mass spectral data book의 spectrum(23, 24)과의 일치 및 GC-FID 분석에 의한 retention index와 문헌상의 retention index(25, 26)와의 일치 및 표준물질의 분석 data를 비교하여 확인하였다.

다. 휘발성 유기성분의 정량

동정된 휘발성 유기성분의 상대적 정량을 위하여 내부 표준물질로 첨가한 butylbenzene과 각 화합물의 peak area%를 비교하여 성분들의 함유량을 계산하였다.

$$\text{Component content (mg/kg of samples)} = \frac{C \times 1000}{A \times B}$$

- A : 각 sample에서 butylbenzene의 peak area
- B : 시료의 양(g)
- C : 각 sample에서 각 성분의 peak area

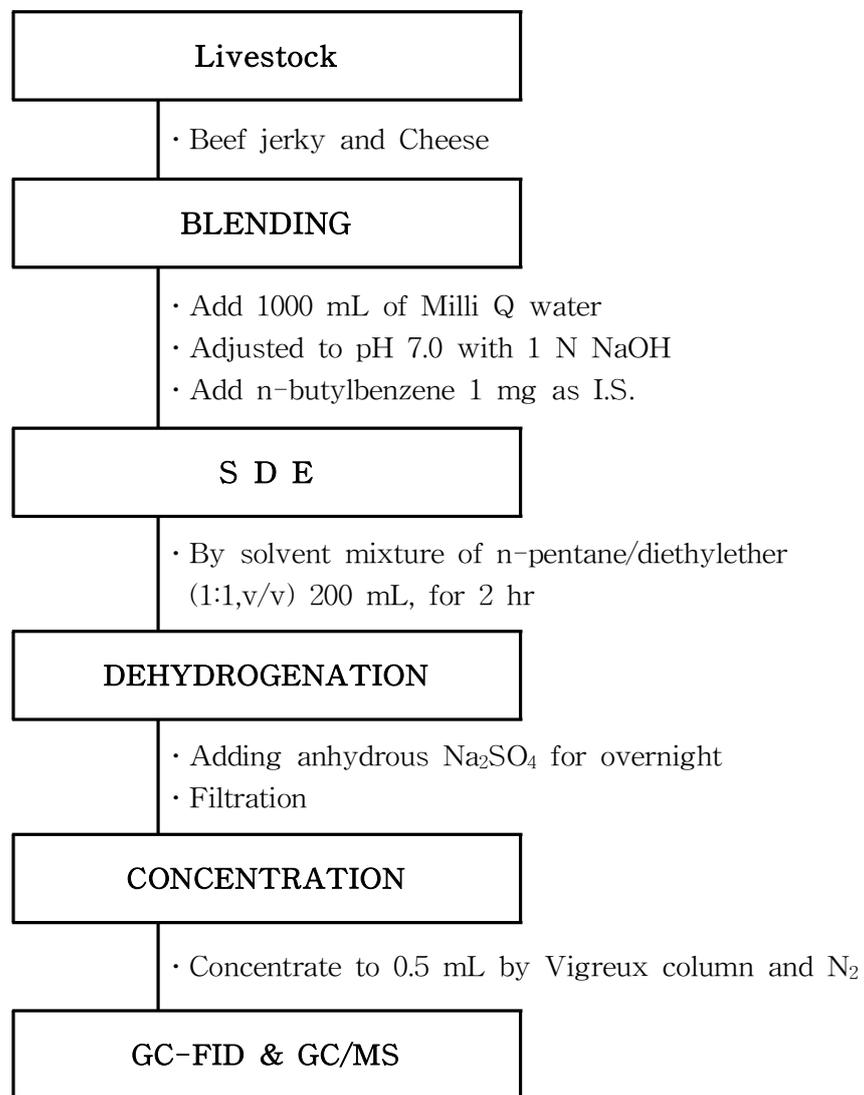


Figure 2-2. Analysis of volatile flavor components from livestock.

제 3 장 결과 및 고찰

제 1 절 휘발성 유기성분 분석 조건 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.

GC는 FID가 부착된 Hewlett-Packard series 5890 II Plus를 사용하였으며, column은 DB-WAX (60 m × 0.25 mm i.d., 0.25 μm film thickness, J&W, USA)를 사용하였고, 온도 프로그램은 40°C에서 3분간 유지한 다음 2°C/min의 속도로 150°C까지 다시 4°C/min의 속도로 200°C까지 상승시킨 후 10분간 유지하였다. Injector와 detector의 온도는 각각 250°C, 300°C이며, carrier gas는 helium을 사용하였고 유속은 1.0 mL/min으로 하였으며 시료는 1 μL를 split ratio 1:20로 주입하였다.

질량분석에 사용한 GC/MS는 Agilent technologies 7000, (Wilmington, DE, USA)을 사용하였으며 시료의 ion화는 electron impact ionization (EI)방법으로 행하였다. GC/MS 분석조건은 ionization voltage를 70 eV로 하였고, ion source 온도는 230°C로 하였다. 또한 분석할 분자량의 범위(m/z)는 40-350으로 설정하였다. 다른 분석조건들은 GC-FID의 분석조건과 동일한 조건으로 분석하였다.

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. 1-4에 나타내었고 각각의 탄소수에 해당되는 retention time(Table 1-4)을 RI 수립을 위한 basic program에 입력하여 분리된 각 peak의 RI를 구하였다.

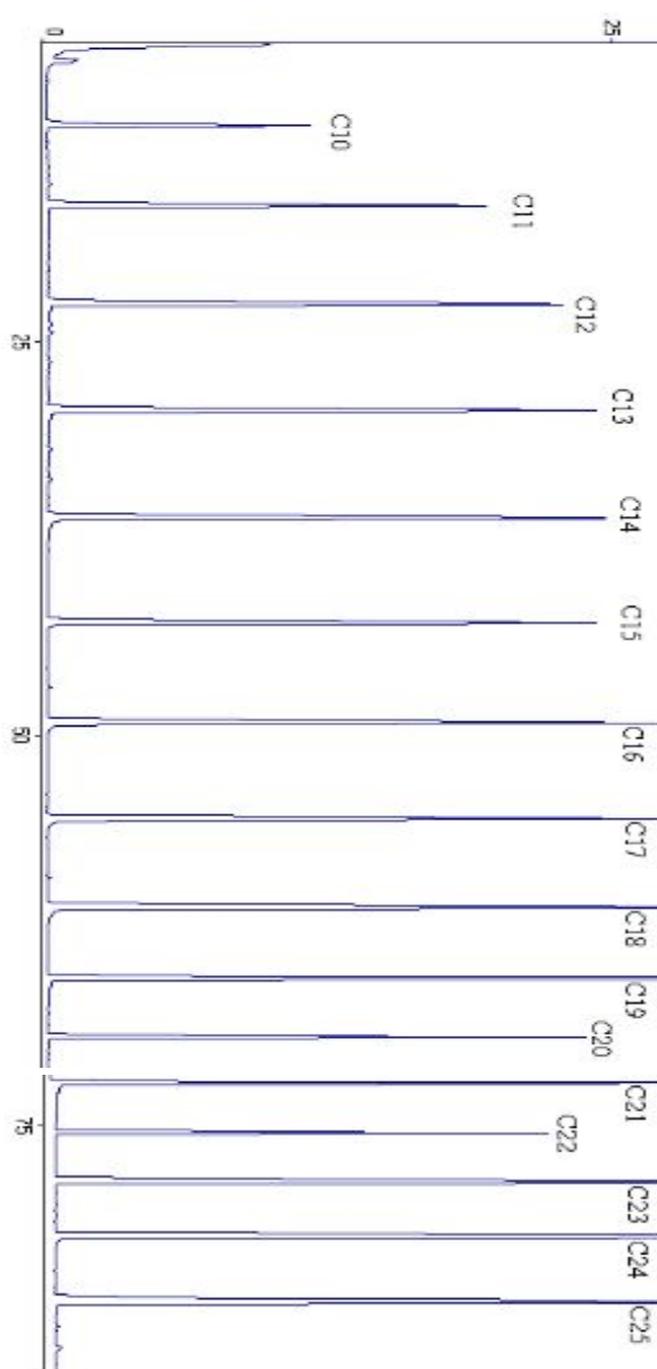


Figure 2-3. GC/MS chromatogram of n-alkane standard mixture.

Table 2-3. Retention time of n-alkanes for gas chromatographic retention index

n-Alkane	Name	Retention time
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 2 절 축산가공품의 품종별 휘발성 유기성분

1. 육포의 휘발성 유기성분 변화 분석

쇠고기육포에 함유된 휘발성 유기화합물을 SDE 방법을 이용하여 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻은 chromatogram을 Fig. 2-4에 나타내었고, 확인된 성분들의 상대적비율과 함량은 관능기별로 분류하여 Table 2-4 에 관능기별 함량과 비율은 Table 2-5에 나타내었다.

육포의 휘발성 유기화합물의 함량은 총 34.702 mg/kg으로 총 81종을 확인하였다. 관능기별 peak area는 aldehyde류가 26.57%으로 가장 높은 비율을 나타내었으며, 함량은 9.221 mg/kg으로 13종이 확인되었다. 그 외에 hydrocarbon류 29종(6.913 mg/kg), ketone류 13종(4.743 mg/kg), alcohol류 19종(4.615 mg/kg), S-함유화합물류 5종(4.311 mg/kg), ester류 2종(4.269 mg/kg), 기타류 4종(0.439 mg/kg)과 acid류 1종(0.190 mg/kg) 순으로 동정되었다.

육포의 주요 휘발성 유기화합물은 hexadecanal(6.160 mg/kg), ethyl alcohol(3.446 mg/kg), (*Z*)- β -caryophyllene(3.132 mg/kg), ethyl acetate(1.680 mg/kg), furfuryl alcohol(1.660 mg/kg), α -curcumene(1.369 mg/kg)으로 확인되었다. 육포에서 확인된 terpenoid류 화합물은 총 40종으로 함량은 12.239 mg/kg으로 상대적 비율은 35.27%을 차지하였다(Table 2-6).

Aldehyde류는 육류의 지방산화 과정에서 형성되는 화합물로 지방산화가 증가될수록 생성량이 증가한다고 보고되었다(27). 육포에서 0.246 mg/kg의 함량을 나타낸 hexanal은 육제품들의 지방의 자동산화 정도를 알 수 있는 가장 민감한 지표로 알려졌으며(28), linoleic acid ($C_{18:2}$) 또는 linolenic acid ($C_{18:3}$) 등과 같이 불포화지방산의 1,4 dien 구조의 이중결합 위치에 lipoxygenase가 작용하여 형성된 13-hydroperoxide로부터 생성된다(29). 이 hexanal에 alcohol dehydrogenase의 작용에 의해 hexanol이 유도되는데 육포에서는 hexanol이 확인되지 않았다. (*E*)-2-octenal과 (*E*)-2-nonenal은 각각 linoleic acid ($C_{18:2}$)의 10-hydroperoxide로부터 생성되는데 0.123 mg/kg 및 0.131 mg/kg의 함량을 나타내었다(30). 그 외의 aldehyde류로 2-Methyl butanal(0.075 mg/kg), 3-Methyl butanal(0.129 mg/kg), furfural(0.335 mg/kg), benzaldehyde(0.149 mg/kg), neral(0.1

18 mg/kg), geranial(0.060 mg/kg) 등이 확인되었다.

Alcohol류 중 가장 많은 함량은 나타낸 화합물은 ethyl alcohol로 3.446 mg/kg(9.93%)으로 확인되었으나, 높은 threshold value를 가지므로 육포의 특징적인 휘발성 유기화합물은 아니다. 다음으로 furfuryl alcohol 1.660 mg/kg(4.78%), ledol 0.462 mg/kg(1.33%), 1-phenyl-1-butanol 0.401 mg/kg(1.16%), borneol 0.357 mg/kg(1.03%), linalool 0.256 mg/kg(0.74%), (*E*)-nerolidol 0.234 mg/kg(0.68%), eucalyptol 0.130 mg/kg(0.37%)등이 확인되었다. 0.047 mg/kg으로 미량 확인된 guaiacol은 구운 쇠고기 향미의 구성성분으로 보고되어 있다(31). 그 외의 alcohol류로는 terpene alcohol인 4-terpineol, α -terpineol, geraniol, caryophyllene oxide, α -bisabolene epoxide, hydroxycitronellol 등이 확인되었으며, 지방족 알콜인 pentanol, octanol, 3-methyl-4-heptanol, (*E*)-2-octenol이 미량 동정되었다. Ledol은 대추나무 잎의 정유성분에서 다량 확인된 sesquiterpene alcohol로 병원성 미생물 작용을 억제하는 것으로 보고되었다(32).

S-함유화합물류는 육류와 육제품의 특징적인 향기성분이며(33), 마늘, 양파, 파와 같은 *Allium*속의 특징적인 맛과 냄새의 원인이 되는 성분이며, 식물의 분쇄과정에서 유리된 비휘발성의 향 전구물질인 S-allyl cysteine sulfoxide류에 alliinase와 같은 S-allyl cysteine sulfoxide lyase가 작용하여 수많은 allylthiosulfinate로 가수분해하여 생성된다(34). 육포에서 확인된 황화합물은 diallyl sulfide 0.868 mg/kg(2.50%), allyl isothiocyanate 0.494 mg/kg(1.42%), diallyl disulfide 0.299 mg/kg(0.86%), 3-methylthiophene 0.270 mg/kg(0.78%), benzothiazole 0.097 mg/kg(0.28%)이 확인되었다. Diallyl disulfide는 마늘의 향기성분 중 가장 많이 함유되어 있으며, 항균작용 및 항암작용이 있다고 보고되어 있다(35). 황화합물은 낮은 threshold value를 가져 요리된 육류향에 중요한 영향을 준다(36).

Ketone류는 butyrophenone(0.678 mg/kg), 6-methyl-5-hepten-2-one(0.498 mg/kg), 3-hydroxy-2-butanone(0.301 mg/kg), 2,3-butanedione(0.252 mg/kg), 2,3-pentanedione(0.191 mg/kg), carvone(0.185 mg/kg), acetophenone(0.181 mg/kg) 순으로 확인되었다. Carvone은 미나리과에 속하며 향신료로 이용되고 있는 캐러웨이(*Carum carvi*)의 정유성분의 주성분이며, 유도체는 carveol, (*E*)-pinocarveol 및 dihydrocarvone등이 있다. 이들은 우수한 살미활성을 가지고 있어 천연 위생해충 방제제로

이용할 수 있다고 보고되어졌다(37).

Ester류 화합물은 ethyl acetate(1.680 mg/kg), ethyl formate(0.389 mg/kg), bornyl acetate(0.055 mg/kg) 순으로 동정되었으며, ethyl acetate는 강렬한 맛과 쓴 단맛의 특성을 지닌 파인애플의 ester향과 비슷하며 bornyl acetate는 강하고 신선한 솔향을 나타낸다. 기타화합물류 중 furan 화합물로 2-acetyl furan, 2-pentyl furan이 각각 0.286 mg/kg 및 0.202 mg/kg으로 확인되었다. 2-pentyl furan은 linoleic acid (C_{18:2})의 9-hydroperoxide로부터 생성되며 굽거나 가열 조리한 쇠고기에서도 생성된다고 보고되었다(33).

Terpene류 중 가장 많은 함량은 보인 β -caryophyllene은 cis형과 trans형이 동정되었는데 cis형이 30배 이상 높은 비율을 차지하였으며, 정향과 소나무, 스파이스향의 특징으로 합성향료나 화장품에 사용되어진다(38). 다음으로 α -curcumene(3.95%), β -bisabolene(1.82%), d-limonene(1.80%), β -elemene(1.79%), aromadendrene(1.16%)순으로 확인되었다. Terpene류 중 α -zingiberene, α -curcumene, β -sesquiphellandrene, β -bisabolene, β -phellandrene, camphene, α -pinene등은 생강의 essential oil의 주요화합물로 알려져 있는데(39), 육포에서는 확인된 화합물은 α -curcumene과 β -bisabolene의 함량이 각각 1.369 mg/kg, 0.632 mg/kg이며, camphene과 α -pinene은 0.111 mg/kg 및 0.197 mg/kg으로 동정되었다. 또한 α -zingiberene과 β -sesquiphellandrene이 0.076 mg/kg과 0.092 mg/kg으로 미량 확인되었으며, β -phellandrene은 확인되지 않았으나 α -phellandrene이 0.026 mg/kg으로 동정되었다.

식물의 정유 성분은 향균, 향균성, 항산화성을 가지고 있는데 주로 terpene화합물의 작용이며, terpene 화합물은 2개의 isoprene으로부터 생합성되는 탄소수 10개의 monoterpene류와 3개의 isoprene 단위가 효소적 반응을 통해 고리형성을 거쳐 생합성되는 탄소수 15개의 sesquiterpene류로 분류된다. Monoterpene류는 활성산소를 제거하는 효과를 가지고 있는데 여기에는 monoterpene hydrocarbon류와 oxygenated monoterpene류로 구분되어진다. Sesquiterpene류 또한 동일하게 구분되어지는데, monoterpene류보다 항산화활성이 크다(40). 정유속의 terpene류의 활성은 p -cymene-8-ol, α -pinene, β -pinene, ocimene, limonene, terpinene, camphene등에 의한 것이며, α -pinene, 2- β -pinene, limonene은 강한 향균활성을 가진다(41,42). Terpene 화합물들의 화학적 구성성분들은 세균과 곰팡이의 막조직을 완전히 분열시킴으로서 미

생물에 대한 독성을 나타낸다(43).

육포에서 확인된 terpene hydrocarbon류 중 α -pinene(0.197 mg/kg)은 소나무향을 가지며, β -pinene(0.243 mg/kg)은 마른 나무냄새 및 약한 송진 냄새를 가지는데 열분해되면 myrcene을 형성한다. Limonene(0.623 mg/kg)은 citrus 계통 과일과 신선한 오렌지의 주요 향미성분으로 알려져 있고, γ -cadinene(0.193 mg/kg)은 cumin-thyme 계통의 향신료와 유사한 향을 지니며, δ -cadinene(0.222 mg/kg)은 herbaceous한 특징을 지닌다.

Monoterpene류와 sesquiterpene류 그리고 이들의 유도체는 육포의 제조과정 중에 첨가되는 향신료들의 주요 휘발성 화합물이라고 판단된다. 육포는 monoterpene류와 sesquiterpene류가 각각 20종씩 확인되었는데, monoterpene hydrocarbon류 8종과 oxygenated monoterpene류 12종으로 monoterpene류의 상대적비율은 9.15%으로 함량은 3.174 mg/kg이었다. Sesquiterpene hydrocarbon류 16종과 oxygenated sesquiterpene류 4종으로 sesquiterpene류의 비율과 함량은 26.12%와 9.065 mg/kg으로 확인되었다. 육포의 휘발성 유기화합물은 sesquiterpene류의 함량이 monoterpene류의 함량보다 약 3배정도 많음을 확인하였다.

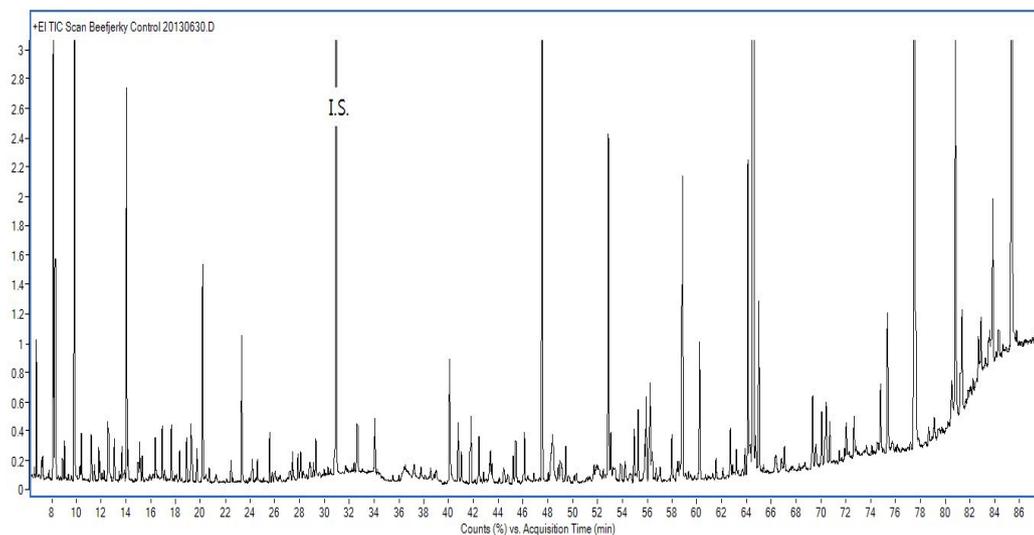


Figure 2-4. GC/MS chromatograms of the volatile organic compounds from beef jerky.

Table 2-4. Volatile organic compounds identified in non-irradiated beef jerky

(unit: mg/kg)

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	0 kGy	
					Area%	mg/kg
Aldehydes (13)						
1	915	2-Methyl butanal	C ₅ H ₁₀ O	86	0.22	0.075
2	920	3-Methyl butanal	C ₅ H ₁₀ O	86	0.37	0.129
3	1085	Hexanal	C ₆ H ₁₂ O	100	0.71	0.246
4	1188	Heptanal	C ₇ H ₁₄ O	114	0.10	0.034
5	1434	(<i>E</i>)-2-Octenal	C ₈ H ₁₄ O	126	0.36	0.123
6	1469	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	96	0.97	0.335
7	1528	Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	106	0.43	0.149
8	1541	(<i>E</i>)-2-Nonenal	C ₉ H ₁₆ O	140	0.38	0.131
9	1687	Neral	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.34	0.118
10	1739	Geranial	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.17	0.060
11	1879	Tetradecanal	C ₁₄ H ₂₈ O	278	0.55	0.190
12	1984	Pentadecanal	C ₁₅ H ₃₀ O	226	0.53	0.185
13	2090	Hexadecanal	C ₁₆ H ₃₂ O	226	17.75	6.160
Alcohols (21)						
14	943	Ethyl alcohol	C ₂ H ₆ O	46	9.93	3.446
15	1212	Eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.37	0.130
16	1260	Pentanol	C ₅ H ₁₂ O	88	0.27	0.094
17	1466	3-Methyl-4-heptanol	C ₈ H ₁₈ O	130	0.07	0.025
18	1534	3-Methyl-3-octanol	C ₉ H ₂₀ O	144	0.18	0.061
19	1555	Linalool	C ₁₀ H ₁₆ O	154	0.74	0.256
20	1568	Octanol	C ₈ H ₁₈ O	130	0.23	0.079
21	1610	4-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.55	0.190
22	1625	(<i>E</i>)-2-Octen-1-ol	C ₈ H ₁₆ O	128	0.15	0.053
23	1650	D-Limonene diepoxide	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	168	0.38	0.131

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-4. Continue

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	0 kGy	
					Area%	mg/kg
24	1670	Furfuryl alcohol	C ₅ H ₆ O ₂	98	4.78	1.660
25	1706	<i>α</i> -Terpineol,	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.68	0.238
26	1711	Borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	1.03	0.357
27	1858	Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.41	0.142
28	1868	Guaiacol	C ₇ H ₈ O ₂	124	0.14	0.047
29	1979	1-Phenyl-1-butanol	C ₁₀ H ₁₄ O	150	1.16	0.401
30	1993	Caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.91	0.316
31	2004	<i>α</i> -Bisaboleneepoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.72	0.248
32	2016	Hydroxycitronellol	C ₁₀ H ₂₂ O ₂	174	0.11	0.038
33	2030	(<i>E</i>)-Nerolidol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.68	0.234
34	2056	Ledol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	1.33	0.462
Ester (3)						
35	825	Ethyl formate	C ₃ H ₆ O ₂	74	0.57	0.197
36	889	Ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	88	0.32	0.111
37	1587	Bornyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0.70	0.243
Hydrocarbons (26)						
38	1023	<i>α</i> -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.57	0.197
39	1067	Camphene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.32	0.111
40	1107	<i>β</i> -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.70	0.243
41	1144	<i>o</i> -Xylene	C ₈ H ₁₀	106	0.43	0.148
42	1181	<i>α</i> -Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.06	0.020
43	1198	D-Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136	1.80	0.623
44	1208	<i>α</i> -Phellandrene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.08	0.026
45	1249	<i>γ</i> -Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.13	0.046
46	1273	<i>o</i> -Cymene	C ₁₀ H ₁₄	134	0.60	0.208

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-4. Continue

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	0 kGy	
					Area%	mg/kg
47	1441	<i>p</i> -Cymenene	C ₁₀ H ₁₂	132	0.41	0.142
48	1473	δ -Elemene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.45	0.156
49	1494	α -Cubebene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.70	0.242
50	1579	(<i>Z</i>)- β -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	9.02	3.132
51	1592	β -Elemene	C ₁₅ H ₂₄	204	1.79	0.622
52	1600	(<i>E</i>)- β -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.31	0.106
53	1663	α -Zingiberene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.22	0.076
54	1674	α -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.74	0.258
55	1693	γ -Curcumene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.45	0.155
56	1721	γ -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	190	0.56	0.193
57	1723	Aromadendrene	C ₁₅ H ₂₄	204	1.16	0.404
58	1730	β -Bisabolene	C ₁₅ H ₂₄	204	1.82	0.632
59	1744	β -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.27	0.093
60	1762	δ -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.64	0.222
61	1773	β -Sesquiphellandrene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.27	0.092
62	1777	α -Curcumen	C ₁₅ H ₂₂	202	3.95	1.369
63	1838	Calamenene	C ₁₅ H ₂₂	202	0.15	0.053
Ketones (8)						
64	980	2,3-Butanedione	C ₄ H ₆ O ₂	86	0.73	0.252
65	1062	2,3-Pentanedione	C ₆ H ₈ O ₂	100	0.55	0.191
66	1290	3-Hydroxy-2-butanone	C ₄ H ₈ O ₂	88	0.87	0.301
67	1343	6-Methyl-5-hepten-2-one	C ₈ H ₁₄ O	126	1.44	0.498
68	1522	Camphor	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.12	0.040
69	1603	2-Undecanone	C ₁₁ H ₂₂ O	170	0.52	0.181
70	1657	Acetophenone	C ₈ H ₈ O	120	0.53	0.185

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-4. Continue

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	0 kGy	
					Area%	mg/kg
71	1801	Butyrophenone	C ₁₀ H ₁₂ O	148	1.95	0.678
S-containing compounds (5)						
72	1094	3-Methylthiophene	C ₅ H ₆ S	98	0.78	0.270
73	1151	Diallyl sulfide	C ₆ H ₁₀ S	114	2.50	0.868
74	1364	Allyl isothiocyanate	C ₄ H ₅ NS	99	1.42	0.494
75	1484	Diallyl disulfide	C ₆ H ₁₀ S ₂	146	0.86	0.299
76	1966	Benzothiazole	C ₇ H ₅ NS	135	0.28	0.097
Acids (1)						
77	1458	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	60	2.37	0.823
Miscellaneous (4)						
78	895	1,1-Diethoxy-ethane	C ₆ H ₁₄ O ₂	118	2.01	0.697
79	1235	2-Pentyl furan	C ₉ H ₁₄ O	138	0.58	0.202
80	1276	2-Methyl pyrazine	C ₅ H ₆ N ₂	94	0.30	0.104
81	1510	2-Acetyl furan	C ₆ H ₆ O ₂	110	0.82	0.286
Total					100	34.702

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-5. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky

Functional Groups	Irradiation dose (kGy)		
	No.	Area%	mg/kg
Aldehydes	13	22.87	7.936
Alcohols	21	24.81	8.609
Esters	3	6.12	2.123
Hydrocarbons	26	27.57	9.568
Ketones	8	6.70	2.326
S-containing compounds	5	5.85	2.028
Acids	1	2.37	0.823
Miscellaneous	4	3.71	1.289
Total	81	100	34.702

Table 2-6. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky

Functional Groups	Irradiation dose (kGy)		
	No.	Area%	mg/kg
Monoterpene hydrocarbons	8	4.09	1.420
Sesquiterpene hydrocarbons	16	22.49	7.804
Oxygenated monoterpenes	12	5.06	1.760
Oxygenated sesquiterpenes	4	3.63	1.260
Total	40	35.27	12.240

2. 식품조사(감마선, 전자선)된 육포의 휘발성 유기성분

방사선 조사에 의한 휘발성 유기화합물의 비교 분석을 위하여 전자선, 감마선을 각각 20 kGy의 선량으로 육포에 조사한 후 SDE방법으로 휘발성 화합물을 추출한 후 GC/MS로 분석한 결과를 Fig. 2-5와 Table 2-7에 나타내었다. 비조사된 육포의 휘발성 유기화합물의 함량은 34.702 mg/kg, 전자선, 감마선 조사된 육포의 함량은 각각은 26.757 mg/kg, 20.474 mg/kg으로 방사선 조사에 의해 휘발성 유기화합물의 총 생성량은 감소함을 확인하였다. 관능기별로 비교하였을 때 aldehyde류, ester류, ketone류, S함유화합물류, acid류는 방사선 조사에 의해 감소하였는데, hydrocarbon 류의 함량은 전자선 조사에 의해 많은 증가를 보였고, 감마선 조사시 감소하였으며, alcohol류 변화량은 전자선 조사시 큰 차이가 없었지만, 감마선 조사시에는 많은 증가를 보였다(Table 2-8). 방사선 조사에 의해 가장 많은 감소를 나타낸 aldehyde류의 함량은 control, e-beam 20, γ -ray 20 kGy에서 각각 7.936, 1.748, 0.601 mg/kg으로 확인되었다. 선종별로 비교하였을 때 감마선조사에 의한 휘발성 유기화합물의 변화량이 전자선조사에 의한 감소량보다 더 많은 감소를 확인하였다.

전자선 조사된 육포에서 확인된 휘발성 유기화합물은 (*E*)- β -caryophyllene(4.661 mg/kg), ethyl alcohol(2.888 mg/kg), α -caryophyllene(1.188 mg/kg), ethyl acetate(1.374 mg/kg), (*Z*)- β -caryophyllene(1.128 mg/kg), β -bisabolene(0.773 mg/kg), *p*-propenylanisole(0.722 mg/kg), caryophyllene oxide(0.657 mg/kg), diallyl sulfide(0.593 mg/kg), D-limonene(0.554 mg/kg), aromadendrene(0.551 mg/kg), α -curcumen(0.505 mg/kg), 4-terpineol(0.471 mg/kg), α -cubebene(0.454 mg/kg), δ -cadiene(0.439 mg/kg)등의 순으로 동정되었다.

감마선 조사된 육포에서 확인된 휘발성 유기화합물은 eucalyptol(6.142 mg/kg), ethyl alcohol(3.674 mg/kg), ethyl acetate(1.234 mg/kg), linalool(1.215 mg/kg), (*E*)- β -caryophyllene(0.961 mg/kg), carvone(0.872 mg/kg), diallyl sulfide(0.404 mg/kg), acetic acid(0.396 mg/kg), butyrophenone(0.338 mg/kg), allyl isosulfocyanate(0.312 mg/kg), D-limonene(0.281 mg/kg), α -curcumen(0.270 mg/kg), diallyl disulfide(0.251 mg/kg), caryophyllene oxide(0.209 mg/kg), 4-terpineol(0.188 mg/kg)등의 순으로 동정되었다.

Alcohol류 중 eucalyptol과 linalool의 함량은 전자선 조사시 약간 증가를 보였으나, 감마선 조사시 많은 양이 증가하여 각각 6.142 mg/kg, 1.215 mg/kg으로 동정되었다.

Eucalyptol과 linalool은 terpene alcohol류로 eucalyptol은 camphorous, mint한 특성을 가지며 항균활성과 소화촉진 및 살균 효과, 거담효과가 있다고 보고되었다(44). Linalool은 거울상 이성질체가 존재하고 있는데 (*R*)-form은 floral, woody, lavender note로 Japanese pepper와 basil oil에서 우세하며, (*S*)-form은 sweet, floral로 코코아, 딸기, 오렌지 등에서 우세하다고 보고되어 있으며, 건생강에서는 두 이성질체가 혼합되어 있으나, (*R*)-enantiomer가 약간 우세한 상태로 생강의 원산지에 따라 달라진다고 보고되었다(45). Eucalyptol과 linalool은 lignan, tannins, quinones 등으로 생합성되고 acetyl-CoA를 거쳐 mevalonic acid pathway와 pyruvate/GAP pathway를 통해 isopentenyl diphosphate와 dimethylallyl diphosphate를 거쳐 생성된 isoprene 물질로부터 생성되는데, 이들은 육포 제조시 첨가된 생강에서 유래되었다고 판단된다(46).

Terpene화합물의 함량은 전자선과 감마선 조사시 16.231 mg/kg 및 12.929 mg/kg으로 동정되어 방사선 조사에 의해 생성량이 증가함을 확인하였다(Table 2-9). Sesquiterpene hydrocarbon류의 함량은 전자선 조사시 증가하였으나 감마선조사에서는 많은 감소를 보였다. (*E*)- β -caryophyllene, α -caryophyllene, γ -terpinene의 함량은 전자선 조사에 의해 많은 증가를 보였으나, 감마선 조사시는 비조사시료와 큰차이가 없었다. Caryophyllene은 isocaryophyllene(α -caryophyllene or humulene)과 β -caryophyllene의 두 형태로 존재하는데 가열처리 방법에 따른 축의 정유 성분 및 함량 분석에 대한 김(47)의 연구에서 caryophyllene은 가열 온도가 높을수록 많이 생성되는 것으로 보고 되었으나(48), 본 연구에서는 전자선 조사시 다량 증가함을 보여 좀 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다. α -Caryophyllene은 홉(*Humulus lupulus*)의 정유성분이며, 둥글레(*Polygonum odoratum*)의 향미성분으로 알려져 있으며, β -caryophyllene은 정향(*Syzygium aromaticum*)의 정유 성분으로 black pepper(*Piper nigrum*)의 주요 물질로 보고되었다(49).

방사선 조사에 의해 미량 생성된 화합물은 monoterpene류인 α -thujenem, sabinene, α -terpinolen, p -cymenene, carvone, (*E*)-linalool oxide등이 확인되었으며, β -cubebene, δ -elemene, camphor는 전자선 조사된 육포에서만 미량 생성되었다. p -cymenene, δ -elemene, β -cadinene, α -bisaboleneepoxide는 감마선 조사된 육포에서는 확인되지 않았으며, linanyl acetate는 0.059 mg/kg으로 감마선 조사시료에서만 동정되었다. 전자선 조사된 육포에서는 sesquiterpene류의 함량이 높았으며, 감마선 조사된 육포에서는 monoterpene류의

함량이 높았다. 방사선 조사된 쇠고기 추출물의 휘발성 화합물 분석에 의한 방사선 조사유무의 판별마커 확인에 관한 김 등(50)의 연구에서와 같이 1,3-bis(1,1-dimethylethyl) benzene의 함량은 전자선 0.343 mg/kg, 감마선 0.108 mg/kg으로 확인하였으나, 최근 연구 논문인 분쇄 우유중 방사선 지시물질 확인에 관한 연구에서 SPME와 SDE 방법으로 검출하였을 때 1,3-bis(1,1-dimethylethyl) benzene이 비조사 시료에서 확인되어(51) 방사선 조사 판별을 위한 휘발성 표지물질이 아님을 확인하였다.

김 등(52)의 연구에서는 1,3-bis(1,1-dimethylethyl) benzene의 생성은 방사선 조사 과정에서 형성된 methyl radical과 xylene radical의 연속적 결합과정을 통해서 형성된다고 추정하였는데, 심(53)의 연구에서 xylene과 carotenoid를 방사선 조사하여 변화를 살펴보았는데 1,3-bis(1,1-dimethylethyl) benzene의 생성기전은 xylene과 carotenoid와 연계반응이 관찰되지 않았으며, 식품포장재인 PE(Polyethylene)와 PP(Polypropylene)에서 기인한 것으로 보고되었다. 방사선 조사된 육포에서 확인된 1,3-bis(1,1-dimethylethyl) benzene은 방사선 조사시 육포의 포장재인 PE에서 생성되었다고 판단된다.

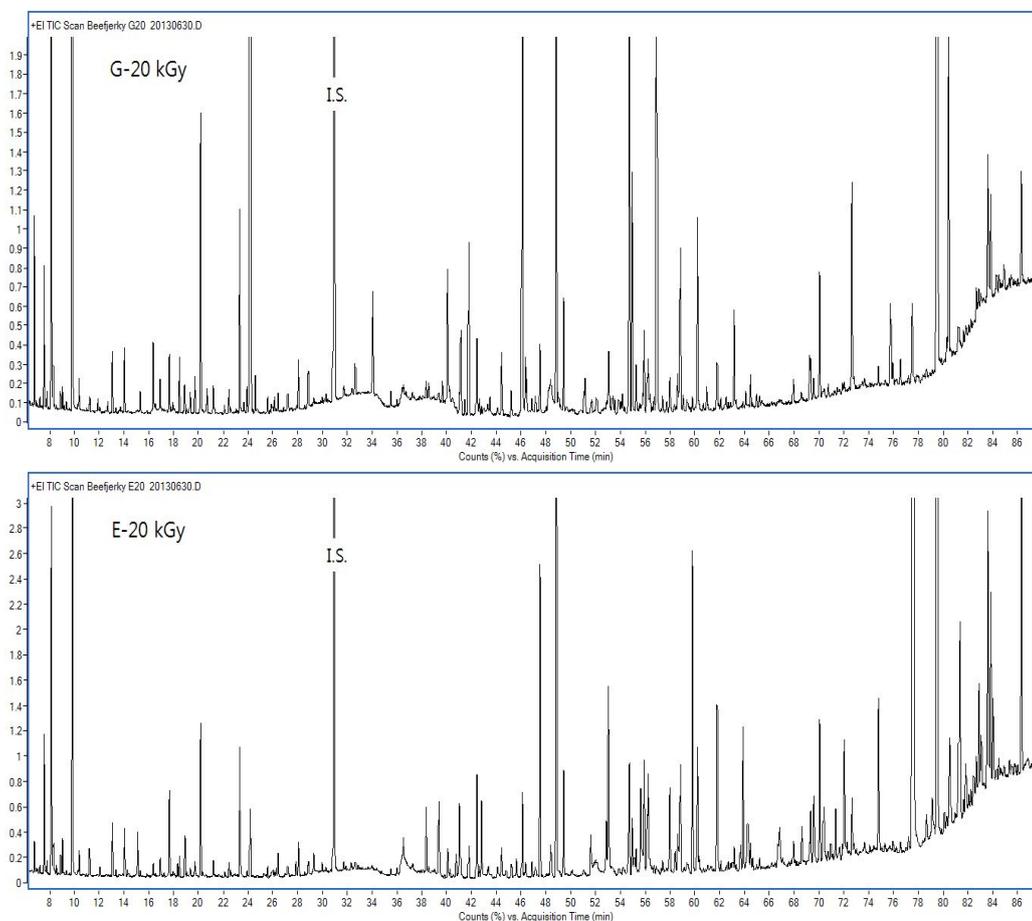


Figure 2-5. GC/MS chromatograms of the volatile organic compounds from gamma and e-beam irradiated beef jerky.

Table 2-7. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky

(unit: mg/kg)

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	Irradiation dose (kGy)		
					0	E 20	G 20
Aldehyde (14)							
1	916	2-Methyl butanal	C ₅ H ₁₀ O	86	0.075	0.068	0.020
2	920	3-Methyl butanal	C ₅ H ₁₀ O	86	0.129	0.124	0.026
3	1085	Hexanal	C ₆ H ₁₂ O	100	0.246	0.062	0.098
4	1188	Heptanal	C ₇ H ₁₄ O	114	0.034	0.048	0.015
5	1434	(<i>E</i>)-2-Octenal	C ₈ H ₁₄ O	126	0.123	0.096	0.115
6	1469	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	96	0.335	0.123	-
7	1528	Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	106	0.149	0.199	0.125
8	1541	(<i>E</i>)-2-Nonenal	C ₉ H ₁₆ O	140	0.131	0.099	0.049
9	1687	Neral	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.118	0.054	0.030
10	1739	Geranial	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.060	0.041	0.027
11	1816	(<i>E,E</i>)-2,4-Decadienal	C ₁₀ H ₁₆ O	152	-	-	0.052
12	1879	Tetradecanal	C ₁₄ H ₂₈ O	278	0.190	0.384	0.005
13	1984	Pentadecanal	C ₁₅ H ₃₀ O	226	0.185	0.410	0.039
14	2089	Hexadecanal	C ₁₆ H ₃₂ O	226	6.160	0.039	-
Alcohol (24)							
15	943	Ethyl alcohol	C ₂ H ₆ O	46	3.446	2.888	2.674
16	1212	Eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.130	0.294	6.142
17	1260	Pentanol	C ₅ HcO	88	0.094	0.069	0.046
18	1465	3-Methyl-4-heptanol	C ₈ H ₁₈ O	130	0.025	0.018	0.101
19	1480	(<i>E</i>)-Linalool oxide	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	-	0.004	0.029
20	1534	3-Methyl-3-octanol	C ₁₀ H ₁₆ O	154	0.061	0.044	0.009
21	1555	Linalool	C ₈ H ₁₈ O	130	0.256	0.327	1.215
22	1568	1-Octanol	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0.079	0.082	0.043
23	1610	4-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.190	0.471	0.188

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-7. Continue

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	Irradiation dose (kGy)		
					0	E 20	G 20
24	1625	(<i>E</i>)-2-Octen-1-ol	C ₈ H ₁₆ O	128	0.053	-	0.017
25	1650	D-Limonene diepoxide	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	168	0.131	-	0.044
26	1670	Furfuryl alcohol	C ₅ H ₆ O ₂	98	1.660	0.293	0.021
27	1706	α -Terpieol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.238	0.233	0.354
28	1711	Borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.357	0.126	0.097
29	1832	<i>p</i> -Propenylanisole	C ₁₀ H ₁₂ O	148	-	0.722	0.091
30	1858	Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.142	0.114	0.159
31	1868	Guaiacol	C ₇ H ₈ O ₂	124	0.047	0.126	0.007
32	1923	Benzene ethanol	C ₈ H ₁₀ O	122	-	0.037	-
33	1978	1-Phenyl-1-butanol	C ₁₀ H ₁₄ O	150	0.401	0.336	0.066
34	1993	Caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.316	0.657	0.209
35	2003	α -Bisabolene epoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.248	0.032	-
36	2016	Hydroxycitronellol	C ₁₀ H ₂₂ O ₂	174	0.038	0.031	0.010
37	2029	(<i>E</i>)-Nerolidol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.234	0.101	0.019
38	2056	Ledol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.462	0.078	0.033
Esters (4)							
39	825	Ethyl formate	C ₃ H ₆ O ₂	74	0.389	0.102	0.181
40	889	Ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	88	1.680	1.374	1.234
41	1562	Linanyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	-	-	0.059
42	1587	Bornyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0.055	0.018	0.031
Hydrocarbons (31)							
43	1023	α -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.197	0.213	0.078
44	1028	α -Thujene	C ₁₀ H ₁₆	136	-	0.027	0.008
45	1067	Camphene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.111	0.029	0.030
46	1107	β -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.243	0.349	0.084

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-7. Continue

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	Irradiation dose (kGy)		
					0	E 20	G 20
47	1122	Sabinene	C ₁₀ H ₁₆	136	-	0.080	0.072
48	1144	<i>o</i> -Xylene	C ₈ H ₁₀	106	0.148	0.096	0.058
49	1181	<i>a</i> -Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.020	0.033	0.015
50	1198	D-Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.623	0.554	0.281
51	1208	<i>a</i> -Phellandrene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.026	0.042	0.040
52	1249	<i>γ</i> -Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.046	0.108	0.047
53	1273	<i>o</i> -Cymene	C ₁₀ H ₁₄	134	0.208	0.193	0.093
54	1285	<i>a</i> -Terpinolen	C ₁₀ H ₁₆	136	-	0.158	0.141
55	1431	1,3-Bis(1,1-dimethylethyl)-benzene	C ₁₄ H ₂₂	190	-	0.343	0.108
56	1442	<i>p</i> -Cymenene	C ₁₀ H ₁₂	132	0.142	0.111	0.050
57	1461	<i>β</i> -Cubebene	C ₁₅ H ₂₄	204	-	0.047	-
58	1473	<i>δ</i> -Elemene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.156	0.401	-
59	1494	<i>a</i> -Cubebene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.242	0.454	0.132
60	1579	(<i>Z</i>)- <i>β</i> -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	3.132	1.281	0.132
61	1592	<i>β</i> -Elemene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.622	0.170	0.230
62	1600	(<i>E</i>)- <i>β</i> -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.106	4.661	0.961
63	1664	<i>a</i> -Zingiberene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.076	0.030	0.009
64	1673	<i>a</i> -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.258	1.188	0.147
65	1692	<i>γ</i> -Curcumene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.155	0.081	0.039
66	1721	<i>γ</i> -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	190	0.193	-	-
67	1724	Aromadendrene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.404	0.551	0.160
68	1730	<i>β</i> -Bisabolene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.632	0.773	0.143
69	1745	<i>β</i> -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.093	0.024	-
70	1762	<i>δ</i> -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.222	0.439	0.073
71	1773	<i>β</i> -Sesquiphellandrene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.092	0.252	0.063

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-7. Continue

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	Irradiation dose (kGy)		
					0	E 20	G 20
72	1777	<i>α</i> -Curcumen	C ₁₅ H ₂₂	202	1.369	0.505	0.270
73	1838	Calamenene	C ₁₅ H ₂₂	202	0.053	0.049	0.022
Ketones (10)							
74	864	2-Butanone	C ₄ H ₈ O	72	-	0.447	0.147
75	981	2,3-Butanedione	C ₄ H ₆ O ₂	86	0.252	0.151	0.025
76	1062	2,3-Pentanedione	C ₆ H ₈ O ₂	100	0.191	0.176	0.013
77	1290	3-Hydroxy-2-butanone	C ₄ H ₈ O ₂	88	0.301	0.235	0.117
78	1343	6-Methyl-5-hepten-2-one	C ₈ H ₁₄ O	126	0.498	0.182	0.145
79	1522	Camphor	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.040	0.080	-
80	1602	2-Undecanone	C ₁₁ H ₂₂ O	170	0.040	0.080	0.067
81	1657	Acetophenone	C ₈ H ₈ O	120	0.181	0.176	0.040
82	1742	Carvone	C ₁₀ H ₁₄ O	150	0.185	0.042	0.872
83	1801	Butyrophenone	C ₁₀ H ₁₂ O	148	0.678	-	0.338
S-containing compounds (6)							
84	958	Allyl methyl sulfide	C ₄ H ₈ S	88	-	0.120	0.045
85	1094	3-Methyl thiophene	C ₅ H ₆ S	98	0.270	0.098	0.062
86	1151	Diallyl sulfide	C ₆ H ₁₀ S	114	0.868	0.593	0.404
87	1363	Allyl isosulfocyanate	C ₄ H ₅ NS	99	0.494	0.210	0.312
88	1484	Diallyl disulfide	C ₆ H ₁₀ S ₂	146	0.299	0.141	0.251
89	1965	Benzothiazole	C ₇ H ₅ NS	135	0.097	0.196	0.033
Acids (1)							
90	1458	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	60	0.823	0.172	0.396
Miscellaneous (4)							
91	895	1,1-Diethoxy-ethane	C ₆ H ₁₄ O ₂	118	0.697	-	-
92	1235	2-Pentyl furan	C ₉ H ₁₄ O	138	0.202	0.042	0.031
93	1276	2-Methyl pyrazine	C ₅ H ₆ N ₂	94	0.104	0.019	0.010
94	1510	2-Acetyl furan	C ₆ H ₆ O ₂	110	0.286	0.108	-
Total(94)					34.702	26.757	20.474

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-8. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky

Functional Groups	Irradiation dose (kGy)					
	0		E 20		G 20	
	No.	mg/kg	No.	mg/kg	No.	mg/kg
Aldehydes	13	7.936	13	1.748	12	0.601
Alcohols	21	8.609	22	7.083	22	11.575
Esters	3	2.123	3	1.495	4	1.504
Hydrocarbons	26	9.568	30	13.243	27	3.487
Ketones	8	2.326	8	1.491	9	1.763
S-containing compounds	5	2.028	6	1.358	6	1.106
Acids	1	0.823	1	0.172	1	0.396
Miscellaneous	4	1.289	3	0.168	2	0.040
Total	81	34.702	86	26.757	83	20.474

Table 2-9. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky

Functional Groups	Irradiation dose (kGy)					
	0		E 20		G 20	
	No.	mg/kg	No.	mg/kg	No.	mg/kg
Monoterpene hydrocarbons	8	1.419	12	1.897	12	0.941
Sesquiterpene hydrocarbons	16	7.804	16	10.907	13	2.381
Oxygenated monoterpenes	12	1.755	13	2.558	14	9.346
Oxygenated sesquiterpenes	4	1.261	4	0.868	3	0.261
Total	40	12.239	45	16.231	42	12.929

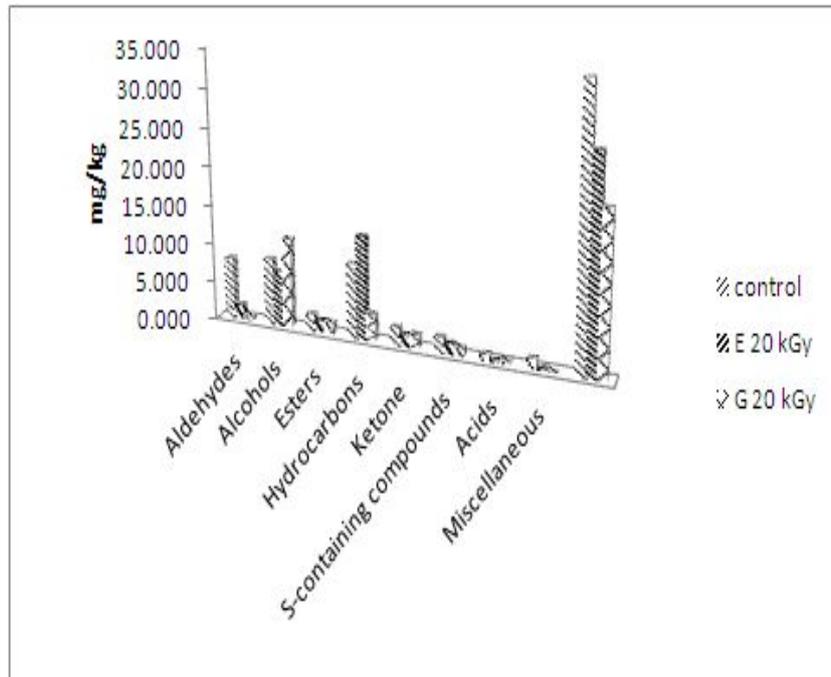


Figure 2-6. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky.

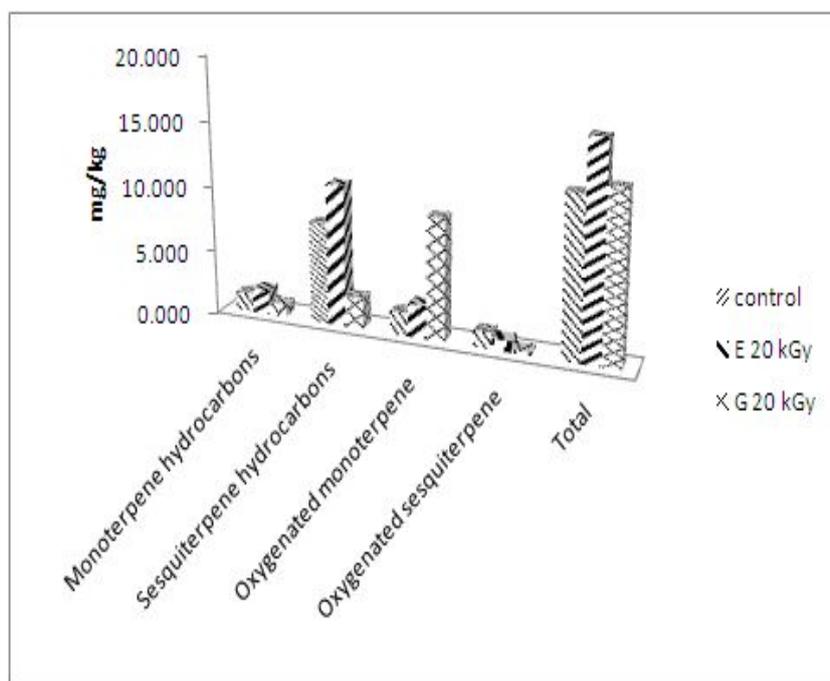


Figure 2-7. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky.

3. 치즈의 휘발성 유기성분 변화

치즈의 휘발성 유기성분을 분석하기 위하여 SDE방법으로 추출한 후 GC/MS로 분석하였다. 치즈의 chromatogram을 Figure 2-8에 GC/MS에 의해 동정된 휘발성 유기성분은 Table 2-10에 나타내었다. 휘발성 유기성분의 관능기에 따른 상대적 함량은 Table 2-11에 나타내었다.

치즈의 총 휘발성 유기성분은 20.590 mg/kg 69종의 화합물이 확인되었다. 그 중 alcohol류가 20종(12.930 mg/kg)으로 전체유기성분의 62.83%를 차지하였다. Aldehyde류가 12종, ester류가 3종, hydrocarbon류 21종, ketone류 10종, acid류 1종, S-containing 화합물 3종, 그리고 기타화합물 2종으로 그 함량은 각각 1.230, 1.727, 0.729, 3.176, 0.571, 0.056, 및 0.170 mg/kg으로 Table 2-11과 같다. 치즈의 주요 휘발성 유기화합물은 ethyl alcohol(6.692 mg/kg), Nerodirol(4.475 mg/kg), ethyl acetate(1.176 mg/kg), 2-pentadecanone(0.964 mg/kg), hexadecanal(0.654 mg/kg), 2-methyl-1-phenyl-1-propanol(0.608 mg/kg), butyrophenone(0.614 mg/kg), acetic acid(0.571 mg/kg) 등의 순으로 동정되었고 terpenoid 화합물은 총 32종으로 33.78%(6.951 mg/kg)의 상대적 비율을 나타내었다(Table 2-12).

Aldehyde류는 hexadecanal이 0.654 mg/kg으로 동정되었고, benzaldehyde, pentadecanal, tetradecanal, furfural 등의 순으로 확인되었다. 2-Methyl butanal과 3-methyl butanal은 mailard 반응에 의해 생성되는 것으로 strecker aldehyde로 알려져 있다(54). C₉ 화합물인 (E)-2-nonenal은 오이향의 주성분으로 확인된다.

Alcohol류 중 다량 동정된 화합물인 ethyl alcohol은 6.692 mg/kg로 alcohol류 뿐 아니라 전체적인 함량비가 가장 높게 동정되었고 neroridol, 2-methyl-1-phenyl-1-propanol, linalool, ledol, d-limonene diepoxide 및 furfuryl alcohol의 순으로 나타났으며, 그 외 caryophyllene oxide, 4-terpineol, geraniol, α -bisabolene epoxide 및 eucalyptol 등도 확인되었다. Terpineol은 cajuput 오일, 소나무 오일, 및 petitgrain 오일 등 자연적으로 생성되는 모노 테르펜 알코올로 알파, 베타, 감마의 세 가지 이성체가 있는 것으로 알려져 있다(55). 또한 terpineol은 라일락과 유사한 향기를 가지고 있으며 향수, 화장품의 일반적인 성분으로 사용되고 있다. α -Terpineol은 소중차의 성분 중 하나이며, 차를 건조하는 데 사용되는 소나무 연기에 기인한다(56).

Nerolidol은 나무향 또는 꽃향을 내는 향기성분으로 녹차나 반발효 차에도 많다고 알려져 있다(57).

Ester류는 총 3종으로 1.727 mg/kg(8.39%)이 동정되었다. Ethyl acetate가 1.176 mg/kg 동정되었고, ethyl formate(0.525 mg/kg)와 bornyl acetate(0.026 mg/kg)으로 각각 나타났으며, ethyl acetate는 과일향의 화합물로 알려져 있다(58).

Hydrocarbon류는 18종이 확인되었고 그 함량은 0.729 mg/kg으로 전체 함량의 3.55%를 차지하였다. Xylene이 0.104 mg/kg으로 hydrocarbon류 중 가장 많이 확인되었고, β -sesquiphellandrene, α -cubebene, β -pinene의 순으로 나타났다. 그 외 β -myrcene, d-limonene, *p*-cymene, δ -cadinene등이 확인되었다. β -myrcene은 베이, 야생 타임 등에서 확인되는 화합물로 mono terpene에 속한다(50). 이런 hydrocarbon류의 화합물은 swiss gruyere and L'Etivaz 치즈(59), 고르곤졸라 치즈(60), 파마산 치즈(61)에서도 확인되었다. Pinene은 모노테르펜의 화합물로(62) α -, β -의 두가지 이성질체가 있다. 이름에서 알수 있듯 소나무의 구성요소이며 다른 침엽수림에서 발견되기도 하며 인공방향제와 같은 향수 산업에 중요한 역할을 하고 있다(63). α -Zingiberene과 γ -curcumene은 야생 토마토에서 중요한 유기성분으로 확인된바 있다(64). Aromadendrene은 *Eucalyptus* 나무의 essential oil에 존재하는 것으로 aromadendron 나무로 알려져 있다(65).

Acid류는 acetic acid 1종으로 0.571 mg/kg이 동정되어 전체 2.78%를 차지하였다.

Ketone류는 10종으로 3.176 mg/kg이 동정되었고 2-pentadecanone, butyrophenone, 2-tridecanone, 2-heptanone의 순으로 확인되었다. Carvone은 캐러웨이와 딜의 종자 오일에서 발견되는 것으로 알려져 있다(66).

S-containing 화합물은 3종으로 0.056 mg/kg이 동정되었고 allyl methyl sulfide(0.044 mg/kg), diallyl disulfide(0.007 mg/kg) 그리고 3-methyl thiophene(0.005 mg/kg)의 순으로 확인되었다. Allyl methyl sulfide는 알킬 화합물로 강한 냄새를 가진 특성이 있으며(67), diallyl disulfide는 마늘과 부추 속에 속하는 organosulfur 화합물로(68) diallyl trisulfide하고 알릴 황화물과 함께 주요 구성 요소 중 하나이다. 물에 불용성이며 강한 마늘 냄새가 나는 황색의 액체로 알리신의 분해 시 생성된다. Diallyl disulfide의 경우 마늘 알레르기를 일으키는 알레르겐이기도 하다.

기타 화합물로는 2-acetyl furan(0.163 mg/kg)과 2-butyl furan(0.006 mg/kg) 2종이 0.170 mg/kg으로 분석되었다.

Terpenoid 화합물은 32종이 6.951 mg/kg으로 33.78%를 차지하였다. Monoterpene hydrocarbon류는 6종 0.210 mg/kg으로 전체 area%의 1.02%를 차지하였고 sesquiterpene hydrocarbon류는 11종으로 0.415 mg/kg을 차지하여 2.02%를 보였다. Oxygenated monoterpene류는 9종 0.559 mg/kg으로 2.72%를 나타내었고, oxygenated sesquiterpene류는 6종 5.767 mg/kg으로 28.02%를 차지하여 전체 terpenoid 화합물 중 가장 높은 함량을 보였다. 치즈의 휘발성 유기성분의 특징적인 화합물은 terpene류 중 oxygenated sesquiterpene류인 것으로 확인되었다.

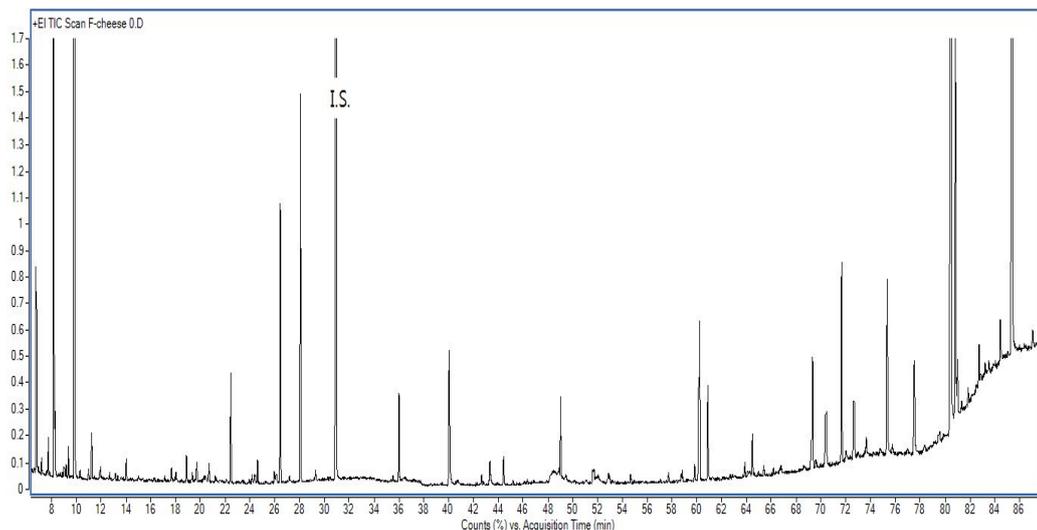


Figure 2-8. GC/MS chromatograms of the volatile organic compounds from cheese.

Table 2-10. Volatile organic compounds identified in non-irradiated cheese

(unit: mg/kg)

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	0 kGy	
					Area%	mg/kg
Aldehydes (12)						
1	916	2-Methyl butanal	C ₅ H ₁₀ O	86	0.11	0.022
2	920	3-Methyl butanal	C ₅ H ₁₀ O	86	0.19	0.038
3	1084	Hexanal	C ₅ H ₁₂ O	100	0.15	0.032
4	1434	(<i>E</i>)-2-Octanal	C ₈ H ₁₆ O	128	0.12	0.025
5	1469	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	96	0.32	0.065
6	1528	Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	106	0.74	0.152
7	1541	(<i>E</i>)-2-Nonenal	C ₉ H ₁₆ O	140	0.15	0.031
8	1686	Neral	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.13	0.027
9	1739	Geranial	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.02	0.004
10	1879	Tetradecanal	C ₁₄ H ₂₈ O	212	0.33	0.068
11	1984	Pentadecanal	C ₁₅ H ₃₀ O	226	0.55	0.112
12	2090	Hexadecanal	C ₁₆ H ₃₂ O	240	3.18	0.654
Alcohols (20)						
13	944	Ethyl alcohol	C ₂ H ₆ O	46	32.52	6.692
14	1210	Eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.08	0.016
15	1466	3-Methyl-4-heptanol	C ₁₀ H ₁₈ O	130	0.14	0.029
16	1532	3-Methyl-3-octanol	C ₉ H ₂₀ O	144	0.14	0.029
17	1553	Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.94	0.193
18	1568	Octanol	C ₈ H ₁₈ O	130	0.28	0.058
19	1610	4-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.21	0.042
20	1622	(<i>E</i>)-2-Octen-1-ol	C ₈ H ₁₆ O	128	0.21	0.043
21	1650	<i>D</i> -Limonene diepoxide	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.76	0.157
22	1670	Furfuryl alcohol	C ₈ H ₁₈ O	98	0.65	0.133
23	1706	α -Terpineol	C ₅ H ₁₆ O ₂	154	0.10	0.020

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-10. Continue

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	0 kGy	
					Area%	mg/kg
24	1711	Borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.15	0.031
25	1829	Spathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.13	0.027
26	1858	Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.18	0.037
27	1868	Guaiacol	C ₇ H ₈ O ₂	124	0.19	0.039
28	1979	2-Methyl-1-phenyl-1-propanol	C ₁₀ H ₁₄ O	150	2.96	0.608
29	1991	Caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.42	0.086
30	2002	α -Bisabolene epoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.17	0.035
31	2030	Nerolidol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	21.74	4.475
32	2053	Ledol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.87	0.179
Esters (3)						
33	825	Ethyl formate	C ₃ H ₆ O ₂	74	2.55	0.525
34	890	Ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	88	5.72	1.176
35	1585	Bornyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0.13	0.026
Hydrocarbons (18)						
36	1024	α -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.18	0.037
37	1107	β -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.26	0.053
38	1122	Sabinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.03	0.006
39	1144	Xylene	C ₈ H ₁₀	106	0.51	0.104
40	1168	β -Myrcene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.22	0.045
41	1197	<i>D</i> -Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.21	0.043
42	1273	<i>p</i> -Cymene	C ₁₀ H ₁₄	134	0.12	0.024
43	1474	δ -Elemene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.04	0.008
44	1493	α -Cubebene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.36	0.074
45	1579	β -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.08	0.017
46	1599	Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.24	0.049

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-10. Continue

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	0 kGy	
					Area%	mg/kg
47	1667	<i>α</i> -Zingiberene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.10	0.020
48	1676	<i>α</i> -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.15	0.031
49	1692	<i>γ</i> -Curcumene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.14	0.029
50	1723	Aromadendrene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.09	0.017
51	1761	<i>δ</i> -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.17	0.036
52	1775	<i>β</i> -Sesquiphellandrene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.45	0.093
53	1838	Calamenene	C ₁₅ H ₂₂	202	0.20	0.040
Ketones (10)						
54	981	2-Pentanone	C ₅ H ₁₀ O	86	0.61	0.125
55	1186	2-Heptanone	C ₇ H ₁₄ O	114	1.71	0.352
56	1342	6-Methyl-5-hepten-2-one	C ₈ H ₁₄ O	126	0.24	0.049
57	1393	2-Nonanone	C ₉ H ₁₈ O	142	1.55	0.319
58	1421	5-Methyl-2-heptanone	C ₈ H ₁₆ O	128	0.07	0.015
59	1602	2-Undecanone	C ₁₁ H ₂₂ O	170	1.53	0.314
60	1744	Carvone	C ₁₀ H ₁₄ O	150	0.17	0.035
61	1801	Butyrophenone	C ₁₀ H ₁₂ O	148	2.98	0.614
62	1814	2-Tridecanone	C ₁₃ H ₂₆ O	198	1.89	0.389
63	2016	2-Pentadecanone	C ₁₅ H ₃₀ O	226	4.69	0.964
S-containing compounds (3)						
64	956	Allyl methyl sulfide	C ₄ H ₈ S	88	0.21	0.044
65	1094	3-Methyl thiophene	C ₅ H ₆ S	58	0.03	0.005
66	1485	Diallyl disulfide	C ₆ H ₁₀ S ₂	146	0.03	0.007
Acids (1)						
67	1458	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	60	2.78	0.571

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-10. Continue

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	0 kGy	
					Area%	mg/kg
Miscellaneous (2)						
68	1508	2-Acetyl furan	C ₆ H ₆ O ₂	110	0.79	0.163
69	1544	2-Butyl furan	C ₈ H ₂ O	124	0.03	0.006
Total (69)					100	20.590

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-11. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated cheese

Functional Groups	Irradiation dose (kGy)		
	No.	Area%	mg/kg
Aldehydes	12	5.98	1.230
Alcohols	20	62.83	12.930
Esters	3	8.39	1.727
Hydrocarbons	18	3.55	0.729
Ketones	10	15.43	3.176
S-containing compounds	3	0.27	0.056
Acids	1	2.78	0.571
Miscellaneous	2	0.82	0.170
Total	69	100	20.590

Table 2-12. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in identified volatile organic compounds in cheese

Functional Groups	Irradiation dose (kGy)		
	No.	Area%	mg/kg
Monoterpene hydrocarbons	6	1.02	0.210
Sesquiterpene hydrocarbons	11	2.02	0.415
Oxygenated monoterpenes	9	2.72	0.559
Oxygenated sesquiterpenes	6	28.02	5.767
Total	32	33.78	6.951

4. 식품조사에 의한 치즈의 휘발성 유기성분 변화 비교

식품조사된(전자선, 감마선) 치즈의 휘발성 유기성분의 확인을 위하여 SDE방법으로 추출한 후 GC/MS로 분석하여 얻어진 chromatogram은 Fig. 2-9에 도식하였다. GC/MS 분석에 의해 동정된 휘발성 유기성분은 Table 2-13에 나타내었고, 휘발성 유기성분의 관능기에 따른 함량은 Table 2-14에 나타내었다.

식품조사에 의해 치즈에서 분리 동정된 휘발성 유기성분은 모두 비조사된 치즈에서 분리 동정된 화합물로 확인되었으며, 대조군에 비하여 휘발성 유기성분의 총량은 식품조사 후에 감소하였으며 전자선 보다 감마선에서 휘발성 유기화합물의 감소가 뚜렷하였다.

전자선 20 kGy의 선량으로 조사된 치즈에서 확인된 관능기에 따른 휘발성 유기성분은 67종 15.328 mg/kg으로 alcohol류가 18종 5.560 mg/kg으로 동정되었으며 aldehyde류, hydrocarbon 류, ester류, ketone류, 함황화합물, acid류, 그리고 기타 화합물의 순으로 함량은 13종(4.585 mg/kg), 21종(3.668 mg/kg), 2종(0.473 mg/kg), 5종(0.455 mg/kg), 3종(0.117 mg/kg), 1종(0.083 mg/kg) 그리고 1종(0.068 mg/kg)으로 각각 확인되었다.

Hexadecanal이 3.651 mg/kg으로 aldehyde류 중 가장 많은 비율을 차지하였고, nonanal, tetradecanal, pentadecanal의 순으로 확인되었다. Neral과 gernal의 경우 레몬 향을 가지는 아로마 화합물로 강한 향균 특성을 가지고 있다(68). Nonanal은 nonanaldehyde 또는 pelargonaldehyde라고도 불리는 알킬 알데히드로 강한 과일이나 꽃 냄새가 있다고 하며(69) 비조사 시료에서는 확인되지 않았다. Benzaldehyde는 체리, 살구 등 달콤한 향을 내는 화합물로(70) 전자선 조사한 치즈에서 benzaldehyde와 neral을 제외한 aldehyde류 화합물은 함량이 증가함을 확인하였다.

Alcohol류는 18종으로 ethyl alcohol이 3.371 mg/kg로 많은 함량을 차지했다. 다음으로 nerolidol, caryophyllene oxide, α -terpineol, furfuryl alcohol, 2-methyl-1-phenyl-1-propanol, d-limonene diepoxide 등의 순으로 0.745, 0.264, 0.246, 0.175, 0.158 그리고 0.157 mg/kg으로 나타내었다. Borneol은 Bencao Gangmu에서 발견되는 것으로 중국에서 땀속이나 구충제로도 사용하며(71,72), nerolidol은 sesquiterpene의 종류로 다양한 식물이나 꽃에서 확인 할 수 있다(73). 또한 nerolidol은 네롤리, 생

강, 제스민, 라벤더, 레몬 잔디 등에 존재하는 것으로 신선한 향기가 있는 것으로 알려져 있다(74,75). Nerolidol과 linalool은 산화형 terpenoid류이다. β -Terpineol, 3-methyl-2,4-pentanediol은 전자선 조사한 치즈에서만 확인되었고 비조사 치즈에서 확인되었던 Spathulenol은 전자선 조사 후 나타나지 않았다.

Ester류는 ethyl acetate, ethyl formate로 확인되었으며 각각 0.442, 0.031mg/kg으로 나타났다. Ethyl acetate는 과즙, 탄산음료, 과실에센스 등 다양하게 이용되는 향으로 알려져 있으며(76), 비조사 시료에서 확인되었던 borneol acetate는 전자선 조사한 시료에서는 확인되지 않았다.

Hydrocarbon류는 caryophyllene이 1.363 mg/kg으로 hydrocarbon류 중 가장 높은 함량을 보였고, α -caryophyllene, d-limonene, β -caryophyllene, δ -3-carnene, β -bisabolene, aromadendrene 그리고 α -curcumene의 순으로 나타났다. α -, β -, γ -, 및 δ 의 서로 다른 이성질체를 가지는 elemene은 다양한 식물에서 발견되는 sesquiterpene으로 꽃향기에 기여하고 일부는 곤충의 페르몬이 속해 있기도 하다(77,78). α -Caryophyllene과 β -caryophyllene은 terpene류에 속하는데 과일향과 야채향의 주성분으로 알려져 있으며 합성향료 등에 사용되기도 한다(79).

Ketone류는 5종으로 butyrophenone, 5-methyl-2-heptanone, 2-pentanone, carvone 그리고 2-heptanone이 동정되었고 0.455 mg/kg으로 정량되었다. 비조사 치즈에서 정량되었던 6-methyl-5-hepten-2-one, 2-nonanone, 2-undecanone, 2-tridecanone 그리고 2-pentadecanone는 전자선 조사 후 정량되지 않았다.

함황화합물은 3종으로 0.117 mg/kg이 정량되었고, diallyl disulfide, 3-methyl thiophene, allyl methyl sulfide으로 0.048, 0.038, 0.031 mg/kg이 동정되었는데 이는 비조사 치즈와 같은 화합물을 보였다.

Acid류와 기타화합물은 acetic acid와 2-acetyl furan으로 각각 0.083 mg/kg, 0.068 mg/kg으로 확인되었다. 비조사 치즈에서 확인되었던 2-butyl furan은 전자선 조사 후 확인되지 않았다.

전체적인 관능기의 함량은 전자선 조사 후 감소하였으나 치즈의 주 휘발성 유기 성분으로 불리는 hydrocarbon류는 전자선 조사 후 증가함을 확인하였다. 특히 terpenoid 화합물 중 sesquiterpene류 화합물은 전자선 조사 후 함량이 상당량 증가하였다.

감마선을 20 kGy의 선량으로 조사 한 치즈에서 확인된 관능기에 따른 휘발성 유기성분으로는 alcohol류가 19종 5.236 mg/kg으로 동정되었으며 ester류, hydrocarbon류, ketone류, aldehyde류, 함황화합물, acid류, 그리고 기타 화합물의 순으로 화합물의 종류와 함량은 각각 3종(2.018 mg/kg), 19종(1.995 mg/kg), 10종(0.577 mg/kg), 12종(0.428 mg/kg), 3종(0.376 mg/kg), 1종(0.254 mg/kg) 그리고 1종(0.055 mg/kg)으로 확인되었다.

Aldehyde류는 hexadecanal, hexanal, 3-methyl butanal, 2-methyl butanal, benzaldehyde의 순으로 0.107, 0.063, 0.061, 0.046 그리고 0.039 mg/kg으로 확인되었으며 furfural, geranial, neral 등도 분석되었다. 비조사 치즈와 비교하여 2-methyl butanal, 3-methyl butanal, hexanal과 geranial은 조사 후 함량이 증가하였으며, 나머지 화합물은 조사 후 감소하였다.

Alcohol류는 19종으로 ethyl alcohol이 3.972 mg/kg으로 다량 동정되었으며 eucalyptol, ledol, linalool, α -terpineol의 순으로 나타났다. 각각의 함량은 0.299, 0.214, 0.173 및 0.162 mg/kg으로 정량되었다. Eucalyptol, α -terpineol, ledol은 감마선 조사 후 함량이 증가하였고 (*E*)-2-octen-1-ol, d-limonene diepoxide, spathulenol 및 α -bisabolene epoxide는 감마선 조사시 정량되지 않았다. *p*-Propenyl anisol은 감마선 조사시에만 확인 가능 하였으며, 맛 물질로 사용되는 유기 화합물로 phenylpropene의 유도체이며 에센셜 오일로 자연에서 발생하는 방향족 화합물의 일종이다. 머틀, 감초, 스타아니스 등의 독특한 맛 성분에 기여하며 무색의 휘발성을 가지고 있다(80). 이 물질은 설탕보다 13배 정도 높은 농도의 단맛을 가지고 있으며 알코올 음료인 우조와 페르에 이용된다(81). 그 외 화합물은 감마선 조사 후 함량이 감소하였다.

Hydrocarbon류는 0.577 mg/kg으로 caryophyllene, δ -3-carene, d-limonene, β -caryophyllene, α -cubebene, β -pinene의 순으로 0.491, 0.379, 0.241, 0.151, 0.117 및 0.108 mg/kg으로 확인되었다. Monosesquiterpene의 일종인 α -zingiberene은 생강의 주된 향기성분으로 알려져 있으며 비조사 시료와 감마선 조사 시료에서 확인 가능 하였다(81,82). δ -3-Carene 또는 carene은 감마선 조사한 치즈에서만 확인되었는데 식물성 기름의 성분으로 고리형의 모노 테르펜으로 카렌은 달콤하고 매운 냄새를 가지고 있으며 물에 용해되는 특성이 있다. α -Pinene은 상쾌한 소나무 향과 수지향

으로 표현되고 myrcene은 약한 단 껌냄새를 내고, limonene은 오렌지 냄새로 sabinene과 함께 향신료로 사용되는 셀러리의 주성분으로 알려져 있다(83). Xylene, α -zingiberene, γ -curcumene, δ -cadinene 및 calamenene은 감마선 조사 후 함량이 줄었으며 나머지 화합물은 증가하였다. β -Sesquiphellandrene는 비조사 치즈에서만 확인되었으며 감마선 조사한 치즈에서는 확인되지 않았다.

Ketone류는 10종으로 carvone, butyrophenone, 2-pentanone 등이 확인되었고 carvone을 제외한 나머지 화합물 모두 감마선 조사 후 함량이 줄어들었다. 함황화합물, acid류의 동정된 화합물의 수와 함량은 비조사 시료와 같은 결과를 보였다. 그리고 기타화합물은 2-acetyl furan이 동정되었으며 비조사 시료에서 확인되었던 2-butyl furan은 감마선 조사 시료에서 확인되지 않았다.

Terpenoid 화합물 중 sesquiterpene hydrocarbon류는 비조사 치즈 0.415 mg/kg에서 감마선 조사 후 1.012 mg/kg으로 함량이 증가하였으며 그 외 화합물은 감마선 조사한 치즈에서 감소하였다.

비조사 치즈와 식품조사 후 생성된 치즈의 화합물은 비조사 치즈 69종 전자선 조사 치즈 67종, 감마선 조사 치즈 68종으로 큰 차이는 없었으나 함량의 차이는 비조사 치즈 20.590 mg/kg에서 전자선 15.328 mg/kg, 감마선 10.940 mg/kg으로 현저하게 줄어들었다. Aldehyde류는 전자선 조사 후 4.585 mg/kg으로 비조사 치즈 1.230 mg/kg에 비해 증가하였으며 감마선 조사 치즈에서는 0.428 mg/kg으로 줄어들었다. Alcohol류는 17종 12.652 mg/kg에서 전자선 18종 감마선 19종으로 화합물의 차이는 없었으나 함량은 5.560 및 5.236 mg/kg으로 함량의 차이를 보였다. Ester류는 비조사 치즈 1.727 mg/kg에서 전자선 조사한 치즈 0.473 mg/kg, 감마선 조사한 치즈 2.018 mg/kg으로 감마선조사 한 치즈가 ester의 함량이 증가하였다. Hydrocarbon류는 전자선과 감마선 조사 후 모두 비조사 치즈에 비하여 함량이 증가함을 확인하였다. Ketone류는 비조사 치즈가 조사한 치즈보다 함량비가 높았으며, 함황화합물은 전자선 및 감마선 조사 한 치즈에서 비조사 치즈보다 함량이 증가하였으며, acid류는 비조사 치즈에서 높은 함량을 보였다. 기타화합물은 전자선과 감마선 조사한 치즈에서 낮은 함량을 보였다.

Monoterpene hydrocarbon류는 비조사 치즈는 6종으로 0.210 mg/kg, 전자선 치즈 8종 0.836 mg/kg, 감마선 치즈는 7종 0.932 mg/kg으로 식품조사 후 증가하였고

sesquiterpene hydrocarbon류는 비조사 치즈 11종 0.415 mg/kg, 전자선 치즈 12종 2.798 mg/kg, 감마선 치즈 11종 1.012 mg/kg, oxygenated monoterpene류 또한 비조사 치즈 9종 0.559 mg/kg, 전자선 치즈 11종 0.766 mg/kg, 감마선 치즈 9종 0.972 mg/kg으로 증가하였다. 그러나 oxygenated sesquiterpene류는 6종 5.767 mg/kg에서 조사후 1.073 mg/kg과 0.391 mg/kg으로 줄어듦을 확인하였다.

Caryophyllene(*Z*- β , *E*- β , α -)류는 조사 후 모두 함량이 증가하였고 δ -3-carene과 α -curcumene은 조사한 치즈에서 spathulenol, β -sesquiphellandrene 및 2-butyl furan은 비조사 치즈에서만 확인되었다.

전자선 조사한 치즈에서 확인된 화합물은 β -terpineol, 3-methyl-2,4-pentanediol, γ -terpinene, β -elemene, 및 β -bisabolene이었으며 감마선 조사한 치즈에서 확인된 화합물은 *p*-propenyl anisol로 조사 후 생성된 화합물로 판단하였다.

육포와 치즈에서 생성되는 화합물의 구조식과 생성물질을 Table 2-15에 도식하였다.

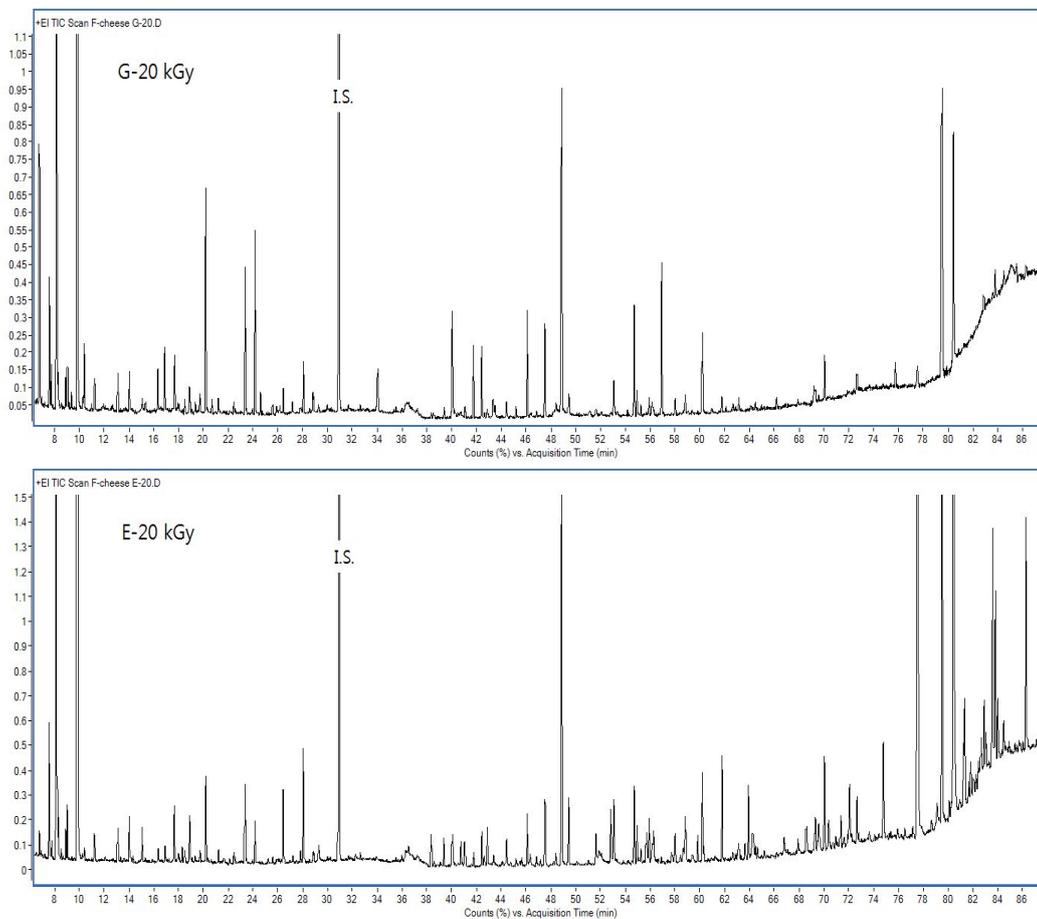


Figure 2-9. GC/MS chromatograms of the volatile organic compounds from gamma and e-beam irradiated cheese.

Table 2-13. Volatile organic compounds identified in non- and electron beam or gamma ray irradiated cheese

(unit : mg/kg)

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	Irradiation dose (kGy)		
					0	E 20	G 20
Aldehydes (13)							
1	916	2-Methyl butanal	C ₅ H ₁₀ O	86	0.022	0.039	0.046
2	920	3-Methyl butanal	C ₅ H ₁₀ O	86	0.038	0.075	0.061
3	1084	Hexanal	C ₅ H ₁₂ O	100	0.032	0.028	0.063
4	1400	Nonanal	C ₉ H ₁₈ O	142	-	0.245	-
5	1434	(<i>E</i>)-2-Octanal	C ₈ H ₁₆ O	128	0.025	0.044	0.016
6	1469	Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	96	0.065	0.066	0.029
7	1528	Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	106	0.152	0.083	0.039
8	1541	(<i>E</i>)-2-Nonenal	C ₉ H ₁₆ O	140	0.031	0.035	0.024
9	1686	Neral	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.027	0.023	0.010
10	1739	Geranial	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.004	0.015	0.005
11	1879	Tetradecanal	C ₁₄ H ₂₈ O	212	0.068	0.152	0.007
12	1984	Pentadecanal	C ₁₅ H ₃₀ O	226	0.112	0.130	0.020
13	2090	Hexadecanal	C ₁₆ H ₃₂ O	240	0.654	3.651	0.107
Alcohols (23)							
14	944	Ethyl alcohol	C ₂ H ₆ O	46	6.692	3.371	3.972
15	1210	Eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.016	0.114	0.299
16	1466	3-Methyl-4-heptanol	C ₁₀ H ₁₈ O	130	0.029	0.014	0.012
17	1532	3-Methyl-3-octanol	C ₉ H ₂₀ O	144	0.029	0.018	0.007
18	1553	Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.193	0.154	0.173
19	1560	β -Terpineol	C ₈ H ₁₈ O	154	-	0.056	-
20	1568	Octanol	C ₁₀ H ₁₈ O	130	0.058	0.038	0.023
21	1610	4-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.206	0.042	0.043
22	1622	(<i>E</i>)-2-Octen-1-ol	C ₈ H ₁₆ O	128	0.210	0.043	-
23	1650	<i>D</i> -Limonene diepoxide	C ₁₀ H ₁₆ O	152	0.764	0.157	-

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-13. continued

(unit : mg/kg)

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	Irradiation dose (kGy)		
					0	E 20	G 20
24	1670	Furfuryl alcohol	C ₈ H ₁₈ O	98	0.133	0.175	0.021
25	1706	<i>α</i> -Terpineol	C ₅ H ₁₆ O ₂	154	0.020	0.246	0.162
26	1711	Borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.031	0.054	0.024
27	1829	Spathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.027	-	-
28	1832	<i>p</i> -Propenyl anisol	C ₇ H ₈ O	108	-	-	0.032
29	1850	3-Methyl-2,4-pentanediol	C ₆ H ₁₃ N ₃ O ₃	175	-	0.027	-
30	1858	Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.037	0.056	0.027
31	1868	Guaiacol	C ₇ H ₈ O ₂	124	0.039	0.058	0.008
32	1979	2-Methyl-1-phenyl-1-propanol	C ₁₀ H ₁₄ O	150	0.608	0.158	0.024
33	1991	Caryophyllrene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.086	0.264	0.088
34	2002	<i>α</i> -Bisabolene epoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	220	0.035	0.028	-
35	2030	Nerolidol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	4.475	0.745	0.070
36	2053	Ledol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	0.179	0.036	0.214
Ester (3)							
37	825	Ethyl formate	C ₃ H ₆ O ₂	74	0.525	0.031	0.313
38	890	Ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	88	1.176	0.442	1.701
39	1585	Borneol acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0.026	-	0.004
Hydrocarbons (23)							
40	1024	<i>α</i> -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.037	0.071	0.066
41	1107	<i>β</i> -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.053	0.131	0.108
42	1122	Sabinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.006	0.030	0.029
43	1144	Xylene	C ₈ H ₁₀	106	0.104	0.034	0.052
44	1151	<i>δ</i> -3-Carene	C ₁₀ H ₁₆	136	-	0.198	0.379
45	1168	<i>β</i> -Myrcene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.045	0.034	0.047
46	1197	<i>D</i> -Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.043	0.221	0.241

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-13. continued

(unit : mg/kg)

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	Irradiation dose (kGy)		
					0	E 20	G 20
47	1249	γ -Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	136	-	0.050	-
48	1273	<i>p</i> -Cymene	C ₁₀ H ₁₄	134	0.024	0.101	0.062
49	1474	δ -Elemene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.008	0.128	0.040
50	1493	α -Cubebene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.074	0.121	0.117
51	1579	β -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.017	0.201	0.151
52	1592	β -Elemene	C ₁₅ H ₂₄	204	-	0.048	-
53	1599	Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.049	1.363	0.491
54	1667	α -Zingiberene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.020	-	0.005
55	1676	α -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.031	0.279	0.078
56	1692	γ -Curcumene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.029	0.021	0.014
57	1723	Aromadendrene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.017	0.136	0.028
58	1730	β -Bisabolene	C ₁₅ H ₂₄	204	-	0.187	-
59	1761	δ -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.036	0.115	0.028
60	1775	β -Sesquiphellandrene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.093	-	-
61	1777	α -Curcumene	C ₁₅ H ₂₂	202	-	0.185	0.049
62	1838	Calamenene	C ₁₅ H ₂₂	202	0.040	0.014	0.010
Ketones (10)							
63	981	2-Pentanone	C ₅ H ₁₀ O	86	0.125	0.048	0.078
64	1186	2-Heptanone	C ₇ H ₁₄ O	114	0.352	0.026	0.024
65	1342	6-Methyl-5-hepten-2-one	C ₈ H ₁₄ O	126	0.049	-	0.043
66	1393	2-Nonanone	C ₉ H ₁₈ O	142	0.319	-	0.009
67	1421	5-Methyl-2-heptanone	C ₈ H ₁₆ O	128	0.015	0.074	0.005
68	1602	2-Undecanone	C ₁₁ H ₂₂ O	170	0.314	-	0.016
69	1744	Carvone	C ₁₀ H ₁₄ O	150	0.035	0.027	0.243
70	1801	Butyrophenone	C ₁₀ H ₁₂ O	148	0.614	0.279	0.129

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-13. continued

(unit : mg/kg)

No.	R.I. ¹⁾	Compound Name	M.F. ²⁾	M.W. ³⁾	Irradiation dose (kGy)		
					0	E 20	G 20
71	1814	2-Tridecanone	C ₁₃ H ₂₆ O	198	0.389	-	0.011
72	2016	2-Pentadecanone	C ₁₅ H ₃₀ O	226	0.964	-	0.019
S-containing compounds (3)							
73	956	Allyl methyl sulfide	C ₄ H ₈ S	88	0.044	0.031	0.133
74	1094	3-Methyl thiophene	C ₅ H ₆ S	58	0.005	0.038	0.118
75	1485	Diallyl disulfide	C ₆ H ₁₀ S ₂	146	0.007	0.048	0.125
Acids (1)							
76	1458	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	60	0.571	0.083	0.254
Miscellaneous (2)							
77	1508	2-Acetyl furan	C ₆ H ₆ O ₂	110	0.163	0.068	0.092
78	1544	2-Butyl furan	C ₈ H ₂ O	124	0.006	-	-
Total (78)					20.590	15.328	10.940

¹⁾Retention index, ²⁾Molecular formula, ³⁾ Molecular weight

Table 2-14. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated cheese

Functional Groups	Irradiation dose (kGy)					
	0		E 20		G 20	
	No.	mg/kg	No.	mg/kg	No.	mg/kg
Aldehydes	12	1.230	13	4.585	12	0.428
Alcohols	17	12.652	18	5.560	19	5.236
Esters	3	1.727	2	0.473	3	2.018
Hydrocarbons	21	1.008	21	3.668	19	1.995
Ketones	10	3.176	5	0.455	10	0.577
S-containing compounds	3	0.056	3	0.117	3	0.376
Acids	1	0.571	1	0.083	1	0.254
Miscellaneous	2	0.170	1	0.068	1	0.055
Total	69	20.590	67	15.328	68	10.940

Table 2-15. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated cheese

Functional Groups	Irradiation dose (kGy)					
	0		E 20		G 20	
	No.	mg/kg	No.	mg/kg	No.	mg/kg
Monoterpene hydrocarbons	6	0.210	8	0.836	7	0.932
Sesquiterpene hydrocarbons	11	0.415	12	2.798	11	1.012
Oxygenated monoterpenes	9	0.559	11	0.766	9	0.972
Oxygenated sesquiterpenes	6	5.767	4	1.073	4	0.391
Total	32	6.951	35	5.473	31	3.307

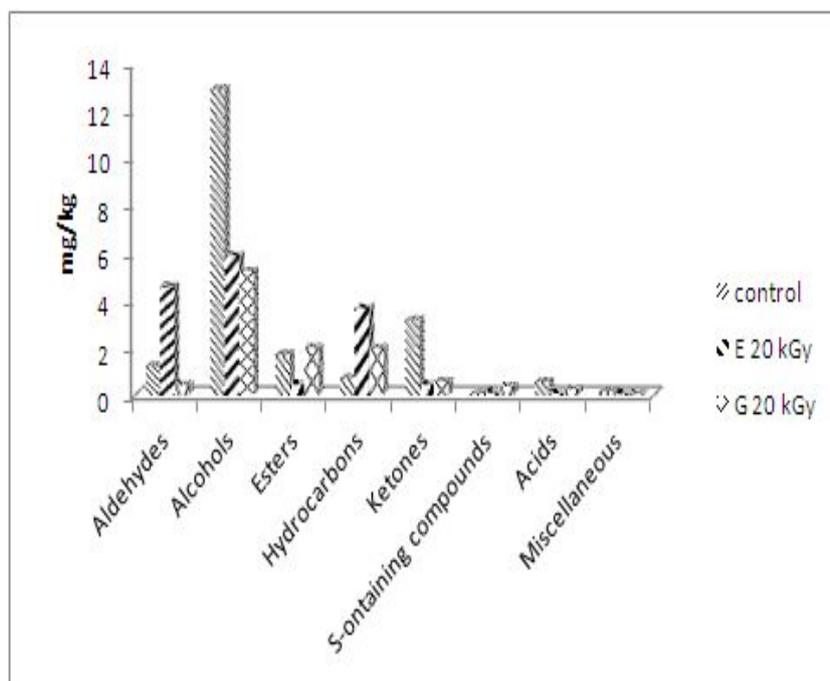


Figure 2-10. Relative content of functional groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated Cheese.

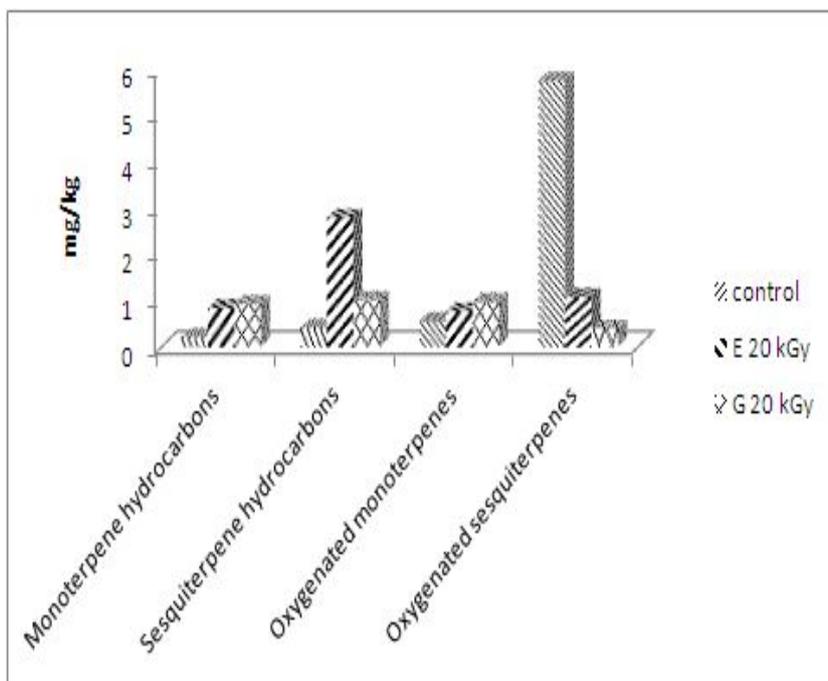
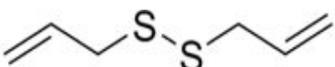
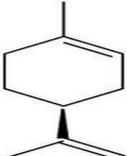
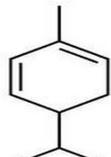
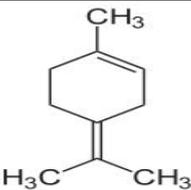
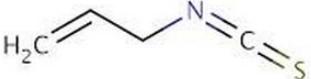
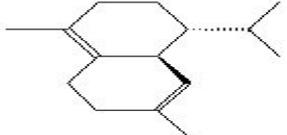
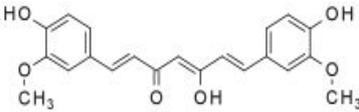
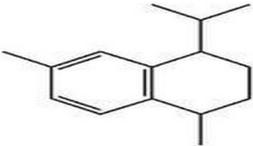
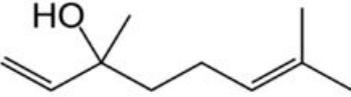
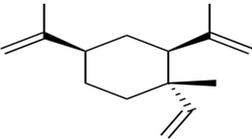
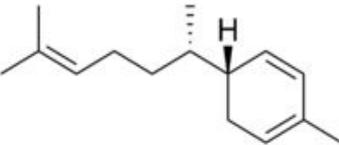
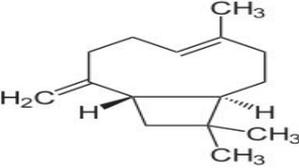
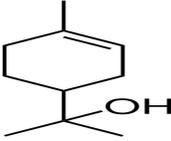
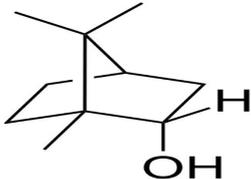
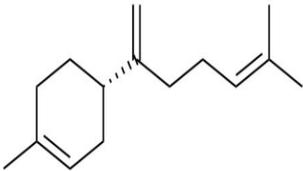
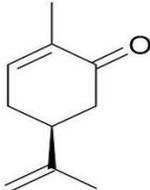
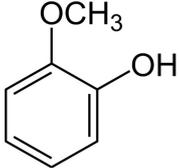
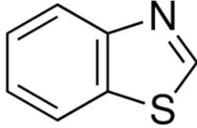
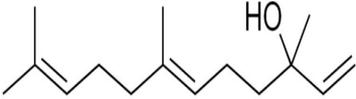


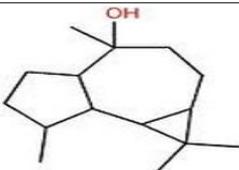
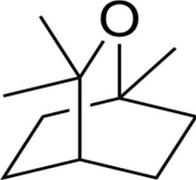
Figure 2-11. Comparison of relative concentration by terpenoid groups in identified volatile organic compounds in non- and electron beam or gamma ray irradiated Cheese.

Table 2-16. Aromatic characterization of identified major volatile components in non- and electron beam or gamma ray irradiated beef jerky and cheese

Compound Name	Chemical structure	Percepts
Diallyl disulfide		Garlic, Allyl surfur, Garlic allergy, Allium plants
D-Limonene		Lemon, Orange, Carvon
α -Phellandrene		Eucalyptus radiata, Canada balsam, Eucalyptus dives
α -Terpinolene		Alismatales Araceae, Apiales Apiaceae
Allyl isosulfocyanate		Toxic Gases, Vapors
<i>p</i> -Cymene		Lemon, Fruity, Fuel-like, Sweet, Herbal, Spicy
δ -Cadiene		

Compound Name	Chemical structure	Percepts
<i>α</i> -Curcumen		Indian spice turmeric, Natural phenols
Calamenene		Weak Spicy, Weak floral
Linalool		Flowers, Spice plants
<i>β</i> -Elemene		Floral aromas
<i>α</i> -Zingiberene		Ginger
<i>α</i> -Caryophyllene		Syzygium Aromaticum, Cannabis Sativa, Rosemary Rosmarinus, Black pepper
<i>α</i> -Terpineol		Cajuput oil, Pine oil, Petitgrain oil

Compound Name	Chemical structure	Percepts
Borneol		Terpene, Traditional chinese medicine, Insect repellent
Aromadendrene		Eucalyptus trees, Sweet, Dry
β -Bisabolene		Cubeb, Lemon, Oregano, Hhernandulcin, Natural sweetener
Carvone		Caraway
Guaiacol		Ascanio Sobrero, Guaiacum, Wood creosote, Roasted coffee, Lignin
Benzothiazole		Aromatic heterocyclic compound
(<i>E</i>)-Nerolidol		Neroli, Ginger, Jasmine, Lavender, Tea tree, Cannabis Sativa, Lemon grass

Compound Name	Chemical structure	Percepts
Ledol		Sweet
Eucalyptol		Camphoraceous, Minty, Sweet, Liquorices, Menthol, Pine

제 4 장 요약

본 연구에서는 우리나라 식품산업에서 널리 사용하고 있는 축산가공품 중 육포와 치즈의 산업적 활용방안을 마련하기 위하여 축산가공품의 휘발성 유기성분을 분석하였다.

육포와 치즈의 휘발성 유기성분을 SDE방법으로 추출하고 GC/MS로 분석한 결과, 육포에서 분리 동정된 성분은 총 94종으로 주요 유기성분은 hexadecanal, ethyl alcohol, (Z)- β -caryophyllene, ethyl acetate, furfuryl alcohol, α -curcumene으로 확인되었다. 육포에서 확인된 terpenoid류 화합물은 총 40종으로 함량은 12.239 mg/kg으로 상대적 비율은 35.265%로 sesquiterpene류가 monoterpene류보다 약 3배정도 많은 비율을 나타내었고, 방사선 조사에 의해 가장 많은 감소를 나타낸 aldehyde류의 함량은 비조사 시료, 전자선 그리고 감마선 20 kGy에서 각각 7.936, 1.748 및 0.601 mg/kg으로 확인되었다. 선종별로 비교하였을 때 감마선조사에 의한 휘발성 유기화합물의 변화량이 전자선조사에 의한 감소량보다 더 많음을 확인하였다. Terpene화합물의 함량은 전자선과 감마선 조사시 16.231 mg/kg 및 12.929 mg/kg으로 동정되어 방사선 조사에 의해 생성량이 증가하였다.

치즈의 주요 휘발성 유기화합물은 ethyl alcohol, nerodirol, ethyl acetate, 2-pentadecanone, hexadecanal, 2-methyl-1-phenyl-1-propanol, butyrophenone, acetic acid 등의 순으로 동정되었고 terpenoid 화합물은 총 32종으로 6.951 mg/kg의 상대적 비율을 보였다. 그 중 sesquiterpene hydrocarbon류는 6종 5.767 mg/kg을 차지하여 가장 많은 비율을 차지하였다. Caryophyllene류는 조사 후 모두 함량이 증가하였고 δ -3-carene과 α -curcumene은 조사한 치즈에서 spathulenol, β -sesquiphellandrene 및 2-butyl furan은 비조사 치즈에서만 확인되었다. 비조사 치즈와 식품조사 후 생성된 치즈의 화합물은 큰 차이는 없었으나 함량의 차이는 조사 후 현저히 줄어들었다. 대조군에 비하여 휘발성 유기성분의 총량은 식품조사 후에 감소하였으며 전자선 보다 감마선에서 휘발성 유기화합물의 함량의 감소가 뚜렷하였다. 식품조사한 육포에서 확인된 1,3-bis(1,1-dimethylethyl) benzene은 식품조사시 육포의 포장재에 유래한 것으로 판단하였다. 연구결과 축산가공품의 휘발성 유기성분 조성을 확인하였으며, 식품조사를 통하여 휘발성 유기성분의 변화여부와 이에 따른 기초자료를 마련하였다.

참 고 문 헌

1. Park JH and Lee KH (2005) Quality characteristics of beef jerky made with beef meat of various places of origin. *Korean J Food Cookery Sci.* 2: 528-535.
2. Torres EAFS, MShimikomaki BDGM, Franco M, Landgraf BC., Carvalho Junior and JC Santos (1994) Parameters determining the quality of charqui, an intermediate moisture meat products. *Meat Sci.* 38, 229-234.
3. Jeon KH, Oh SW, Lee NH, Kim YJ, Park KJ and Kim YH (2008) Quality Properties of the Refrigerated or Frozen Irradiated Beef Patty. *J. Food Sci. Anl. Resour.* 28(4): 437-444.
4. Loaharanu P, Kava R, and Choi EH (2007) Irradiated Foods. 6th ed., American Council on Science and Health. <http://www.acsh.org>.
5. Waje C, Jun SY, Lee YK, Moon KD, Choi YH, and Kwon JH (2009) Seed viability and functional properties of broccoli sprouts during germination and postharvest storage as affected by irradiation of seed. *J. Food Sci.* 74(5): c370-374.
6. Standard of food and standard some revised inside administrative notice. (2012) Korea Food & Drug Administration announcement 2012-58 pp. 2, 9, 57-58.
7. Nawar WW. (1986) Volatiles from food irradiation. *Food Rev. International.* 21: 45-78.
8. Byun MW and Yook HS (2003) Internal and external situation of irradiation technology utilization in the food and public health industry. *Kor. J. Food preserv.*, 10(1): 106-123.
9. FSIS. (2008) Certificate for export of beef and beef products to the republic of korea(ROK). FSIS FROM 9305-7.
10. Lim DG, Kim JJ, Seo KS and Nam KC (2012) Effect of natural antioxidant

- extracted from *Citrus junos seib.* or *Prunus mume.* on the quality traits of sun-dried Hanwoo beef jerky. *J. Agricultural Sci.* 39(2): 243-253.
11. Jung IC, Park HS, Lee KS and Moon YH (2008) Changes in the Quality of beef Jerky Containing Additional Pine Needle or Mugwort Juice during Storage. *J. Life Sci.* 18(1): 63-68.
 12. Jung IC, Park HS, Lee KS, Choi YJ, Park SS and Moon YH (2008) Changes in the Quality of beef jerky containing additional red wine. *J. East Asian Soc Dietary Life.* 18(5): 789-796.
 13. Cho SH, Seong PN, Park BY, Kim JH, Park EH, Ha KH, Lee JM and Kim DH (2007) Non-meat Ingredient, Nutritional Composition and Labeling of Domestic Processed Meat Products. *Korean J. Food Sci. Anl. Resour.* 27(2): 179-184.
 14. Park GH, Kwak EJ, Lee YS, and Lee KH (2007) Quality Characteristics of Beef Jerky Made with Beef Meat of Various Origin Places during Storage. *J. East Asian Soc Dietary Life* 17(1): 81-88.
 15. Choi KA and Cho EJ (2005) Quality and Sensory Characteristics of Beef Jerky Prepared with Fermented Fruit Wines. *J. East Asian Soc Dietary Life* 15(2): 171-181.
 16. Yang CY and Lee SH (2002) A Evaluation of Quality of the Marketing Jerky in Domestic - I. Investigation of Outward Appearance, Food Additives, Nutrient Content and Sanitary State. *Korean J. Food & Nutr.* 15(3): 197-202.
 17. Lee JW, Kim JH, Kim JH, Kim JH, Oh SH, Seo JH, Kim CJ, Cheong SH and Byun MW (2005) Application of Gamma Irradiation for the microbiological safety of Fried-Frozen Cheese Ball. *J. Korean Soc Food Sci Nutr.* 34(5), 729-733.
 18. Hong EJ, Kim KH, Park IS, Park SY, Kim SK, Yang HD and Nho BS (2012) Analysis of Flavor Pattern From Different Categories of Cheese using Electronic Nose. *Korean J. Food Sci. Animal Resour.* 32(5), 669-677.
 19. Ham JS, Jeong SG, Noh YB, Shin JH, Han GS, Chae HS, Yoo YM, Ahn JM,

- Lee JW, Jo C and Lee WK (2007) Effects of Gamma Irradiation on Queso Blanco Cheese. *Korean J. Dairy Sci. & Technol.* 25(1) 15-20.
20. Schultz TH, Flath RA, Mon TR, Enggling SB and Teranishi R. (1977) Isolation of Volatile Components from a Model System. *J Agric Food Chem* 25: 446-449.
 21. Nickerson GB and Likens ST (1966) Gas Chromatography Evidence for the Occurrence of Hop Oil Components in Beer. *J Chromatogr* 21: 1-5.
 22. Kovats, E.Sz.: *Helv. Chim. Acta.* 41: 1915, (1958)
 23. Robert PA. (1995) Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectroscopy, Illinois : Allured Publishing Corporation.
 24. Stehagen E, Abrahamsom S and McLafferty FW (1974) *The Wiley/NBS Registry of Mass Spectral Data*, N.Y. : John Wiley and Sons.
 25. Davies NW (1990) Gas Chromatographic Retention Indices of Monoterpenes and Sesquiterpenes on Methyl Silicone and Carbowax 20M Phases. *J Chromatogr* 503: 1-24.
 26. Sadtler Research Laboratories (1986) The Sadtler Standard Gas.
 27. Forss DA (1972) Odor and flavor compounds from lipids. *Prog. Chem. Fats Other Lipids*, 13, 181-258.
 28. Shahidi F and Pegg RB (1994) Hexanal as an indicator of the flavor deterioration of meat and meat products. In *Lipid in Food Flavors*, Ho, C.T. and Hartman, T.G.(eds.), American Chemical Society, Washington, DC, p. 256-279.
 29. Luning PA., Carey AT, Roozen JP and Wichers HJ (1995) Characterization and occurrence of lipoxygenase in bell peppers at different ripening stages in relation to the formation of volatile compounds, *J. Agric., Food Chem.*, 43, 1493.
 30. Cerny C and Grosch W (1992) Evaluation of potent odorants in roasted beef by aroma extract dilution analysis. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 194: 322-5.
 31. Sharif Md and Al-Reza (2011) Isolation and characterization of bioactive secondary metabolites from *Zizyphus jujuba*. graduate school, department of biotechnology Daegu University 39

32. Hirai C, Herz KO, Pokorny J and Chang SS (1973) Isolation and identification of volatile compounds in boiled beef. *J. Food Sci.* 38: 393-397.
33. Freeman GG and Whenham RJ (1975) A Survey of volatile components of some allium species in terms of S-alk(en)yl-cysteine sulphoxides present in flavour precursors. *J. Sci. Food Agric.* 26: 1869-1886.
34. Kwon SK (2003) Organosulfur compounds from *Allium sativum* and physiological activities. *J. Appl. Pharmacol.* 11: 8-32.
35. Mottram DS. (1998) Flavour formation in meat and meat product: a review. *Food Chem.* 62: 415-24.
36. Kim HK (2009) Biological Activities of Biofunctional Components Isolated from 30 Medicinal Herb Plant, 전북대학교 농화학과 박사학위 논문, 91-92.
37. Kim YS, Oh HI. Volatile flavor components of traditional and commercial Kochujang. *Korean J. Food Sci. Technol.* 25: 494-501 (1993)
38. Moon HI and 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.
39. Tepe B, Donmez E, Unlu M, Candan F, Daferera D and Vardar-Unlu G (2004) Antibacterial and antioxidative activities of the essential oils and methanol extracts of *Salvia cryptantha* (Montbret et Aucher ex Benth.) and *Salvia multicaulis*(Vahl), *Food Chemistry*, 84, 519-525.
40. Magiatis P, Melliou E, Skaltsounis AL, Chinou IB and Mitaku S (1999) Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of *Pistacia lentiscus* var. chia. *Planta Medica*, 65, 749-752.
41. Sökmen A, Vardar-Ünlü G, Polissiou M, Daferera D, Sökmen M and Dönmez E (2003) Antimicrobial activity of essential oils and methanol extracts of *Achillea sintenisii* Hub Mor. (Asteraceae). *Phytotherapy Research*, 17, 1005-1010.
42. Knobloch K, Pauli A, Iberal B, Weis N and Weigand H (1989) Antibacterial activity and antifungal properties of essential oil components. *Journal of Essential Oil Research*, 1, 119-128.

43. Kim JC and Park SO (2006). Influence of Day Methods on Qualities of Artemisia sp. *Korean J. Culinary Res.* 12(3):108-118
44. Möllenbeck S, König T, Schreier P, Schwab W, Rajaonarivony J and Ranarivelo L (1997) Chemical composition and analyses of enantiomers of essential oils from Madagascar. *J. Flavour Frag.* 12: 63-69.
45. Nishimura O. (2001) Enantiomer separation of the characteristic odorants in Japanese fresh rhizomes of *Zingiber officinale* Roscoe (ginger) using multidimensional GC system and confirmation of the odour character of each enantiomer by GC-olfactometry. *J. Flavour Frag.* 16: 13-18.
46. Seo HY, N0 KM, Shim SL, Ryu KY, Han KJ, Rjendra G and Kim KS (2006) Analysis of Enantiomeric Composition of Chiral Flavor Components from Dried Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35(7), 874-880.
47. Kaufman PB, Cseke LJ, Warber S, Duke JA and Brielmann HL (1999) Natural products from plants. CRC Press LIC. Coca Raton, 76-77. U.S.A.
48. Kim CH, (2011) Analyses of Essential Oil Components and Contents in Artemisia sp According to Heat Treatments. *Korean J. Culinary Resea.* 17(4), 273-284.
49. Oyen LPA and Nguyen XD (1999) Plant Resources of South-East Asia. No. 25. Essential oil plant. Bogor Indonesia, 28-39.
50. CaJa MM, Ruiz ML and Blanch GP (2008) Solid phase microextraction as a methodology in the detection of irradiation, markers in ground beef. *Food chem* 110: 531-357.
51. 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(2), 236-242.
52. Shim SL (2009) Studies on the Volatile Organic Compounds in Irradiated Agricultural Products and Food Packaging Materials Department of Food and Nutrition Graduate School of Chosun University.
53. Breithaupt DE and Schwack W (2000) Determination of free and bound carotenoids in paprika (*Capsicum annum* L.) by LC/MS. *Eur. Food Res.*

Technol. 211, 52-55

54. Merck Index, *11th Edition*, 9103 (1989)
55. Yao SS, Guo WF, Lu YI and Jiang YX (2005) Flavor Characteristics of Lapsang Souchong and Smoked Lapsang Souchong, a Special Chinese Black Tea with Pine Smoking Process. *J. Agri. Food Chem.* 53(22), 8688-8693.
56. Choi SH (1995) The aroma component of green tea the products of mt. Chiri Garden. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 25: 478-483
57. Doty RL, Ferguson-Segall M, Lucki I and Kreider M (1988) Effects of intrabulbar injections of 6-hydroxydopamine on ethyl acetate odor detection in castrate and non-castrated male rats. *Brain Res.* 444: 95-103.
58. Orav A, Kailas T and Jegorova A (2003) Composition of the essential oil of dill, celery, and parsley from Estonia. *Estonia Academy of Science: chemistry.* 52(4): 147.
59. Bosset JO, Butikofer U, Gauch R and Sieber R (1994) Characterization de fromages d'alpages subalpins suisses: mis en evidence par GC-MS de terpenes et d'hydrocarbures aliphatiques lors de l'analyse par "Purge and trap" des aromes volatiles de ces fromages. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, 23, 37-41.
60. Moio L, Piombino P and Addeo F (1999) Odour-impact compounds in Gorgonzola cheese. *Journal of Dairy Research*, 67, 272-285.
61. Record of alpha-Pinen in the GESTIS Substance Database from the IFA, accessed on 24. January (2008)
62. U. Neuenschwander (2010) Mechanism of the Aerobic Oxidation of α -Pinene (in German), *ChemSusChem* 3 (1): pp. 75-84.
63. Antonious GF and Kochhar TS (2003) Zingiberene and curcumene in wild tomato. *J Environ Sci Health B.* 38(4), 489-500.
64. Lamers Y (2003) Aromadendrene as chiral starting material for the synthesis of fragrances and pheromones. Wageningen University and Research Centre, UR.
65. Barbieri G, Bolzoni L, Careri M, Mangia A, Paroli G, Spagnoli S and Virgili

- R (1994) Study of volatile fraction of parmesan cheese. *J. Agri. Food Chem.*, 42, 1170–1176.
66. Carvalho CCC R and Fonseca MM R (2006) Carvone : why and how should one bother to produce this terpene. *Food Chemistry* 95(3), 413–422.
67. Block E (2010) Garlic and Other Alliums: The Lore and the Science. *Royal Society of Chemistry*
68. n-Nonaldehyde at chemicalland21.com
69. Chung MS and Lee MS (2003) Analysis of volatile compounds in *Elsholtzia splendens* by solid phase microextraction. *Korean J. Soc. Food Cookery Sci.* 19: 79–82.
70. Onawunmi GO (1989) "Evaluation of the antimicrobial activity of citral". *Lett. Appl. Microbial.* 9(3): 105–108.
71. JA Duke (1994) Dr. Duke's Phytochemical and Ethnobotanical databases. Plants containing borneol.
72. Chemical Information. sun.ars-grin.gov. Retrieved 2008.
73. Merck Index. 11th. Edition. 6388 (1989)
74. Moser K, Kriwet K, Naik A, Kalia YN, Guy RH (2001) Passive skin penetration enhancement and its quantification in vitro. *Euro. J. Pharm. Biopharm.* 52, 103–112.
75. Choi JY and Lee TS (2003) Characteristics of volatile flavor compounds on Kochujang prepared with commercial enzyme during fermentation. *J. Korean Soc, Appl. bio. Chem.* 46: 207–213.
76. Floral compound: alpha, delta, gamma–elemene. Pherobase. com
77. Semiochemical: beta–elemene. Pherobase. com.
78. Kim YS and Oh HI (1993) Volatile flavor components of traditional and commercial Kochujang. *Korean J. Food Sci. Technl.* 25: 494–501.
79. Karl–Georg F, Franz–Josef H, Johannes P, Wilhelm P, Dietmar S, Kurt B, Dorothea G and Horst S (2003) "Flavors and Fragrances" in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
80. Philip R. Ashurst. (1999) Food Flavorings. Springer. p. 460

81. Herout V, Benesova V and Pliva J (1953) Terpenes. XLI. Sesquiterpenes of ginger oil. Collection of Czechoslovak chemical Communications 18, 297-300.
82. Sultan M, Bhatti HN and Iqbal Z (2005) Chemical analysis of essential oil of ginger (*Zingiber officinale*). Pakistan *J. Biological Scienses*. 8(11), 1576-1578.
83. Cho MG, Bang JK and Chae YA (2003) Comparison of volatile compounds in plant parts of *Angelica gigas* Nakai and *A. acutiloba* Kitagawa. Korean J. Medicinal Crop Sci. 11: 352-357.