

가열산화 대두유 및 돈지에서 생성된 산화물의 특성

김인환 · 김영순 · 배송환* · 나경수** · 노동욱***

고려대학교 병설 보건대학 식품영양과, *고려대학교 자연자원연구소
대구공업전문대학 식품영양과, *가야대학교, 식품영양학과

Characteristic of Oxidized Components Formed in Heated Soybean Oil and Lard

In-Hwan Kim, Young-Soon Kim, Song-Hwan Bae*,
Kyung-Soo Ra** and Dong-Ouk Noh***

Department of Food and Nutrition, College of Health Sciences, Korea University

*Institute of Natural Resources, Korea University

**Department of Food and Nutrition, Taegu Technical College

***Department of Food and Nutrition, Kaya University

Abstract

Total polar lipid produced from the soybean oil and lard by heating with different surface area at 185°C were measured by silica gel column chromatography. Further, the polar lipid was fractionated by high performance size exclusion chromatography-evaporative light scattering detector (HPSEC-ELSD). The HPSEC system was composed of two GPC columns (100 Å and 500 Å) and a THF mobile phase. With this system it was possible to fractionate into the free fatty acid, diglyceride, triglyceride monomer, triglyceride dimer and triglyceride polymers. The triglyceride monomer, triglyceride dimer and triglyceride polymers significantly increased as the heating time and surface area increased. But diglyceride and free fatty acid did not increase as the heating time and surface area increased. Triglyceride polymer ($r > 0.93$), triglyceride dimer ($r > 0.97$), triglyceride monomer ($r > 0.95$) showed a high correlation with polar lipid content. On the other hand, diglyceride ($r < 0.68$) and free fatty acid ($r < 0.76$) were not significantly correlated with the polar lipid content. These results indicated that a major oxidative components formed during thermal oxidation were triglyceride polymers and triglyceride dimer and triglyceride monomer.

Key words: monomer, dimer, polymer, diglyceride, free fatty acid

서 론

튀김식품 제조에 사용되는 튀김유는 140~200°C 정도의 고온에서 장기간 사용하기 때문에 가수분해, 중합반응, 공액화, 분열 등의 여러 종류의 화학반응이 활발히 진행하여 여러 종류의 휘발성 산화 생성물 및 비 휘발성 산화생성물이 만들어진다⁽¹⁻⁵⁾. 이렇게 생성된 산화생성물들은 산패를 촉진시키는 산화촉진제의 역할을 할 뿐만 아니라 튀김식품의 품질에도 바람직하지 못한 요소이며 특히 고온에서 진행되는 가열산화 과정 중에는 여러 종류의 산화생성물이 생성되는 것으로

알려져 있다⁽⁶⁻⁸⁾. 한편 중합체는 튀김과정 또는 가열산화과정 중 탈수소(dehydrogenation)와 분열(homolytic cleavage) 등의 반응을 통하여 생성된 활성라디칼이 서로 결합하여 형성된 산화생성물로서 인체에 해로운 뿐만 아니라 튀김유의 점도 및 기포성을 증가시키고 튀김과정 중 튀김식품의 유지 흡수율을 증가시키게 하는 요인으로서 튀김 및 튀김식품에 바람직하지 않은 물질로서 알려져 있다⁽⁹⁻¹¹⁾. 튀김과정 같은 고온에서 생성하는 중합체들은 유지분자 사이의 결합이 C-C 결합이나 C-O-C 결합 형태로 이루어져 있는 것으로 알려져 있으며, 이러한 결합형태를 갖고 있는 중합체는 자동산화 과정 중에 생성되는 peroxide 형태(C-O-O-C)의 중합체와 비교하여 안정성이 높기 때문에 가열산화유지 즉 튀김유지의 품질평가 방법으로 중합체

Corresponding author: In-Hwan Kim, Department of Food and Nutrition, College of Health Sciences, Korea University, Chungneung 3-dong, Sungbuk-gu, Seoul 136-703, Korea

함량에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 과거에는 시료를 methyl ester화 시킨후 ester화 되지 않는 불용성물질을 무게 정량법으로 측정하였으나, 최근 분석 기술의 발달로 HPSEC (High Performance Size Exclusion Chromatography)를 이용한 chromatography법이 시도되고 있다^(12,14). 한편 산화지질에 대한 중합체 분석에 대한 최근 보고들에 의하면 산화된 지질을 silica gel이나 silicic acid로 분획한 후 HPSEC로 분석할 경우 가열산화과정중에 생성하는 산화지질의 조성을 정확히 파악할 수 있다고 보고하고 있다^(15,16). 따라서 본 연구에서는 가열산화된 대두유와 돈지 시료를 silica gel column으로 극성지질을 분리한 후 HPSEC-ELSD (high performance size exclusion chromatography- evaporative light scattering detector)를 이용하여 가열산화된 유지시료의 산화생성물 종류 및 그 함량을 측정하고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

본 실험에서 사용한 대두유와 돈지는 시중에서 시판되는 것을 사용하였으며, 분석을 위해 사용한 시약은 모두 특급 이상의 것을 사용하였다.

시료 제조

본 실험에서 사용한 가열산화된 대두유와 돈지는 전보⁽⁷⁾에서 사용한 시료로서 표면적에 따른 유지의 가열산화정도를 비교하기 위하여 내경의 면적이 2.00 cm²이고 길이가 30 cm인 시험관에 대두유와 돼지기름을 각각 12.50 g, 16.67 g, 25.00 g, 50.00 g씩 가하여, 시험관내의 유지 1 g당 공기와의 접촉면적은 각각 0.16 cm²/g, 0.12 cm²/g, 0.08 cm²/g, 0.04 cm²/g이었다. 표면적이 서로 다른 시료들을 온도조절기가 부착된 유탕기(185°C)에서 하루 8시간씩 8일간 가열하였다. 시료는 이를 간격으로 꺼내어 유리 vial에 넣고 질소로 충전한 후 -20°C에서 보관하면서 분석에 사용하였다.

극성지질함량 측정 및 극성지질분획

극성지질함량은 Billek 등⁽¹⁸⁾의 방법에 따라 측정하였으며, 극성지질의 분획은 Cuesta⁽¹⁹⁾ 등의 방법에 따라 다음과 같은 방법으로 분획하였다. 칼람용 silica gel (silica gel G 60 1.07734, 70~230 mesh, Merk, Germany)을 130°C에서 3~4시간동안 건조한 후 silica gel에 대하여 5% (w/w)의 3차 증류수를 가하여 수화시켜 칼람 충전물을 제조하였다. 수화된 silica gel 25

g을 용매(petroleum ether: diethyl ether=87:13)에 현탁시킨후 유리칼람(ID 2 cm, height 30 cm)에 주입하여 칼람을 완성시켰다. 여기에 유지시료 1 g을 유리 vial에 정확히 칭량한 후 소량의 동일 용매에 녹여 silica gel이 충전된 유리칼람에 주입하였다. 시료를 주입한 후 동일 용매를 170 mL 흘려 비극성 분획을 분리하였으며 분리된 비극성 분획을 항량이된 100 mL 둥근 flask에서 감압농축기를 이용하여 용매를 제거하고 시료 중 비극성지질의 무게를 측정한 후 주입된 시료의 무게로부터 극성지질 함량을 측정하였다. 한편 극성지질은 Chloroform과 Methanol을 1:1로 혼합한 혼합용매 170 mL 흘려 극성지질을 분획하였으며 회수된 극성지질과 비극성지질은 TLC로부터 확인하였고 이때 사용된 전개용매는 petroleum ether: diethyl ether: acetic acid가 80:20:1인 혼합용매를 사용하였고 요오드(I₂)를 이용하여 검출하였다. 한편 분리된 극성지질은 chloroform에 녹여 농도가 1%가 되도록 한 후 HPSEC를 이용하여 분석하였다.

HPSEC-ELSD를 이용한 산화물분석

HPLC (Kontek, Model No. 422)를 이용하여 비휘발성 산화생성물의 조성을 분석하였다. 이때 사용된 이동상은 THF (Tetrahydrofuran)였으며 유속은 0.5 mL/min이었다. 사용된 column은 유기용매용 GPC column으로 두 종류(Waters Ultrastyrage 100 Å와 Ultrastyrage 500 Å)의 column을 직렬로 연결하여 사용하였다. 사용된 검출기는 ELSD (Shedex 55)를 사용하였고, 이때 ELSD 검출기의 block 온도는 40°C였으며 이동 가스는 질소를 사용하였으며 질소의 압력은 2 bar를 유지하였다.

결과 및 고찰

튀김유 및 가열산화유지의 품질평가를 위하여 여러 가지 분석방법들이 제시되어 왔으며 그 중 산화물을 silica gel column으로 분리하여 무게 정량법으로 측정하는 극성지질함량 측정방법을 가장 널리 사용하고 있다. 튀김과정 및 가열산화과정에서 생성되는 중합체는 대표적인 비휘발성산화물로 알려져 있을 뿐만 아니라 튀김 및 가열산화과정 중에 생성되는 C-C 형태나 C-O-C 형태의 결합을 갖는 중합체는 비교적 안정성이 높아 산화정도를 측정하는 척도로서 사용될 수 있는 연구가 지속적으로 시도되어 왔다. 한편 튀김과정과 같이 산소 존재 하에 생성되는 중합체는 모두 극성을 나타내고 있어 silica gel column을 이용한 극

성지질함량을 측정할 때 얻어지는 비극성 분획에는 산화되지 않은 중성지질 즉 triglyceride monomer 형태만이 존재한다. 따라서 극성지질 분획에는 여러 가지 형태의 중합체 뿐만 아니라 산화된 triacylglycerol monomer, diacylglycerol, monoacylglycerol 및 유리지방산이 포함되는 것으로 알려져 있다⁽²⁰⁾. 따라서 본 연구에서는 서로 다른 표면적에서 가열산화된 대두유 및 돈지의 산화지질의 종류 및 그 생성량을 조사하기 위하여 각 시료를 silica gel column으로 부터 극성지질을 분획한 후 HPSEC를 이용하여 분자량별 산화물의 생성량 변화를 조사해 보고자 하였다. Fig. 1은 HPSEC chromatogram에서 얻어지는 각 peak들의 분자량 확인을 위하여 동일 분석 조건에서 triolein, diolein, monoolein 및 oleic acid 표준품들을 이용하여 각 표준물질들의 분자량의 Log값과 머무름시간(min.)과의 관계를 직선식으로 나타낸 결과이다. Fig. 2는 표면적 변화와 가열시간에 따른 대두유 시료 중 가열표면적이 0.08 cm²/g이고 가열시간이 32시간인 대두유 시료를 silica gel column으로 극성지질과 비극성지질을 분획한 후 HPSEC-ELSD를 이용하여 분석한 결과로서, 유리지방산, diglyceride, triglyceride monomer, triglyceride dimer, 3중체 이상의 triglyceride polymer 등이 Fig. 1의 관계식으로부터 확인되었으며 비극성지질 분획의 경우에는 monomer 형태의 triglyceride만이 확인되었고 다른 모든 시료들의 비극성지질에서도 같은 결과를 보여 주었다. 이러한 결과로부터 튀김유와 같은 가열산화 과정 중 생성되는 중합체들은 모두 극

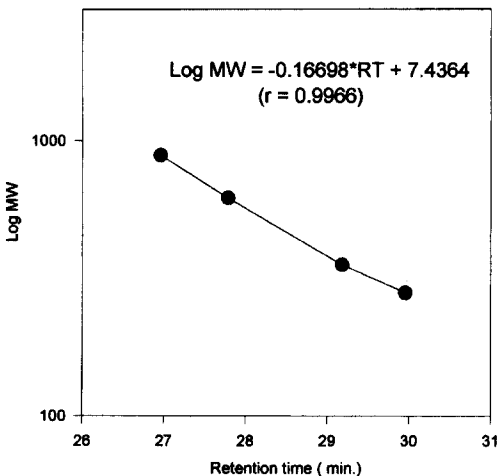


Fig. 1. The log value of the molecular weight and retention time derived from HPSEC chromatogram using the standard of triolein, diolein, mono-olein and oleic acid.

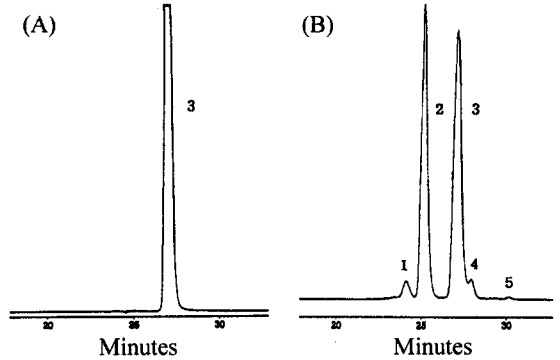


Fig. 2. Chromatograms of free fatty acid, diglyceride, triglyceride monomer, triglyceride dimer and triglyceride polymer isolated by HPSEC-ELSD from soybean oil heated for 32 hr at the specific surface area having 0.08 cm²/g. A: Nonpolar fraction, B: Polar fraction. 1: Triglyceride polymer, 2: Triglyceride dimer, 3: Triglyceride monomer, 4: Diglyceride, 5: Free fatty acid.

성을 나타낸다는 결과를 확인해 주었다. 이상의 분석 방법으로 가열표면적 및 가열시간에 따라 가열산화된 대두유를 silica gel column으로 극성 지질만을 분획한 후 산화물들의 조성을 조사하여 보았다(Table 1). 가열 처리하지 않은 초기시료의 경우에도 소량의 triglyceride dimer와 triglyceride monomer 그리고 diglyceride 및 유리지방산 등이 확인 되었는데 이러한 결과는 유 지정제 과정 중 200~250°C 정도의 고온에서 진행되는 탈취과정에서 생성된 것으로 추측되며 Cuesta 등⁽¹⁹⁾도 정제된 해바라기씨유에서 비슷한 결과를 얻었다고 하였다. 한편 diglyceride는 가열시간 및 가열표면적에 따라 큰 변화를 보이지 않은 반면 가열표면적이 0.12 cm²/g과 0.16 cm²/g의 경우에는 가열시간에 따라 유리 지방산 함량이 약간 감소하는 경향을 나타내었다. Triglyceride monomer에 있어서는 가열표면적이 0.04 cm²/g와 0.08 cm²/g의 경우 가열시간에 따라 비슷한 증가량을 나타낸 반면에 0.16 cm²/g의 경우에는 0.12 cm²/g보다 가열시간에 따라 다소 높은 증가속도를 나타내었다. 한편 triglyceride dimer 및 triglyceride polymer의 경우에도 triglyceride monomer의 경우와 유사한 경향을 나타내었다. Table 2는 가열표면적과 가열시간에 따른 돈지의 산화지질 조성을 나타낸 결과로서 돈지 역시 초기시료에서 triglyceride dimer, triglyceride monomer, diglyceride 및 유리지방산이 확인되었다. 한편 유리지방산의 경우에는 초기시료와 가열표면적이 0.04 cm²/g이고 가열시간이 16시간과 32시간인 시료를 제외하고는 모든시료에서 검출되지 않았으며 diglyceride의 경우에는 가열시간에 따라 큰 변화를 나

Table 1. Polar lipid content and distribution of polar compounds of soybean oil heated with different surface area
(unit: mg/100 mg oil)

Surface area (cm ² /g)	Heating time (hr)	Polar lipid content	TG-polymers	TG-dimer	TG-monomer	Diglyceride	Free fatty acid
	Not heated	4.61±0.47	-	0.52±0.01	2.08±0.07	1.74±0.05	0.27±0.03
0.04	16	6.18±0.12	0.11±0.03	1.89±0.11	2.60±0.04	1.09±0.06	0.49±0.12
	32	8.29±0.41	0.32±0.12	3.58±0.09	3.11±0.12	1.08±0.13	0.20±0.03
	48	11.49±0.37	0.39±0.06	5.71±0.04	3.92±0.01	1.18±0.06	0.29±0.02
	64	12.89±0.44	0.63±0.11	6.77±0.20	4.11±0.06	1.07±0.03	0.31±0.07
0.08	16	6.60±0.21	0.10±0.04	2.24±0.13	2.46±0.02	1.41±0.04	0.39±0.06
	32	8.99±0.33	0.38±0.03	3.72±0.25	3.19±0.12	1.42±0.06	0.28±0.04
	48	12.05±0.40	0.60±0.07	5.92±0.06	4.03±0.04	1.18±0.02	0.32±0.09
	64	15.02±0.11	1.02±0.08	7.58±0.05	4.84±0.21	1.28±0.05	0.30±0.01
0.12	16	10.86±0.38	0.49±0.03	5.04±0.19	4.03±0.22	1.02±0.11	0.28±0.03
	32	17.13±0.40	0.89±0.06	9.01±0.09	6.22±0.12	0.83±0.06	0.18±0.01
	48	25.03±0.22	3.36±0.06	13.26±0.11	7.73±0.33	0.57±0.02	0.11±0.02
	64	31.76±0.14	5.20±0.13	16.10±0.31	9.97±0.07	0.83±0.07	0.20±0.06
0.16	16	13.80±0.50	0.90±0.06	6.67±0.23	5.23±0.06	0.87±0.01	0.13±0.04
	32	24.23±0.15	2.63±0.16	12.08±0.16	8.83±0.04	0.57±0.06	0.12±0.03
	48	33.30±0.17	4.39±0.08	18.31±0.09	9.84±0.23	0.66±0.20	0.10±0.03
	64	41.38±0.19	7.23±0.22	20.77±0.02	12.31±0.08	0.98±0.22	0.09±0.02

TG: Triglyceride.

Table 2. Polar lipid content and distribution of polar compounds of lard heated with different surface area
(unit: mg/100 mg oil)

Surface area (cm ² /g)	Heating time (hr.)	Polar lipid content	TG-polymers	TG-dimer	TG-monomer	Diglyceride	Free fatty acid
	Not heated	4.15±0.55	-	0.59±0.02	1.82±0.03	1.59±0.11	0.15±0.02
0.04	16	6.05±0.40	0.23±0.08	1.88±0.04	2.45±0.15	1.35±0.04	0.14±0.05
	32	8.41±0.38	0.31±0.08	3.39±0.13	3.05±0.02	1.55±0.11	0.11±0.08
	48	9.28±0.39	0.47±0.04	3.83±0.04	3.50±0.13	1.41±0.02	-
	64	13.00±0.28	0.73±0.05	6.07±0.12	4.84±0.14	1.36±0.14	-
0.08	16	6.44±0.39	0.21±0.05	2.38±0.03	2.51±0.08	1.30±0.02	-
	32	9.60±0.15	0.77±0.08	4.23±0.15	3.62±0.12	0.98±0.03	-
	48	12.74±0.24	1.01±0.04	6.08±0.16	4.53±0.24	1.12±0.05	-
	64	14.01±0.11	1.54±0.03	6.56±0.32	4.68±0.11	1.23±0.03	-
0.12	16	9.85±0.18	0.63±0.05	4.38±0.32	3.91±0.04	0.93±0.04	-
	32	15.64±0.14	1.94±0.08	7.57±0.12	6.32±0.22	1.01±0.02	-
	48	19.67±0.20	2.92±0.04	9.13±0.07	6.58±0.19	1.04±0.03	-
	64	22.40±0.50	4.83±0.17	9.42±0.20	6.84±0.11	1.31±0.12	-
0.16	16	12.81±0.46	0.67±0.03	5.64±0.13	5.82±0.03	0.68±0.03	-
	32	18.20±0.31	2.43±0.10	8.27±0.13	6.49±0.35	1.01±0.06	-
	48	23.59±0.15	4.68±0.18	10.01±0.24	7.56±0.08	1.34±0.07	-
	64	31.40±0.22	7.82±0.06	12.78±0.11	8.73±0.22	2.07±0.22	-

TG: Triglyceride.

타내지 않았다. Triglyceride monomer와 triglyceride dimer 그리고 triglyceride polymer의 경우에는 가열표면적이 증가함에 따라 또는 가열시간이 길어짐에 따라

라 그 함량이 다소 비례적으로 증가하는 경향을 보여 주었다. 따라서 현재 튀김유 및 가열산화유지의 산패 척도로 가장 널리 사용되고 있는 극성지질함량과

Table 3. Correlation coefficients between polar lipid content and polar components

Oils	Surface area (cm ² /g)	TG-Polymer	TG-Dimer	TG-Monomer	Diglyceride	Free fatty acid
Soybea oil	0.04	0.9397	0.9976	0.9921	0.3837	0.0400
	0.08	0.9805	0.9958	0.9975	0.6878	0.0215
	0.12	0.9316	0.9904	0.9921	0.6276	0.4907
	0.16	0.9527	0.9903	0.9775	0.3757	0.7187
Lard	0.04	0.9739	0.9988	0.9932	0.2911	0.7646
	0.08	0.9554	0.9941	0.9926	0.4415	0.4987
	0.12	0.9301	0.9733	0.9574	0.1365	0.5927
	0.16	0.9287	0.9805	0.9491	0.1913	0.5606

TG: Triglyceride.

HPSEC로 분리된 산화물들 함량 사이에 상관관계를 구하여 Table 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 극성지질함량과 극성지질에 함유되어 있는 산화물들 사이에는 diglyceride와 유리지방산을 제외하고는 비교적 높은 상관관계를 보여 주었다. 그 예로서 극성지질함량과 가장 높은 상관관계를 나타낸 산화물은 triglyceride dimer ($r>0.97$)로 나타났으며 그 다음으로 높은 상관관계를 나타낸 것으로는 triglyceride monomer ($r>0.95$)였으며 triglyceride polymer ($r>0.93$)인 경우에는 triglyceride dimer와 triglyceride monomer의 경우와 비교하여 다소 낮은 상관관계를 보여 주었다. 한편 diglyceride ($r<0.69$)와 유리지방산($r<0.76$)의 경우에는 매우 낮은 상관관계를 나타내어 가열산화 과정 중에 생성되는 산화물 중 triglyceride monomer 보나 적은 분자량을 갖는 산화물이 차지하는 비율이 매우 낮은 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합해보면 가열산화 중 생성되는 산화물 중에는 triglyceride dimer 형태와 triglyceride monomer가 가장 높은 비중을 차지하였으며 그 다음으로는 triglyceride polymer 형태의 산화물이 높은 비중을 차지하였다. 한편 diglyceride 및 유리지방산의 경우에는 가열산화 과정 중 생성된 산화물의 절대량에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타나 가열산화 과정 중에 생성되는 산화물의 대부분은 triglyceride 이상의 분자량을 갖는 고분자 물질이 대부분을 차지한다는 결론을 얻을 수 있었다.

요 약

서로 다른 표면적을 가지고 185°C에서 가열한 대두유 및 돈지의 극성지질함량 및 극성지질의 종류를 column chromatography와 HPSEC-ELSD를 이용하여 분석하였다. HPSEC 분석에 사용된 column은 두 종류(100 Å과 500 Å)의 GPC용 column들을 사용하였으며

이동상으로는 THF를 사용하였다. 시료유지의 극성지질 분획으로부터 HPSEC를 이용하여 유리지방산, diglyceride, triglyceride monomer, triglyceride dimer, triglyceride polymer 등이 분리 확인되었다. Triglyceride monomer, triglyceride dimer와 triglyceride polymer는 가열시간 및 가열표면적이 증가함에 따라 비례적으로 증가함을 보였으나 diglyceride와 유리지방산의 경우에는 큰 변화를 나타내지 않았다. 한편 triglyceride polymer ($r>0.93$), triglyceride dimer ($r>0.97$)와 triglyceride monomer ($r>0.95$)는 극성지질함량과 높은 상관관계를 나타낸 반면 diglyceride ($r<0.68$)와 유리지방산 ($r<0.76$) 경우에는 낮은 상관관계를 나타내었다. 이러한 결과로부터 가열산화 중 생성되는 주요 산화물은 triglyceride 이상의 분자량을 갖는 고분자 물질이라는 결론을 얻을 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제(과제번호: 1997-004-G00016) 연구비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Frankel, E.N., Smith, L.M., Hamblin, C.L., Creveling, R. K. and Clifford, A.J.: Occurrence of cyclic fatty acid monomers in frying oils used for fast foods. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **61**, 87-90 (1984)
2. May, W.A., Peterson, R.J. and Ghang, S.S.: Chemical reactions involved in the deep fat frying of foods. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **60**, 990-995 (1983)
3. Christopoulou, C.N. and Perkins, E.G.: Isolation and characterization of dimers formed in used soybean oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **66**, 1360-1370 (1989)
4. Nawar, W.W.: Chemical changes in lipid produced by thermal processing. *J. Chem. Educ.*, **61**, 229-302 (1984)

5. Smith, L.M., Clifford, A.J., Hamblin, C.L. and Creveling, R.K.: Changes in physical and chemical properties of shortenings used for commercial deep fat frying. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **63**, 1017-1021 (1986)
6. Hanen, S.L., Myers, M.R. and Artz, W.E.: Nonvolatile components produced in triolein during deep fat frying. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **71**, 1239-1243 (1994)
7. Marquez, R., Tasioula-Margari, G.M. and Dobarganes, M.C.: Quantitation and distribution of altered fatty acids in frying fats. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **72**, 1171-1176 (1995)
8. Melton, S.L., Sajida Jafar, Danielle S. and Trigiano, M. K.: Review of stability easurments for frying oils and fried food flavor. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **71**, 1301-1308 (1994)
9. Sajid Husain, Sastry, G.S.R. and Prasada Raju N.: Molecular weight averages as criteria for quality assessment of heated oils and fats. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **68**, 822-826 (1991)
10. Lopez, V.S., Sanchez, M.F.J. and Cuesta, C.: Decreased food efficiency ratio, growth retardation and changes in liver fatty acid composition in rats consuming thermally oxidized and polymerized sunflower oil used for frying. *Food Chem. Toxicol.*, **33**, 181-189 (1995)
11. Alexander, J.C., Valli, V.E. and Chanin, B.E.: Biological observations from feeding heated corn oil and heated peanut oil to rats. *J. Toxicol Envir. Hlth.*, **21**, 295-309 (1987)
12. Perkins, E.G. and Pinter, S.: Studies on the concentration of oxidized components of abused fats and the application of HPLC to their separation. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **65**, 783-787 (1989)
13. Christophoulou, C.N. and Perkins, E.G.: High performance size exclusion chromatography of monomer, dimer and trimer mixtures. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **66**, 1338-1343 (1989)
14. Gomes, T.: Oligopolymer, diglyceride and oxidized triglyceride contents as measures of olive oil quality. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **69**, 1219-1223 (1992)
15. Romero, A., Cuesta, C. and Sanchez-Muniz, F.J.: Quantitation and distribution of polar compounds in an extra virgin olive oil used in frying with turnover of fresh oil. *Fat Sci. Technol.* **97**, 403-407 (1995)
16. Romero, A., Sanchez-Muniz, F.J. and Cuesta, C.: High performance size-exclusion chromatographic studies on a high-oleic acid sunflower oil during potato frying. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **72**, 1513-1517 (1995)
17. Kim, I.H., Kim, Y.S. and Choi, Y.M.: Effect of surface area of soybean oil and lard on the thermoxidative stability. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **30**, 781-786 (1998)
18. Billek, G., Guhr, G. and Waibel, J.: Quality assessment of used frying fats; comparison of four methods. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **55**, 728-732 (1978)
19. Cuesta, C., Sanchez-Muniz, F.J., Garrido-Polonio, C. and Arroyo, R.: Thermoxidative and hydrolytic changes in sunflower oil used in fryings with a fast turnover of fresh oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **70**, 1069-1073 (1993)
20. Sanchez-Muniz, F.J., Cuesta, C. and Garrido-Polonio, C.: Sunflower oil used for frying: combination of column, gas and high-performance size exclusion chromatography for its evaluation. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **70**, 235-240 (1993)

(1998년 11월 25일 접수)