

## 대두유와 돈지의 가열산화 안정성에 미치는 표면적의 영향

김인환 · 김영순 · 최양문\*

고려대학교 병설 보건대학 식품영양과

\*고려대학교 생명공학원

### Effect of Surface Area of Soybean Oil and Lard on the Thermooxidative Stability

In-Hwan Kim, Young-Soon Kim and Yang-Moon Choi\*

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

\*Graduate School of Biotechnology, Korea University

#### Abstract

To assess effect of surface area on the oxidative stability in thermooxidative system, soybean oil and lard with different surface area (0.04 cm<sup>2</sup>/g, 0.08 cm<sup>2</sup>/g, 0.12 cm<sup>2</sup>/g and 0.16 cm<sup>2</sup>/g) were heated 8 hrs/day at 185°C. The iodine values of soybean oil heated for 64 hrs with surface area of 0.12 cm<sup>2</sup>/g and 0.16 cm<sup>2</sup>/g were 113.1 and 116.9, while those of the oil heated for the same length time with surface area of 0.04 cm<sup>2</sup>/g and 0.08 cm<sup>2</sup>/g were 126.4 and 125.9, respectively. The same trend was observed in lard, but less markedly than in soybean oil. The polar lipid content, dielectric constant and refractive index of soybean oil and lard heated with surface area above 0.12 cm<sup>2</sup>/g significantly increased as the heating time increased, while those of the oil heated with surface area below 0.08 cm<sup>2</sup>/g slowly increased as the heating time increased. On the other hand, the conjugated diene content of soybean oil heated with surface area above 0.12 cm<sup>2</sup>/g oil increased as the heating time increased while ratio of linoleic acid to palmitic acid decreased as the heating time increased. However, the conjugated diene content and ratio of linoleic acid to palmitic acid of lard were not significantly different depending on the surface area. The results obtained from this investigation indicated that the thermooxidative stability of oil heated with surface area below 0.08 cm<sup>2</sup>/g was better than that of oil heated with surface area above 0.12 cm<sup>2</sup>/g (P<0.05).

Key words: soybean oil, lard, surface area, thermooxidative system

#### 서 론

최근 우리 나라의 식생활의 변화에 따라 식품산업 및 fast food 산업뿐만 아니라 일반 가정에서도 튀김식품의 보급은 급속도로 성장하고 있다. 일반적으로 튀김과정은 식물성 또는 동물성유지를 이용하여 180~190°C 정도의 높은 온도에서 가열이 지속되기 때문에 자동산화와는 다르게 여러 가지 형태의 화학적 변화들 즉 가수분해, 중합, 공액화, 변색, epoxide 화합물 생성 등이 일어날 수 있으며 아울러 중합반응으로 인한 중합체의 생성으로부터 점도증가, 굴절률 상승 등의 물리적 특성의 변화도 급속히 진행된다<sup>(1-8)</sup>. 따라서

이상의 물리화학적 반응으로부터 여러 가지 형태의 휘발성 및 비휘발성 산화생성물이 만들어질 뿐만 아니라 이렇게 생성된 가열산화생성물의 대부분은 인체에 해로운 것으로 알려져 있다<sup>(9-15)</sup>. 한편 튀김과정은 튀김유의 종류, 튀김재료, 금속이온, 튀김재료의 수분 함량, 튀김용기, 튀김온도 등에 따라 튀김유의 산패 속도가 달라질 수 있다. 이상과 같이 튀김유의 품질에 영향을 주는 여러 가지 요인들 중에서 튀김조의 크기 및 형태는 튀김유지와 공기가 접촉하는 면적의 변화를 초래하며, 이러한 표면적의 변화는 튀김유의 안정성에 큰 영향을 미칠 것으로 예측된다. 한편 일정한 크기의 튀김조를 사용할 경우라도 사용되는 튀김유의 양에 따라 역시 표면적이 변화하게 된다. 즉 튀김조의 크기와 형태에 따라 또는 사용하는 튀김유의 양에 따라 표면적이 달라지며 이러한 표면적의 변화는 튀

Corresponding author: In-Hwan Kim, Department of Food and Nutrition, College of Health Sciences, Korea University, Chungneung 1-dong, Sungbuk-gu, Seoul 136-703, Korea

김유의 산화안정성에 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다. 그러나 가열산화과정 중 표면적에 따른 유지산패에 대한 연구는 미비한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 유지의 가열산화과정중 공기와 접촉하는 표면적의 변화가 유지산패에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위하여 대두유와 돈지를 시료로 하여 가열산화과정 중 표면적에 따른 유지의 산패 정도를 몇몇 물리화학적 조사를 통하여 비교하였다.

## 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

표면적에 따른 유지의 가열산화정도를 비교하기 위하여 내경의 면적이 2.00 cm<sup>2</sup>이고 길이가 30 cm인 시험관에 대두유와 돈지를 각각 12.50, 16.67, 25.00, 50.00 g씩 가하여 시험관내의 유지 1g당 공기와 접촉면적은 각각 0.16, 0.12, 0.08, 0.04 cm<sup>2</sup>/g 이었다. 표면적이 서로 다른 시료들을 온도조절기가 부착된 유당기(185°C)에서 하루 8시간씩 8일간 가열하였다. 시료는 이를 간격으로 꺼내어 유리 vial에 넣고 질소로 충전한 후 -20°C에서 보관하면서 분석에 사용하였다.

### 분석방법

시료 유지의 산패 정도를 비교하기 위하여 요오드가는 AOCS방법에<sup>(6)</sup> 따라 분석하였으며, 공액이중결합함량은 IUPAC방법에<sup>(7)</sup> 따라 분석하였다. 유전상수 값은 Food Oil Sensor (Model No.: NI-20, Northern Instruments Corp., Lino Lakes, Minnesota)를 이용하여 측정하였으며, 굴절율은 온도순환기(EYEL, Model NTT-1200, Tokyo Rikakikai Co., LTD, Japan)를 Abbe refractometer (Baush & Lomb Co., Rochester, New York)에 연결한 후 40°C에서 측정하였다. 한편 극성지질함량은 Billek 등<sup>(8)</sup>의 방법에 따라 다음과 같은 방법으로 분석하였다. 칼럼용 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 칼럼 충전물을 제조하였다. 수화된 silica gel 25 g을 용매(petroleum ether: diethyl ether=87:13)에 현탁시킨후 유리칼럼(ID 2 cm, height 30 cm)에 주입하여 칼럼을 완성시켰다. 여기에

유지시료 1 g을 유리 vial에 정확히 칭량한 후 소량의 동일용매에 녹여 silica gel이 충전된 유리칼럼에 주입하였다. 시료를 주입한 후 동일용매를 150 mL 흘려 비극성 분획을 분리하였으며 분리된 비극성 분획을 항량이 된 100 mL 둥근 flask에서 감압농축기를 이용하여 용매를 제거하고 시료 중 비극성지질의 무게를 측정후 주입된 시료의 무게로부터 극성지질 함량을 측정하였다. 한편 유지시료의 지방산조성은 AOCS방법에<sup>(9)</sup> 따라 BF3-Methanol을 이용하여 메칠 에스터화시킨 후 Gas chromatography (Varian 3800, U.S.A.)를 이용하여 분석하였다. 이때 사용한 칼럼은 모세관칼럼 (supelcowax-10, 30 m, ID 0.32 mm, Film thickness 0.25 um)을 이용하여 분석하였으며 주입구의 온도는 250°C, 검출기 온도는 260°C, 칼럼 온도는 180°C부터 분당 2°C씩 210°C까지 상승시켰고 이때 사용한 운반 가스는 헬륨이었으며 주입구에서의 분할 비율은(split ratio) 50:1이었다.

## 결과 및 고찰

튀김유로 널리 사용되는 대두유와 돈지를 시료로 하여 표면적에 대한 영향을 조사하기 위해 가열시간에 따른 몇몇 물리화학적 변화들을 조사하여 보았다. Fig. 1은 표면적에 따른 대두유와 돈지의 요오드가 변화를 나타낸 결과로서 대두유의 경우 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 경우에는 32시간 이후부터 감소를 나타내어 64시간 가열한 시료들의 요오드가는 각각 116.9과 113.1로 초기 대두유의 요오드인 130.2와 비교하여 급격한 감소를 보여 주었다. 그러나 표면적이 0.04 cm<sup>2</sup>/g와 0.08 cm<sup>2</sup>/g인 경우에는 가열시간에 따라 서서히 감소하는 경향을 나타내어 가열 64시간째의 요오드가는 각각 125.9과 126.4로 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 시료와 비교하였을 때 그 감소정도가 비교적 낮았으며 표면적이 0.04 cm<sup>2</sup>/g와 0.08 cm<sup>2</sup>/g인 두 시료 사이에 요오드가의 변화는 큰 차이를 나타내지 않았다. 한편 돈지의 경우에는 가열 48시간까지 4가지 시료 모두 큰 변화를 보여주지 않은 반면에 가열 64시간째에는 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 시료만이 서서히 감소되는 경향을 보여 주었다. Fig. 2는 표면적에 따른 대두유와 돈지의 공액이중결합함량의 변화를 나타낸 결과로서 대두유의 경우 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 시료들의 공액이중결합함량은 가열시간에 따라 급속히 증가하였으며 요오드가의 결과에서와 같이 0.12 cm<sup>2</sup>/g인 시료보다 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 시료의 증가속도가 큰 것으로 나타났다.

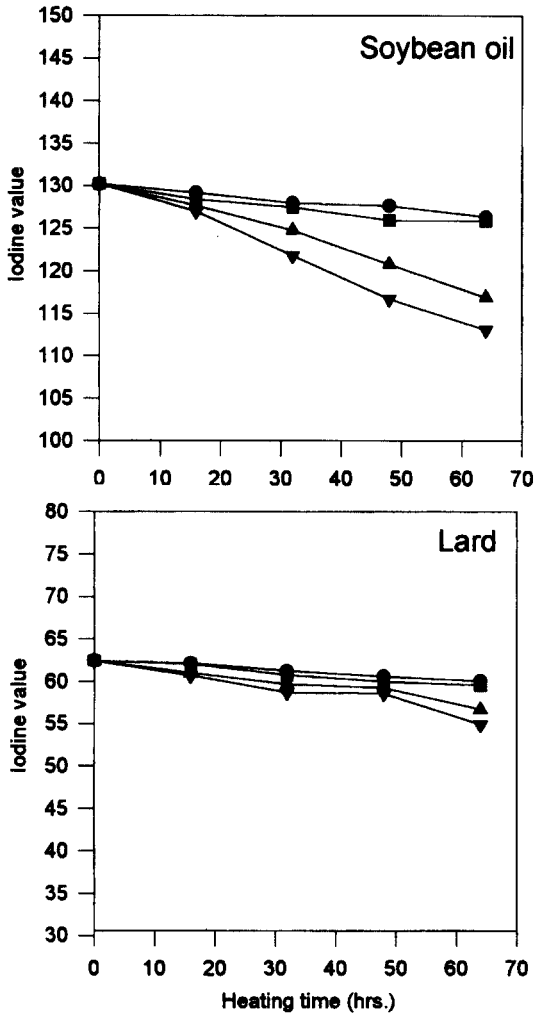


Fig. 1. Changes of iodine value of soybean oil and lard heated with different surface area for 64 hrs at 185°C. ●—●: 0.04 cm<sup>2</sup>/g, ■—■: 0.08 cm<sup>2</sup>/g, ▲—▲: 0.12 cm<sup>2</sup>/g, ▼—▼: 0.16 cm<sup>2</sup>/g

또한 표면적이 0.08 cm<sup>2</sup>/g와 0.04 cm<sup>2</sup>/g인 시료의 경우에는 가열 시간에 따라 공액이중결합 함량의 증가폭이 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 시료에 비하여 매우 느리게 증가하는 경향을 나타냈으며 두 시료간에는 큰 차이를 나타내지 않았다. 한편 돈지의 공액이중결합 함량의 변화는 대두유와는 다르게 표면적 또는 가열 시간에 따라 큰 차이를 나타내지 않아 대두유와 대조적인 결과를 보여 주었다. 이러한 결과는 공액이중결합을 형성할 수 있는 지방산 즉 이중결합을 2개 이상 갖고 있는 지방산의 함량이 대두유의 경우에는 48~73% 정도인 반면에 돈지의 경우에는 그 함량이 4~8% 정도로 매우 낮기 때문인 것으로 생각된다<sup>(20)</sup>. Fig. 3은

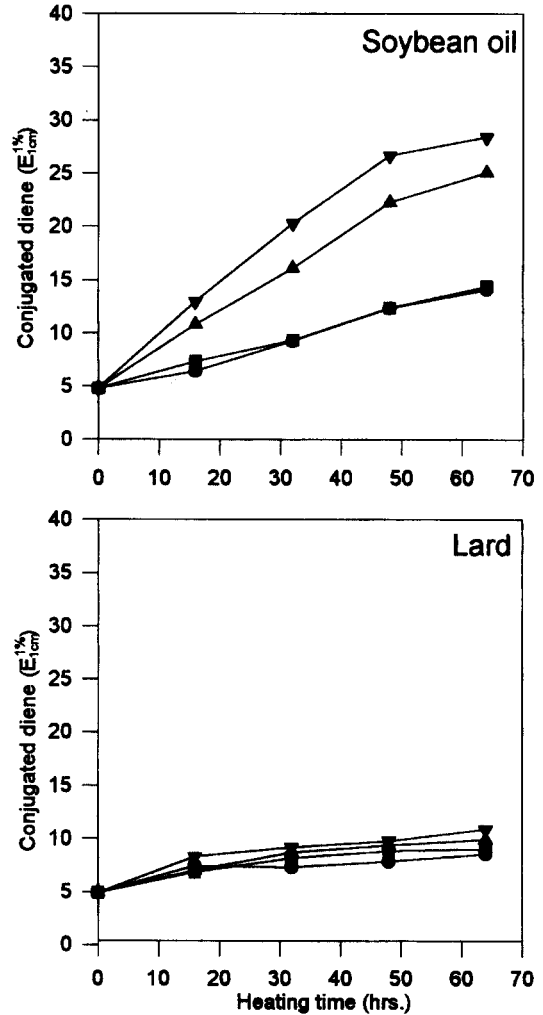


Fig. 2. Changes of conjugated diene content of soybean oil and lard heated with different surface area for 64 hrs at 185°C. ●—●: 0.04 cm<sup>2</sup>/g, ■—■: 0.08 cm<sup>2</sup>/g, ▲—▲: 0.12 cm<sup>2</sup>/g, ▼—▼: 0.16 cm<sup>2</sup>/g

표면적의 변화에 따른 굴절율의 변화를 나타낸 결과로서 대두유 및 돈지 모두 표면적이 0.04 cm<sup>2</sup>/g와 0.08 cm<sup>2</sup>/g인 시료의 경우 가열 시간에 따라 큰 변화를 나타내지 않은 반면에 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 시료의 경우에는 가열시간에 따라 굴절율이 증가되는 경향을 보여 주었으며 그 증가폭은 돈지에 비하여 대두유의 경우가 다소 큰 것으로 나타났다. 가열산화 중 굴절율의 증가는 유지분자내 고분자 물질 즉 중합체 함량의 증가가 그 원인으로 보고되어 있다<sup>(21)</sup>. 따라서 표면적의 증가는 중합체 물질의 증가를 유도한다는 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 4는 표면적의 변화에 따른 유전상수값의 변화를 나타낸 결과로서 대두

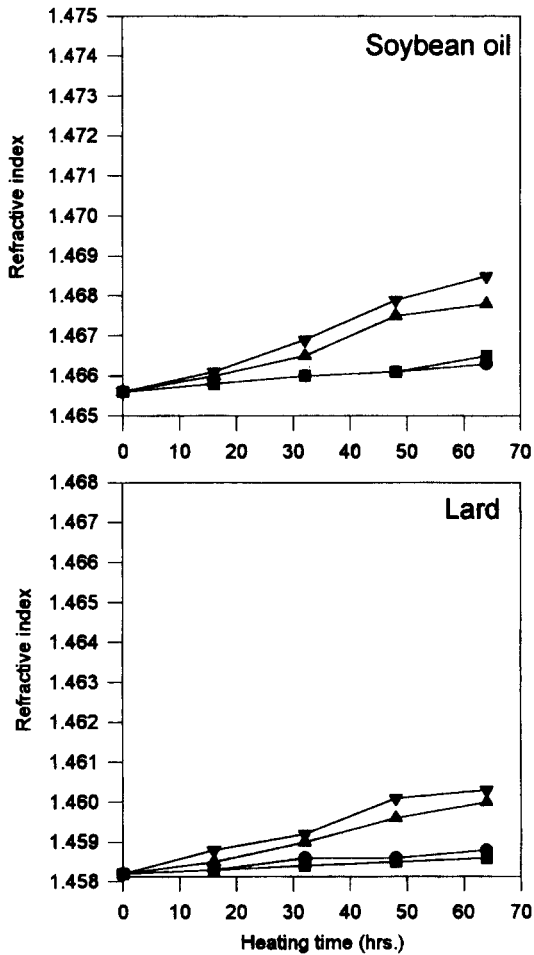


Fig. 3. Changes of refractive index of soybean oil and lard heated with different surface area for 64 hrs at 185°C. ●—●: 0.04 cm<sup>2</sup>/g, ■—■: 0.08 cm<sup>2</sup>/g, ▲—▲: 0.12 cm<sup>2</sup>/g, ▼—▼: 0.16 cm<sup>2</sup>/g

유의 경우 가열시간 64시간째 표면적이 0.04 cm<sup>2</sup>/g와 0.08 cm<sup>2</sup>/g인 시료의 유전상수값의 변화는 가열시간에 따라 큰 변화를 나타내지 않았다. 그러나 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 시료의 유전상수값은 가열시간에 따라 급속한 증가를 보여주었으며 표면적이 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 경우가 0.12 cm<sup>2</sup>/g인 것보다 증가속도가 높은 것으로 나타났다. 돈지의 경우에도 대두유와 비교하여 전체적인 유전상수값은 낮았지만 표면적에 따른 유전상수값의 변화는 유사한 경향을 보여 주었다.

즉 표면적이 0.04 cm<sup>2</sup>/g와 0.08 cm<sup>2</sup>/g인 시료의 경우 가열시간에 따른 유전상수값의 변화는 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g의 경우와 비교하여 가열시간에 따라 매우 느리게 증가하는 경향을 나타내었고 두 시료

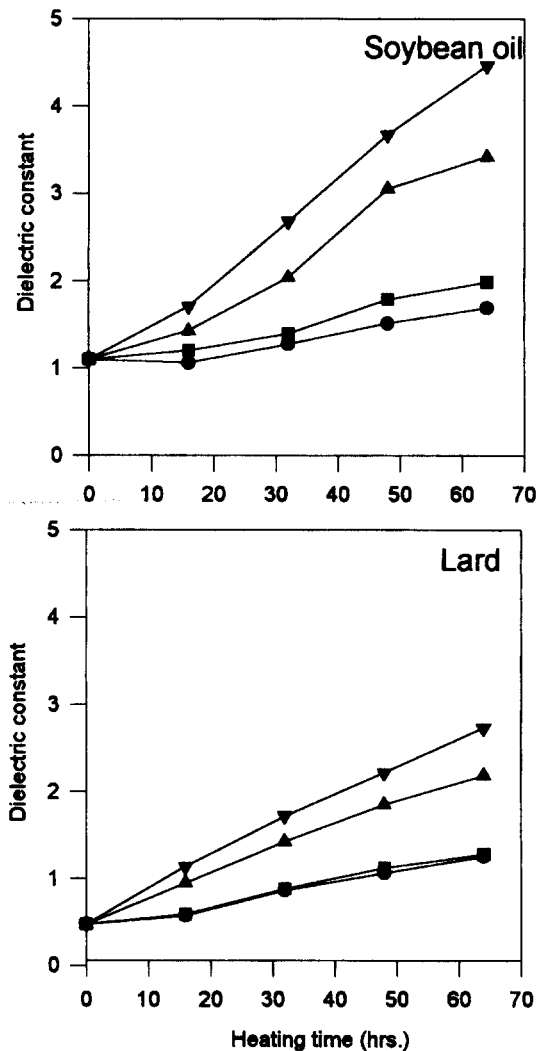


Fig. 4. Changes of dielectric constant of soybean oil and lard heated with different surface area for 64 hrs at 185°C. ●—●: 0.04 cm<sup>2</sup>/g, ■—■: 0.08 cm<sup>2</sup>/g, ▲—▲: 0.12 cm<sup>2</sup>/g, ▼—▼: 0.16 cm<sup>2</sup>/g

간에는 큰 차이를 나타내지 않았다. 반면에 가열표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g의 경우에는 표면적이 0.04 cm<sup>2</sup>/g와 0.08 cm<sup>2</sup>/g인 시료와 비교했을 때 가열시간에 따라 유전상수값이 빠르게 증가하는 경향을 나타냈으며 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 경우는 0.12 cm<sup>2</sup>/g보다 가열시간에 따라 비교적 빠른 증가를 나타내었다. Fig. 5는 가열표면적에 따른 극성지질함량의 변화를 나타낸 결과이다. 극성지질함량은 일반적으로 튀김유의 품질평가에 가장 널리 사용되는 방법으로서 그 한계치는 27%로 알려져 있다<sup>(22)</sup>. 대두유의 경우에는 표면적이 0.04 cm<sup>2</sup>/g인 시료와 0.08 cm<sup>2</sup>/g인 시료의 경우 가열

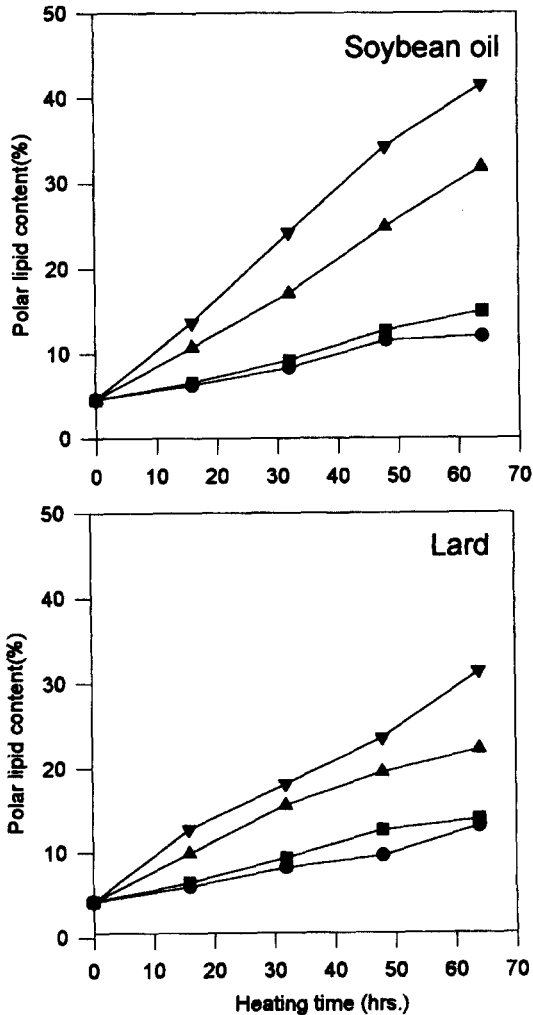


Fig. 5. Changes of polar lipid content of soybean oil and lard heated with different surface area for 64 hrs at 185°C. ●—●: 0.04 cm<sup>2</sup>/g, ■—■: 0.08 cm<sup>2</sup>/g, ▲—▲: 0.12 cm<sup>2</sup>/g, ▼—▼: 0.16 cm<sup>2</sup>/g

64시간까지 극성지질 함량의 한계치인 27%를 넘지 않았으며 가열시간에 따라 두 시료간에 극성지질함량은 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g인 경우 64시간째 극성지질함량이 31.86%를 나타내었고 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 시료의 경우에는 48시간 가열 후 극성지질함량이 34.33%를 나타내었다. 한편 돈지의 경우에도 표면적이 0.04 cm<sup>2</sup>/g와 0.08 cm<sup>2</sup>/g인 시료의 경우 가열시간에 따라 극성지질 함량의 증가속도는 매우 느리게 증가되는 경향을 나타내었고 두 시료간에 극성지질함량의 변화는 가열시간에 따라 거의 유사한 값을 나타내었다. 그러나 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g

Table 1. Changes of L/P<sup>1)</sup> ratio of soybean oil and lard heated with different surface area at 185°C

Heating time (hrs)	Surface area (cm <sup>2</sup> /g)							
	Soybean oil				Lard			
0	7.02	7.02	7.02	7.02	0.52	0.52	0.52	0.52
16	6.79	6.81	5.97	5.64	0.52	0.50	0.50	0.49
32	6.45	6.35	5.47	5.03	0.51	0.50	0.48	0.46
48	6.27	6.23	5.01	4.54	0.51	0.49	0.45	0.42
64	6.24	6.08	4.86	3.92	0.50	0.48	0.42	0.39

<sup>1)</sup>L/P: Ratio of linoleic acid to palmitic acid

과 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 경우에는 0.04 cm<sup>2</sup>/g와 0.08 cm<sup>2</sup>/g인 시료와 비교하여 가열시간에 따라 다소 높은 증가속도를 나타내었으며 표면적이 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 경우에는 64시간째의 극성지질함량이 31.35%를 나타내어 한계치 27%를 초과하였다. 각 시료 유지의 지방산조성을 분석하여 산화정도를 평가하는 방법으로 널리 사용되고 있는 리놀렌산과 팔미트산의 비(L/P ratio)를 구하였다(Table 1). 대두유의 경우 표면적이 0.04 cm<sup>2</sup>/g와 0.08 cm<sup>2</sup>/g의 경우에는 가열시간에 따라 서서히 감소되는 경향을 나타내었으나 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g에 있어서는 가열시간에 따라 큰 폭으로 감소하는 경향을 나타냈으나 돈지의 경우에는 그 감소정도가 매우 낮았다. 따라서 표면적에 따른 각 측정치들을 Duncan에 의한 통계분석 방법으로 유의성 조사를 실시한 결과 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g의 경우에는 유의수준 5% 하에서(P<0.05) 차이를 나타냈지만 표면적이 0.04 cm<sup>2</sup>/g과 0.08 cm<sup>2</sup>/g의 경우에는 차이를 나타내지 않았다. 그러나 돈지의 공액이중결합함량, 요오드가 및 리놀렌산과 팔미트산의 비(L/P ratio)에 대한 통계분석결과는 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g과 0.16 cm<sup>2</sup>/g인 경우에도 유의적 차이를 나타내지 않았다. 이러한 이유는 앞에서 언급한바와 같이 돈지의 경우에는 구성지방산 중 불포화도가 높은 지방산의 함량이 낮기 때문인 것으로 추측되며 따라서 돈지와 같이 포화지방산 함량이 높은 유지의 경우에는 산패정도를 측정하는데 이러한 분석방법들이 적합하지 않은 것으로 사료된다.

이상의 결과로부터 표면적에 따른 유지의 산화정도는 표면적이 0.12 cm<sup>2</sup>/g 이상의 경우에는 산패가 급속히 진행됨을 알수 있었으며 따라서 튀김에 사용되는 용기 및 튀김유의 양은 가능한 유지 g당 공기와의 접촉면적이 0.08 cm<sup>2</sup>/g 이하에서 튀김 하는 것이 튀김유를 보다 오래 사용할 수 있는 튀김조건이라는 결론을 얻을 수 있었다.

## 요 약

가열산화 과정중 대두유 및 돈지의 표면적의 영향을 조사하기 위하여 대두유와 돈지를 공기와 접촉면적이 서로 다른 시료 4가지(0.04, 0.08, 0.12, 0.16 cm<sup>2</sup>/g)를 185°C에서 64시간동안 가열하였다. 각 시료의 산패정도를 비교하기 위하여 요오드가, 공액이중결합함량, 굴절율, 유전상수, 극성지질함량 및 리놀렌산과 팔미트산의 비(L/P ratio)등이 측정되었다. 0.04 cm<sup>2</sup>/g와 0.08 cm<sup>2</sup>/g의 표면적을 갖고 64시간동안 가열한 대두유의 요오드가는 각각 126.4와 125.4인 반면에 0.12 cm<sup>2</sup>/g와 0.16 cm<sup>2</sup>/g의 표면적을 갖고 64시간동안 가열한 대두유의 요오드가는 각각 113.1과 116.9로 표면적 증가에 따라 급속한 감소를 보였다. 돈지의 경우에는 대두유와 유사한 경향을 나타냈으나 그 감소 폭은 대두유에 비하여 현저히 낮았다. 대두유와 돈지의 극성지질함량, 유전상수, 굴절율등은 0.12 cm<sup>2</sup>/g부터 급속한 증가를 보였다. 한편 대두유의 경우 0.12 cm<sup>2</sup>/g부터 가열시간에 따라 공액이중결합함량은 급속한 증가를, 리놀렌산과 팔미트산의 비(L/P ratio)는 급속한 감소를 나타냈으나 돈지의 경우에는 표면적에 따라 차이를 나타내지 않았다. 이상의 결과로부터 가열산화 과정중 표면적에 따른 유지의 산화정도는 0.12 cm<sup>2</sup>/g부터 산패가 급속히 진행됨을 보여주었다.

## 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.*, **60**, 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. 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)
9. Sajid, H., Sastry, G.S.R. and Prasada, R.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. Taylor, S.L., Berg, C.M., Shoptaugh, N.H. and Traisman, E.: Mutagen formation in deep fat fried foods as a function of frying conditions. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **60**, 576-580 (1983)
13. Hayam, I., Cogan, U. and Mokady, S.: Dietary oxidized oil enhanced the activity of (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) Atase and acetylcholinesterase and loers the fluidity of rat erythrocyte membrane. *J. Nutr. Biochem.*, **4**, 563-568 (1993)
14. Izaki, Y., Yoshikawa, S., and Uchiyama, M.: Effect of ingestion of thermally oxidized frying oil on peroxidative criteria in rates. *Lipid*, **19**, 324-331 (1984)
15. Hageman, G., Kikken, R., Hoor, F.T. and Kleinjans, J.: Assessment of mutagenic activity of repeatedly used deep frying fats. *Mutagen Res.*, **204**, 593-600 (1988)
16. AOCS: Cd 1-25, Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, 4th ed., Champaign, IL (1990)
17. International Union of Pure and Applied Chemistry: Method II. D. 27, 2: 206 in "Standard Method s of the analysis of oils, fats and derivatives" 6th ed., (1979)
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. AOCS: Ce 2-66, Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, 4th ed., Champaign, IL (1990)
20. Gunstone, F. D., Harwood, J. L. and Padley, F. B.: Lipid Handbook, Printed in Great Britain at the university press, Cambridge (1986)
21. Yoon, S.H., Kim, S.K., Shin, M.G. and Kim, K.H.: Comparative study of physical methods for lipid oxidation measurement in oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **62**, 1487-1491 (1985)
22. Melton, S.L., Sajida, J., Danielle, S. and Trigiano, M.K.: Review of stability measurements for frying oils and fried food flavor. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **71**, 1301-1308 (1994)