



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2009年 8月
碩士學位論文

쇠고기 분쇄육의 감마선 및
전자선 조사에 의해 유도된
Hydrocarbon류 분석

朝鮮大學校 大學院

食品營養學科

黃 仁 玟

2009年
8月

碩士學位論文

쇠고기분쇄육의
감마선
및
전자선
조사에
의해
유도된
하이드로카본류
분석
黃
仁
玟

쇠고기 분쇄육의 감마선 및
전자선 조사에 의해 유도된
Hydrocarbon류 분석

Analysis of Radiation Induced Hydrocarbons in Ground
Beef by Gamma-Ray and Electron Beam Irradiation

2009年 8月 日

朝鮮大學校 大學院

食品營養學科

黃 仁 玟

쇠고기 분쇄육의 감마선 및
전자선 조사에 의해 유도된
Hydrocarbon류 분석

指導教授 金 敬 洙

이 論文을 碩士學位 申請論文으로 提出함.

2009年 5月

朝鮮大學校 大學院

食品營養學科

黃 仁 玟

黃仁玟의 碩士學位論文을 認准함

委員長 韓國原子力研究院 理學博士 邊 明 宇 인

委 員 國立獸醫科學檢疫院 豫防獸醫學博士
雲 載 皓 인

委 員 朝鮮大學校 理學博士 金 敬 洙 인

2009年 5月

朝鮮大學校 大學院

목 차

ABSTRACT	ix
제 1 장 서 론	1
제 2 장 실험재료 및 방법	7
제 1 절 실험재료 및 기기	7
1. 실험재료	7
가. 시료의 준비	7
나. 방사선 조사	7
(1) 감마선 조사	7
(2) 전자선 조사	7
2. 분석시약	8
3. 분석기기	8
제 2 절 실험방법	9
1. 방사선 조사 시료의 지방 추출	9
가. 유기용매 추출법에 의한 지방 추출	9
2. 방사선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류 분리	9
가. Florisil의 불활성화	9
나. Hydrocarbon류의 분리	10
3. 방사선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류의 분석	10
가. GC/MS에 의한 hydrocarbon류의 분석	10

나. Hydrocarbon류의 확인	11
4. 통계처리	13
제 3 장 결과 및 고찰	14
제 1 절 지방분해산물 분석	14
1. 시료의 지방 추출	14
2. Hydrocarbon류 표준물질의 GC/MS 분석	14
제 2 절 Hydrocarbon류 생성 기전	15
1. Hydrocarbon류 생성기전	15
제 3 절 진공 포장된 쇠고기 분쇄육에 방사선 조사로 생성된 hydrocarbon류	17
1. 진공포장된 쇠고기 분쇄육	17
2. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사로 생성된 hydrocarbon류	17
가. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사	17
나. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사로 생성된 hydrocarbon류 분석	19
다. Hydrocarbon류의 표준검량선 작성 및 회귀분석	26
3. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사로 생성된 hydrocarbon류	27
가. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사	27
나. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사로 생성된	

hydrocarbon류 분석	29
다. Hydrocarbon류의 표준검량선 작성 및 회귀분석	36
제 4 절 질소 포장된 쇠고기 분쇄육에 방사선 조사로 생성된	
hydrocarbon류	37
1. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육	37
2. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사로 생성된	
hydrocarbon류	37
가. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사	37
나. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사로 생성된	
hydrocarbon류 분석	39
다. Hydrocarbon류의 표준검량선 작성 및 회귀분석	46
3. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사로 생성된	
hydrocarbon류	47
가. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사	47
나. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사로 생성된	
hydrocarbon류 분석	48
다. Hydrocarbon류의 표준검량선 작성 및 회귀분석	56
제 4 장 요 약	57
참 고 문 헌	59

목 차

Table 1. Irradiated food approved, irradiation purpose and dose limit in Korea	3
Table 2. GC/MS conditions for identification of radiation-induced hydrocarbons	11
Table 3. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated vacuum packaged ground beef	20
Table 4. Ratios of C_{n-1} to C_{n-2} hydrocarbons in gamma ray dose on irradiated vacuum packaged ground beef	21
Table 5. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from palmitic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	22
Table 6. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from stearic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	23
Table 7. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	24
Table 8. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from linoleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	25
Table 9. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in gamma ray irradiated vacuum packaged ground beef	26
Table 10. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated vacuum packaged ground beef	30
Table 11. Ratios of C_{n-1} to C_{n-2} hydrocarbons in gamma ray dose on irradiated vacuum packaged ground beef	31
Table 12. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from palmitic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	32
Table 13. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from stearic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	33
Table 14. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in electron beam irradiated vacuum packaged ground	

beef	34
Table 15. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from linoleic acid in electron beam irradiated vacuum packaged ground beef	35
Table 16. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in electron beam irradiated vacuum packaged ground beef	36
Table 17. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated N ₂ gas packaged ground beef	40
Table 18. Ratios of C _{n-1} to C _{n-2} hydrocarbons in gamma ray dose on irradiated N ₂ gas packaged ground beef	41
Table 19. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from palmitic acid in irradiated N ₂ gas packaged ground beef	42
Table 20. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from stearic acid in irradiated N ₂ gas packaged ground beef	43
Table 21. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in irradiated N ₂ gas packaged ground beef	44
Table 22. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from linoleic acid in irradiated N ₂ gas packaged ground beef	45
Table 23. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in gamma ray irradiated N ₂ gas packaged ground beef	46
Table 24. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from palmitic acid in irradiated N ₂ gas packaged ground beef	50
Table 25. Ratios of C _{n-1} to C _{n-2} hydrocarbons in electron beam dose on irradiated N ₂ gas packaged ground beef	51
Table 26. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from palmitic acid in irradiated N ₂ gas packaged ground beef	52
Table 27. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from stearic acid in irradiated N ₂ gas packaged ground	

beef	53
Table 28. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in electron beam irradiated N ₂ gas packaged ground beef	54
Table 29. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in electron beam irradiated N ₂ gas packaged ground beef	55
Table 30. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in electron beam irradiated N ₂ gas packaged ground beef	56

도 목 차

Figure 1. Radiation-induced hydrocarbons analysis of irradiated ground beef	12
Figure 2. Ion chromatogram of hydrocarbon standard mixtures by GC/MS analysis	15
Figure 3. Cleavage mechanism of radiation-induced hydrocarbons from triglycerides	16
Figure 4. Chromatograms of hydrocarbons from control and 20 kGy gamma ray irradiated vacuum packaged ground beef	18
Figure 5. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form palmitic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	22
Figure 6. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form stearic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	23
Figure 7. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form oleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	24
Figure 8. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form linoleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	25
Figure 9. Chromatograms of hydrocarbons from control and 20 kGy electron beam irradiated vacuum packaged ground beef	28
Figure 10. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form palmitic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	32
Figure 11. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form stearic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	33
Figure 12. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form oleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	34
Figure 13. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form linoleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef	35
Figure 14. Chromatograms of hydrocarbons from control and 20 kGy gamma ray irradiated N ₂ gas packaged ground beef	38

Figure 15. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form palmitic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef 42

Figure 16. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form stearic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef 43

Figure 17. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form oleic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef 44

Figure 18. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form linoleic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef 45

Figure 19. Chromatograms of hydrocarbons from control and 20 kGy electron beam irradiated N₂ gas packaged ground beef 48

Figure 20. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form palmitic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef 52

Figure 21. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form stearic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef 53

Figure 22. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons form oleic acid in electron beam irradiated N₂ gas packaged ground beef ... 54

Figure 23. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons form oleic acid in electron beam irradiated N₂ gas packaged ground beef ... 55

ABSTRACT

Analysis of Radiation Induced Hydrocarbons in Ground Beef by Gamma-Ray and Electron Beam Irradiation

Hwang, In Min

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

Department of Food and Nutrition

Graduate School of Chosun University

The purpose of the study was the possibility of identification by radiation-induced hydrocarbons analysis from irradiated ground beef. This experiment is comparison of vacuum and N₂ gas packing methods and gamma ray and electron beam.

When triglycerides are irradiated, hydrocarbons formed from each fatty acid. Radiation-induced hydrocarbons of ground beef was determined sequential procedure of lipid extraction by hexane, hydrocarbon isolation by florisil column chromatography and quantitative analysis by gas chromatography.

As a result, radiation-induced hydrocarbons of ground beef was detected two types. First hydrocarbon type is one carbon less than parent fatty acid. Second hydrocarbon type is two carbon less than parent fatty acid and additional formed double bond at first carbon position. The major hydrocarbons in the irradiated ground beef was 8-heptadecene(C_{17:1}) and 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}) from oleic acid. These hydrocarbons were high concentration but not detected in non-irradiated ground beef. Also, Radiation induced hydrocarbons are linear increase when the increase in the irradiation absorbed doses.

And effects of gamma ray and electron beam radiation were similar at the same absorbed doses. But a higher level of radiation-induced hydrocarbons in gamma-rays has been confirmed than electron beam. Also, regression(R^2) is gamma ray closer than electron beam to the 1. Because gamma ray is strong illuminate than electron beam.

And effects of vacuum package and N_2 gas package were similar at the same radiation absorbed doses. But a higher level of radiation-induced hydrocarbons in vacuum package has been confirmed than N_2 gas package. Also, regression(R^2) is vacuum package closer than N_2 gas package to the 1. This is the meaning of investigation was well vacuum package than N_2 gas package.

제 1 장 서 론

최근 국민 삶의 질적 수준 향상, 소득증대 및 식생활 수준의 향상으로 식품의 영양적, 위생학적 관심이 높아지고 있다. 특히 식육에 대한 소비량이 점차 증가하고 있는 가운데 소비자들은 높은 선도의 고품질을 선호하여 식육의 유통 형태는 과거 냉동육에서 점차 냉장육의 형태로 변화하고 있다(1). 하지만 식육 식품의 경우 부패성 및 병원성 미생물의 번식률이 높은 식품중 하나로 유통 및 취급 과정중 위생상 부주의하게 될 경우 *E.coli* O157:H7, *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*와 같은 병원성미생물이 쉽게 증식되어 식중독 및 기타 질병을 일으킬 수 있으므로, 도축 과정부터 포장, 유통, 저장에 있어서 위생학적 안전성이 요구되고 있다(2,3).

식육제품중 하나인 쇠고기 분쇄육의 경우 가장 큰 식품안전위해 요소는 소의 장관 및 표피 서식 균인 *E. coli* O157:H7균으로서 대표적인 식중독 균으로, 전염성이 강하고 잠복 기간은 3~5일로 감염될 경우 혈변, 복통 그리고 설사 증세를 나타내며, 면역력이 약한 노약자나 어린이의 경우 생명을 잃을 수도 있다(4-9). 현재 식육 및 그 가공제품의 위생화 방법으로는 냉동저장법, 포장방법, 화학약품등이 있으며, 그중 포장방법은 생산단계에서 적절한 포장 작업을 함으로써 유통과정에서 발생할 수 있는 이화학적 또는 생물학적 요인으로부터 보호할 수 있다(10). 최근들어 식육의 냉동육 위주의 유통에서 냉장육 위주로 유통되면서 포장의 중요성이 점차 강조되고 있으며, 포장방법은 육류 변질에 있어서 가장 큰 비중을 차지하는 산소의 활성을 낮추는데 중점을 두고 있다. 현재 식육제품의 포장방법에는 크게 함기포장, 진공포장, 그리고 가스치환 포장이 있으며, 일반적으로 함기포장이 가장 많이 사용되고 있으나, 산소투과력이 높아 장기 유통에는 많은 문제점을 가지고 있다. 이를 개선하기 위해 포장 내 산소의 활성을 낮추는 포장방법인 진공포장방법과 가스치환방법이 개발되었다(11,12). 진공포장방법은 포장 내 산소 농도를 낮추어 호기성 부패균의 성장을 억제시켜 저장기한 연장효과를 가지며(13), 가스치환 포장은 포장내 공기조성을 변화시켜 미생물의 성장속도를 저하시켜 저장기한을 늘리는 방법이다. 가스치환 포장에 사용되는 가스는 크게 N_2 , CO_2 , O_2 로 그중 N_2 는 불활성 기체로 산소를 대체하거나 희석시키며, 각종 세균에 대한 정균작용으로 세균증식을 억제하여 부패를 방지를 통한 저장기한을 연장 시키는 작용을 한다(14).

하지만 위 방법으로는 병원성미생물의 근본적인 제거에는 한계가 있으며, 이에 따라 미생물학적 안전성을 높이기 위한 대체 기술로서 방사선 조사에 대한 연구가 이루어져 왔다(15). 식품에서 문제되고 있는 *E.coli* O157:H7, *Salmonella*, *Clostridium perfringens*와 같은 병원성 미생물의 대부분은 5 kGy 선량 조사에 의해 사멸이 가능하며, 식품의 방사선조사는 포장이 완료된 최종상태에서도 조사처리가 가능하기 때문에 2차 포장에 따른 오염 없이 유통될 수 있는 장점이 있다(16).

식품 방사선 조사는 식품에 전리방사선을 노출시킴으로써 농산물의 발아, 발근억제, 해충구제, 숙도 조절, 저장 수명 연장 및 병원성 미생물의 사멸을 통하여 식품의 안전성을 향상시킬 수 있는 처리방법으로(17-19) 지난 반세기 간 세계보건기구(WHO), 국제식량농업기구(FAO), 국제원자력기구(IAEA)등 국제기구 및 선진국을 중심으로 연구·발전 되었으며, 다른 위생화 방법보다 식품 고유의 관능적 품질 변화를 최소화 시키면서 미생물학적, 독성학적, 유전학적, 영양학적 안전성이 입증된 유용한 기술이다(20,21).

식품산업에서 방사선 조사기술을 사용함으로써 크게 세 가지 이점을 얻을 수 있다. 첫째 해충 및 부패 미생물 사멸을 통한 저장기한 연장으로 10~30% 이상의 간접증산의 효과를 얻을 수 있다. 둘째 *E.coli* O157:H7, *Listeria*, *Salmonella* 등의 병원성 미생물 및 *Toxoplasma*, *Trichinella* 등 기생충의 사멸로 식품 매개성 질병을 예방 할 수 있다. 셋째 기존에 사용되던 위생화 방법(운열처리, 냉장, 냉동, 화학약품 처리)에 비해 식품 영양성분의 파괴 및 외관의 변화가 적으며, 처리 후 잔류 성분이 남지 않아 식품 고유의 맛과 향을 보존할 수 있다(22,23).

방사선 조사기술의 안전성과 우수성이 입증되면서 미국 및 유럽공동체(EU)등 선진국에서는 이미 식품의 품질을 향상시키기 위해 방사선 조사기술을 허용하고 있으며, 현재 52개국에서 건조 향신료와 채소류를 중심으로 곡류, 과채류, 육류 그리고 해산물등 250여종의 식품군에 방사선 조사처리가 허용되고 있다(24). 또한 WTO 국제자유무역체제에서 국가 간 교역량이 증대됨에 따라 “위생식물 검역 조치의 적용에 관한 협정(Sanitary and Phytosanitary Measures, SPS)”이 체결되어 식품의 엄격한 위생검사를 통과할 수 있는 수단으로 방사선조사 기술이 활용되고 있으며, 이로 인하여 방사선 조사 식품의 국제 교역량은 점차 증가되고 있다(22).

현재 우리나라를 포함한 방사선 허용 국가들은 각 국가별로 방사선 조사 관련 규정을 적용하고 있다. 우리나라의 경우 식품에 사용가능한 방사선의 선원 및 선종은

Table 1. Irradiated food approved, irradiation purpose and dose limit in Korea

Food/Product	Purpose	Dose max.(kGy)
· Garlic, potatoes and onions	· Inhibit sprouting	0.15
· Chestnuts	· Inhibit sprouting	0.25
· Fresh and dried mushrooms	· Sterilization · Delay ripening	1
· Egg powder, beans and beans powder · Cereals for processed food ingredients, starch for spiced food	· Sterilization · Disinfestation	5
· Dried meat and fish and shellfish powder for processed food ingredients · Soybean paste powder, red pepper paste powder and soy sauce powder · Dried vegetables for processed food ingredients · Yeast powder and enzyme preparations, alga food, aloe powder, ginseng products	· Sterilization · Disinfestation	7
· Dried spices, sources, leached tea, seasonings, powdered tea · Sterile meals for hospital patients	· Sterilization · Disinfestation	10

식품공전, 방사선 조사 기준. 2008.

^{60}Co 으로 하며, 식품의 발아억제, 살충, 살균 및 속도조절의 목적으로 사용할 수 있다. 한번 조사한 식품에 대해 다시 방사선조사를 해서는 안 되며, 방사선조사 식품을 원료로 한 식품도 다시 조사를 해서는 안 된다. 또한 방사선조사식품은 용기에 넣거나 포장 후 방사선 표시를 한 후에 판매를 할 수 있도록 규정되어 있다. 현재 방사선 조사가 허용된 식품은 총 26개 품목이며, 식품별로 흡수선량의 기준이 설정되어 있다(table 1)(25).

미국에서는 1993년과 1997년 *E.coli* O157:H7군에 의한 식중독 발생 이후 *E.coli* O157:H7의 살균을 위해 냉장·냉동 비가열처리 식육(돼지고기, 쇠고기, 양고기), 식육 부산물(예: 간 및 신장과 같은 식용 가능한 장기), 그리고 특정 식육제품(분쇄우육 및 햄버거)에 방사선조사를 허가 하였으며(26), 현재 신선육의 경우 3.0~4.5 kGy, 냉동육의 경우 7.0 kGy를 최대 방사선 조사량으로 허용하고 있다.

한미 FTA 체결로 미국산 쇠고기의 교역량이 점차 증가할 것으로 예상되는 가운데 수입위생 조건은 한국과 미국 양국가간 각각 규정을 하고 있다. 한국 농림수산식품부는 “쇠고기 및 쇠고기 제품내의 공중위생상 위해를 일으킬 수 있는 잔류물질(방사능·합성항균제·항생제·중금속·농약·홀몬제 등)과 병원성 미생물은 한국정부가 규정하고 있는 허용기준을 초과하지 않아야 하며, 쇠고기 및 쇠고기 제품은 한국 법규에 따라 이온화 방사선, 자외선 및 연육제로 처리될 수 있다(27). 고 규정되어 있으나, 미국 농무부 식품안전 검역국에서는 한국 수출 쇠고기를 생산할 때 지켜야 할 여덟 가지 사항 중, 6항에 “이온화 방사선과 자외선 처리 및 연육제 사용은 미국 법규에 따른다.”고 명시 하고 있다(28). 이와 같이 방사선 조사식품에 대한 각 국가별 규정이 다른 만큼 방사선 조사 유무를 판별할 수 있는 정확한 기술을 보유하고 있어야만 국제 무역에서 적절한 대응을 할 수 있다(29).

현재 방사선 조사의 안전성과 우수성은 과학적으로 입증되었지만 방사선조사식품에 대한 일반 소비자들의 인식은 방사능 오염, 핵무기 등 부정적인 견해를 가지고 있으며, Public Citizen과 같은 소비자 권익 옹호 단체들은 방사선 조사된 식품의 안전성은 아직 입증되지 않아서 방사선 조사 기술의 사용을 강력히 반대한다는 입장을 보이고 있다(20,30).

식품 조사에 이용되는 방사선은 Co-60 으로 대표되는 방사성동위원소에서 방출되는 감마선과 고전압 전자빔 가속기(High voltage electron beam accelerator)에서 발생하는 10 MeV이하의 전자선으로 크게 구분된다. 감마선 조사의 경우 투과력이 강

하여 한 번에 대량의 물품을 처리할 수 있는 장점이 있지만, 소비자들에게 부정적인 인식을 갖는 가장 큰 단점이 있다(31). 전자선은 주로 공업용으로 이용되어 왔으나, 살균 및 살충 등의 효과가 입증되면서 점차 식품에 이용되고 있다. 전자선은 투과력이 약한 반면 고에너지와 고 선량율에 의해 조사 처리시간이 매우 짧고 처리 후 식품의 온도 변화가 거의 없는 장점이 있다. 현재 식품 산업에서 선종별 방사선 이용률은 감마선 80%, 전자선 20%로 감마선의 비중이 높으며 따라서 방사선 연구 또한 감마선 위주로 수행되어져 왔다. 하지만 소비자의 수용도 및 사용의 편의성이 높은 전자선의 사용 비율이 점차 높아지고 있는 추세이다(32-34). 한 예로 미국의 한 회사에서 살균 및 저장성 증진의 일환으로 전자선 조사한 냉동 우육 patty에 대한 소비자의 반응은 긍정적 이었으며, 다른 회사에서도 가금육 및 가열 가공식품에 대해서 전자선 조사 처리를 하고 있다(35). 따라서 소비자의 알권리를 보호하고 비 조사 식품과의 차별화를 두며, 국제 식품 유통질서를 확립하기 위해 방사선조사 식품 표시방법 및 검지 방법의 필요성이 대두되고 있다(36).

현재 알려진 방사선 조사식품 검지법으로는 크게 물리적 방법, 생물학적 방법, 화학적 방법으로 구분된다. 첫째 물리적 방법은 광자극발광법(Photostimulated Luminescence, PSL) 및 열발광법(ThermoLuminescence, TL)으로 식품에 존재하는 광물질의 발광 특성을 이용하는 방법으로, 광물질은 방사선 조사에 의하여 에너지가 저장되고 일정온도의 적외선이나 열에 노출되면 에너지를 방출하는데 이때 방출하는 빛의 양을 측정하여 방사선 조사여부를 판정하는 방법이다(37-41). 전자스핀공명법 (Electron Spin Resonance spectroscopy, ESR)은 씨앗, 빵, 섬유소등을 함유한 식품에 방사선 조사시 입사된 에너지로 인해 생긴 자유라디칼(free radical)을 분광학적으로 측정하는 방법으로서, 자장에 의하여 전자가 공명한 후 방출하는 에너지의 차이를 측정하여 방사선 조사여부를 판정하는 방법이다(42,43).

둘째 생물학적 방법은 단백질 검사법과 DNA 검사법이 있다. 단백질검사법은 모든 단백질은 280nm에서 흡광도를 갖는데, 방사선을 조사하게 되면 단백질 구조가 깨어지거나 틀어져서 흡광도의 값이 틀려지는 원리로 UV-spectrometer 또는 HPLC로 검출하는 방법이다(44). DNA 검사법은 방사선에 민감한 DNA는 방사선 조사에 의해 쉽게 염기손상, 가닥파괴, 염기사이의 교차결합이 되며, 이런 반응으로 깨어진 분절들은 전기영동장치에서 전하를 걸어주면 꼬리현상이 나타나고 이는 염색반응을 통해 확인하는 방법으로 comet의 길이, 머리핵의 상대적 DNA 강도 등을 분석함으

로써 방사선 여부를 판정하며 육류, 두류 및 종실류에 활용되고 있다(45-48).

마지막으로 화학적 검지방법에는 hydrocarbon류 와 2-alkylcyclobutanone류 검사법이 있다. 지질을 다량 함유한 식품을 조사할 경우, 원래의 지방산보다 탄소수가 1개 적은 C_{n-1} hydrocarbon류, 탄소수가 2개 적으면서 첫 번째 탄소위치에 새로운 이중결합을 가진 hydrocarbon류가 생성되며, 이 hydrocarbon류를 측정하여 방사선 조사 여부를 판정하는 방법이다(49-51). 2-alkylcyclobutanone류는 유리지방산이나 triglyceride의 carbonyl기에 존재하는 산소로부터 전자 손실이 일어난 뒤, 모지방산과 동일한 탄소수를 가지면서 C_2 위치에 alkyl기를 가진 cyclic 화합물을 측정하는 방법이다(52). 방사선 조사에 의한 지방분해산물인 hydrocarbon와 2-alkylcyclobutanone류는 천연에 존재하지 않고, 방사선 조사 특이성을 나타내므로 방사선 조사 여부 및 조사선량을 확인하는 방법으로 이용 가능하다(53).

본 연구는 국민 생활수준의 향상에 따라 건강에 대한 관심이 높아지면서 E.coli O157:H7균과 같은 병원성 미생물에 쉽게 노출될 수 있는 쇠고기 분쇄육의 안전성을 높이기 위한 방법으로 가장 효과적으로 사용되고 있는 방사선 조사 여부를 확인하기 위하여 수행하였으며, 방사선 검지방법으로는 지방을 함유한 식품의 검지방법으로 가장 효과적인 검지방법인 hydrocarbon류 분석을 통해 확인하고자 하였다. 대상 시료의 처리 방법으로는 쇠고기 분쇄육을 진공 포장과 질소 충전 포장으로 포장방법을 달리하고, 방사선종 및 선량의 차이를 확인하기 위해 조사하지 않은 쇠고기 분쇄육을 대조군으로 하고 감마선, 전자선을 각각 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 그리고 20 kGy로 조사한 시료에서 생성되는 hydrocarbon류를 비교분석하여 방사선 조사 여부 검지 가능성 및 나아가 조사선량 또한 예측하고자 하였다.

제 2 장 재료 및 방법

제 1 절 실험재료 및 기기

1. 실험재료

가. 시료의 준비

시험에 사용한 쇠고기 분쇄육은 도축 후 24시간이 경과된 우육의 우둔부위 (bovine M. Semitendinosus)를 지역 식육점으로부터 구입하여 과도한 표면지방을 제거한 후 지름 3 mm hole plate가 장착된 grinder를 이용하여 만육하여 준비하였다.

쇠고기 분쇄육의 저장성 평가를 위해 쇠고기 분쇄육을 대조구와 처리구로 분류하여 polyethylene vinyl에 넣어 진공 또는 질소치환 포장을 한 후 각각 전자선 조사와 감마선 조사를 실시하여 시험에 사용하였다.

나. 방사선 조사

(1) 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 선량율로 흡수선량이 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 그리고 20 kGy가 되도록 조사하였으며, 흡수선량의 확인은 dosimeter(ceric cerous dosimeter, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 총 흡수선량의 오차를 계산하였다.

(2) 전자선 조사

전자선 조사는 ELV4-electron accelerator(Energy 2.5 MeV, beam power 40 kW)를 이용하여 감마선 조사와 동일한 흡수선량을 갖도록 조사하였다. 이 때 에너지는 2.5 MeV, beam current는 각각 1.9, 3.2, 4.5 및 6.4 mA이었다.

2. 분석시약

본 연구에 사용한 모든 시약은 특급시약으로 미국 Sigma사에서, 지방분해산물인 hydrocarbon류는 독일 TeLA사로부터 구입하였으며, 지방추출 및 chromatography에 사용한 n-hexane, diethylether 등 유기용매는 Fisher Scientific(USA)에서 HPLC grade로 구입하여 이를 다시 Wire spiral packed double distilling 장치(Normschliff, Geratebau, Germany)로 재증류한 것을 사용하였다. Florisil(60~100, Fisher Scientific, Pittsburgh, USA)은 550°C 회화로에서 하룻저녁 태운 뒤 저장하였다가 사용전 130°C에서 5시간 이상 탈수하여 desicator에서 식힌 후, hydrocarbon류 분리를 위해 3% 물을 가하였으며, 20 분 동안 균질화하고 12시간 이상 방치하여 불활성화 시킨 후, 충전제로 사용하였다.

3. 분석기기

- 가. 감마선 조사 : 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설(IR-70 gamma irradiator, MDS Nordion, Canada)
- 나. 전자선 조사 : ELV4-electron accelerator(Energy 2.5 MeV, Beam power 40 kW)
- 다. 유기용매증류장치 : Wire spiral packed double distilling apparatus
(Normschliff, Wertheim, Germany)
- 라. Blender : Ultra Turrax (Janke & Kunkel, Germany)
- 마. Centrifuge : Centrikon T-324 IKontron Instrument, Italy)
- 바. Evaporator : Rotary vacuum evaporator (Büchi)
- 사. Gas chromatography/Mass spectrometer : Shimadzu GC/MS QP-5050
equipped with mass spectrum library WILEY 139, NIST 62 (Shimadzu, Japan)
- 아. Capillary column : DB-5
(J&W, 30m X 0.32 mm I.d., 0.25um film thickness, Folsom, CA)

제 2 절 실험방법

1. 방사선 조사 지료의 지방 추출

가. 유기용매추출법(solvent extraction)에 의한 지방 추출

쇠고기 분쇄육을 조사선량별로 30 g 씩 비어커에 담아 재증류된 30 mL n-hexane 과 isopropanol 혼합용매(3:2, v/v)를 첨가하고 ultra turrax로 균질화 하였다. 균질화 된 시료는 1500×g의 속도로 20분간 원심분리하여 투명한 상층액을 분리한 후 잔존 물에 처음 사용한 혼합유기용매 양의 1/3을 다시 첨가하여 재추출하였다. 첫 번째 상층액과 두 번째 상층액을 혼합한 후 rotary vacuum evaporator(335 mbar, 40℃)를 사용하여 유기용매를 제거하고 N₂ gas 기류 하에서 잔존 유기용매를 제거한 후 지방만을 취하여 질소 충전 후 -18℃에 냉동 저장하여 시료로 사용하였다.

2. 방사선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류의 분리

가. Florisil의 불활성화

방사선 조사된 시료에서 추출한 지방으로부터 방사선 조사에 의해 유도되는 hydrocarbon류를 분리하기 위하여 florisil column chromatography를 수행하였다. Florisil은 사용하기 전 550℃ 회화로에서 하루저녁 회화시켜 오염물을 제거하고 밀봉 저장하였다. Florisil column chromatography에 사용하기 위하여 회화로에서 전처리하여 밀봉 저장된 florisil을 130℃에서 5시간 이상 다시 탈수하여 desiccator에서 방냉한 후 hydrocarbon류를 분리하기 위해 3% (w/w)의 증류수를 가하여 균질화한 뒤 암소에 12시간 방치하여 불활성화된 florisil을 충전제로 사용하였다.

나. Hydrocarbon류의 분리

3% 증류수로 불활성화시킨 florisil 25g을 200mm×20mm chromatography column에 충전한 후, 재증류한 n-hexane을 용리용매로 하여 3 mL/min의 유속으로 conditioning하였다. 방사선 조사시료에서 추출된 지방 1 g에 정량분석을 위해 internal standard로 n-eicosane(4 µg/mL n-hexane) 1 mL을 가한 후 80 mL n-hexane을 용리용매로 하여 3 mL/min의 유속으로 hydrocarbon류를 분리하였다. 용리용매는 rotary vacuum evaporator를 이용하여 2 mL까지 농축한 후 N₂ gas 기류 하에서 농축하여 GC/MS 분석시료로 사용하였다.

3. 방사선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류의 분석

가. GC/MS에 의한 hydrocarbon류의 분석

Hydrocarbon류의 질량분석에 사용한 기기는 Shimadzu사 GC/MS QP-5050을 사용하였으며, 시료의 이온화는 electron impact ionization(EI) 방법으로 행하였다. GC/MS 분석조건은 ionization voltage를 70 eV로 하였고, Capillary column은 DB-5 (30 m × 0.32 mm id., 0.25 µm film thickness)를 이용하였다. 온도 program은 60°C에서 170°C까지 25°C/min 속도로, 205°C까지 2°C/min 속도로 승온 시키고 다시 10°C/min 속도로 270°C까지 승온 시켰으며, injector와 detector의 온도는 각각 250°C, 200°C 이었다. Carrier gas는 helium을 사용하였고, 유속은 2.0 mL/min으로 하여 분석하였다. 시료는 1 µL를 주입하였고 split ratio는 1:20으로 하여 처음 2분 동안 splitless하였다. Hydrocarbon류는 total ionization chromatogram(TIC)에 분리된 각 peak과 standard물질의 retention time 및 mass spectrum을 비교하여 확인하였으며, internal standard를 이용하여 hydrocarbon류의 생성량을 정량하였다.

Table 2. GC/MS conditions for identification of radiation-induced hydrocarbons

Column	DB-5(30 m X 0.32 mm I.d., 0.25 μ m fulmthickness)
Carrier gas	Helium(2.0 mL/min)
Temp. program	60°C-25°C/min-170°C-2°C/min-205°C-10°C/min-270°C
Injector	250°C, split ratio 1:20 (0~2 min splitless)
Temperature	Ion source and interface 250°C
Ionization	Electron impact ionization(EI)
Ionization voltage	70 eV
Mass range(m/z)	40~350
Injection volume	1 μ l

나. Hydrocarbon류의 확인

Total ionization chromatogram (TIC)에 분리된 각 peak의 성분분석은 mass spectrum library (WILEY 139와 NIST 62)와 mass spectral data book의 spectrum(57,58)과의 일치 및 표준물질인 1-tetradecene, pentadecane, 1-hexadecene, 1,7-hexadecadiene, 1,7,10-hexadecatriene, heptadecane, 8-heptadecene 과 6,9-heptadecadiene의 mass spectrum 및 retention time을 비교하여 확인하였으며, internal standard로써 첨가된 n-eicosane을 이용하여 정량하였다.

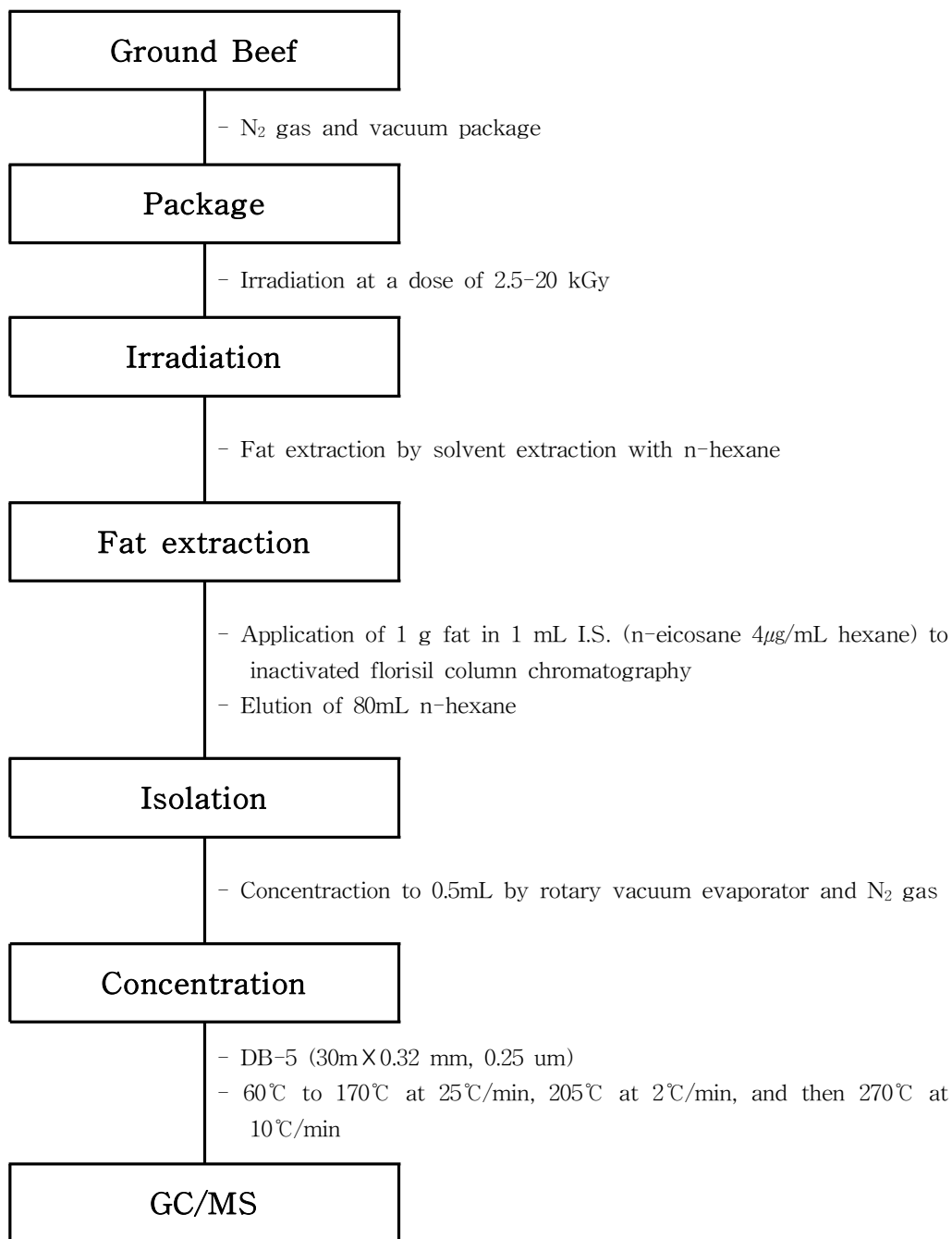


Fig. 1. Radiation-induced hydrocarbons analysis of irradiated ground beef

4. 통계처리

본 실험에서 얻어진 결과는 SPSS(Statistical Package for Social Science)를 이용하여 통계 분석하였다. 실험군당 평균±표준오차로 나타내었고, 통계적 유의성 검정은 일원배치 분산분석(one-way analysis of variance)을 한 후 $p < 0.05$ 수준에서 Tukey's test를 이용하여 상호 검정하였다.

제 3 장 실험결과 및 고찰

제 1 절 지방분해산물 분석

1. 시료의 지방 추출

쇠고기 분쇄육을 질소 포장, 진공 포장 한 뒤 방사선 조사하지 않은 쇠고기 분쇄육을 대조군으로 하고 감마선, 전자선을 각각 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 그리고 20 kGy로 조사한 쇠고기 분쇄육을 시료로 하고 지방을 추출하기 위하여 n-hexane과 isopropanol을 이용한 용매추출법을 수행하였다. 용매추출법에 의하여 쇠고기 분쇄육 100 g으로 약 15g의 지방을 수득하였다.

2. Hydrocarbon류 표준물질의 GC/MS 분석

쇠고기 분쇄육의 방사선 조사에 의해 쇠고기의 지방산으로 부터 생성된 hydrocarbon류를 확인하기 oleic acid($C_{18:1}$)로부터 유도되는 8-hetadeoene($C_{17:1}$), 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$), palmitic acid($C_{16:0}$)로부터 유도되는 pentadecane($C_{15:0}$), 1-tetradecene($C_{14:1}$), stearic acid($C_{18:0}$)로부터 유도되는 hetadecane($C_{17:0}$), 1-hexadecene($C_{16:1}$)의 표준물질을 정제된 n-hexane에 용해하여 조제한 후 GC/MS로 분석하였다(Fig. 2). linoleic acid($C_{18:2}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 6,9-heptadecadiene와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1,7,10-hecadecatriene는 mass spectrum library (WILEY 139와 NIST 62)와 mass spectral data book의 spectrum(55,56)과의 일치여부를 통해 분석하였다.

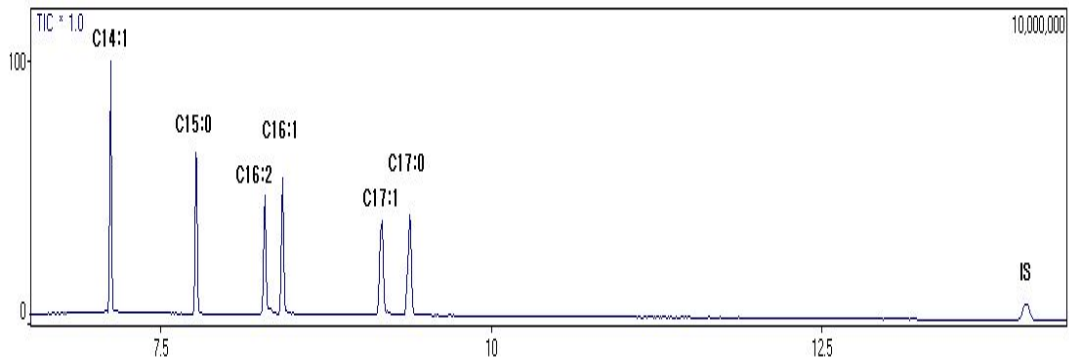


Fig. 2. Ion chromatogram of hydrocarbon standard mixtures by GC/MS analysis

제 2 절 Hydrocarbon류 생성 기전

1. Hydrocarbon류 생성 기전

유리지방산이나 triglyceride에 방사선이 조사되게 되면 두 가지 분해패턴에 의해 hydrocarbon류가 생성된다. 첫 번째 type은 carbonyl group의 첫 번째 위치의 결합이 끊어져 모 지방산보다 탄소수가 1개 적은 type(C_{n-1})이며, 두 번째 type은 두 번째 위치의 탄소 위치의 결합이 끊어지면서 첫 번째 탄소위치에 새로운 이중결합이 생성되는 type($C_{n-2,1}$)으로 생성기전은 Fig. 3과 같다(40). 방사선 조사에 의해 생성되는 hydrocarbon류는 가열이나 산화에 의해 생성되는 hydrocarbon류와는 구분된다.

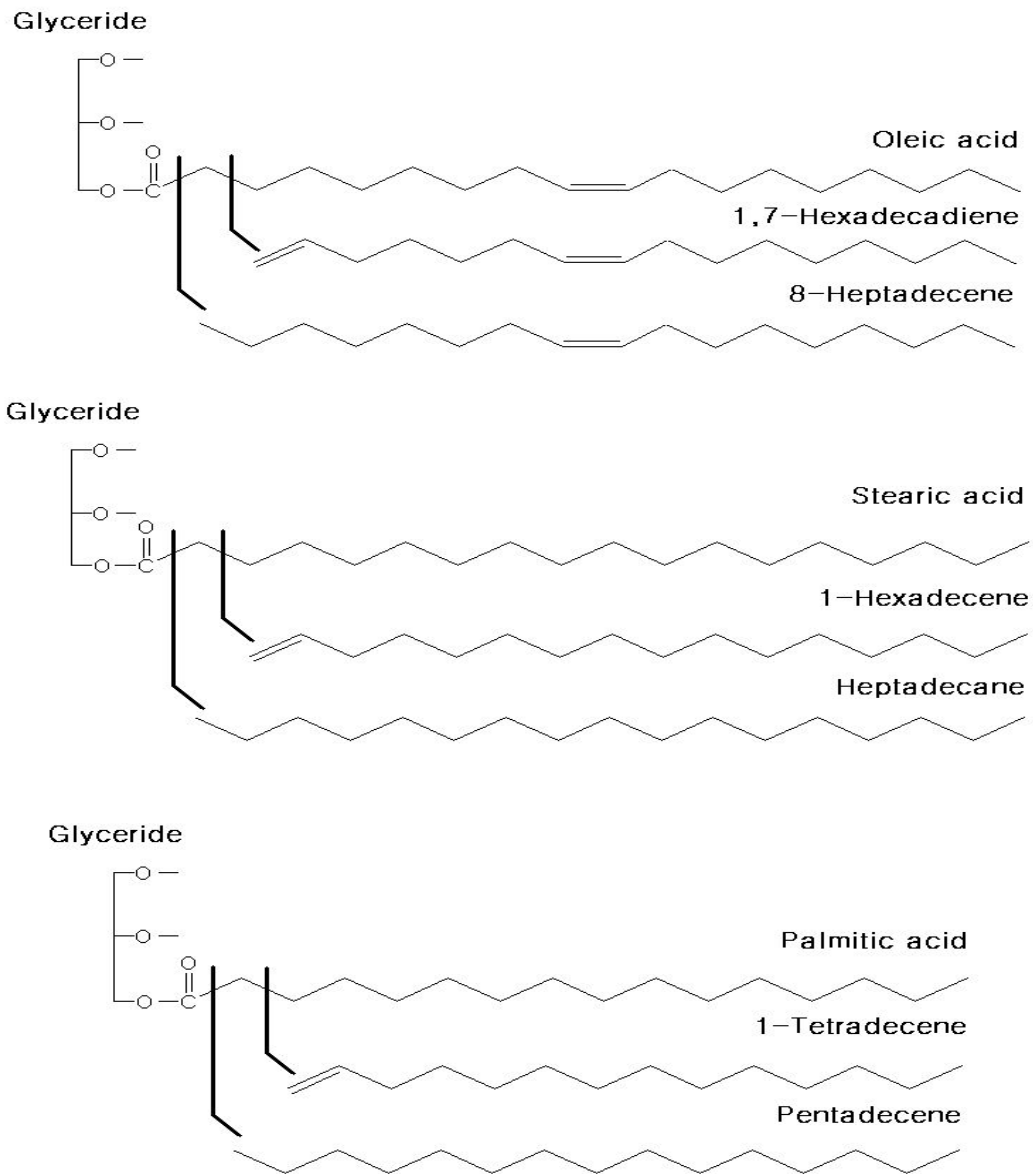


Fig. 3. Cleavage mechanism of radiation-induced hydrocarbons from triglycerides.

제 3 절 진공 포장된 쇠고기 분쇄육에 방사선 조사로 생성된 hydrocarbon류

1. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육

식육의 경우 본래 존재하는 효소의 작용이나 물리적인 분해, 부패 미생물에 의한 부패가 쉽게 일어나며 따라서 생산 공정에서 소비자 사이에 있는 유통망은 세균 오염에 쉽게 노출된 상태일 수밖에 없다. 유통과정에서의 오염을 최소화시키기 위해 많은 연구들이 수행되어져 왔으며, 그중 하나의 방법이 바로 포장이다(51-55). 게다가 최근 식육의 유통 형태는 기존의 냉동육 형태에서 냉장육 형태로 변화하고 있어서 포장의 중요성이 점차 강조되고 있다. 식육의 안전성 확보 및 품질변화를 억제하기 위한 포장방법중 하나로 포장내 산소 활성을 줄여 호기성 미생물에 의한 부패를 줄이고 지방산화를 억제하는 진공 포장기법을 들 수 있다. 진공포장은 생육 및 육가공품에 널리 사용되고 있으며, 저장 중 숙성으로 풍미와 연도가 증진되는 반면 저장기한이 경과됨에 따라 육색이 암적색으로 변하여 소비자 기호도면에서 떨어지는 단점이 있다(54).

2. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사로 생성된 hydrocarbon류

가. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사

투과력이 강하여 대량 조사가 가능한 감마선 조사의 경우 이미 미국 및 유럽 등 여러 국가에서 사용화 되고 있으며, 식육제품에 대해서 미생물학적 안전성 및 보존기한의 연장의 수단으로 FDA에서는 냉장식육의 경우 4.5 kGy 냉동식육의 경우 7 kGy 이하로 규정하고 있다.

지방산은 대부분 triglyceride에 결합되어 있으며, 지방산의 조성에 따라 생성되는 hydrocarbon류의 종류가 결정되며 hydrocarbon의 생성량 또한 지방산의 함량과 밀

접한 관계가 있다. 쇠고기 분쇄육의 주요 지방산은 oleic acid(36%), palmitic acid(23%), stearic acid(12%)이며, 방사선 조사에 의해 분해되어 유리지방산과 hydrocarbon으로 된다.

조사하지 않은 쇠고기 분쇄육을 대조군으로 하고 각각 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 그리고 20 kGy까지 감마선을 조사시켜 hydrocarbon류를 분석하였다(Fig. 4).

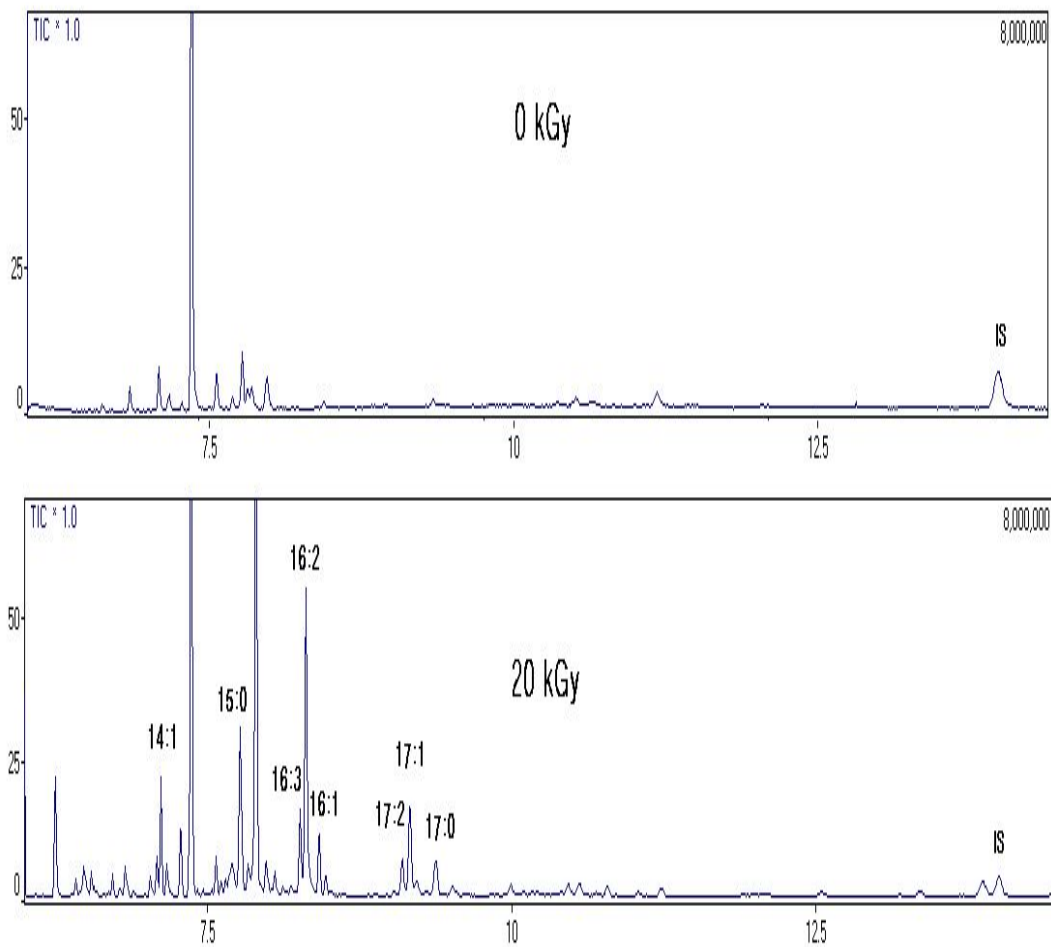


Fig. 4. Chromatograms of hydrocarbons from control and 20 kGy gamma ray irradiated vacuum packaged ground beef

나. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사로 생성된 hydrocarbon류 분석

진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류는 방사선 조사선량이 증가함에 따라 비례적으로 증가하였다(Table 3).

쇠고기 분쇄육의 가장 많은 함량을 차지하는 oleic acid로부터 유도되는 hydrocarbon류는 C_{n-1} hydrocarbon인 8-hetadeoene($C_{17:1}$)와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$)로 다른 hydrocarbon류 보다 많은 양이 검출되었으며, (Table 7). 다음으로 palmitic acid($C_{16:0}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 pentadecane($C_{15:0}$)와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1-tetradecene($C_{14:1}$)(Table 5), 다음으로 stearic acid($C_{18:0}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 hetadecane($C_{17:0}$) 와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1-hexadecene($C_{16:1}$) (Table 6), 그리고 linoleic acid($C_{18:2}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 6,9-heptadecadiene와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1,7,10-hecadecatriene이 가장 적은양이 검출되었다(Table 8). 이는 방사선 조사로 인하여 형성된 hydrocarbon은 원재료의 모지방산의 함량과 밀접한 관계가 있음을 보여주는 것으로 Hwang 등(27), Lee 등(48)의 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있었으며, 생성된 hydrocarbon의 양적인 차이는 시료의 차이로 사료된다.

모지방산에서 hydrocarbon류로 분해되는 경향을 보면 palmitic acid, stearic acid linoleic acid에서는 C_{n-1} hydrocarbon 이 $C_{n-2:1}$ 보다는 높은 비율의 hydrocarbon류가 확인되었으며, oleic acid 에서만 특이적으로 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon이 C_{n-1} hydrocarbon 보다 높은 비율을 보임을 확인하였다. Table 4 은 C_{n-1}/C_{n-2} 의 비율을 나타낸 것으로 비율이 1 이상이 되면 C_{n-1} 이 C_{n-2} 보다 많은 양이 생성됨을 나타내며 이러한 결과는 Hwang 등(27), Lee 등(48)의 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있었다.

위에서 검출된 모든 hydrocarbon류의 Regression 상수(R^2)는 hydrocarbon류의 함량과 방사선 조사선량사이에서 0.95이상의 수치를 보여 높은 상관성을 나타내었으며, 조사선량에 따라 직선상으로 증가하였다(Table 9). 그중 oleic acid로부터 유도되는 8-hetadeoene($C_{17:1}$)와 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$)는 쇠고기 분쇄육에서 가장 많이 검출되었으며, Regression 상수(R^2)또한 0.99 이상으로 방사선 조사 여부 검지 marker로 활용성이 클 것으로 사료된다.

Table 3. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Palmitic acid (C _{16:0})		Stearic acid (C _{18:0})		Oleic acid (C _{18:1})		Linoleic acid (C _{18:2})	
	C _{15:0}	C _{14:1}	C _{17:0}	C _{16:1}	C _{17:1}	C _{16:2}	C _{17:2}	C _{16:3}
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
2.5	2.074 ^b ±0.172 ²⁾	0.912 ^b ±0.152	0.435 ^b ±0.052	0.398 ^b ±0.048	0.747 ^b ±0.098	3.247 ^b ±0.191	0.171 ^b ±0.031	0.101 ^b ±0.011
5	4.132 ^c ±0.310	1.524 ^c ±0.340	1.201 ^c ±0.141	0.788 ^c ±0.109	2.042 ^c ±0.181	5.098 ^c ±0.260	0.531 ^c ±0.050	0.330 ^c ±0.035
7.5	5.848 ^d ±0.560	2.443 ^d ±0.510	1.578 ^d ±0.155	0.972 ^d ±0.121	3.190 ^d ±0.159	6.656 ^d ±0.298	0.610 ^d ±0.065	0.413 ^d ±0.049
10	6.973 ^e ±0.462	2.640 ^e ±0.492	1.751 ^e ±0.162	1.556 ^e ±0.155	4.030 ^e ±0.211	9.019 ^e ±0.256	0.852 ^e ±0.113	0.503 ^e ±0.041
15	9.067 ^f ±0.515	3.779 ^f ±0.425	2.822 ^f ±0.187	2.155 ^f ±0.169	6.940 ^f ±0.197	13.542 ^f ±0.317	1.360 ^f ±0.125	0.656 ^f ±0.068
20	12.232 ^g ±0.313	5.286 ^g ±0.387	3.561 ^g ±0.213	3.323 ^g ±0.191	9.988 ^g ±0.264	19.834 ^g ±0.375	1.994 ^g ±0.116	0.944 ^g ±0.071

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

Table 4. Ratios of C_{n-1} to C_{n-2} hydrocarbons in gamma ray dose on irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Ratios of C _{n-1} /C _{n-2} hydrocarbons			
	Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid
0	0	0	0	0
2.5	2.274	1.092	0.230	1.685
5	2.711	1.524	0.401	1.611
7.5	2.394	1.624	0.479	1.478
10	2.641	1.125	0.447	1.692
15	2.399	1.309	0.512	2.071
20	2.314	1.072	0.504	2.113
	2.456 ± 0.179 ¹⁾	1.291 ± 0.237	0.429 ± 0.106	1.775 ± 0.258

¹⁾Mean ± SD

Table 5. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from palmitic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Palmitic acid(C _{16:0})	
	Pentadecane(C _{15:0})	1-Tetradecene(C _{14:1})
0	0 ^{a 1)}	0 ^a
2.5	2.074 ^b ±0.172 ²⁾	0.912 ^b ±0.152
5	4.132 ^c ±0.310	1.524 ^c ±0.340
7.5	5.848 ^d ±0.560	2.443 ^d ±0.510
10	6.973 ^e ±0.462	2.640 ^e ±0.492
15	9.067 ^f ±0.515	3.779 ^f ±0.425
20	12.232 ^g ±0.313	5.286 ^g ±0.387

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

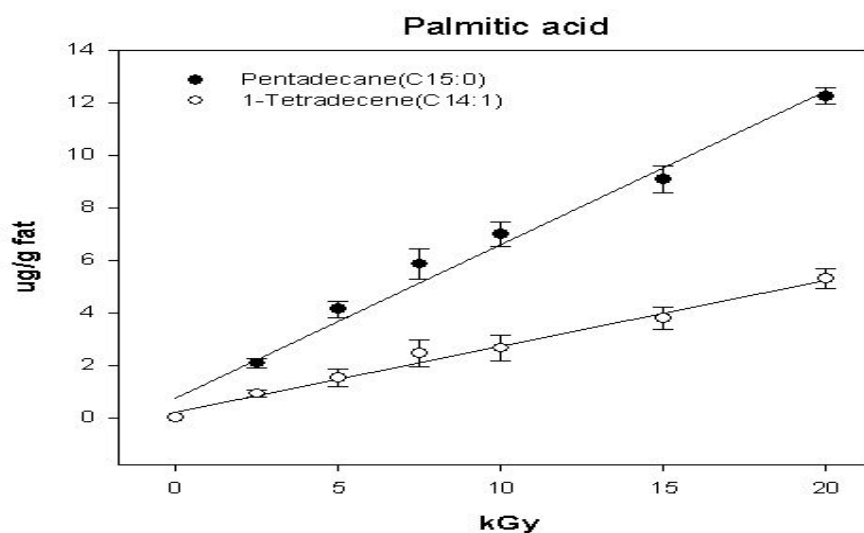


Fig. 5. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from palmitic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Table 6. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from stearic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Stearic acid(C _{18:0})	
	Hentadecane(C _{17:0})	1-Hexadecene(C _{16:1})
0	0 ^{a 1)}	0a
2.5	0.435 ^b ±0.052 ²⁾	0.398 ^b ±0.048
5	1.201 ^c ±0.141	0.788 ^c ±0.109
7.5	1.578 ^d ±0.155	0.972 ^d ±0.121
10	1.751 ^e ±0.162	1.556 ^e ±0.155
15	2.822 ^f ±0.187	2.155 ^f ±0.169
20	3.561 ^g ±0.213	3.323 ^g ±0.191

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

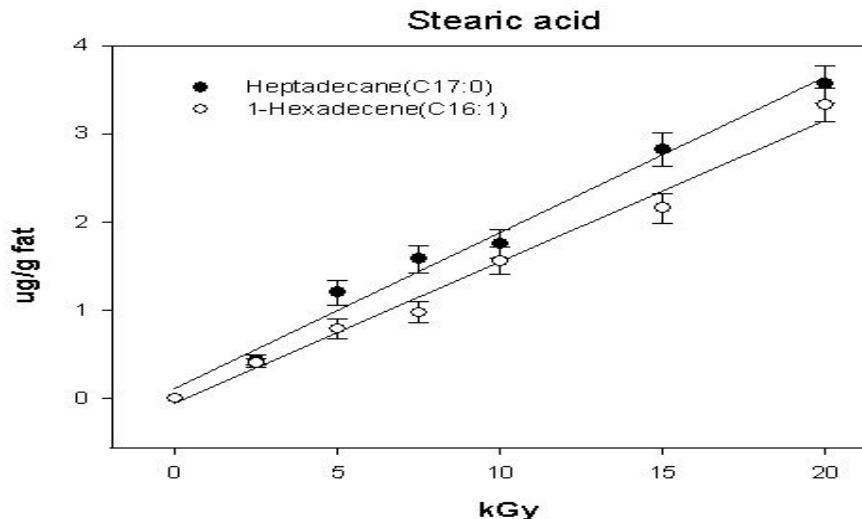


Fig. 6. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from stearic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Table 7. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Oleic acid(C _{18:1})	
	8-Heptadecene(C _{17:1})	1,7-Hexadecadiene(C _{16:2})
0	0 ^{a 1)}	0 ^a
2.5	0.747 ^b ±0.098 ²⁾	3.247 ^b ±0.191
5	2.042 ^c ±0.181	5.098 ^c ±0.260
7.5	3.190 ^d ±0.159	6.656 ^d ±0.298
10	4.030 ^e ±0.211	9.019 ^e ±0.256
15	6.940 ^f ±0.197	13.542 ^f ±0.317
20	9.988 ^g ±0.264	19.834 ^g ±0.375

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

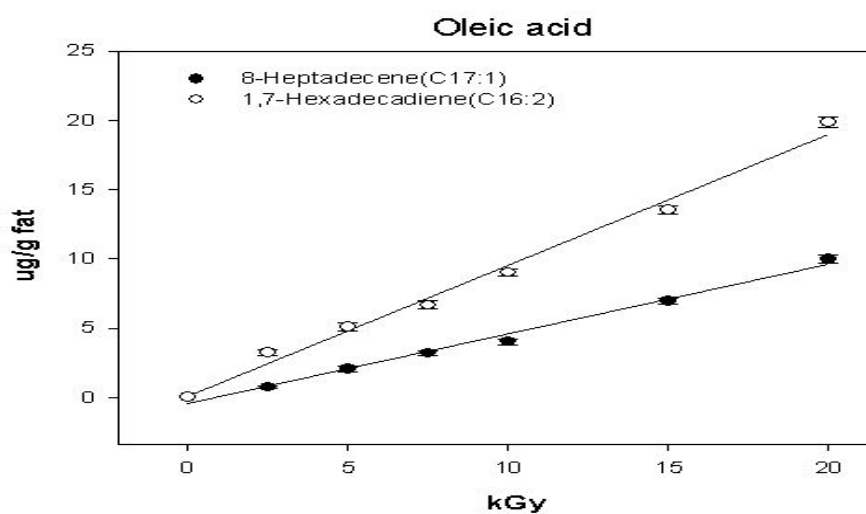


Fig. 7. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Table 8. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from linoleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Linoleic acid (C _{18:2})	
	6,9-Heptadecadiene(C _{17:2})	1,7,10-Hexadecatriene(C _{16:3})
0	0 ^{a 1)}	0 ^a
2.5	0.171 ^b ±0.031 ²⁾	0.101 ^b ±0.011
5	0.531 ^c ±0.050	0.330 ^c ±0.035
7.5	0.610 ^d ±0.065	0.413 ^d ±0.049
10	0.852 ^e ±0.113	0.503 ^e ±0.041
15	1.360 ^f ±0.125	0.656 ^f ±0.068
20	1.994 ^g ±0.116	0.944 ^g ±0.071

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

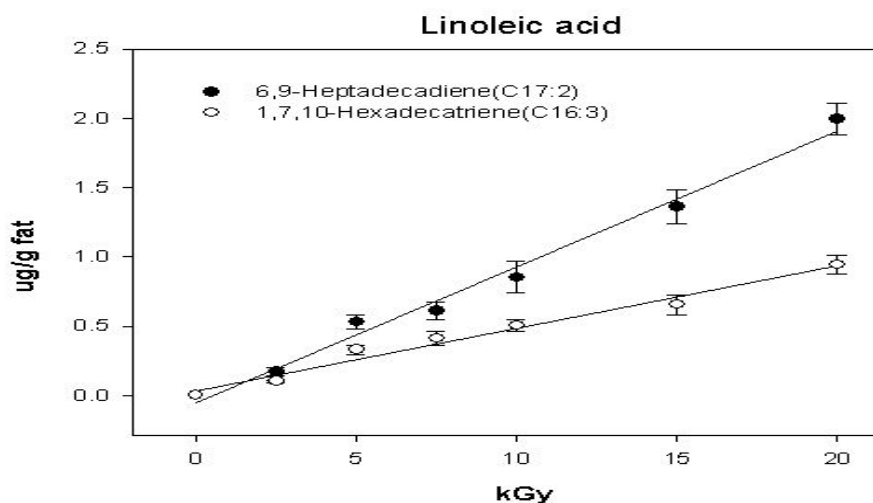


Fig. 8. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from linoleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

다. Hydrocarbon류의 표준검량선 작성 및 회귀분석

진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사 후 florisil column chromatography를 통해 hydrocarbon류를 분리한 후 GC/MS로 분석한 결과를 이용하여 방사선 조사선량과 hydrocarbon류의 상관성을 확인하기 위해 regression analysis를 실행하였다 (Table 9).

Regression 상수(R^2)는 hydrocarbon류의 함량과 방사선 조사선량사이에서 0.95이상으로 높은 수치를 보여 높은 상관성을 나타내었으며, 조사선량에 따라 직선상으로 증가하였다.

Table 9. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in gamma ray irradiated vacuum packaged ground beef

Hydrocarbons	Linear regression equation	R^2 ¹⁾
C _{14:1}	$y^{2)} = 0.251 x^{3)} + 0.217$	0.988
C _{15:0}	$y = 0.585 x + 0.747$	0.984
C _{16:1}	$y = 0.160 x - 0.060$	0.986
C _{16:2}	$y = 0.501 x - 0.443$	0.991
C _{16:3}	$y = 0.045 x + 0.033$	0.979
C _{17:0}	$y = 0.177 x + 0.106$	0.988
C _{17:1}	$y = 0.944 x + 0.107$	0.991
C _{17:2}	$y = 0.098 x - 0.050$	0.988

¹⁾Regression coefficient

²⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g}$ fat)

³⁾Irradiation dose (kGy)

3. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사로 생성된 hydrocarbon류

가. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사

전자선은 주로 공업용 목적으로 이용되었으나, 살충 및 살균에 효과가 입증되면서 점차 식품에도 그 이용이 점차 증대되고 있으며, 식품에 있어서 전자선의 이용은 10 MeV 이하의 에너지를 사용하도록 국제적으로 규정하고 있다. 전자선의 경우 투과력이 약한 단점이 있으나, 짧은 조사시간, 전자선 조사간 품온의 변화가 없고, 친환경적인 장점이 있다. 또한 방사선 즉, 감마선에 대한 소비자의 미지의 두려움을 줄이고 안전한 위생화 방법으로 인식시킬 수 있는 대안으로 현재 많은 연구가 진행되고 있다.

지방산은 대부분 triglyceride에 결합되어 있으며, 지방산의 조성에 따라 생성되는 hydrocarbon류의 종류가 결정되며 hydrocarbon의 생성량 또한 지방산의 함량과 밀접한 관계가 있다. 쇠고기 분쇄육의 주요 지방산은 oleic acid(36%), palmitic acid(23%), stearic acid(12%)이며, 방사선 조사에 의해 분해되어 유리지방산과 hydrocarbon으로 된다.

조사하지 않은 쇠고기 분쇄육을 대조군으로 하고 각각 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 그리고 20 kGy까지 전자선을 조사하여 hydrocarbon류를 분석하였다(Fig. 9).

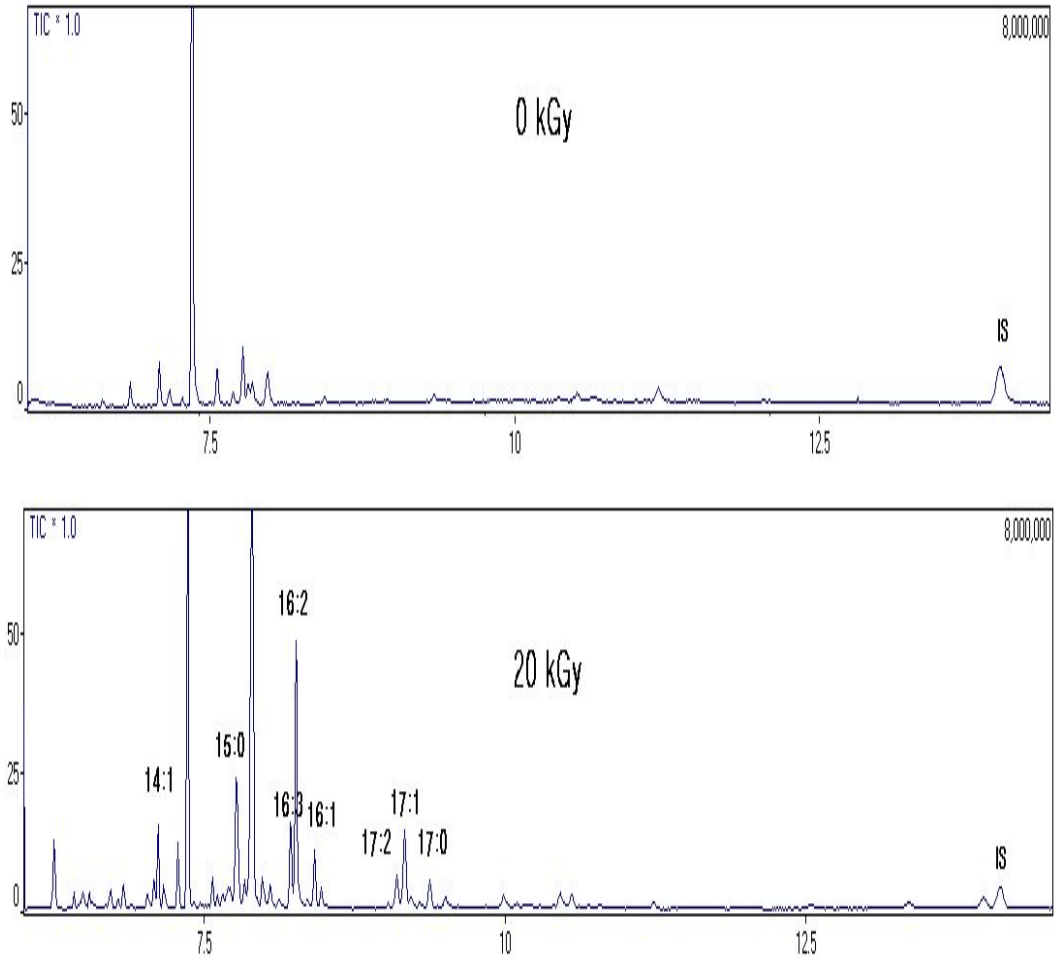


Fig. 9. Chromatograms of hydrocarbons from control and 20 kGy electron beam irradiated vacuum packaged ground beef

나. 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사로 생성된 hydrocarbon류 분석

진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류는 감마선 조사로 생성된 hydrocarbon류와 유사한 경향을 보였으며, 그 값은 감마선 조사로 형성된 hydrocarbon류 보다 낮은 수치를 보였으며, Regression 상수(R^2) 또한 감마선 조사한 쇠고기 분쇄육보다 다소 낮은 값을 보였다. 이는 전자선이 감마선보다 투과력이 낮음으로 인한 것으로 사료된다(Table 10).

쇠고기 분쇄육의 가장 많은 함량을 차지하는 oleic acid로부터 유도되는 hydrocarbon류는 C_{n-1} hydrocarbon인 8-hetadeoene($C_{17:1}$)와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$)로 다른 hydrocarbon류 보다 많은 양이 검출되었으며, (Table 14). 다음으로 palmitic acid($C_{16:0}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 pentadecane($C_{15:0}$)와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1-tetradecene($C_{14:1}$)(Table 12), 다음으로 stearic acid($C_{18:0}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 hetadecane($C_{17:0}$) 와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1-hexadecene($C_{16:1}$) (Table 13), 그리고 linoleic acid($C_{18:2}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 6,9-heptadecadiene와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1,7,10-hecdecatriene이 가장 적은양이 검출되었다(Table 15). 위 값은 방사선 조사로 인하여 형성된 hydrocarbon은 원재료의 모지방산의 함량과 밀접한 관계가 있음을 보여주는 것으로 이러한 결과는 Hwang 등(27), Lee 등(48)의 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있었으며, 생성된 hydrocarbon의 양적인 차이는 시료의 차이로 사료된다.

모지방산에서 hydrocarbon류로 분해되는 경향을 보면 palmitic acid, stearic acid linoleic acid에서는 C_{n-1} hydrocarbon 이 $C_{n-2:1}$ 보다는 높은 비율의 hydrocarbon류가 확인되었으며, oleic acid 에서만 특이적으로 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon이 C_{n-1} hydrocarbon 보다 높은 비율을 보임을 확인하였다. Table 11 는 C_{n-1}/C_{n-2} 의 비율을 나타낸 것으로 비율이 1 이상이 되면 C_{n-1} 이 C_{n-2} 보다 많은 양이 생성됨을 나타내며 이러한 결과는 Hwang 등(27), Lee 등(48)의 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있었다.

위에서 검출된 모든 hydrocarbon류의 Regression 상수(R^2)는 hydrocarbon류의 함량과 방사선 조사선량사이에서 0.95이상의 수치를 보여 높은 상관성을 나타내었으며, 조사선량에 따라 직선상으로 증가하였다(Table 16).

Table 10. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Palmitic acid (C _{16:0})		Stearic acid (C _{18:0})		Oleic acid (C _{18:1})		Linoleic acid (C _{18:2})	
	C _{15:0}	C _{14:1}	C _{17:0}	C _{16:1}	C _{17:1}	C _{16:2}	C _{17:2}	C _{16:3}
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
2.5	1.349 ^b ±0.250	0.635 ^b ±0.292	0.262 ^b ±0.009	0.228 ^b ±0.006	0.675 ^b ±0.055	2.859 ^b ±0.152	0.083 ^b ±0.010	0.061 ^b ±0.013
5	2.507 ^c ±0.286	0.860 ^c ±0.284	0.331 ^c ±0.016	0.265 ^c ±0.013	1.599 ^c ±0.096	4.729 ^c ±0.248	0.144 ^c ±0.013	0.113 ^c ±0.027
7.5	2.919 ^d ±0.509	1.602 ^d ±0.541	0.708 ^d ±0.081	0.400 ^d ±0.084	2.865 ^d ±0.161	6.407 ^d ±0.351	0.226 ^d ±0.024	0.202 ^d ±0.035
10	4.686 ^e ±0.345	2.125 ^e ±0.676	0.773 ^e ±0.079	0.647 ^e ±0.061	3.799 ^e ±0.439	8.274 ^e ±0.454	0.349 ^e ±0.031	0.230 ^e ±0.039
15	7.273 ^f ±0.302	3.449 ^f ±0.597	1.060 ^f ±0.085	0.886 ^f ±0.075	6.217 ^f ±0.551	12.119 ^f ±0.612	0.684 ^f ±0.045	0.413 ^f ±0.044
20	11.034 ^g ±0.487	5.181 ^g ±0.451	1.604 ^g ±0.061	1.466 ^g ±0.058	9.143 ^g ±0.667	17.554 ^g ±0.887	0.796 ^g ±0.062	0.633 ^g ±0.048

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

²⁾Mean ± standard deviation (n = 3).

그중 oleic acid로부터 유도되는 8-hetadeoene(C_{17:1})와 1,7-hexadecadiene(C_{16:2})는 쇠고기 분쇄육에서 가장 많이 검출되었으며, Regression 상수(R²)또한 0.99 이상으로 방사선 조사 여부 검지 marker로 활용성이 클 것으로 사료된다.

Table 11. Ratios of C_{n-1} to C_{n-2} hydrocarbons in gamma ray dose on irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Ratios of C _{n-1} /C _{n-2} hydrocarbons			
	Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid
0	0	0	0	0
2.5	2.123	1.147	0.236	1.360
5	2.916	1.251	0.338	1.271
7.5	1.822	1.769	0.447	1.118
10	2.205	1.194	0.459	1.516
15	2.108	1.196	0.513	1.655
20	2.130	1.095	0.521	1.257
	2.217 ± 0.367 ¹⁾	1.275 ± 0.248	0.419 ± 0.111	1.363 ± 0.194

¹⁾Mean ± SD

Table 12. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from palmitic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Palmitic acid(C _{16:0})	
	Pentadecane(C _{15:0})	1-Tetradecene(C _{14:1})
0	0 ^{a 1)}	0 ^a
2.5	1.349 ^b ±0.250 ²⁾	0.635 ^b ±0.292
5	2.507 ^c ±0.286	0.860 ^c ±0.284
7.5	2.919 ^d ±0.509	1.602 ^d ±0.541
10	4.686 ^e ±0.345	2.125 ^e ±0.676
15	7.273 ^f ±0.302	3.449 ^f ±0.597
20	11.034 ^g ±0.487	5.181 ^g ±0.451

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

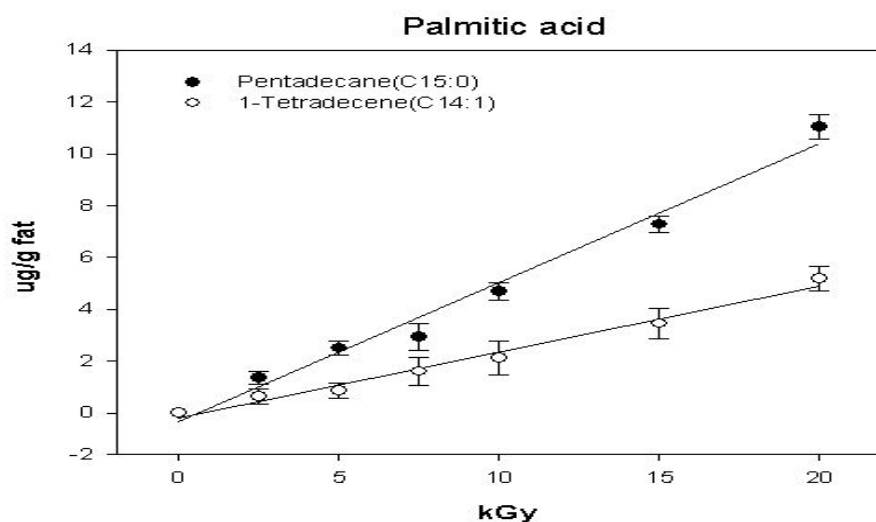


Fig. 10. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form palmitic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Table 13. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from stearic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Stearic acid(C _{18:0})	
	Heptadecane(C _{17:0})	1-Hexadecene(C _{16:1})
0	0 ^a 1)	0 ^a
2.5	0.262 ^b ±0.009 ²⁾	0.228 ^b ±0.006
5	0.331 ^c ±0.016	0.265 ^c ±0.013
7.5	0.708 ^d ±0.081	0.400 ^d ±0.084
10	0.773 ^e ±0.079	0.647 ^e ±0.061
15	1.060 ^f ±0.085	0.886 ^f ±0.075
20	1.604 ^g ±0.061	1.466 ^g ±0.058

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

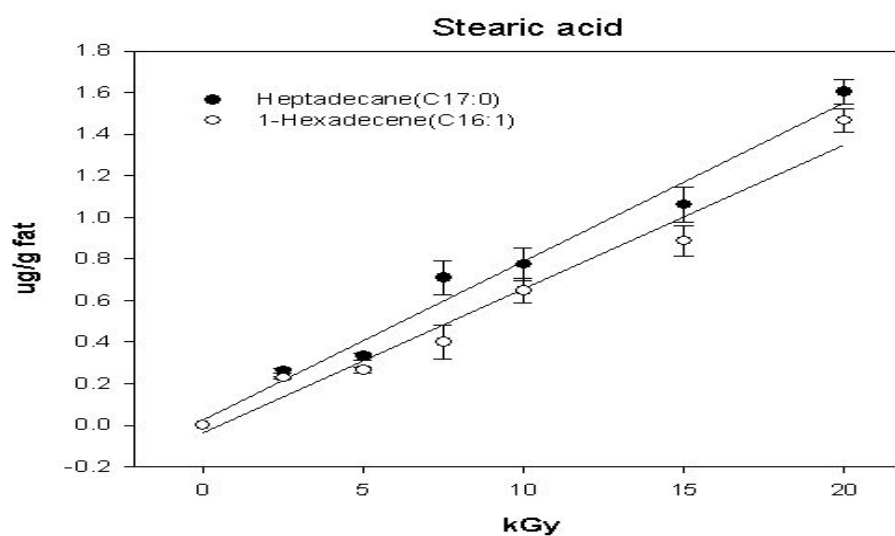


Fig. 11. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form stearic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Table 14. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in electron beam irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Oleic acid(C _{18:1})	
	8-Hetadecene(C _{17:1})	1,7-Hexadecadiene(C _{16:2})
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a
2.5	0.675 ^b ±0.055 ²⁾	2.859 ^b ±0.152
5	1.599 ^c ±0.096	4.729 ^c ±0.248
7.5	2.865 ^d ±0.161	6.407 ^d ±0.351
10	3.799 ^e ±0.439	8.274 ^e ±0.454
15	6.217 ^f ±0.551	12.119 ^f ±0.612
20	9.143 ^g ±0.667	17.554 ^g ±0.887

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

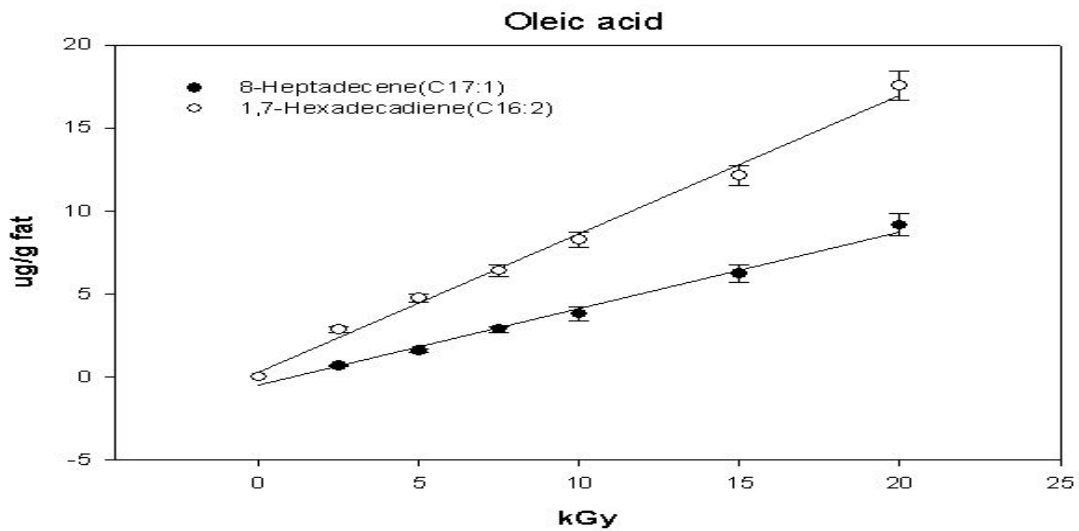


Fig. 12. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form oleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

Table 15. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from linoleic acid in electron beam irradiated vacuum packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Linoleic acid(C _{18:2})	
	6,9-Heptadecadiene(C _{17:2})	1,7,10-Hexadecatriene(C _{16:3})
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a
2.5	0.083 ^b ±0.010 ²⁾	0.061 ^b ±0.013
5	0.144 ^c ±0.013	0.113 ^c ±0.027
7.5	0.226 ^d ±0.024	0.202 ^d ±0.035
10	0.349 ^e ±0.031	0.230 ^e ±0.039
15	0.684 ^f ±0.045	0.413 ^f ±0.044
20	0.796 ^g ±0.062	0.633 ^g ±0.048

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

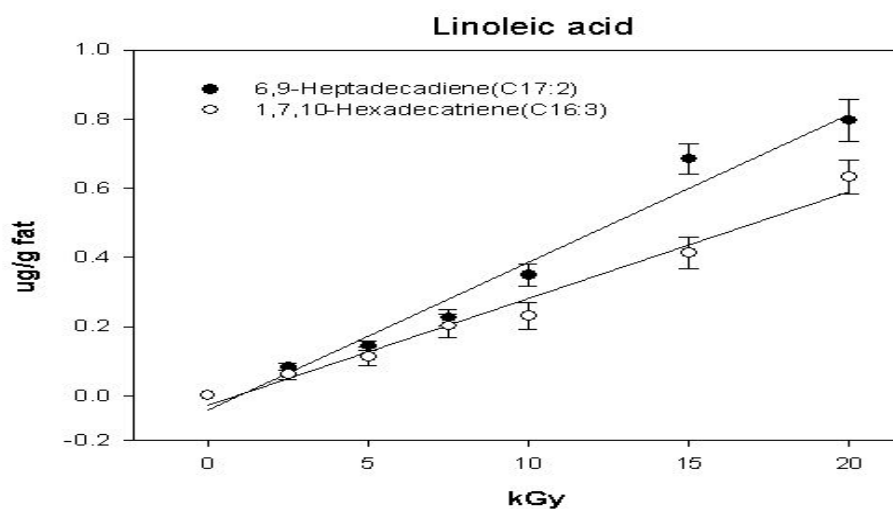


Fig. 13. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form linoleic acid in irradiated vacuum packaged ground beef

다. Hydrocarbon류의 표준검량선 작성 및 회귀분석

진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사 후 florisil column chromatography를 통해 hydrocarbon류를 분리한 후 GC/MS로 분석한 결과를 이용하여 방사선 조사선량과 hydrocarbon류의 상관성을 확인하기 위해 regression analysis를 실행하였다 (Table 16).

Regression 상수(R^2)는 hydrocarbon류의 함량과 방사선 조사선량사이에서 0.95이상으로 높은 수치를 보여 높은 상관성을 나타내었으며, 조사선량에 따라 직선상으로 증가하였다.

Table 16. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in electron beam irradiated vacuum packaged ground beef

Hydrocarbons	Linear regression equation	R^2 ¹⁾
C _{14:1}	$y^{2)} = 0.254 X^{3)} - 0.199$	0.985
C _{15:0}	$y = 0.534 X - 0.326$	0.982
C _{16:1}	$y = 0.069 X - 0.037$	0.969
C _{16:2}	$y = 0.836 X + 0.257$	0.994
C _{16:3}	$y = 0.031 X - 0.029$	0.980
C _{17:0}	$y = 0.076 X + 0.024$	0.980
C _{17:1}	$y = 0.459 X - 0.467$	0.990
C _{17:2}	$y = 0.043 X - 0.040$	0.974

¹⁾Regression coefficient

²⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g fat}$)

³⁾Irradiation dose (kGy)

제 4 절 질소 포장된 쇠고기 분쇄육에 방사선 조사로 생성된 hydrocarbon류

1. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육

가스치환포장방식의 일종으로 질소 포장은 부패성 및 미생물 번식률이 높은 식품 중 하나인 식육제품의 생산 공정에서 소비자 까지 유통과정에서 식육의 안전성을 높이기 위한 포장기법 으로 진공포장에 대한 개선책으로 개발된 방법이다. 식육의 호흡속도를 늦추고, 미생물 성장을 감소시키며, 효소에 의한 오염을 지연시키기 위해, 포장내 식육 외부 공기조성을 변화시키는 것을 말한다. 즉, 포장용기내의 공기를 완전히 제거한 후 인위적으로 조성된 가스를 채워 넣어 포장을 완결하는 것으로 포장에 사용되는 가스의 조성비에 따라 미생물의 성장속도를 지연시킴으로서 저장기한을 연장시키며, 마이오글로빈의 산화상태도 영향을 받는다. 여기에 사용되는 가스는 산소, 이산화탄소, 질소이며, 통상적으로 이것들의 혼합가스를 사용한다. 특히 질소의 경우는 불활성 기체로 산소를 대체하거나 희석시키며, 각종 세균에 대한 정균작용으로 세균증식을 억제하여 부패를 방지를 통한 저장기한을 연장 시키는 작용을 한다(55).

2. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사로 생성된 hydrocarbon류

가. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사

투과력이 강하여 대량 조사가 가능한 감마선 조사의 경우 이미 미국 및 유럽 등 여러 국가에서 사용화 되고 있으며, 식육제품에 대해서 FDA에서는 냉장식육의 경우 4.5 kGy 냉동식육의 경우 7 kGy 이하로 규정하고 있으며, 미생물학적 안전성 및 보존기한의 연장을 위한 수단으로 허용하고 있다.

지방산은 대부분 triglyceride에 결합되어 있으며, 지방산의 조성에 따라 생성되는 hydrocarbon류의 종류가 결정되며 hydrocarbon의 생성량 또한 지방산의 함량과 밀접한 관계가 있다. 쇠고기 분쇄육의 주요 지방산은 oleic acid(36%), palmitic acid(23%), stearic acid(12%)이며, 방사선 조사에 의해 분해되어 유리지방산과 hydrocarbon으로 된다.

조사하지 않은 쇠고기 분쇄육을 대조군으로 하고 각각 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 그리고 20 kGy까지 감마선을 조사시켜 hydrocarbon류를 분석하였다(Fig. 14.).

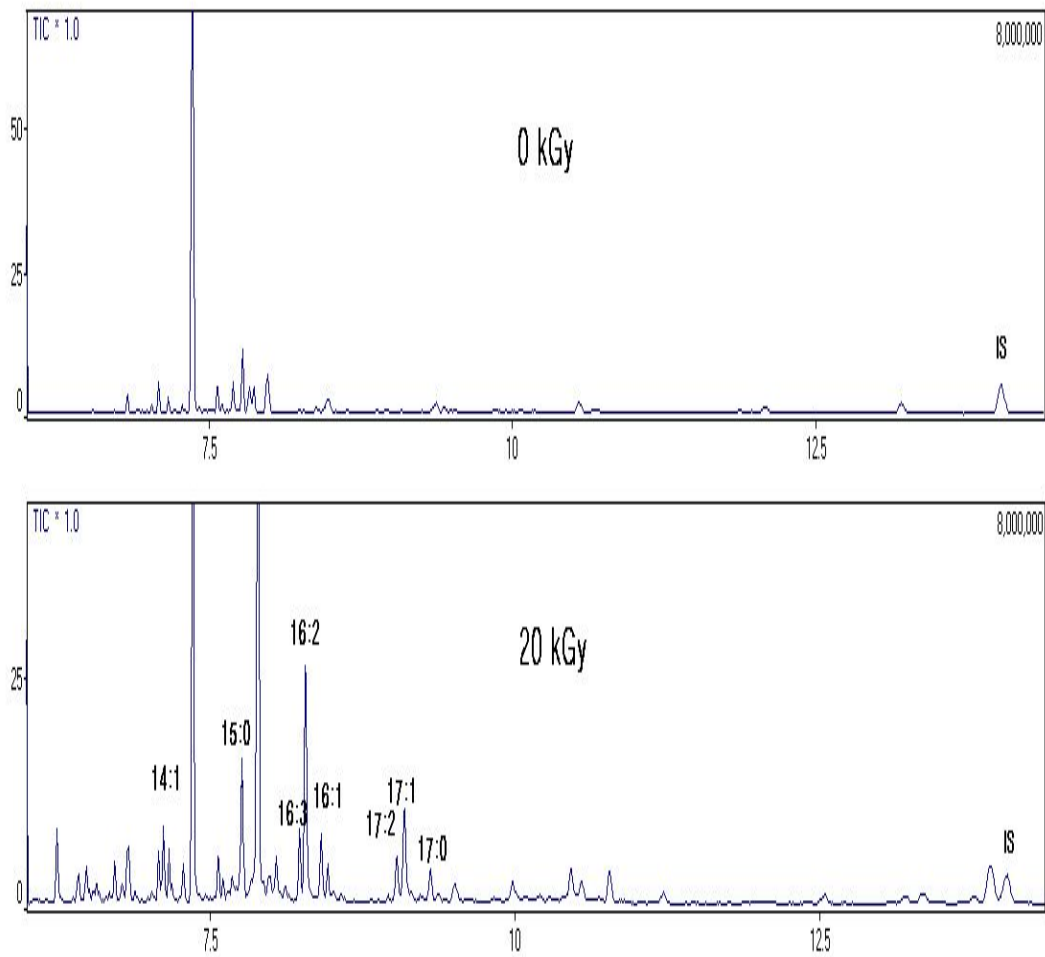


Fig. 14. Chromatograms of hydrocarbons from control and 20 kGy gamma ray irradiated N₂ gas packaged ground beef

나. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사로 생성된 hydrocarbon류 분석

질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류는 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사로 인하여 생성된 hydrocarbons류와 유사한 경향을 보였으며, 감마선 조사선량이 증가함에 따라 비례적으로 증가하였다. 생성된 hydrocarbon류의 양은 9진공 포장보다 전체적으로 다소 낮은 값을 보였으며, 이는 질소 포장된 쇠고기 분쇄육이 진공 포장된 쇠고기 분쇄육에서보다 상대적으로 조사 효과가 낮음을 보여준다(Table 17).

쇠고기 분쇄육의 가장 많은 함량을 차지하는 oleic acid로부터 유도되는 hydrocarbon류는 C_{n-1} hydrocarbon인 8-hetadeoene($C_{17:1}$)와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$)로 다른 hydrocarbon류 보다 많은 양이 검출되었으며, (Table 21). 다음으로 palmitic acid($C_{16:0}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 pentadecane($C_{15:0}$)와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1-tetradecene($C_{14:1}$)(Table 19), 다음으로 stearic acid($C_{18:0}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 hetadecane($C_{17:0}$) 와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1-hexadecene($C_{16:1}$) (Table 20), 그리고 linoleic acid($C_{18:2}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 6,9-heptadecadiene와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1,7,10-hecdecatriene이 가장 적은양이 검출되었다(Table 21). 이는 방사선 조사로 인하여 형성된 hydrocarbon은 원재료의 모지방산의 함량과 밀접한 관계가 있음을 보여주는 것으로 결과는 Hwang 등(27), Lee 등(48)의 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있었으며, 생성된 hydrocarbon의 양적인 차이는 시료의 차이로 사료된다.

모지방산에서 hydrocarbon류로 분해되는 경향을 보면 palmitic acid, stearic acid linoleic acid에서는 C_{n-1} hydrocarbon 이 $C_{n-2:1}$ 보다는 높은 비율의 hydrocarbon류가 확인되었으며, oleic acid 에서만 특이적으로 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon이 C_{n-1} hydrocarbon 보다 높은 비율을 보임을 확인하였다. Table 15 은 C_{n-1}/C_{n-2} 의 비율을 나타낸 것으로 비율이 1 이상이 되면 C_{n-1} 이 C_{n-2} 보다 많은 양이 생성됨을 나타내며 이러한 결과는 Hwang 등(27), Lee 등(48)의 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있었다.

위에서 검출된 모든 hydrocarbon류의 Regression 상수(R^2)는 hydrocarbon류의 함량과 방사선 조사선량사이에서 0.95이상의 수치를 보여 높은 상관성을 나타내었으며,

Table 17. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Palmitic acid (C _{16:0})		Stearic acid (C _{18:0})		Oleic acid (C _{18:1})		Linoleic acid (C _{18:2})	
	C _{15:0}	C _{14:1}	C _{17:0}	C _{16:1}	C _{17:1}	C _{16:2}	C _{17:2}	C _{16:3}
0	0 ^{a 1)}	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
2.5	1.726 ^b ±0.249 ²⁾	0.757 ^b ±0.211	0.351 ^b ±0.017	0.274 ^b ±0.006	0.535 ^b ±0.042	2.765 ^b ±0.162	0.143 ^b ±0.011	0.111 ^b ±0.009
5	3.345 ^c ±0.292	1.049 ^c ±0.282	0.520 ^c ±0.022	0.477 ^c ±0.015	1.111 ^c ±0.087	4.480 ^c ±0.334	0.313 ^c ±0.018	0.212 ^c ±0.015
7.5	3.829 ^d ±0.351	1.478 ^d ±0.392	0.857 ^d ±0.027	0.673 ^d ±0.021	1.931 ^d ±0.219	5.370 ^d ±0.460	0.392 ^d ±0.027	0.318 ^d ±0.021
10	5.774 ^e ±0.376	2.517 ^e ±0.264	1.235 ^e ±0.042	1.048 ^e ±0.037	2.561 ^e ±0.171	8.007 ^e ±0.541	0.536 ^e ±0.052	0.395 ^e ±0.025
15	7.589 ^f ±0.334	2.946 ^f ±0.278	1.576 ^f ±0.051	1.373 ^f ±0.042	4.409 ^f ±0.329	11.267 ^f ±0.601	0.891 ^f ±0.071	0.568 ^f ±0.052
20	9.873 ^g ±0.476	4.252 ^g ±0.217	2.377 ^g ±0.061	2.121 ^g ±0.051	6.220 ^g ±0.497	15.031 ^g ±0.898	1.415 ^g ±0.092	0.935 ^g ±0.058

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

조사선량에 따라 직선상으로 증가하였다(Table 23). 그중 oleic acid로부터 유도되는 8-hetadeoene(C_{17:1})와 1,7-hexadecadiene(C_{16:2})는 쇠고기 분쇄육에서 가장 많이 검출되었으며, Regression 상수(R²)또한 0.99 이상으로 방사선 조사 여부 검지 marker로 활용성이 클 것으로 사료된다.

Table 18. Ratios of C_{n-1} to C_{n-2} hydrocarbons in gamma ray dose on irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Ratios of C _{n-1} /C _{n-2} hydrocarbons			
	Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid
0	0	0	0	0
2.5	2.279	1.281	0.194	1.284
5	3.189	1.091	0.248	1.479
7.5	2.591	1.275	0.360	1.234
10	2.293	1.179	0.320	1.356
15	2.576	1.148	0.391	1.570
20	2.322	1.120	0.414	1.513
	2.179 ± 0.347 ¹⁾	1.013 ± 0.080	0.275 ± 0.086	1.205 ± 0.135

¹⁾Mean ± SD

Table 19. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from palmitic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Palmitic acid(C _{16:0})	
	Pentadecane(C _{15:0})	1-Tetradecene(C _{14:1})
0	0 ^{a 1)}	0 ^a
2.5	1.726 ^b ±0.249 ²⁾	0.757 ^b ±0.211
5	3.345 ^c ±0.292	1.049 ^c ±0.282
7.5	3.829 ^d ±0.351	1.478 ^d ±0.392
10	5.774 ^e ±0.376	2.517 ^e ±0.264
15	7.589 ^f ±0.334	2.946 ^f ±0.278
20	9.873 ^g ±0.476	4.252 ^g ±0.217

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

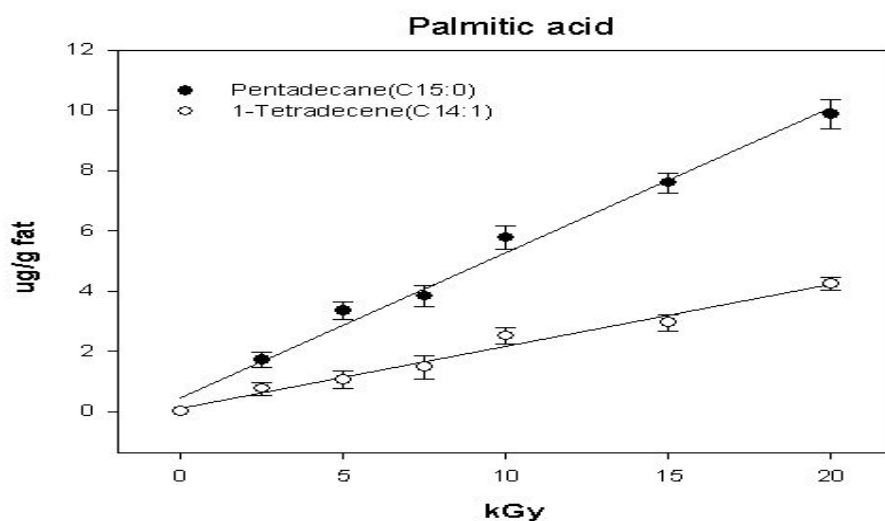


Fig. 15. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form palmitic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Table 20. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from stearic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Stearic acid(C _{18:0})	
	Hentadecane(C _{17:0})	1-Hexadecene(C _{16:1})
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a
2.5	0.351 ^b ±0.017 ²⁾	0.274 ^b ±0.006
5	0.520 ^c ±0.022	0.477 ^c ±0.015
7.5	0.857 ^d ±0.027	0.673 ^d ±0.021
10	1.235 ^e ±0.042	1.048 ^e ±0.037
15	1.576 ^f ±0.051	1.373 ^f ±0.042
20	2.377 ^g ±0.061	2.121 ^g ±0.051

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

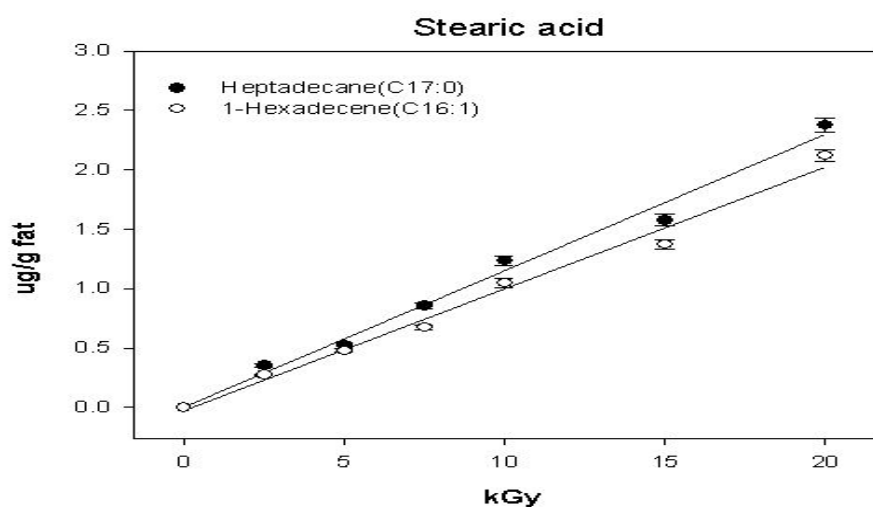


Fig. 16. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form stearic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Table 21. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Oleic acid(C _{18:1})	
	8-Hetadecene(C _{17:1})	1,7-Hexadecadiene(C _{16:2})
0	0 ^{a 1)}	0 ^a
2.5	0.535 ^b ±0.042 ²⁾	2.765 ^b ±0.162
5	1.111 ^c ±0.087	4.480 ^c ±0.334
7.5	1.931 ^d ±0.219	5.370 ^d ±0.460
10	2.561 ^e ±0.171	8.007 ^e ±0.541
15	4.409 ^f ±0.329	11.267 ^f ±0.601
20	6.220 ^g ±0.497	15.031 ^g ±0.898

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

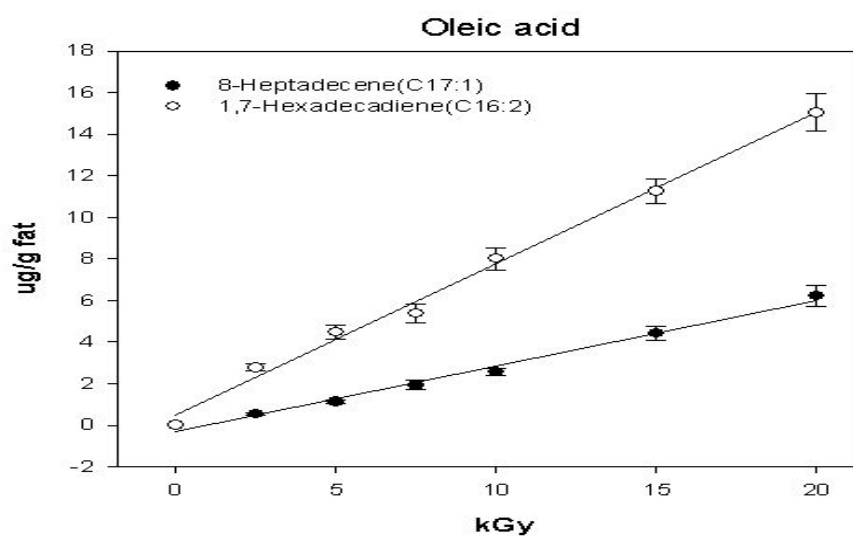


Fig. 17. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form oleic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Table 22. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from linoleic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Linoleic acid(C _{18:2})	
	6,9-Heptadecadiene(C _{17:2})	1,7,10-Hexadecatriene(C _{16:3})
0	0 ^a 1)	0 ^a
2.5	0.143 ^b ±0.011 ²⁾	0.111 ^b ±0.009
5	0.313 ^c ±0.018	0.212 ^c ±0.015
7.5	0.392 ^d ±0.027	0.318 ^d ±0.021
10	0.536 ^e ±0.052	0.395 ^e ±0.025
15	0.891 ^f ±0.071	0.568 ^f ±0.052
20	1.415 ^g ±0.092	0.935 ^g ±0.058

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

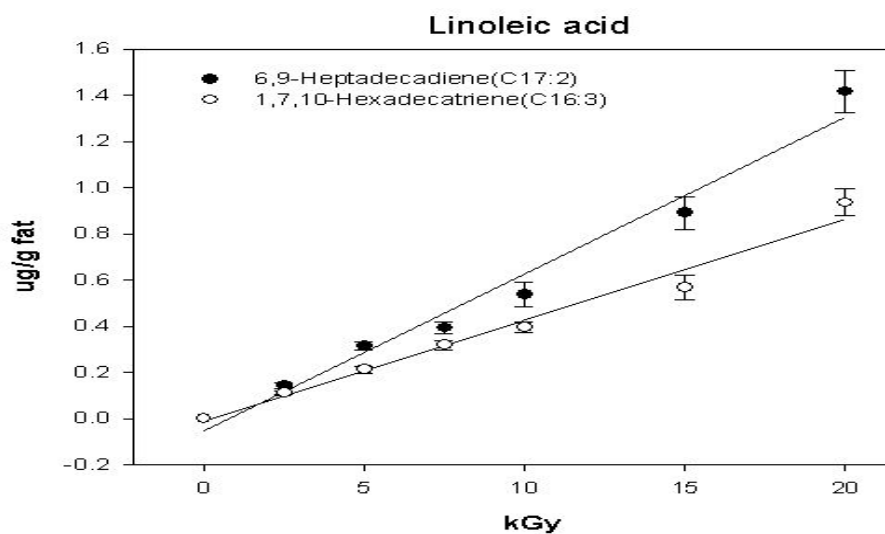


Fig. 18. Effects of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons form linoleic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

다. Hydrocarbon류의 표준검량선 작성 및 회귀분석

질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 감마선 조사 후 florisil column chromatography를 통해 hydrocarbon류를 분리한 후 GC/MS로 분석한 결과를 이용하여 방사선 조사선량과 hydrocarbon류의 상관성을 확인하기 위해 regression analysis를 실행하였다 (Table 23).

Regression 상수(R^2)는 hydrocarbon류의 함량과 방사선 조사선량사이에서 0.95이상으로 높은 수치를 보여 높은 상관성을 나타내었으며, 조사선량에 따라 직선상으로 증가하였다.

Table 23. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in gamma ray irradiated N₂ gas packaged ground beef

Hydrocarbons	Linear regression equation	R^2 ¹⁾
C _{14:1}	$y^{2)} = 0.205 x^{3)} + 0.098$	0.980
C _{15:0}	$y = 0.481 x + 0.471$	0.988
C _{16:1}	$y = 0.102 x - 0.024$	0.988
C _{16:2}	$y = 0.728 x + 0.463$	0.994
C _{16:3}	$y = 0.044 x - 0.015$	0.979
C _{17:0}	$y = 0.115 x + 0.007$	0.989
C _{17:1}	$y = 0.315 x - 0.301$	0.991
C _{17:2}	$y = 0.068 x - 0.055$	0.976

¹⁾Regression coefficient

²⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g fat}$)

³⁾Irradiation dose (kGy)

3. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사로 생성된 hydrocarbon류

가. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사

전자선은 주로 공업용 목적으로 이용되었으나, 살충 및 살균에 효과가 입증되면서 점차 식품에도 그 이용이 점차 증대되고 있으며, 식품에 있어서 전자선의 이용은 10 MeV 이하의 에너지를 사용하도록 국제적으로 규정하고 있다. 전자선의 경우 투과력이 약한 단점이 있으나, 짧은 조사시간, 전자선 조사간 품온의 변화가 없고, 친환경적인 장점이 있다. 또한 방사선 즉, 감마선에 대한 소비자의 미지의 두려움을 줄이고 안전한 위생화 방법으로 인식시킬 수 있는 대안으로 현재 많은 연구가 진행되고 있다.

지방산은 대부분 triglyceride에 결합되어 있으며, 지방산의 조성에 따라 생성되는 hydrocarbon류의 종류가 결정되며 hydrocarbon의 생성량 또한 지방산의 함량과 밀접한 관계가 있다. 쇠고기 분쇄육의 주요 지방산은 oleic acid(36%), palmitic acid(23%), stearic acid(12%)이며, 방사선 조사에 의해 분해되어 유리지방산과 hydrocarbon으로 된다.

조사하지 않은 쇠고기 분쇄육을 대조군으로 하고 각각 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 그리고 20 kGy까지 전자선을 조사시켜 hydrocarbon류를 분석하였다(Fig. 19.).

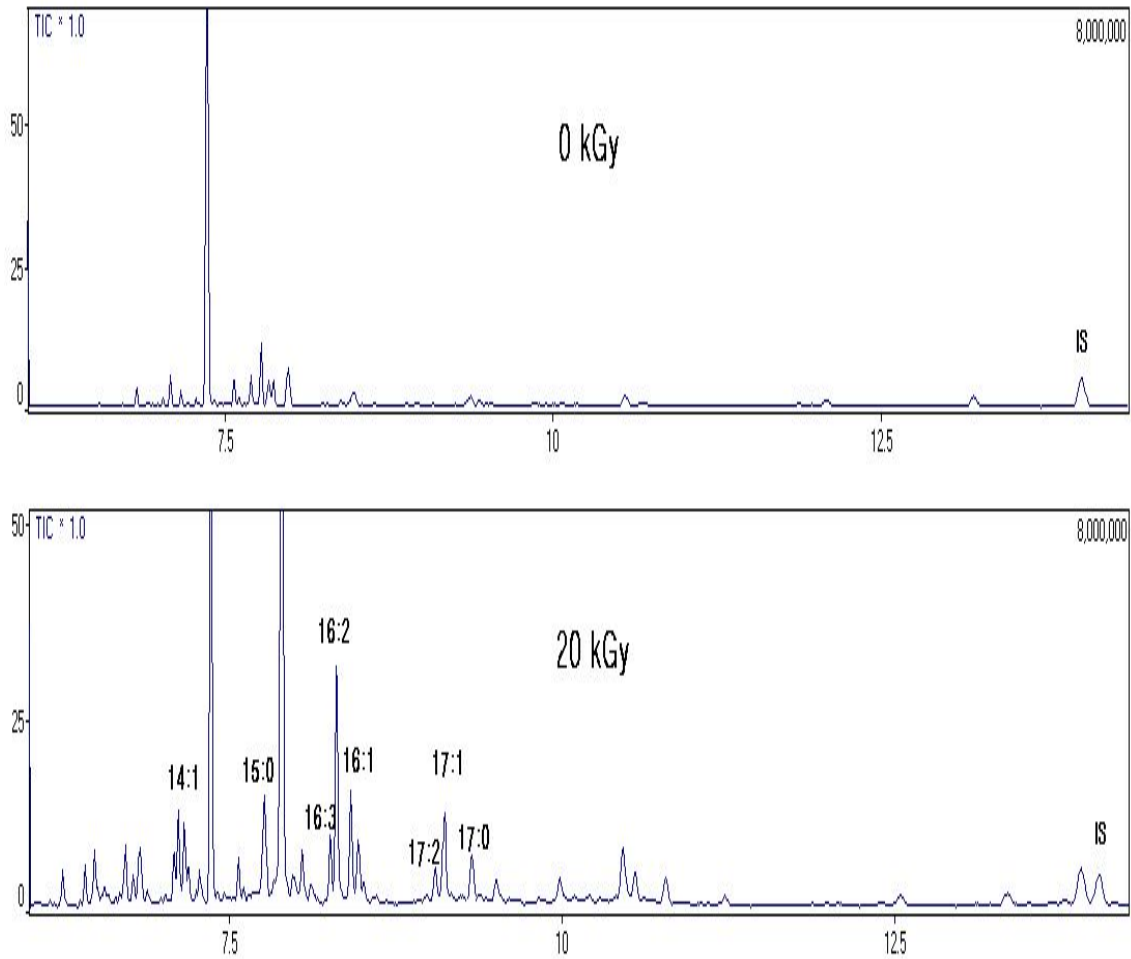


Fig. 19. Chromatograms of hydrocarbons from control and 20 kGy electron beam irradiated N₂ gas packaged ground beef

나. 질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사로 생성된 hydrocarbon류 분석

질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사에 의해 생성된 hydrocarbon류는 감마선 조사로 생성된 hydrocarbon류와 유사한 경향을 보였으며, 그 값은 감마선 조사로 형성된 hydrocarbon류 보다 낮은 수치를 보였으며, Regression 상수(R^2) 또한 감

마선 조사한 쇠고기 분쇄육보다 다소 낮은 값을 보였다. 이는 전자선이 감마선보다 투과력이 낮음으로 인한 것으로 사료된다(Table 24). 또한 진공 포장된 쇠고기 분쇄육과 비교 하면 진공 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사로 형성된 hydrocarbons 류 보다 낮은 수치를 보인다. 위 결과로 보아 포장방법의 차이에서는 진공 포장이 질소 포장보다 방사선의 효과가 높으며, 전자선 보다는 감마선에서 효과가 더 높음을 확인 하였다.

쇠고기 분쇄육의 가장 많은 함량을 차지하는 oleic acid로부터 유도되는 hydrocarbon류는 C_{n-1} hydrocarbon인 8-hetadeoene($C_{17:1}$)와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1,7-hexadecadiene($C_{16:2}$)로 다른 hydrocarbon류 보다 많은 양이 검출되었으며, (Table 28). 다음으로 palmitic acid($C_{16:0}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 pentadecane($C_{15:0}$)와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1-tetradecene($C_{14:1}$)(Table 26), 다음으로 stearic acid($C_{18:0}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 heptadecane($C_{17:0}$) 와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1-hexadecene($C_{16:1}$) (Table 27), 그리고 linoleic acid($C_{18:2}$)로부터 유도되는 C_{n-1} hydrocarbon인 6,9-heptadecadiene와 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon인 1,7,10-hecadecatriene이 가장 적은양이 검출되었다(Table 29). 위 값은 방사선 조사로 인하여 형성된 hydrocarbon은 원재료의 모지방산의 함량과 밀접한 관계가 있음을 보여주는 것으로 이러한 결과는 Hwang 등(27), Lee 등(48)의 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있었으며, 생성된 hydrocarbon의 양적인 차이는 시료의 차이로 사료된다.

모지방산에서 hydrocarbon류로 분해되는 경향을 보면 palmitic acid, stearic acid linoleic acid에서는 C_{n-1} hydrocarbon 이 $C_{n-2:1}$ 보다는 높은 비율의 hydrocarbon류가 확인되었으며, oleic acid 에서만 특이적으로 $C_{n-2:1}$ hydrocarbon이 C_{n-1} hydrocarbon 보다 높은 비율을 보임을 확인하였다. Table 25 는 C_{n-1}/C_{n-2} 의 비율을 나타낸 것으로 비율이 1 이상이 되면 C_{n-1} 이 C_{n-2} 보다 많은 양이 생성됨을 나타내며 이러한 결과는 Hwang 등(27), Lee 등(48)의 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있었다.

위에서 검출된 모든 hydrocarbon류의 Regression 상수(R^2)는 hydrocarbon류의 함량과 방사선 조사선량사이에서 0.95이상의 수치를 보여 높은 상관성을 나타내었으며, 조사선량에 따라 직선상으로 증가하였다(Table 30). 그중 oleic acid로부터 유도

Table 24. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from palmitic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Palmitic acid (C _{16:0})		Stearic acid (C _{18:0})		Oleic acid (C _{18:1})		Linoleic acid (C _{18:2})	
	C _{15:0}	C _{14:1}	C _{17:0}	C _{16:1}	C _{17:1}	C _{16:2}	C _{17:2}	C _{16:3}
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
2.5	1.123 ^b ±0.091 ²⁾	0.582 ^b ±0.082	0.365 ^b ±0.022	0.208 ^b ±0.017	0.420 ^b ±0.133	2.097 ^b ±0.161	0.066 ^a ±0.001	0.051 ^a ±0.001
5	2.069 ^c ±0.172	0.872 ^c ±0.134	0.494 ^c ±0.036	0.381 ^c ±0.028	0.856 ^c ±0.250	3.692 ^c ±0.402	0.155 ^b ±0.004	0.101 ^b ±0.003
7.5	3.835 ^d ±0.423	1.044 ^d ±0.342	0.756 ^d ±0.057	0.552 ^d ±0.049	1.566 ^d ±0.320	4.728 ^d ±0.549	0.179 ^b ±0.009	0.160 ^b ±0.008
10	4.830 ^e ±0.257	1.426 ^e ±0.249	0.985 ^e ±0.068	0.841 ^e ±0.093	2.465 ^e ±0.410	7.209 ^e ±0.701	0.254 ^c ±0.012	0.192 ^c ±0.011
15	6.033 ^f ±0.398	2.910 ^f ±0.198	1.309 ^f ±0.096	1.063 ^f ±0.097	3.540 ^f ±0.460	9.740 ^f ±0.765	0.398 ^d ±0.018	0.292 ^d ±0.015
20	8.418 ^g ±0.455	3.547 ^g ±0.207	1.973 ^g ±0.116	1.248 ^g ±0.111	5.109 ^g ±0.554	13.673 ^g ±0.842	0.628 ^e ±0.024	0.486 ^e ±0.021

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

되는 8-hetadeoene(C_{17:1})와 1,7-hexadecadiene(C_{16:2})는 쇠고기 분쇄육에서 가장 많이 검출되었으며, Regression 상수(R²)또한 0.99 이상으로 방사선 조사 여부 검지 marker로 활용성이 클 것으로 사료된다.

Table 25. Ratios of C_{n-1} to C_{n-2} hydrocarbons in electron beam dose on irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Ratios of C _{n-1} /C _{n-2} hydrocarbons			
	Palmitic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid
0	0	0	0	0
2.5	1.930	1.753	0.200	1.296
5	2.371	1.297	0.232	1.536
7.5	3.673	1.370	0.331	1.121
10	3.387	1.171	0.342	1.326
15	2.073	1.231	0.363	1.364
20	2.373	1.580	0.374	1.290
	2.272 ± 1.457 ¹⁾	1.118 ± 0.662	0.221 ± 0.138	1.056 ± 0.608

¹⁾Mean ± SD

Table 26. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from palmitic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Palmitic acid(C _{16:0})	
	Pentadecane(C _{15:0})	1-Tetradecene(C _{14:1})
0	0 ^{a 1)}	0 ^a
2.5	1.123 ^b ±0.091 ²⁾	0.582 ^b ±0.082
5	2.069 ^c ±0.172	0.872 ^c ±0.134
7.5	3.835 ^d ±0.423	1.044 ^d ±0.342
10	4.830 ^e ±0.257	1.426 ^e ±0.249
15	6.033 ^f ±0.398	2.910 ^f ±0.198
20	8.418 ^g ±0.455	3.547 ^g ±0.207

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

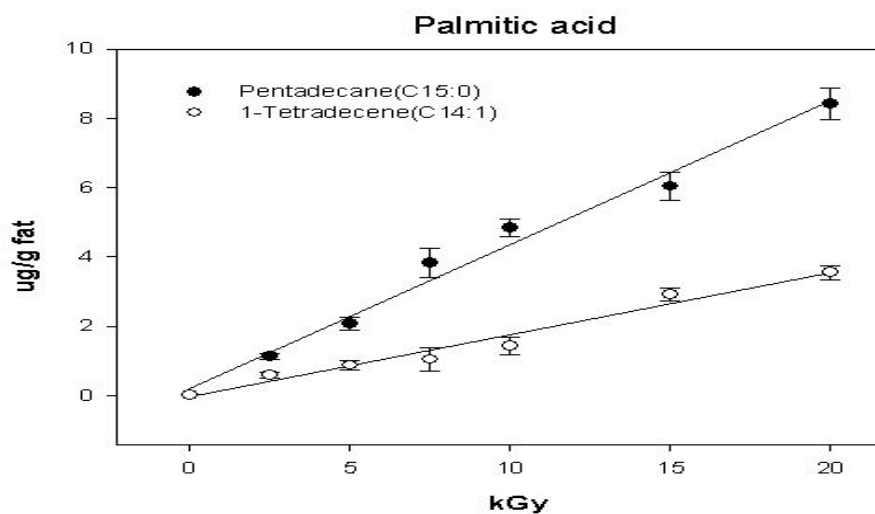


Fig. 20. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form palmitic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Table 27. Concentrations of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons from stearic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Stearic acid(C _{18:0})	
	Hentadecane(C _{17:0})	1-Hexadecene(C _{16:1})
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a
2.5	0.365 ^b ±0.022 ²⁾	0.208 ^b ±0.017
5	0.494 ^c ±0.036	0.381 ^c ±0.028
7.5	0.756 ^d ±0.057	0.552 ^d ±0.049
10	0.985 ^e ±0.068	0.841 ^e ±0.093
15	1.309 ^f ±0.096	1.063 ^f ±0.097
20	1.973 ^g ±0.116	1.248 ^g ±0.111

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

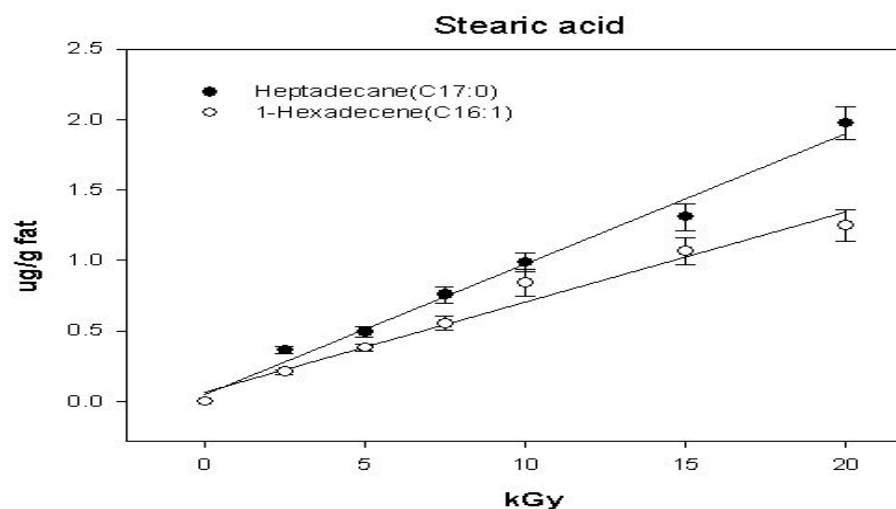


Fig. 21. Effects of electron beam dose on radiation-induced hydrocarbons form stearic acid in irradiated N₂ gas packaged ground beef

Table 28. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in electron beam irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Oleic acid(C _{18:1})	
	8-Hetadecene(C _{17:1})	1,7-Hexadecadiene(C _{16:2})
0	0 ^{a 1)}	0 ^a
2.5	0.420 ^b ±0.133 ²⁾	2.097 ^b ±0.161
5	0.856 ^c ±0.250	3.692 ^c ±0.402
7.5	1.566 ^d ±0.320	4.728 ^d ±0.549
10	2.465 ^e ±0.410	7.209 ^e ±0.701
15	3.540 ^f ±0.460	9.740 ^f ±0.765
20	5.109 ^g ±0.554	13.673 ^g ±0.842

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

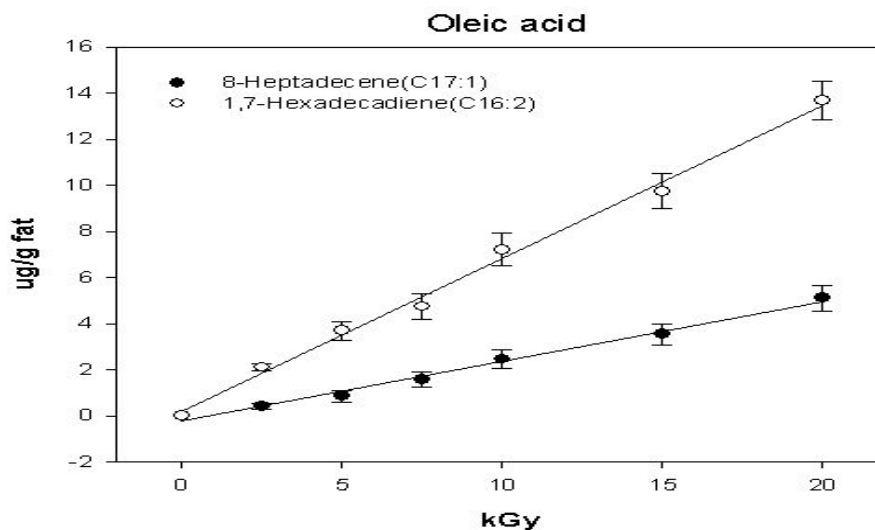


Fig. 22. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons form oleic acid in electron beam irradiated N₂ gas packaged ground beef

Table 29. Concentrations of gamma ray dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in electron beam irradiated N₂ gas packaged ground beef

Irradiation dose (kGy)	Linoleic acid(C _{18:2})	
	6,9-Heptadecadiene(C _{17:2})	1,7,10-Hexadecatriene(C _{16:3})
0	0 ^a ¹⁾	0 ^a
2.5	0.066 ^a ±0.001 ²⁾	0.051 ^a ±0.001
5	0.155 ^b ±0.004	0.101 ^b ±0.003
7.5	0.179 ^b ±0.009	0.160 ^{bc} ±0.008
10	0.254 ^c ±0.012	0.192 ^c ±0.011
15	0.398 ^d ±0.018	0.292 ^d ±0.015
20	0.628 ^e ±0.024	0.486 ^e ±0.021

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

²⁾Mean±standard deviation (n = 3).

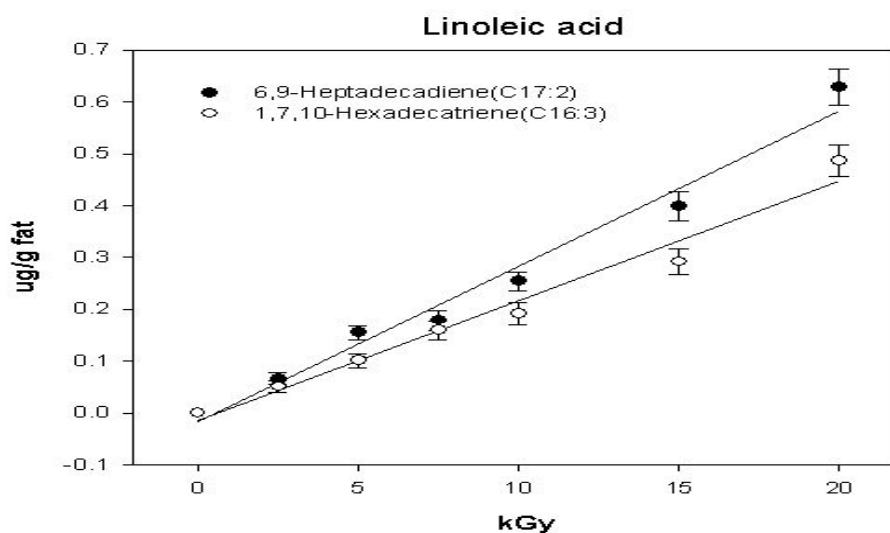


Fig. 23. Effects of irradiation dose on radiation-induced hydrocarbons from oleic acid in electron beam irradiated N₂ gas packaged ground beef

다. Hydrocarbon류의 표준검량선 작성 및 회귀분석

질소 포장된 쇠고기 분쇄육의 전자선 조사 후 florisil column chromatography를 통해 hydrocarbon류를 분리한 후 GC/MS로 분석한 결과를 이용하여 방사선 조사선량과 hydrocarbon류의 상관성을 확인하기 위해 regression analysis를 실행하였다 (Table 26).

Regression 상수(R^2)는 hydrocarbon류의 함량과 방사선 조사선량사이에서 0.95이상으로 높은 수치를 보여 높은 상관성을 나타내었으며, 조사 선량에 따라 직선상으로 증가하였다.

Table 30. Parameters of regression analysis of hydrocarbons in electron beam irradiated N₂ gas packaged ground beef

Hydrocarbons	Linear regression equation	R^2 ¹⁾
C _{14:1}	$y^{2)} = 0.179 x^{3)} - 0.055$	0.972
C _{15:0}	$y = 0.414 x + 0.207$	0.985
C _{16:1}	$y = 0.064 x + 0.065$	0.973
C _{16:2}	$y = 0.665 x + 0.180$	0.995
C _{16:3}	$y = 0.023 x - 0.014$	0.976
C _{17:0}	$y = 0.093 x + 0.048$	0.988
C _{17:1}	$y = 0.665 x + 0.180$	0.995
C _{17:2}	$y = 0.030 x - 0.017$	0.979

¹⁾Regression coefficient

²⁾Concentration of hydrocarbons ($\mu\text{g/g fat}$)

³⁾Irradiation dose (kGy)

제 4 장 요약

최근 동물성 단백질의 소비량은 점차 증가하고 있으며, 소비자들은 높은 선도의 고품질의 식육을 선호하여 식육의 유통 형태는 과거 냉동육에서 점차 냉장육의 형태로 변화하고 있다. 따라서 미생물학적 안전성을 높이기 위한 방법으로 방사선조사를 하고 있으며, 본 연구에서는 방사선 조사 분해 산물인 hydrocarbons류를 분석하여 이를 검지하고자 하였다.

쇠고기 분쇄육에 방사선조사를 할 경우 형성되는 지방 분해 산물인 hydrocarbon류를 확인하기 위해 방사선 조사된 쇠고기 분쇄육의 지방을 용매추출법으로 추출하고, 3%의 H₂O로 불활성화된 florisil이 충전된 column을 통하여 hydrocarbon류를 분리한 뒤 GC/MS로 정성/정량 분석하였다. 그 결과 방사선 조사로 인한 쇠고기 분쇄육의 지방산으로부터 각각 C_{n-1} hydrocarbon, C_{n-2} 면서 첫 번째 탄소위치에 새로운 이중결합을 가진 hydrocarbon류로 palmitic acid(C_{16:0})로부터 pentadecane(C_{15:0})와 1-tetradecene(C_{14:1}), stearic acid(C_{18:0})로부터 heptadecane(C_{17:0}) 와 1-hexadecene(C_{16:1}), oleic acid(C_{18:1})로부터 8-heptadecene(C_{17:1}), 1,7-hexadecadiene(C_{16:2}), linoleic acid(C_{18:2})로부터 6,9-heptadiene(C_{17:2}), 1,7,10-hexadecatriene(C_{16:3})이 확인 되었다.

모지방산에서 형성된 C_{n-1}/C_{n-2} 의 hydrocarbons의 비율은 모든 시료에서 palmitic acid, stearic acid linoleic acid에서는 C_{n-1} hydrocarbon 이 C_{n-2:1} 보다는 높은 비율의 hydrocarbon류가 확인되었으며, oleic acid 에서만 특이적으로 C_{n-2:1} hydrocarbon이 C_{n-1} hydrocarbon 보다 높은 비율로 모든 시료에서 동일한 경향을 보였다. 질소 또는 진공 포장하여 각각 감마선, 전자선을 2.5, 5, 7.5, 10, 15 그리고 20 kGy 선량으로 조사한 모든 시료에서 hydrocarbons류와 방사선종의 Regression 상수(R²)은 0.95 이상으로 높은 상관성을 나타내었다.

쇠고기 분쇄육의 지방산중 가장 많은 비중을 차지하는 oleic acid(C_{18:1})에서 유도되는 8-heptadecene(C_{17:1}), 1,7-hexadecadiene(C_{16:2})은 쇠고기 분쇄육의 방사선 조사로 나타나는 가장 특징적인 화합물이며, hydrocarbons류와 방사선종의 Regression 상수(R²)은 0.99 이상으로 쇠고기 분쇄육의 방사선 검지 marker로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 포장 방법(진공, 질소포장)의 차이와 방사선종(감마선, 전자선)의 차이로 인하여 생성된 hydrocarbons류를 비교 분석하였다. 그 결과 전체적인 경향은

유사하였으나 hydrocarbons류의 양적인 차이는 다소 확인되었다.

진공 포장된 쇠고기 분쇄육에 방사선을 조사하지 않은 시료를 대조군으로 하고 감마선과 전자선을 각각 2.5, 5, 7.5, 10, 15 그리고 20 kGy조사한 쇠고기 분쇄육을 시료로 하여 생성된 hydrocarbons을 분석한 결과 전체적인 경향은 유사하였으나, 감마선에서 전자선 보다 많은 양의 hydrocarbons류가 생성되었고, Regression 상수 (R^2) 또한 감마선에서 1에 더 가까운 수치를 보였다. 이는 감마선이 전자선보다 상대적으로 높은 투과력을 갖기 때문인 것으로 사료된다.

질소 포장된 쇠고기 분쇄육에 방사선을 조사하지 않은 시료를 대조군으로 하고 감마선과 전자선을 각각 2.5, 5, 7.5, 10, 15 그리고 20 kGy조사한 쇠고기 분쇄육을 시료로 하여 생성된 hydrocarbons을 분석한 결과 진공포장하여 실험한 결과와 유사한 경향을 보였다. 감마선에서 전자선 보다 많은 양의 hydrocarbons류가 생성되었으며, Regression 상수(R^2) 또한 감마선에서 1에 더 가까운 수치를 보였다. 또한 진공포장과 비교하면 진공포장에서 방사선 조사로 형성된 hydrocarbons류의 양이 질소포장에서 형성된 hydrocarbons류의 양보다 많으며, 진공포장의 경우 시료가 압착되어 질소포장 보다 상대적으로 조사 효율이 높음을 간접적으로 보여준다.

참고문헌

1. Kang, H.J., Kim, Y.H., Son, W.G., Contamination level of retail meat and chickens by quantitative test of food poisoning bacteria. *J.Fd Hyg. Safety* **15**(3):204-208, 2000.
2. CDC. Surveillance for Foodborne-Disease Outbreaks - United States, 1998-2002. Surveillance Summaries. *MMWR*. **55**(10):1-34, 2006.
3. Oh, Y.S., Lee, S.H., Hygienic quality of beef and distribution of pathogens during cut meat processing. *J.Fd Hyg. Safety*. **16**(2):96-102, 2001.
4. Chart, 2000 H. Chart. VTEC enteropathogenicity. *J. Appl Microbiol Symposium Supplement*. **88**:12 - 23, 2000.
5. Gooding, C. M., Choudary, P. V.. Rapid and sensitive immunomagnetic separation-polymerase chain reaction method for the detection of Escherichia coli O157:H7 in raw milk and ice-cream. *Journal of Dairy Research*. **64**:87-93, 1997.
6. Ebel, E., Schlosser, W., Kause, J., Orloski, K., Roberts, T., Narrod, C., et al.. Draft risk assessment of the public health impact of Escherichia coli O157:H7 in ground beef. *Journal of Food Protection*. **67**(9):1991-1999, 2004.
7. Griffin, P.M., & Tauxe, R. V.. The epidemiology of infections caused by Escherichia coli O157:H7, other enterohemorrhagic E. coli and the associated hemolytic uremic syndrome. *Epidemiologic Reviews*. **13**(1): 60-98, 1991.
8. FDA. Juice HACCP Hazards and Controls Guidance First Edition. 2004.
9. Schilling, M.W., Yoon, Y., Tokarsky, O., Pham, A.J., Williams, R.C., Marshall, D.L.. Effects of ionizing irradiation and hydrostatic pressure on Escherichia coli O157:H7 inactivation, chemical composition, and sensory acceptability of ground beef patties. *Elsevier Ltd. Meat Sci*. **81**:705-710, 2009.
10. Kim, C.J., Choi, Y.S., Jeong, J.Y., Cjoi, J, J.H., Han, D.J., Kim, H.Y., Lee, M.A., Paik, H.D.. Effects of packaging methods on the Quality of korean style beef and pork jerky during storage. *Kor. J. Food Cookery Sci*. **23**(5):579-588, 2007.

11. Chung, K.Y., Chung, E.R., Lee, H.J.. Quality changes of supraspinatus M. of Hanwoo by packaging methods during chilled storage. *Kor. J. Food Sci. Ani. resour.* **27**(4):469-474, 2007.
12. Kang, H.J., Jo, C.H., Lee, N.Y., Kim, J.O., Byun, M.W.. Effect of gamma irradiation on Microbial growth, electron donating ability, and lipid oxidation of marinated beef rib(Galbi) with different packaging methods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **33**(5):888-893, 2004.
13. Lee, K.T., Lee, K.J.. Quality changes of vacuum packaged hanwoo beef during cold storage. *Korean J. Ani. Sci.* **40**(6):651-660, 1998.
14. Shin, S.H., Hung, J.Y., Choi, J.H.. Effect of packaging methods on enoki mushroom qualities. *Korean J. Food preserv.* **16**(2):179-185, 2009.
15. Aziz, N.H., Mahrous, S.R., Youssef, B.M., Effect of gamma-ray and microwave treatment on the shelf-life of beef products stored at 5°C. *Food Control* **13**:437-444, 2002.
16. Kwon, J.H.. Advances in food irradiation and it's potential roles in korea. *J. Food Hygiene and safety.* **9**(1):35-49, 1994.
17. WHO. Food Irradiation - A technique for preserving and improving the safety of food. WHO, Geneva, 1991.
18. FAO. Report of the meeting on the wholesomeness of irradiated foods, Brussels, Oct. 1961, Rome, 1962.
19. Delincée, H.. "Detection of food treated with ionizing radiation." *Trends in Food Sci. Technol.* **9**:73-82, 1998.
20. WHO. Wholesomeness of irradiated food. In Report of A Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series-659. Geneva, Switzerland. 1981.
21. WHO. High-Dose Irradiation-wholesomeness of food irradiated with dose above 10kGy. In Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group. WHO Technical Report Series 890. World Health Organization. Geneva, Switzerland. 1999.
22. Byun, M.W., Yook, H.S.. Internal and external situation of irradiation

- technology utilization in the food and public health industry. *Kor. J. Food Preserv.*, **10**(1):106-123, 2003.
23. Kwon, J.H., Application of irradiation technology to preserving and improving qualities of agricultural products. *J. Food Sci. Nutr.* **3**(3):295-301, 1998.
 24. Byung, M.W., Lee, J.W.. Application of irradiation technology for food safety and security. *Food Sci. Ind.*, **36**:25-41, 2003.
 25. ICGFI. Clearance database. International consultative group on food irradiation. Country and products (updated on April, 2004), Available at : <http://www.iaea.or.at/icgfi/>
 26. 식품공전, 방사선 조사 기준. 2008.
 27. FDA. Irradiation of meat and meat products. *Federal Register.* **64**(36):9089-9105, 1999.
 28. 농림수산식품부. 농림수산식품부고시 제2008-15호. 2008.
 29. FSIS. Certificate for export of beef and beef products to the republic of korea(ROK). FSIS FORM 9305-7 2008.
 30. Hwang, K.T., Park, J.Y., Kim, C.K., Application of hydrocarbons as markers for detecting post-irradiation of imported meats and fish. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **23**(6):1109-1115, 1997.
 31. Public Citizen. Energy Program, Protecting health, safety and democracy-Why oppose food irradiation?. Washington, DC, 2007.
 32. Byun M.W., Seo H.H., Kim J.H., Kim M.R., Oh N.S., Lee J.W.. The comparison of a conformational alteration of ovalbumin irradiated with radiation of gamma and electron beam. *J. Korean soc. Food Sci. Nutr.* **33**(7):1169-1174, 2004
 33. Whang K., Koh K.H.. Effect of electron beam irradiation on the oxidative and microbiological stability of ground pork during storage. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.*, **22**(4):316-321, 2002.
 34. Johnson, J., Marcotte, M.. Irradiation control of insect pests of dried fruits and walnuts. *Food Technol.*, **53**(6):46-51, 1999.
 35. Thayer D. W., Rajkowski K.T.. Developments in irradiation of fresh fruits

- and vegetables. *Food Technol.*, **53**(11):62-65, 1999.
36. Hemelstein, N. H.. E-Beam-Irradiated beef reaches the market, papaya and Gamma-Irradiated beef to follow. *Food Technol.*, **54**(7), 88-92. 2000.
 37. Yang, J.S., General survey of detection methods for irradiated foods. *J. Korean Nuclear Society.* **29**:500-507, 1997.
 38. Jeong,J.Y., Lee,E.Y., Kown,J.H., The detection of Irradiated Agricultural commodities by origins with photostimulated luminescence(PSL) Analysis. *Kor. J. Postharv. SCI. Tech.* **8**(3):291-295, 2001.
 39. Khan, H., Delincee, H.. Detection of radiation Treatment of spices and herbs of asian origin using thermoluminescence of mineral contaminants. *Appl. Radiat. Isol.* **46**:1071-1075, 1995.
 40. Mamoon, A., Zaheer, A., Abu-Abdullah, S.. Variation in thermoluminescence of irradiated brands of foodstuffs : A test for hygienic quality. *Radiat. Phys. Chem.* **48**:683-687, 1996.
 41. Schreiber, G.A. Thermoluminescence and photostimulated luminescence techniques to identify irradiated food. In: Detection methods for irradiated foods, McMurray, C.H., Stewart, E.M., Gray, r. and Pearce, J.(ed), the Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, p.121-123
 42. Raffi, J.J., Benzaria, S.M. Identification of irradiated foods by electron spin resonance techniques. *J. Radiat. Steril.* **1**:281-304, 1993.
 43. Raffi, J., Stocker, P.. Electron paramagnetic resonace detection of irradiated foodstuffs. *Appl. Magn. Reson.* **10**:357-373, 1998.
 44. Mohamed H. Gaber. Effect of γ -irradiation on the molecular properties of bovine serum albumin. *J. Biosci. Bioeng.* **100**:203-206, 2005.
 45. Kim, Y.H., Study on the Characteristics of DNA Comet Assay for I rradiated Vegetables and Grains. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **37**(4):472-476, 2008.
 46. Delincee, H.. Rapid and simple screening tests to detect the radiation treatment of foods. *Radiat. Phys. Chem.* **46**:677-680, 1995.
 47. Delincee, H.. Detection of irradiated food, DNA fragmentation in grapefruits. *Radiat. Phys. Chem.* **52**:135-139, 1998.

48. Farairn, D.W., Olive, P.L., O'Neill, L.K.. The comet assay: A comprehensive review. *Mutat. Res.* **339**:37-59, 1995.
49. Nawar, W.W.. Volatiles from food irradiation. *Food Rev. Int.* **2**:45-78, 1986.
50. Nawar, W.W.. Analysis of volatiles as a method for the identification of irradiated foods. In Health impact, identification and dosimetry of irradiated food. Report of a WHO working group, Bericht des Instituts for Strahlehygiene desn Bundesgesundheitsamtes. ISH-125. Neuherberg. Germany. 287-296, 1988.
51. Kim, K.S., Kim, E.A., Lee, H.S., Yang, J.S., Byun, M.W., Quantitative comparison of radiation-induced hydrocarbons from irradiated beef, pork and chicken. *Kor. J. Food Sci. Tech.* **31**(2):301-307, 1999.
52. Kim, K.S.. Quantitative comparison of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones from irradiated beef and chicken. *Kor. J. Food Sci. Tech.* **31**(6):1495-1502, 1999.
53. LeTellier P.R., Nawar W.W.. 2-Alkylcyclobutanones from the radiolysis of triglycerides. *Lipids.* **7**:75-76, 1972.
54. Husband, P. M.. The history of vacuum packaged meat. *Food technology in Australia* **34**(6):272, 1982.
55. Stevenson, M.H., Gray, R.. An investigation into the effect of sample preparation methods on the resulting ESR signal irradiated chicken bone. *J. Sci. Food Agric.* **48**:261-267, 1989.
56. Stevenson, M.H., Gray, R.. The effect of irradiation dose, storage time and temperature on the ESR signal in irradiated chicken drumsticks. *J. Sci. Food Agric.* **48**:269-274, 1989.

감사의 글

대학교 2학년 때부터 지금까지 기쁠 때나 슬플 때나 항상 지켜봐주시고 아낌없는 지도와 격려, 충고, 그리고 무한한 사랑을 베풀어 주신 김정수 지도교수님께 가슴깊이 감사드립니다.

바쁘신 와중에서도 좋은 논문이 되도록 아낌없이 조언해주신 변명우 박사님, 먼 길 마다하지 않으시고 논문의 체계와 틀을 잡아주신 운재호 박사님 귀중한 시간 깊이 감사드립니다. 아울러 학문의 폭을 넓혀 주신 이명렬 교수님, 노희경 교수님, 장해춘 교수님, 김복희 교수님, 이소정 교수님, 이재준 박사님께 감사의 마음 전합니다.

실험실의 대소사를 도맡아 하면서도 항상 웃음을 잃지 않고 당당한 카리스마가 매력적인 성례누나, 얼굴만큼 이쁜 음식솜씨를 자랑하는 수형이누나, 처음 실험실에 들어왔을 때부터 지금까지 항상 뒤에서 신경써주는 근영이형, 가끔 심야영화 함께 보러가는 짱 친 원이형, 항상 고마운 민석이형, 든든한 다운이 그리고 정인선 선생님과 현아에게 깊은 감사드립니다. 카리스마 넘치시는 홍철희 선생님, 정양모 선생님, 김관수 선생님, 한규재 선생님, 김왕근 선생님, 정찬희 선생님, 전삼녀 선생님 그리고 은령누나, 정민누나, 현파누나, 그리고 학부시절 부터 많은 것을 알려준 혜영이누나, 준형이 누나, 기미누나 에게 깊은 감사의 마음을 전합니다.

짧지만 소중한 인연을 맺었던 정종태 전무님을 비롯한 보해 중앙 연구소 식구들과 공장 식구들 그리고 그곳에서 끈끈한 우정을 나눈 모든 분들께 감사드립니다.

항상 곁에서 힘이 되어준 병선이, 멋진 친구 창렬이, 듬직한 육군 장교 병준이, 병우, 성곤이, 귀빈이, 준호, 초등학교 때부터 지금까지 함께 해온 노 준, 호주에서 큰 꿈을 펼치고 있는 우상이, 창범이, 민석이, 오준이, 재일이, 성근이형, 두환이형, 민이형, 태만이형, 병환이형, 수환이형, 호근, 회장, 병동, 신혁, 환, 현, 박지욱 조교, 세상을 보는 큰 눈을 갖은 성표형, 순천 승관이형, 경태형, 진호형, 강덕이형, 그리고 형도형 이외에도 저와 함께한 모든 분들께도 감사합니다.

끝으로 감사하다는 말로는 다 표현을 할 수 없는 부모님과 하나뿐인 동생 윤화에게도 사랑한다는 말 전하고 싶습니다.

2009년 5월 황인민 올림.

저작물 이용 허락서

학 과	식품영양학과	학번	20087059	과정	석사, 박사
성 명	한글 : 황인민 한문 : 黃仁玟 영문 : Hwang In Min				
주 소	광주광역시 남구 봉선동 무등파크맨션 202동 1002호				
연락처	E-mail : yelkid@naver.com				
논문제목	한글 : 쇠고기 분쇄육의 감마선 및 전자선 조사에 의해 유도된 Hydrocarbon류 분석				
	영어 : Analysis of Radiation Induced Hydrocarbons in Ground Beef by Gamma-Ray and Electron Beam Irradiation				
<p>본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.</p> <p style="text-align: center;">- 다 음 -</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함. 2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함. 3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함. 4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함. 5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함. 6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음. 7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함. <p style="text-align: center;"> 동의여부 : 동의(○) 반대() 2009년 5월 저작자 : 황 인 민 (인) </p> <h3 style="text-align: center;">조선대학교 총장 귀하</h3>					