

식용유지 제품에서 *trans* 지방산의 위해성 및 최소화 방안

김 덕 속 / 서울대학교 식품가공과

1. 서 론

우리나라에서도 이제는 식품을 선택하는 기준으로 잘 먹고 잘 살자는 웰빙바람을 타고 건강 기능성식품, 유기농을 비롯한 선택적 사양으로 급격한 변화의 바람이 불고 있는 실정이다. 이에 따라 식용유지의 소비패턴도 큰 변화를 초래하여 과거 대두유, 옥수수유 중심의 단순 소비 구조에서 이제는 올리브유, 해바라기유, 홍화유, 포도씨유, 차유(茶油, teaseed oil) 등의 고급 식물성 기름의 소비량이 급증하고 있다. 그러나 지나친 식용유지의 섭취는 심장기계 질환을 비롯한 성인병 및 비만의 원인으로 지적되고 있어 이의 섭취량을 줄이도록 권장하고 있는 실정이다. 미국에서는 식용유지 섭취량이 열량의 40%를 넘어서면서 성인병이 증가되어 과식과 편식을 시정할 필요성이 대두 되었고, 상원에서는 정책적 차원에서 이를 교정하고자 “미국의 식사목표(Dietary Goals for the United States)”⁽¹⁾라는 지침

서를 공표한 바 있다. 우리나라에서는 그 섭취량이 아직은 선진 외국에 비하여 미흡하지만 무조건적인 섭취량의 증가나 개인의 식습관을 무시한 감소보다는 EFA를 중심으로 한 균형된 섭취(polyunsaturated fat 1/3, monounsaturated fat 1/3, saturated fat 1/3)를 권장하고 있다.⁽²⁾ EFA는 신체의 성장과 유지 및 여러 생리적 기능을 수행하지만 이들을 필요로 하는 동물의 체내에서는 합성되지 않거나 불충분한 양이 합성될 뿐이므로 *cis*형의 polyunsaturated fatty acid(PUFA)는 반드시 식사를 통하여 섭취 하여야 한다. Kochhar⁽³⁾은 PUFA의 *cis-trans*와 *trans-trans* 이성체는 진정한 EFA로서 작용하지 않는다고 지적한 바 있다. Anderson 등⁽⁴⁾, Privett 등⁽⁵⁾과 Shimp 등⁽⁶⁾에 의하면 *trans* 지방산은 필수 지방산 대사의 중요한 rate-limiting enzyme인 $\Delta 6$ desaturase의 활성을 저하시켜 정상적인 지질대사를 방해한다고 하였다.

대부분의 식물성 기름을 구성하고 있는 조성

지방산은 *cis*형의 이중결합을 하고 있으나 추출-정제과정(특히 탈취과정) 중에 일부의 *cis*형 지방산이 열역학적으로 좀 더 안정한 *trans*형으로 이성화된다.⁷⁾ 또한, 마가린, 쇼트닝 제조과정 중 식물성 기름의 경화과정에서 다량의 *trans* 지방산과 conjugated isomer가 형성되며, 또 이중결합의 위치가 이동된 기하 이성체도 생성된다. Hunter⁸⁾는 쇼트닝에는 14~16%, 마가린에는 16~70%의 *trans* 지방산이 함유되어 있다고 보고한 바 있으며, Kummerow⁹⁾는 stick형의 마가린에는 25~35%, 튜브형 마가린에는 15~35%, 쇼트닝에는 20~30% 그리고 샐러드유에는 0~15%의 *trans* 지방산이 함유되어 있다고 보고하였다. 한편, 반추동물은 체내에서 지방의 소화과정 중 첫 번째 위(혹위)에서 미생물의 작용에 의하여 수소첨가가 일어나며, 이 때 *trans* 지방산이 형성되므로 우지, 돈지 및 유제품의 경우에는 천연적으로 함유되어 있다.¹⁰⁾ 따라서, 우유, 버터, 치즈, 커드와 같은 반추동물로부터 유래된 가공품 내에는 2~11%의 *trans* 지방산이 함유되어 있는 것으로 알려지고 있다.¹¹⁾ 사람의 젖 중에 함유되어 있는 *trans* 지방산 함량은 식이에 포함된 양에 따라 차이를 나타내는데, 일반적인 함량은 약 2% 내외이지만 15% 이상인 경우도 있음이 보고된 바 있다.¹²⁾

Moore 등¹³⁾은 *trans* 지방산이 혈청 콜레스테롤 양을 증가시켜 동맥경화증을 촉진시킬 가능성이 있다고 주장한 바 있으며, Walter 등¹⁴⁾은 *trans* 지방산이 *cis* 지방산과 유사하게 흡수되고 동화된다는 사실을 인체와 동물실험을 통하여 확인하였다고 보고한 바 있다. 혈청 콜레스테롤의 증가는 *trans* 지방산과 콜레스테롤의 섭취가 동반될 때 심화된다는 주장과 이와 상반되는 것으로 high *trans* 지방산 식이에 의하여 혈청 콜레스테롤이 증가 되지는 않았다는 인체실험 결과도 보

고된 바 있다. 또한, Moore 등¹⁵⁾은 미국인의 식이 중에 다량 함유된 *trans* 지방산은 혈청 콜레스테롤의 양을 증가시키지는 않지만 심장 콜레스테롤 축적과 심근 경색증의 유발을 크게 촉진시키는 원인이 될 수 있다고 경고하였다. 뿐만 아니라 *trans* 지방산은 모유에 존재하는 prostaglandin(PG) 생합성을 감소시키고 뇌세포의 myelination을 감소시켜 유아에게도 좋지 못한 영향을 미친다는 연구도 있었다.¹⁶⁾ 이와 같이 *trans* 지방산의 영양상의 관계에 대한 관심이 높아져 지속적으로 많은 연구가 이루어지고 있다.

2. *Trans* 지방산의 구조, 성질 및 생성

Matthias 등¹⁷⁾은 *trans* 지방산을 “비생리적” 또는 “비정상적” 물질이라고 정의하였다. 이들의 입체적 구조는 linoleic acid에서 proton이 제거되어 free radical이 형성될 때 *cis-trans* 및 이중결합의 전위가 일어남에 따른 현상의 일부이다. 이 때 생성되는 과산화물의 90% 이상은 공액 이중결합으로 전환된 동시에 *cis-trans* 및 *trans-trans* 이성체로 전환된 것이다. Emken¹⁸⁾은 *trans* 이성화로 triolein이 trielaidin으로 변화되는 사실을 지적하였다. 또한, Applewhite¹⁹⁾는 풍미안정성을 증진시키기 위하여 linoleic acid를 제거할 때와 경화시에 조건에 따라 일부 linoleic acid가 *cis*와 *trans* monoenes 및 각종 *cis-cis*, *cis-trans*, *trans-cis* 이성체들이 형성된다고 보고 하였으며, 이²⁰⁾는 불포화지방산의 수소첨가시 이들 이성체가 생성된다고 지적한 바 있다. 즉, linoleic acid를 부분적으로 수소를 첨가할 때 C_{9,10}의 위치에 이중결합을 가지는 iso-oleic acid가 형성되는 등 천연에 존재하지 않는 지방산이 생성되며 *cis*형이 *trans*형으로 전환되어 천연의 지방산과는 다른 성질을 나타

내게 된다고 지적하였다. 액체상태의 식물성기름을 경화시키는 공정은 William Norman⁽²¹⁾에 의하여 처음으로 시도된 이래 실용화 되어 왔으며 최근에는 식용유지제품 즉, 샐러드용 및 조리용 기름, 마가린, 쇼트닝 등과 그 외에 유지화학공업에서 절대적으로 필요한 공정이 되었다.⁽²²⁾ 이 공정은 spreading consistency와 저장성을 개선시켜 줄 뿐만 아니라 식용유의 산패도를 감소시키는 등 많은 이점을 제공한다.⁽²¹⁾ 그러나 부분적으로는 약간의 *cis* 불포화 지방산이 포화로 바뀌거나 이중결합의 위치가 바뀌기도 한다.

Vergosen⁽²³⁾은 유지 중의 지방산이 *cis*형에서 *trans*형으로 전환됨에 따라 소화흡수율이 저하된다고 하였으며, Kinsella 등⁽²⁴⁾은 *trans* 지방산이 EFA 대사를 제한하고 PG 생합성을 방해한다고 하였다. 또한, 菅野 등⁽²⁵⁾은 *trans* 지방산이 불포화 지방산보다 포화지방산에 가까운 입체배치임을 보여주며 용점은 *cis*형 지방산 보다 다소 높으나 이중결합의 위치에 따라서 다소 차이가 있다고 보고하였다.

한편, 각종 식품과 식물성기름, 마가린 중의 *trans* 지방산의 농도는 공정정도와 형태에 따라 다양하며 마가린에는 약 10~40%의 *trans* 지방산이 함유되어 있으나⁽²⁶⁾ 65%의 높은 경우도 보고된 바 있다.⁽²⁷⁾ 기타 경화식품들의 *trans* 지방산 함량은 총 지방산의 0.1~40% 범위인 것으로 알려지고 있다.⁽²⁸⁾ 유지 및 유지 가공품의 가공적성, 공업적 이용, 식이로서의 활용 등 다방면에 걸친 연구가 수행되었다. 특히 Pun⁽²⁹⁾에 의하면, 수소 농도가 낮을 때는 *trans* 이성체의 형성이 계속 증가한다고 하였다. 松下 등⁽³⁰⁾은 지방산의 *cis-trans* 이성화는 이중결합 바로 옆 탄소의 수소원자가 해리되어 radical이 생성될 때 축이 회전하면서 그곳에 산소가 결합되어 형성되며 계속하

여 결합된 산소분자가 일단 해리되는 동시에 다 시 축이 회전되어 *trans-trans*형으로 변환되어 위치 및 기하 이성화가 같이 일어난다고 보고하였다. 또한, linolenic acid와 그의 ω -3 이성체는 구리와 α -토코페롤의 존재하에서 자동산화 되면 휘발성 carbonyl 화합물인 *trans*-4,5-epoxy-*trans*-2-heptanal을 형성한다고 보고하였다.⁽³¹⁾ 한편, 소 등의 반추동물은 흑위(첫째 위)에서 미생물의 작용으로 식물성 유지를 쉽게 분해하며, 불포화지방산을 광범위하게 경화하는데 이 때에도 *trans* 지방산이 형성되므로 유지 중에 천연적으로 존재하게 되는 것으로 알려지고 있다.⁽³²⁾

3. *Trans* 지방산의 영양학적 의미

(1) *Trans* 지방산과 암

Enig 등⁽³³⁾은 지방 섭취량과 특정 암(특히 대장암, 유방암)의 발병율에 대한 역학조사 결과 이들 사이에 비교적 확실한 상관관계가 있는 것으로 밝히고 있으나 이것은 결코 인과관계를 나타내는 것은 아니며, 단순한 가능성을 시사하는 것이라고 볼 수 있다. 또한, Meike 등⁽³⁴⁾은 화학 발암물질을 이용한 동물실험 결과 암과 *trans* 지방산 섭취간에는 역학적 상관관계가 나타나 지방 섭취량과 암은 밀접한 관계가 있음을 시사하였다. Enig 등⁽³³⁾은 지방 섭취량과 발암과의 상관관계를 재검토하고 총 지방 및 식물성 기름의 섭취량과 암에 의한 사망률과의 유의성을 고찰한 결과 이들 인자보다는 *trans* 지방산이 더 밀접한 관련이 있는 것으로 결론을 내렸다. 이와 함께 Selenskar 등⁽³⁵⁾은 *trans* monoenoic acid는 간암 및 유방암에 있어 *cis*형 지방산 보다 높은 발암 촉진효과를 나타낸다고 하였으며, 특히 유방암에 대한 *cis* 및 *trans* 지방산의 영향을 비교하여 분

결과 동일 조건하에서의 발암율은 *cis* 지방산이 5%인데 비하여 *trans* 지방산은 20%로 현저한 차이가 있었다고 보고한 바 있다. 그러나 연구자에 따라 일부의 이견도 있어 *linoleic acid*가 유방암을 촉진시키는 것은 *linoleic acid*가 PG 생성을 억제시키기 때문이라고도 하여⁽³⁶⁾ 유방암 발생에 대한 *trans* 지방산의 관련은 의문시 된다. 유방암세포의 번식에 있어 합성항산화제(BHA)는 항종양 효과를 나타내며 토코페롤도 이 효과가 기대되고 있다. 또한, *trans* 지방산과 대장암과의 상관관계에 대하여 Wata-nabe 등⁽³⁷⁾은 분뇨 중 steroids 배설량이 증가하는 것은 대장암 발병의 위험인자이며, 특히 콜레스테롤도 위험인자라고 밝히고 있다. 이와 함께 이 보고에서는 *trans* 지방산을 일정량 이상 섭취한 쥐의 분뇨에서 steroids 배설 증가와 장내 세균의 변화에 대한 *trans* 지방산과 대장암과의 상관관계는 반드시 해명되어야 할 사항 중의 하나라고 지적하고 있다. *Trans* 지방산 섭취에 의한 steroids 배설량의 증가는 대장암 발생 촉진효과와 직접적인 연관성이 없는 것으로 보이지만 소장 점막에서는 여타 어느 조직에서보다 고농도이며, *trans* 지방산이 함유되어 있는 소장 상피세포의 기능에 영향을 미친다고 하였다. Sugano 등⁽³⁸⁾은 *trans* 지방산은 성장율에 영향을 미치며 장시간에 걸친 고온 가열처리로 인하여 유리상태로 변화된 성분은 장내에서 암을 유발시키기도 한다고 보고하고 있다.

(2) *Trans* 지방산과 동맥경화증 및 콜레스테롤 양

유지의 수소첨가 공정에서 생성되는 *trans* 지방산의 영양적, 생리적 효과에 대하여는 많은 관심이 집중되고 있으나 이에 대한 정보는 그리 많지 않다. *Trans* 지방산의 산화생성물 중 어떤 것

은 실험동물에 대하여 발암,⁽³⁹⁾ 동맥경화증,⁽⁴⁰⁾ 콜레스테롤과의 상관관계,⁽⁴¹⁾ PG⁽⁴²⁾와 체내대사⁽⁴⁴³⁾ 등에 유익하지 못한 생물학적 영향을 나타내는 것으로 알려지고 있다.

동맥경화 유발성에 관한 초기 연구는 *trans* 지방산이 콜레스테롤과 직접적인 상관관계가 있는가에 초점을 두고 있었다. 1931년 동식물성 유지에 함유되어 있는 콜레스테롤을 토끼에게 먹으면 동맥경화증이 유발된다는 사실이 최초로 보고되었다.⁽⁴⁴⁾ 또한, David⁽⁴⁵⁾는 콜레스테롤을 먹인 토끼에서 *trans* 지방산을 섭취한 군에서 동맥경화의 발병율이 더 높았으며, *vervet monkey*의 *trans* 지방산 식이군은 혈장지질 양이 증가되었다고 하였으며, Emken 등⁽⁴⁸⁾은 돼지에게 경화대두유를 먹였을 때 동맥경화증 및 세포막 기능에 나쁜 영향을 준다고 지적하였다. 이와는 상반된 견해로 Krichevsky⁽⁴⁶⁾는 *trans* 지방산이 동맥경화증의 유발을 촉진시키지는 않는다고 하는 등 많은 연구에서 서로 상이한 결과들이 보고되고 있다. 그럼에도 불구하고 *trans* 지방산은 plasma cholesterol level을 상승시켜 동맥경화증을 진전시킬 수 있으며, hypercholesterol 혈증은 관상동맥성 심장병에 중요한 위험인자로 간주되고 있다. 쥐 실험에서 고환 내 총 콜레스테롤과 총 지방량은 식이 *trans* 지방산에 의하여 영향을 받지 않는데 비하여 난소 콜레스테롤 생합성은 *trans* 지방산을 투여하였을 때 2~3배 증가하였다^(47,48)고 보고하고 있다.

인체를 대상으로 한 *trans* 지방산에 대한 연구는 지극히 한정적이었지만 몇몇 연구자들은 식이 경화지방으로 인하여 혈청 콜레스테롤 양과 triglyceride 양이 감소 또는 증가되지 않았다고 지적⁽⁴⁹⁾한 반면, 또 다른 연구자들은 이들 양을 많이 증가시키는 것으로 보고하고 있다.⁽⁵⁰⁾ 특히,

*trans, trans-octadecadienoic acid*는 인체 내에서 혈청 콜레스테롤 양을 높이고 *peripheral neuropathy*를 유발시키는 것으로 보고⁽¹⁸⁾ 하는 등 상반되는 결과를 보이고 있어 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

(3) *Trans* 지방산의 대사

Trans 지방산이 체내에서 *cis* 지방산과 동등한 대사경로 및 작용을 하는지의 여부는 오래 전부터 관심의 초점이 되어 왔다. Remi 등⁽⁵¹⁾은 흰쥐의 성장과 체내대사와의 상관관계에 관한 연구에서 *trans* 지방산은 대사 에너지 이용효율이 5% 감소 하였고, 미토콘드리아의 ATP 합성이 억제되었다고 보고하였다. Takashi 등⁽⁵²⁾은 생체 내에서 *trans* 지방산의 산화는 *cis* 지방산과 동등하다고 보고한 바 있으며, Walter 등⁽⁴⁴⁾은 *trans* 지방산이 미토콘드리아, 적혈구 등의 여러 기능에 직접적인 영향을 미친다고 하였다. 일반적으로 생체 수준에서 보면 경구 섭취한 *trans* 지방산의 산화속도는 *cis* 지방산과 유사한 속도이지만 섭취상태에 따라 *trans* 지방산이 산화가 더 용이하며, *linoleic acid*의 *trans* 이성체는 EFA로서의 기능을 상실하고 에너지원으로서만 이용된다는 보고도 있다.

또한, *linoleic acid*의 *trans* 이성체는 조직 지방 내에 축적되어 특수한 경우 EFA의 결핍증상을 악화시킬 뿐만 아니라 지방대사를 변화 시키며 쥐에게 *trans, trans-linoleate*를 투여하면 *cis-linoleate*를 억제하여 *arachidonic acid*의 농도가 뚜렷이 감소된다⁽⁴⁷⁾고 하여 앞의 결과와 상반되는 결과를 보였다. 다량의 *trans* 지방산이 함유된 경화 지방 식이는 *lipoproteins* 내에 *trans* 지방산이 결합되어 동물체 내의 EFA 결핍을 초래하게 된다.⁽⁴⁷⁾ 이에 따라 성장율이 감소되고 세균감염에

대한 감수성이 증가하며, PG 생합성의 감소, 심근 수축성의 감소 및 비정상적인 *thrombocyte* 응집 등이 발생한다.⁽⁴²⁾ 여기서 가장 효과적인 EFA로 *linoleic acid*를 일컫는 이유는 PG 전구체 즉, 동물조직 내 *dihomo- γ -linolenic acid*와 *arachidonic acid*를 형성함에 있어 *desaturation* 및 *elongation* 될 수 있기 때문이다. Moore 등⁽⁵³⁾은 쥐의 태반 내 *octadecenoic* 및 *octadecadienoic acids*의 *trans, cis*의 위치를 알기 위하여 *elaidic, oleic, linoleaidic* 또는 *linoleic acid*의 ¹⁴C-labeled albumin 혼합물을 임신한 쥐의 정맥에 주사한 결과 6시간 후 45~64%가 인지질 내에서 발견되었다.

(4) 식품 중 *trans* 지방산

대사과정에서의 *trans* 이성체에 대하여는 현재까지 서로 상반되는 연구결과가 발표되고 있으나 PUFA의 *cis-trans* 이성체는 진정한 EFA로서 작용하지는 않는다고 알려지고 있다. Beare-Rogers 등⁽⁴¹⁾은 캐나다에서 제조된 마가린의 조성에 관한 보고에서 *linoleic acid*의 *trans-trans* 이성체는 총 지방의 1%를 초과하여서는 안 된다고 지적하고 있다. Kochhar 등⁽³⁾에 의하면 마가린 중에서도 부분경화 어유를 함유하고 있는 제품들이 특히 *trans* 지방산 함량이 높았으며, 대두유와 해바라기유가 함유된 마가린은 *trans* 지방산 함량이 낮은 것으로 밝혀졌다.

한편, 유지방은 그 조성이 복잡한 것으로 이미 잘 알려진 바 있으며, 계절적인 시료의 차이에 따라 겨울철 보다는 여름철에 더 높은 불포화 지방산 함량을 나타낸다. 미생물에 의한 수소첨가 불포화 식이지질 등은 기하 이성체 및 위치 이성체의 혼합물을 생성하여 유전을 통해 유증으로 옮겨진다. 유지방에서 분리된 총 *trans* 지방산은 2~11% 범위로 알려지고 있는데, 여름철에

최고치를 보이고 겨울철에 최저치를 나타내었다.⁽⁵⁴⁾ Kochhar 등⁽⁷⁾이 각종 유지제품 중에 함유되어 있는 trans 지방산 함량을 측정된 결과를 보면, 정제 이전의 원유 내에서도 이미 면실유 0.6~1.0%, 유채유 0.2~0.4%, 잇꽃기름 0.2%, 참기름 0.2~0.6%, 대두유에는 0.5~0.9%가 함유되어 있었다. 이를 완전 정제한 후의 그 함량은 상호간에 다소의 차이를 보여 대두유 3.0%, 옥수수유 0.2%, 잇꽃기름 0.2%가 검출 되었다고 보고한 바 있다. 또한, 항산화제를 첨가한 경우 이성화 현상의 지연 및 방지효과를 알아 보기 위하여 면실유에 BHA를 처리한 후 이를 튀김유로 이용한 결과 전혀 그 효과가 나타나지 않았다고 하였다. Bansal 등⁽³⁹⁾은 카놀라유를 니켈을 촉매로 하여 선택적 및 비선택적 조건하에서 경화시킨 후 이성화 정도를 측정해 본 결과 선택적 조건하에서 경화속도는 증가 되었으며, trans 지방산의 형성량도 상대적으로 증가함을 확인한 바 있다.

4. Trans 지방산의 분석

Trans 지방산의 분석에는 Gas Liquid Chromatography(GLC), Infrared Spectrophotometry (IR), High Performance Liquid Chromatography (HPLC), Thin Layer Chromatography (TLC), Column Chromatography (CC) 등 각종 chromatography가 이용되고 있으나 이들 분석기기에 따라 그 측정값은 상당한 차이를 나타내는 것으로 알려져 있다. Henry 등⁽⁵⁵⁾은 마가린에 함유된 trans 지방산 함량을 GLC로 측정된 결과 IR에 의한 측정치의 약 80~85%가 정량 되었다고 보고 하였으며, methyl ester mixture에서의 trans 지방산 함량은 GLC와 IR간에 좋은 일치를 보였으나 시판 마가린에서는 약 20%의 차이가 있었다

고 보고하여 Perkins 등⁽⁵⁶⁾과 일치된 결과를 보였다. Packed column에 의한 cis/trans 지방 ester의 GLC 분리가 1951년에 이미 보고 되었지만 이는 일반적으로 open-tubular(capillary) column에 의하여만 얻을 수 있는 conventional phase를 사용하여 분리한 것이었다. 하지만 최근에는 상업적인 기술개발과 고도로 이온화 하는 유용성 및 열에 안정한 cyanosilicone phase를 이용하여 지방산 esters의 기하 이성체를 packed column 즉, silar 10C와 SP-2340 및 OV-275로서 분리한 바 있다.^(15,16) 지방산의 cis와 trans 이성체의 분리는 low-performance의 columns를 이용하여 쉽게 해결할 수 있으며, silver nitrate로 처리한 high performance 소립자 column은 monounsaturated fatty acid의 cis와 trans 위치 이성체를 매우 다양하게 분리할 수 있다.⁽²¹⁾ 또한, GLC 단독으로는 complex C18:1 group을 분석하기에는 부적합한 것으로 알려져⁽⁵⁵⁾ 지금까지 GLC 단독으로 측정된 경화지방의 trans C18:1 양은 정확한 것으로 볼 수 없으므로 silver-nitrate impregnated silica gel에 의한 TLC로 보완할 것을 제안 하였으나⁽⁵⁷⁾ 이는 측정과정에서 불순물에 의하여 방해 받을 수 있다는 이론이 제기되기도 하였다.⁽⁵⁸⁾ 이와는 대조적으로 1976년에 시도된 마가린 중의 trans 불포화도를 GLC로 측정된 국제적 연구결과, GLC와 IR 분석에 의한 총 trans 지방산의 분석은 완벽한 일치를 보였을 뿐만 아니라 재현성도 뛰어난 것이 입증되었다.⁽⁵⁹⁾

유지 중 trans 지방산은 식품의 품질평가 및 생리적 기능에서 중요한 의의를 지니고 있음에도 불구하고 1980년 이후에 이르러서야 본격적인 연구가 이루어지기 시작하였다. 식이지방에 대한 영양학적 측면에서의 연구가 진행됨에 따라 유지가공 과정에서 유도되기 쉬운 영양학적 역효

과의 문제가 나타나고 있음이 밝혀지고 있는데도 불구하고 가공식품 중의 EFA, total PUFA, trans 지방산 함량 등에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 지금까지의 trans 지방산에 대한 연구 방향은 trans 지방산의 구조, 성질, 생성경로, 영양학적 의의, 화학적 분석법, 천연 및 가공식품 중에서의 존재에 관한 것들이다. 이제는 국내에서도 조⁽⁵⁸⁾의 국산 마가린 중의 trans 지방산 함량에 관한 연구, 안⁽⁵⁷⁾의 통조림에 주입된 유지 중 trans 지방산 함량에 관한 연구, 원⁽⁵⁹⁾의 식품 중 trans 지방산의 분포 및 섭취량에 관한 연구 등으로 trans 지방산에 관한 일부의 연구가 진행되었을 뿐 식용유지 및 그 가공품들의 trans 지방산 생성유무 및 정도에 대한 연구는 거의 이루어진 바 없었다. 그러나 최근 김 등⁽⁶⁰⁻⁶²⁾에 의하여 유지의 가열 및 저장에 따른 trans 지방산 생성, 김⁽⁶³⁾의 한국인의 식품 중 trans 지방산의 함량과 섭취량 추이, 이 등⁽⁶⁴⁾은 식용유의 저온탈취가 trans 지방산 생성을 일정수준 억제할 수 있었다는 연구보고와 함께 김⁽⁶⁵⁾은 대두유 정제공정 중 탈취공정이 trans 지방산 생성에 미치는 영향을 보고한 바 있어 점진적으로 국내에서도 이 분야에 대한 다양하고 효율적인 연구가 수행

되고 있는 것으로 판단된다.

5. 탈취온도가 옥수수유의 trans 지방산 생성에 미치는 영향

앞에서 살펴본 바와 같이 대부분의 식물성 기름에서 조정 지방산은 cis형의 이중결합을 하고 있으나 추출-정제(탈취)공정 중 일부의 cis형이 열역학적으로 좀 더 안정한 trans 형으로 이성화하며, 마가린, 쇼트닝 등의 경화공정에서 다량의 trans 지방산과 conjugated 이성체가 형성되고, 또 이중결합의 위치가 이동된 기하이성체도 생성된다. 이에 이 등⁽⁶⁴⁾이 탈취온도가 옥수수기름의 trans 지방산 생성에 미치는 영향에 대하여 연구한 결과를 소개해 보고자 한다. 즉, 옥수수기름의 탈취온도가 trans 지방산 생성량 및 그 조성에 미치는 영향을 GLC를 이용하여 측정하였다. 그 결과는 Table 1에 나타낸 바와 같이 탈취온도에 의하여 직접적인 영향을 받아 상대적으로 저온 탈취인 240~250°C에서는 극미량의 trans 지방산만이 검출되었으나, 고온 탈취인 255~270°C 구간에서는 그 생성량이 0.30, 0.57, 0.64 및 0.81%를 나타내었다. 이성화 현상은 Fig. 1~3에서 나타낸

Table 1. Changes of isomer composition of unsaturated fatty acids according to deodorizing temperature in corn oil

Deodorizing temperature (°C)	C _{15:1}			C _{16:1}			C _{18:2}				C _{18:3}							Total trans (%)				
	c	t	ratio(%) ^a	c	t	ratio(%)	cc	ct	tc	tt	ratio(%)	ccc	tcc	ctc	cct	ctt	tct		ttc	ttt	ratio(%)	
input ^b	0.05	-	0	27.2	-	0	59.01	-	-	-	0	0.05	0.06	-	0.04	-	-	-	-	-	16.67	0.10
240	0.08	-	0	26.8	-	0	59.34	-	-	-	0	0.58	Tr ^c	-	Tr	-	-	-	-	-	0.00	Tr
245	0.12	-	0	26.7	-	0	59.27	-	-	-	0	0.58	Tr	-	Tr	-	-	-	-	-	0.00	Tr
250	0.12	-	0	26.7	-	0	59.01	-	-	-	0	0.56	Tr	-	Tr	-	-	-	-	-	0.00	Tr
255	0.13	-	0	26.7	-	0	58.90	0.01	Tr	-	0.20	0.27	0.08	Tr	0.06	0.11	0.04	-	-	-	51.79	0.30
260	0.13	Tr	0	26.5	Tr	0	58.71	0.08	0.04	-	0.20	0.13	0.10	0.04	0.11	0.13	0.07	Tr	-	-	77.59	0.57
265	0.13	Tr	0	26.4	0.10	0.38	58.59	0.07	0.05	-	0.20	0.21	0.08	0.05	0.11	0.10	0.08	Tr	-	-	66.67	0.64
270	0.11	0.03	2.63	26.4	0.12	0.45	58.47	0.05	0.11	Tr	0.27	0.07	0.06	0.05	0.12	0.11	0.13	0.03	-	-	87.72	0.81

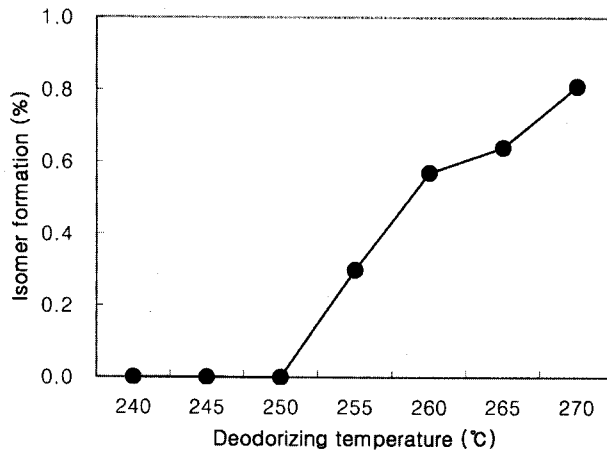


Fig. 1. Changes of isomer formation ratio according to deodorizing temperature in corn oil.

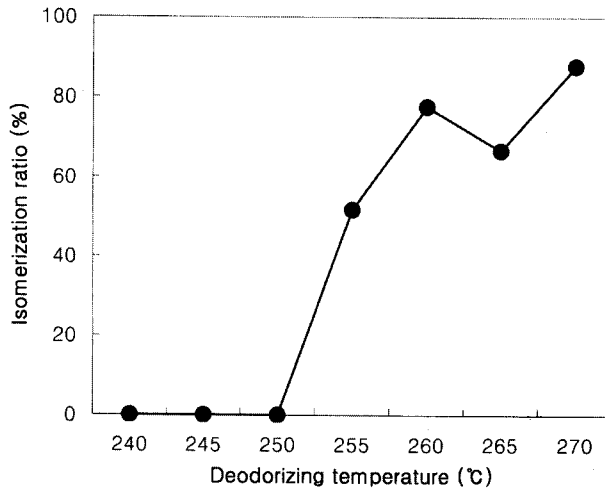


Fig. 2. Changes of isomer formation ratio of linolenic acid according to deodorizing temperature in corn oil.

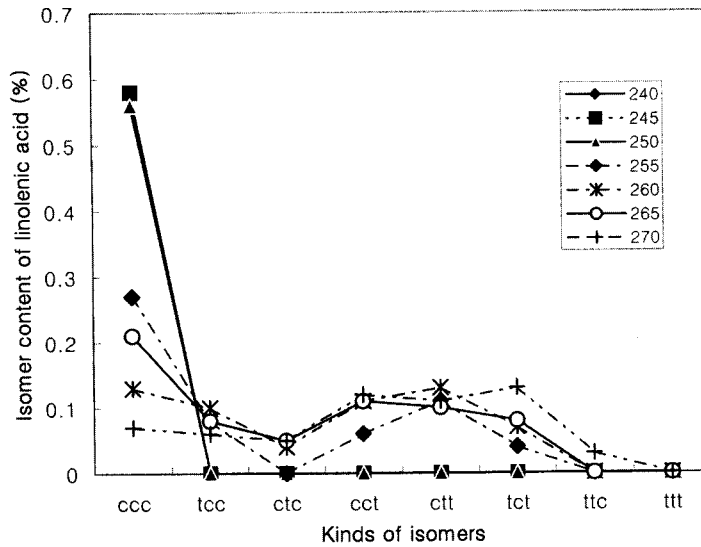


Fig. 3. Changes of isomer composition of linolenic acid according to deodorizing temperature in corn oil

바와 같이 이중결합 수가 증가할수록 두드러졌으며, tt형 및 ttt형은 거의 검출되지 않았는데 비하여 ct, tc, cct 및 tcc형이 다량 검출되었다. 따라서, 탈취유의 이화학적 특성과 함께 이성체 형성의 극소화는 저온탈취에 의하여 최대의 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 물론 이 과정에서 기본적으로 탈취공정의 기본 요소인 진공도, 탈취시간, stripping steam의 주입량 등도 동시에 고려하여야 할 것이다.

6. *Trans* 지방산에 대한 최근의 연구동향

과거 수 십년 동안 부분적 수소첨가 반응 및 정제공정에 의하여 생산된 각종 식물성유지가 여러 식품에 광범위하게 사용되고 있고, 이러한 식물성 식품을 포함한 각종 유지식품의 소비는 점점 증가하는 추세에 있으므로 이들 제품 중에

존재하는 *trans* 지방산의 섭취와 건강상의 상관관계에 대하여 많은 관심이 집중되고 있다. 따라서, 최근 *trans* 지방산에 대한 생리학적, 영양학적 및 독성학적 측면에서의 많은 연구와 총설⁽⁶⁶⁻⁶⁷⁾이 발표되고 있다.

현재까지의 연구에 의하면 *trans* 지방산이 독성을 가진다는 증거는 없다.⁽⁶⁸⁾ 그러나 사람을 대상으로 한 식이 연구에서 *trans* 지방산이 *cis* 지방산에 비하여 총 콜레스테롤 및 atherogenic LDL cholesterol의 혈청 내 수준을 증가시키는 반면, HDL cholesterol의 수준을 감소시킨다는 많은 보고⁽⁶⁹⁻⁷⁵⁾가 발표되고 있다. 특히 이러한 영향은 최근 노르웨이인을 대상으로 한 연구⁽⁷⁶⁾에서 수소첨가에 의해 생성된 C18 *trans* 지방산 뿐만 아니라 어유의 수소첨가에서 생성되는 C20과 C22의 *trans* 지방산도 HDL cholesterol 수준을 상당히 감소시키는 것으로 보고되고 있다. 또한, 혈액의

lipoprotein profile에 대한 *trans* 지방산의 영향은 포화지방산과 같이 콜레스테롤을 증가 시킨다⁽⁷⁾.^{73, 74, 77)}는 보고도 있다. 이상의 결과들로 볼 때, *trans* 지방산은 혈액 lipoprotein에 좋지 못한 영향을 미치며, 관상심장계 질환(coronary heart disease)의 위험인자인 것으로 판단된다. 실제로 이와 같은 관계는 몇 가지 역학조사⁽⁷⁸⁻⁸⁰⁾에서 입증되고 있다. 그러나 *trans* 지방산의 섭취와 관상심장계 질환과는 상관관계가 없다는 몇 가지 연구보고⁽⁸¹⁻⁸²⁾도 발표되고 있다.

한편, *trans* 지방산의 섭취와 사람의 암발생 가능성에 대하여는 이미 앞에서 서술하였으므로 생략하기로 한다. 이와 같은 연구 결과들을 종합해 볼 때, *trans* 지방산의 섭취가 건강에 미치는 영향에 대하여는 논란이 많아 앞으로 규명해야 할 점이 많이 있으나⁽⁸³⁻⁸⁵⁾, 지금까지의 역학 및 임상 결과들로 볼 때 *trans* 지방산의 섭취는 관상심장계 질환의 위험인자가 될 수 있다는 견해가 지배적이라 할 수 있다. 따라서, 세계 여러 나라에서는 자국민들의 *trans* 지방산 섭취량을 수년간에 걸쳐 지속적으로 조사⁽⁸⁶⁻⁹⁰⁾하여 국민 건강과의 관계를 평가하고 있다. 특히, 최근 세계 여러 나라에서는 *trans* 지방산을 식품의 표시사항에 포함시켜야 한다는 주장이 제기되고 있으며, 1994년 미국의 FDA는 *trans* 지방산을 포화지방산과 함께 영양표시에 포함시켜야 한다는 제안 신청을 검토 중에 있다.⁽⁹¹⁾

7. 한국인의 식품 중 *trans* 지방산 함량과 1일 섭취량 추정

이와 같이 세계적으로 *trans* 지방산에 대하여 법적규제까지 거론되고 있으나 우리 나라에서는 1일 섭취량 조차 정확한 추정이 어려운 것으로

판단되어 이에 최근 발표된 연구결과⁽⁶³⁾의 일부를 소개하고자 한다.

한국인의 *trans* 지방산 섭취량을 산출하는데 필요한 data base 구축의 기초자료를 제공하기 위하여 *trans* 지방산의 주요 급원 유지제품 164종에 대하여 그 함량을 GC와 FTIR에 의하여 정량하였다. 또한, 이 분석자료로부터 한국인 1인당 1일 *trans* 지방산 섭취량을 잠정적으로 추정된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 마가린 25종의 *trans* 지방산 함량은 2.11~33.83%(평균 14.66%)였고, 쇼트닝 21종은 1.47~44.48%(평균 14.21%)였다. 이들 제품들은 전체 유지제품 중 가장 많은 *trans* 지방산을 함유하고 있었고, *trans*-octadecenoic acid가 주된 *trans* 지방산이었다. 반면, 식물성 식용유지 19종은 0.18~3.82%(평균 1.54%)의 *trans* 지방산을 함유하고 있었으며, *trans*-octadecadienoic acid가 주된 *trans* 지방산이었다.
- (2) 제과류 53종은 전체적으로 0~45.81%(평균 10.92%)의 *trans* 지방산을 함유하고 있었으며, *trans*-octadecenoic acid가 주된 *trans* 지방산이었다. 각 제품별로는 스낵이 0.12~12.57%(평균 2.09%), 쿠키가 0.58~43.13%(평균 9.38%), 크래커가 0.31~38.17%(평균 14.57%), 후렌치 후라이드 포테이토가 5.17~45.81%(평균 28.62%), 시리얼이 0~0.44%(평균 0.11%)의 *trans* 지방산을 각각 함유하고 있었으며, 초콜렛류는 1.54~25.85%(평균 18.00%)의 *trans* 지방산을 함유하고 있었다.

- (3) 제빵류 18종은 전체적으로 0~18.32%(평균 7.87%)의 *trans* 지방산을 함유하고 있었으며, 각 제품들의 경우 식빵이 1.96~13.89%(평균 7.63%), 빵이 2.39~12.14%(평균 8.44%), 케익이 0~5.95%(평균 2.57%), 페이스츄리가 9.20~18.32%(평균 12.78%)의 *trans* 지방산을 각각 함유하고 있었다. 이들 제품들은 모두 *trans*-octadecenoic acid가 주된 *trans* 지방산이었다.
- (4) 낙농제품 19종의 경우에는 전체적으로 0.90~4.54%(평균 2.27%)의 *trans* 지방산을 함유하고 있었으며, 우유가 1.15~2.00%(평균 1.51%), 치즈가 2.46~2.92%(평균 2.71%), 버터가 0.96~1.49%(평균 1.267%), 요구르트가 3.78~4.54%(평균 4.04%), 아이스크림이 0.90~3.80%(평균 2.47%)의 *trans* 지방산을 각각 함유하고 있었다. 이들 제품들 역시 *trans*-octadecenoic acid가 주된 *trans* 지방산이었다.
- (5) 동물성 유지 및 육류 9종은 전체적으로 0.61~6.07%(평균 2.24%)의 *trans* 지방산을 함유하고 있었으며, 각 제품들은 돼지고기가 0.61~1.00%(평균 0.78%), 쇠고기가 1.12~2.39%(평균 1.75%), 우지가 2.22~6.07%(평균 4.18%)의 *trans* 지방산을 각각 함유하고 있었다. 이들 제품들 역시 *trans*-octadecenoic acid가 주된 *trans* 지방산이었다.
- (6) 91, 93 및 95년의 3개년간 주요 유지제품으로부터 평균 *trans* 지방산 섭취량을 산출한 결과, 한국인은 1인 1일당 마가린에서

0.35g, 쇼트닝에서 0.57g, 식물성 식용유지에서 0.11g, 제과류에서 0.65g, 제빵류에서 0.07g의 *trans* 지방산을 각각 섭취하여 전체적으로 1.75g을 식물성 유지로부터 섭취하였다. 또한, 한국인은 1인 1일당 우유에서 0.05g, 치즈에서 0.005g, 버터에서 0.002g, 요구르트에서 0.04g, 유지에서 0.14g의 *trans* 지방산을 각각 섭취하여 전체적으로 0.347g의 *trans* 지방산을 동물성 유지로부터 섭취하였다. 본 연구의 결과, 한국인은 1인 1일당 약 2.10g의 총 *trans* 지방산을 섭취하는 것으로 추정되었다.

8. 국내 대두유 탈취공정과 Trans 지방산 생성간의 상관관계¹⁶⁵⁾

국내에서 이루어지고 있는 대두유의 전형적인 탈취공정은 유리지방산 및 이취 제거와 색상 개선을 주요 목적으로 고온하에서 장시간의 운전 조건으로 물리적 정제방식에 의하여 수행되고 있다고 보고한 바 있다. 일반적으로 적용되는 탈취 운전조건은 대부분 탈취온도가 260°C, 탈취시간은 60분에 이르며, 탈취압력인 진공도는 각 사별로 다소 차이는 있었으나 대부분 3~4mbar였고 stripping steam 공급량은 2~3%였다. 분석된 주요 이화학적 항수 중 유리지방산 제거효율을 나타내는 산가는 국내 규격기준 0.15와 국제 규격기준 0.10 보다 훨씬 낮은 수준인 0.020~0.034로 나타나 전체적으로 양호한 휘산효과를 보였다. 탈취장치별로는 Type I-TG : 85% > Type III-TF : 74% > Type II-PC : 70%의 순으로 나타나 tray 탈취장치가 packed column 탈취장치에 비하여 상대적으로 휘산효과를 보였다. 국내 소비자들의 대두유 구매 선호도에 있어 중요한 기

준이 되는 색상은 63~73Y/0.6~0.7R로 분석되어 국내규격 20~22Y/2.0~2.5R 대비 뛰어난 색상 개선 효과를 나타내었다. 탈취장치별로는 Type II-PC : Y/R = 77%/87%(평균 82%) > Type III-TF : Y/R = 78%/82%(평균 80%) > Type I-TG : Y/R = 76%/74%(평균 75%)의 순으로 나타나 packed column 탈취장치가 tray 탈취장치에 비하여 상대적으로 양호한 색상 개선효율을 보였다.

Trans 지방산 생성율과 토크페롤 손실율을 분석한 결과, trans 지방산 함량이 0.54~0.87%로 검출되어 세계적인 권장기준 3% 이하는 물론이고 자체 권장 기준치 1%보다도 낮은 것으로 나타났다. 탈취장치별로는 Type III-TF : 0.87% > Type I-TG : 0.73% > Type II-PC : 0.54%의 순으로 tray 탈취장치에 비하여 상대적으로 packed column 탈취장치에서 trans 지방산의 생성율이 낮았다. 토크페롤의 손실율은 24~33%(평균 28%), 보존량은 748~856ppm(평균 791ppm)으로 분석되어 권장수준인 25%(보존량 : 500ppm 이상)에 근접하였다. 본 연구에서 파악된 국내 주요 탈취장치의 운전조건은 대두유의 정제를 위한 물리적 정제방식에 적용되는 탈취공정의 표준 운전조건 대비 상대적으로 가혹한 운전조건임에도 불구하고 국내에서 생산되고 있는 대두유의 trans 지방산 생성량과 토크페롤 손실율은 전반적으로 양호한 수준에 도달되었음을 확인할 수 있었다. 이는 조사대상의 탈취장치가 1990년대 이후에 설치됨으로써, 비교적 현대적인 탈취장치의 기하학적 구조를 갖추에 따라 가혹한 운전조건 단점을 상대적으로 보완해 주는 것으로 판단되었다.

그러나 건강 지향적인 소비경향으로 인하여 더욱 엄정해져 가는 새로운 품질규격과 기준을 충

족시키기 위한 국내의 탈취장치와 운전조건에 대한 검토는 미국, 유럽을 중심으로 국제적 권장 품질 수준인 trans 지방산 함량 0.0% 이하와 토크페롤 보존함량 900ppm 이상에 도달할 수 있는 기준을 근거로 이루어져야 할 것이다. 따라서, 품종 교체의 용이성, 운전비용의 경제성, 운전의 유연성, 유지관리의 편의성 그리고 친환경성을 기본으로 종래의 품질 수준을 유지하면서 고품질 식용유지의 새로운 품질 지표인 trans 지방산의 낮은 생성과 높은 토크페롤의 잔류를 더욱 지향할 수 있는 탈취기술로의 전환이 요구된다.

9. Low-Trans 지방산 함유 식용유지의 가공기술

- 수소경화 대체기술 : 에스테르 교환 -

지금까지 가장 광범위하게 활용되고 있는 유지의 물성변화 기술은 수소경화공정으로 이 공정은 앞서 살펴본 바와 같이 trans 지방산을 다량 생성시키는 것으로 밝혀져 큰 위기에 직면해 있는 실정이다. 따라서, trans 지방산을 소량만 함유하거나 전혀 함유하지 않은 유지제품을 생산하기 위한 대안을 찾기 위하여 학계와 산업체에서는 많은 연구가 행해지고 있다.

최근 low/zero trans fat의 생산과 관련하여 수소경화의 대체기술로서 대두되고 있는 대표적인 상업화 기술로는,^(92~94)

1. Chemical interesterification : 촉매를 이용하여 지방산을 무작위적 혹은 의도적으로 상호 교환하는 화학반응
2. Enzymatic interesterification : 특이성(sn-1,3 위치) 효소인 lipase를 이용하여 글리세롤의 sn-1,3위치 지방산을 본래 유지의 지방산 혹

은 별도로 첨가된 지방산과 상호 교환하는 반응

- 3. Fractionation : 용점이 서로 다른 triglyceride를 기계적으로 분리
- 4. Blending of components : 위와 같은 방법으로 변형한 지방을 서로 혼합하여 의도하는 기능성 부여

현재 low/zero trans fat의 생산기술로서 산업적으로 널리 활용되고 있는 에스테르교환의 반응 메커니즘은 Fig. 4에 나타낸 바와 같으며, 이들의 종류는 다음과 같다. 여기서 사용되는 금속촉매의 종류 및 반응조건은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

- 1. Randomization by chemical catalysis
- 2. Directed interesterification using a catalyst active at low temperature
- 3. Enzymatically catalyzed interesterification

여기서 위의 두 공정은 반드시 triglyceride를 시 발원료로 사용하여 지방산을 단순히 서로 교환하기 때문에 지방산의 조성은 변하지 않으면서 용점, 고체지함량, 재결정율 등의 물리적 특성이 바뀌게 된다. 한편, lipase에 의해 촉매되는 효소적 에스테르교환은 기질인 triglyceride의 지방산 조성도 변화시킨다. 무작위 에스테르 교환은 매우 광범위하게 사용되는 기술인 반면, 의도적 에

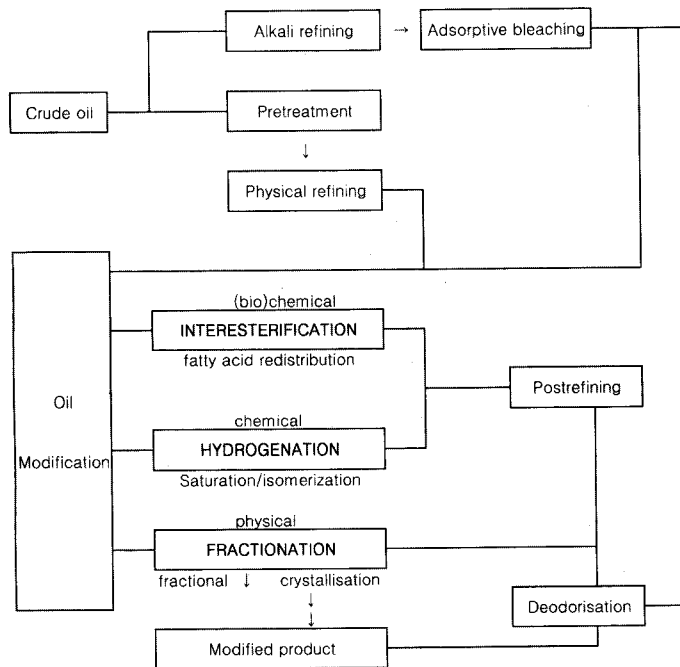


Fig. 4. Flowsheet of oil modification process

Table 2. Some types of interesterification catalysts

Type of catalyst	Concentration (%)	Temperature (°C)	Reaction time (min)
Alkali metals (Na, K, Na-K alloys)	0.1~1.0	25~270	1~120
Alkoxides (CH ₃ ONa, C ₂ H ₅ ONa)	0.1~2.0	50~120	5~120
Alkali hydroxides (NaOH, KOH)	0.5~2.0	150~250	90
Mixed NaOH (+glycerol)	0.05~0.1	60~160	30~45
Metal soaps (Sodium stearate)	0.5~1.0	250	60
Metal hydrides (NaH, NaNH ₂)	0.2~2.0	170	3~120

스테르교환과 효소적 에스테르교환은 무작위적 에스테르교환에 비하여 공정비용이 저렴하기 때문에 코코아버터 대체지방(cocoa butter replavement, CBR), 조제분유용 대체유지방 등 고부가가치 제품을 생산하는 특수한 경우에 한하여 이용되는 기술이다.

10. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 *trans* 지방산은 체내에서 prostaglandin 생합성을 저해하고 각종 압과 심장기계 질환 유발인자로 의심되는 등 건강상의 위해물질로 지목되고 있다. 따라서, 우리는 이의 생성을 최대한 억제할 의무가 있으나 구체적인 대안을 제시하기는 쉽지 않은 문제이다. 이에 몇 가지 대책을 언급해 보면 아래와 같다.

1. 식용유지의 정제과정 중 특히 탈취과정에서 쉽게 생성될 수 있으므로 이의 극소화를 위하여 상대적 저온탈취 및 이의 생성을 방지할 수 있는 새로운 형태의 탈취장치 설치가 요망된다.
2. 마가린, 쇼트닝 및 최근 튀김유의 일환으로도 다량 사용되고 있는 경화유의 경우 hydrogenation 공정에서 다량의 *trans* 지방산이 생성되는 것으로 밝혀졌으므로 앞으로 interesterification 등의 신기술을 도입할 필요성이 대두된다.
3. 가공식품 중에도 다량의 *trans* 지방산이 함유되어 있음을 볼 때, 원료유지의 품질도 중요하지만 튀김 등의 극악조건에서 제조 및 조리가 행해지는 식품에서는 신선한 식용유지를 사용하고 최대한 산소와의 접촉을 방지해주는 것이 하나의 소극적인 대안일 것이다.

문헌

1. U.S. State Select Committee on Nutrition and Human Needs, *Dietary goals for the United States, 3rd. ed.*, U.S. Bovt. Printuig Office, Washington, D.C. (1983)
2. 이양자 : 유지와 영양. 식용유지기술 하계강좌 교재, 한국과학기술원 · 한국식품과학회 (1984)
3. Kochhar, S.P. and Matusui, T. : Essential fatty acids and trans contents of some oils, margarine and other food fats, *Food Chem.*, 13, 85 (1984)
4. Robert L. Anderson : Oxidation of the geometric isomer of Δ^9 -octadecanoic acid by rat-liver mitochondria, *Biochem. Biophys. Acta.*, 144, 68 (1967)
5. Privett, O.O., Phillips, F., Shimasaski, M., Nazawa, T. and Nickell, E.C. : Studies of effects of trans fatty acids in the diet on lipid metabolism in essential fatty acid deficient rats, *Am. J. Clin.*, 30, 100 (1977)
6. Shimp James Luther : The effects of trans fatty acids on essential fatty acid metabolism, *Food Sci. Technol.*, 42, 261 (1981)
7. Grandgirad, A., Sebedio, J.L. and Fleury, J. : Geometrical isomerization of linolenic acid during heat treatment of vegetable oils, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 61, 1563 (1984)
8. Edward Hunter J. and Thomas H. Applewhite : Isomeric fatty acids in the US diet : Levels and health perspectives, *Am. J. Cli Nutr.*, 44, 707 (1986)
9. Kummerow, F.A. : Current studies on relation of fat to health, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 51, 255 (1974)
10. Slover, H.T. : The use of SP 2340 glass capillary columns for the estimation of the trans fatty acid content of food, *Lipids*, 16, 26 (1981)
11. Gillan, F.T., Johns, R.B., Verheyen, T.V., Volkmen, J.K. and Bavor, H.J. : Trans-monounsaturated acids in a marine bacterial isolate, *Appl. Environ. Microbiol.*, 41, 849 (1981)
12. Janet E. Chappell, Michael T. Clandinin and Calleen Kearney : Trans fatty acids in human milk lipids : Influence of maternal diet and weight loss, *Am. J. Clin. Nutr.*, 42, 49 (1985)
13. Moore, C.E., Roslyn B. Alfin-Slater and Lilla Aftergood : Effect of trans fatty acids on serum lecithin ; Cholesterol acyltransferase in rats, *J. Nutr.*, 110, 2284 (1980)
14. Walter H. Meyer : Trans-isomeric fatty acids in West German margarine, shortening, frying and cooking fats, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 58, 732 (1981)
15. Moore, C.E. : Effects of trans-fatty acids on tissue lipids and lecithin ; Cholesterol acyltransferase, *Health Sciences Nutrition, Dissertation Abstracts International*, 40, 215 (1979)
16. Ernken, E.A. : Nutrition and biochemistry of trans and positional fatty acid isomers in hydrogenated oils, *Annu. Rev. Nutr.*, 4, 339 (1984)
17. Matthias Sommerfeld : trans unsaturated

- fatty acids in natural products and processed foods, *Prog. Lipid Res.*, 21, 221 (1983)
18. Emken E.A., Rohwedder, W.K., Dutton, H.J., De Jarlais, W.J., Adolf, R.O., Mackin, J., Dougherty, R. and Iacono, J.M. : Incorporation of deuterium labeled cis-and-trans-9-octadecenoic humans ; plasma, erythrocyte and platelet neutral lipids. *Metabolism*, 28, 575 (1979)
 19. Applewhite, T.H. : Nutritional effects of hydrogenated soya oil, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 58, 260 (1981)
 20. 이성우 : *신고식품화학*, 수학사, p.192 (1983)
 21. Antonino Strocchi : Fatty acid composition and triglyceride structure of corn oil, hydrogenated corn oil and corn oil margarine. *J. Food Sci.*, 47, 36 (1981)
 22. Edward Hunter, J. and Thomas H. Applewhite : Isomeric fatty acids in the US diet ; Levels and health perspectives. *Am. J. Clin. Nutr.*, 45, 119 (1986)
 23. Conacher, H.B.S. : Chromatographic determination of cis-trans monoethylenic unsaturation in fat and oils. A review. *J. Chromato. Sci.*, 14, 405 (1976)
 24. Kinsella, J.E., Bruckner, G., May, J. and Shimp, J. : Metabolism of trans-fatty acids with emphasis on the effects of trans, trans-octadecadienoate on lipid composition, essential fatty acids and prostaglandins ; an overview. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34, 119 (1975)
 25. 菅野道廣 等 : *食品の加工と營養科學*, 朝倉書店, pp.66~84 (1986)
 26. Slover, H.T. and Carpenter, C.L. : Relative nutritional value of various dietary fats and oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 50, 372 (1973)
 27. Nazir, J., Moorecroft, J. and Mishkel, M.A. : Fatty acid composition of margarines. *Am. J. Clin. Nutr.*, 29, 331 (1976)
 28. mith, L.M., Dunkley, W.L., Frank, A. and Dairiki, T. : Measurement of trans and other isomeric unsaturated fatty acids in butter and margarine. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 55, 257 (1978)
 29. Puri, P.S. : Correlation for trans-isomer formation during partial hydrogenation of oils and fats. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 55, 532 (1978)
 30. 松下雪郎 等 : *食品の加工と營養科學*, 朝倉書店, pp.47~65 (1986)
 31. Bjorkem, I., Blomstrand, R. and Svensson, L. : Effect of different dietary triglycerides on 7 α -hydroxylation of cholesterol and other mixed-function oxidations. *J. Lipid Res.*, 19, 359 (1978)
 32. Ohlrogge, J.B., Guley, R.M. and Emken, E.A. : Occurrence of octadecenoic fatty acid isomers from hydrogenated fats in human tissue lipid classes. *Lipids*, 17, 551 (1982)
 33. Enig Mary Gertrude : Modification of membrane lipid composition and mixed-function oxidases in mouse liver microsomes by dietary trans fatty acids. *Chem. Biochem.*, 46, 1033 (1985)
 34. Mieke M. van den Reek, Margaret C. Craigschmidt, MS, John D. Weate and Clark, A.J. : Fat in the diets of adolescent girls

- with emphasis on isomeric fatty acids. *Am. J. Clin. Nutr.*, 43, 530 (1986)
35. Sandra L. Selenskas, Margot M. 1P and Clement 1P : Similarity between trans fat and saturated fat in the modification of rat mammary carcinogenesis. *Cancer Res.*, 44, 1321 (1984)
 36. Carroll, K.K. : Lipids and carcinogenesis. *J. Environ. Pathol. Toxicol.*, 3, 253 (1980)
 37. Watanabe, M., Cho, Y.J. Ide, T. and Sugano, M. : Effects of different levels of dietary trans-octadecenoate on steroid metabolism in rat. *Lipids*, In Press (1984)
 38. Michihiro Sugano, Kikuko Ryu and Takashi Ide : Cholesterol dynamics in rats fed cis-and trans octadecenoate in the form of triglyceride. *J. Lipid Res.*, 25, 474 (1984)
 39. Bansal, J.D. and de Man J.M. : Effect on hydrogenation on the chemical composition of Canola oil. *J. Food Sci.*, 47, 732 (1982)
 40. Demetrios S. Sgoutas : Hydrolysis of synthetic cholesterol esters containing trans fatty acids. *Biochem. Biophys. Acta*, 64, 269 (1968)
 41. Beare-Rogers, J.L., Gray, L.M. and Hollywsod, B.S. : The linoleic acid and trans fatty acids of margarine. *Am. J. Clin. Nutr.*, 32, 1805 (1979)
 42. Peter H. Yu, Jimbin Mai and John E. Kinsella : The effects of dietary trans, trans methyl octadecadienoate acid on composition fatty acids of rat heart. *Am. J. Clin. Nutr.*, 33, 598 (1980)
 43. Jon Norseth and Magny S. Thomassen : Stimulation of microperoxisomal β - oxidation in rat heart by high-fat diets. *Biochem. Biophys. Acta*, 751, 312 (1983)
 44. Van de Kamer, J.H., Huinink, T. and Weyers, H.A. : Rapid method for the determination of fed in feces. *J. Biol. Chem.*, 177, 347 (1949)
 45. David Firestone and Pauline Labouliere : Determination of isolated trans isomers by infrared spectrophotometry. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 48, 437 (1965)
 46. Krichevsky, D. : Trans fatty acid effects in experimental atherosclerosis. *Federation Pro.*, 41, 2813 (1982)
 47. Eldon, G. Hill, Susan B. Johnson and Ralph T. Holman : Intensification of essential fatty acid deficiency and the rat by dietary trans fatty acids. *J. Nutr.*, 109, 1759 (1979)
 48. Walter J. Decker and Walter Mertz : Effects of dietary elaidic acid on membrane function in rat mitochondria and erythrocytes. *J. Nutr.*, 91, 324 (1967)
 49. Vergrosen, A.T. and Gottenbos, J.J. : "Role of Fats in Human Nutrition". Edited by Vergrosen, A.T., Academic Press, New York (1973)
 50. McMillan, G., Silver, M.D. and Weigensberg, B.I. : Elaidinized olive oil and cholesterol atherosclerosis. *Arch. Pathol.*, 76, 118 (1963)
 51. Remi De Schrijver and Oville S. Previtt : Energetic efficiency and mitochondrial function in rats fed trans fatty acids. *J. Nutr.*, 114, 1183 (1984)
 52. Takashi Ide, Midori Watanabe, Michihiro

- Sugano and Iwahiko Yamamoto : Activities of liver mitochondrial and peroxisomal fatty acid oxidation enzymes in rats fed trans fat. *Lipids*, 22, 6 (1987)
53. Moore, C.E. and Dhopeswarker : Trans fatty acids ; Transport and positional specificity in rat placental lecithin. *Biol. Neonate*, 42, 183 (1982)
54. Deman, L. and Deman, J.M. : Trans fatty acids in milkfat. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 60, 1095 (1983)
55. Henry, B.S. Conscher and Jagannath R. Iyengar : Gas-liquid chromatographic determination of trans-unsaturation in fats and oils on packed columns ; Effect of positional isomers. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 61, 307 (1978)
56. Perkins, E.G., Mccarthy, T.P. O' Brien, M.A. and Kummerow, F.A. : The application of packed column gas chromatographic analysis to the determination of trans unsaturation. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 54, 279 (1977)
57. 안미영, 안명수 : 통조림에 주입된 유지 중 trans 지방산 함량에 관한 연구. *한국조리과학회지*, 5, 69 (1989)
58. 趙英子, 菅野道廣 : 국산 마아가린 중의 트랜스산 함량. *한국식품과학회지*, 17, 219 (1985)
59. 원중숙 : 식품 중 trans 지방산의 분포 및 섭취량에 관한 연구. 성신여자대학교 석사학위논문 (1989)
60. 김덕숙 : 유지의 가열 및 저장에 따른 Trans 지방산 생성에 관한 연구. 성신여자대학교 박사학위논문 (1990)
61. 김덕숙, 구분순, 안명수 : 유지의 가열 및 저장에 따른 Trans 지방산 생성에 관한 연구(1). 일부 이화학적 특성 및 Trans 지방산 함량 변화를 중심으로. *한국조리과학회지*, 6, 37 (1990)
62. 김덕숙, 구분순, 안명수 : 유지의 가열 및 저장에 따른 Trans 지방산 생성에 관한 연구(2). Trans 지방산 함량 및 조성변화를 중심으로. *한국조리과학회지*, 6, 25 (1990)
63. 김종희 : 한국인의 식품 중 트랜스 지방산의 함량과 섭취량 추정. 동국대학교 대학원 석사학위논문 (1998)
64. 이근보, 한명규, 이미숙 : 탈취온도가 옥수수기름의 이화학적 특성에 미치는 영향. 제 3보. 탈취온도가 옥수수기름의 Trans 지방산 생성에 미치는 영향. *한국식품영양과학회지*, 11, 26 (1998)
65. 김지인 : 대두유의 공업적 정제과정 중 탈취공정이 트랜스지방산 생성과 토크페롤 함량에 미치는 영향. 연세대학교 공학대학원 석사학위논문(2002)
66. Craig-Schmidt, M.C. : Fatty acid isomers in foods. In *Fatty acids in foods and their health implications*, edited by Ching Kuang Chow, Marcel Dekker, Inc., p.365 (1992)
67. Hunter, J.E. : Safety and health effects of isomeric fatty acid. In *Fatty acids in foods and their health implications*, edited by Ching Kuang Chow, Marcel Dekker, Inc., p.857 (1992)
68. Senti, F.R. : Health aspects of dietary trans fatty acids. Bethesda, M.D. : *Federation of American Societies for Experimental Biology*,

- p.1 (1985)
69. Mensink, R.P. and Katan, M.B. : Effect of dietary trans fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects, *N. Engl. J. Med.*, 323, 439 (1990)
70. Zock, P.L. and Katan, M.B. : Hydrogenation alternatives : Effects of trans fatty acids and stearic acid versus linoleic acid on serum lipids and lipoproteins in human, *J. Lipid Res.*, 33, 399 (1992)
71. Nestel, P., Noakes, M., Belling, B. McArthur, R., Clifton, P., Janus, E. and Abbey, M. : Plasma lipoprotein lipid and Lp[a] changes with substitution of elaidic acid for oleic acid in the diet, *J. Lipid Res.*, 33, 1029 (1992)
72. Judd, J.T., Clevidence, B.A., Muesing, R.A., Wittes, M.J., Sunkin, M.E. and Podczasy, J.J. : Dietary trans fatty acids : Effects on plasma lipids and lipoproteins of healthy men and women, *Am. J. Clin. Nutr.*, 59, 861 (1994)
73. Sundram, K., Anisah, I., Hayes, K.C., Jeyamalar, R. and Pathmanathan, R. : Trans18:1 raises cholesterol more than cis-mono or saturated fats in humans (Abstract), *FASEB J.*, 9, A440 (1995)
74. Mensink, R.P., Zock, P.L., Katan, M.B. and Hornstra, G. : Effect of dietary cis and trans fatty acids on serum lipoprotein[a] levels in humans, *J. Lipid Res.*, 33, 1493 (1992)
75. Wood, R., Kubena, K., O'Brian, B., Tseng, S. and Martin, G. : Effect of butter, mono- and polyunsaturated fatty acid-enriched butter, trans fatty acid margarine, and zero trans fatty acid margarine on serum lipids and lipoproteins in healthy men, *J. Lipid Res.*, 34, 1 (1992)
76. Almendingen, K., Jordal, O., Kierulf, P., Sandstad, B. and Pedersen, J.L. : Effects of partially hydrogenated fish oil, partially hydrogenated soybean oil, and butter on serum lipoproteins and Lp[a] in men, *J. Lipid Res.*, 36, 1370 (1995)
77. Troisi, R., Willett, W.C. and Weiss, S.T. : Trans fatty acid intake in relation to serum lipid concentration in adult men, *Am. J. Clin. Nutr.*, 56, 1019 (1992)
78. Thomas, L.H. : Ischaemic heart disease and consumption of hydrogenated marine oils in England and Wales, *J. Epidemiol. Community Health*, 46, 78 (1992)
79. Willett, W.C., Stampfer, M.J., Manson, J.E., Colditz, G.A., Speizer, F.E., Rosner, B.A., Sampson, L.A. and Hennekens, C.H. : Intake of trans fatty acids and risk of coronary heart disease among women, *Lancet*, 341, 581 (1993)
80. Roberts, T.L., Wood, D.A., Riemersma, R.A., Gallagher, P.J. and Lampe, F.C. : Trans isomers of oleic and linoleic acids in adipose tissue and sudden cardiac death, *Lancet*, 345, 278 (1993)
81. Aro, A., Kardinaal, A.F.M., Salminen, I., Kark, J.D., Riemersma, R.A., Delgado-Rodriguez, M., Gomez-Aracena, J., Huttunen, J.K., Kohlmeier, L., Martin, B.C., Martin-Moreno, J.M., Mazaev, V.P., Ringstad, J.,

- Thamm, M., van't Veer, P. and Kok, F.J. : Adipose tissue isomeric trans fatty acids and risk of myocardial infraction in nine countries : The Euramic study. *Lancet*, 345, 273 (1993)
82. Kris-Etherton, P.M. : Trans fatty acids and coronary heart disease risk. *Am. J. Clin. Nutr.*, 62, 655S (1992)
83. Haumann, B.F. : Questons remain over hydrogenated fats. *INFORM*, 5, 358 (1994)
84. Anon : Controversy : Three nations wrestle with trans issue. *INFORM*, 6, 1148 (1994)
85. Katan, M.B. : Exlt trans fatty acids. *Lancet*, 346, 1245 (1993)
86. Van den Reek, M.m., Craig-schmidt, M.C., Weete, J.D. and Clark, A.J. : Fat in the diets of adolescent girls with emphasis on isomeric fatty acids. *Am. J. Clin. Nutr.*, 43, 530 (1992)
87. Noakes, M. and Nestel, P.J. : Trans fatty acids in the Australian diet. *Food Aust.*, 46, 124 (1994)
88. Somerset, S. : Trans-fatty acid consumption in Australia. *Food Aust.*, 46, 564 (1994)
89. Heinonen, M., Lampi, A., Hyvonen, L. and Homer, D. : The fatty acid and cholesterol content of the average finnish diet. *J. Food Comp. Anal.*, 5, 198 (1992)
90. Boatella, J., Rafecas, M. and Codony, R. : Isomeric trans fatty acids in the Spanish diet and their relationships with changes in fat intake patterns. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 47, Suppl 1, S62 (1993)
91. Anon : 1998 predicted to bring trans proposal. *INFORM*, 9, 67 (1998)
92. Quinlan, P. : Modification of triglycerides by lipases : process technology and its application to the production of nutritionally improved fats. *INFORM*, 4, 271 (1998)
93. Jandacek, R. : Structured Lipids : *An overview and comments on performance enhancement potential. Food components to enhance performance.* National Academy Press, pp.351~379 (1994)
94. 김지인 : 식용유지의 정제 및 가공기술 발전의 최신동향. 한국식품과학회식용유지 공개강좌 자료 (1998)