

【S-4】

Trans 지방산의 생리기능성. 분포 및 섭취수준

송영선, 노경희 / 인제대학교 의생명공학대학 식품생명과학부

*Trans*형의 지방산은 *cis*형의 불포화지방산을 가진 천연의 식물성 유지가 금속 촉매제의 존재 하에서 수소가스에 노출되어 마가린이나 쇼트닝과 같은 고체 또는 반고체 상태로 경화될 때 생성되거나 반추동물의 위장관에서 미생물에 의해 생합성되므로 빵류, 과자류, 육가공품 및 유제품 등의 식품에 많이 함유되어 있다. 식물성 유지가 경화되면 용점과 질감의 변화를 일으키고, 식품의 안정성과 유통기간을 연장시킬 수 있기 때문에 가공식품에 널리 이용되고 있다. 마가린, 쇼트닝과 같은 경화유는 식물성 유지로 만들어졌기 때문에 동물성 지방보다 인체에 유용하다고 생각되어 왔고, 따라서 심순환계 질환을 예방하기 위해 버터 대신 많이 이용되고 있는 실정이다. 그러나 최근의 연구결과들은 *trans* 지방산의 섭취가 심순환계 질환을 더욱 악화시키는 결과를 초래한다고 보고하고 있다. 이에 따라 서구에서는 *trans* 지방산의 건강 위해 효과에 관한 연구와 가공식품의 *trans* 지방산 함량 및 섭취수준에 대한 조사가 활발하게 행해져 왔다. 이를 바탕으로 1999년 11월 미국의 Food and Drug Administration(FDA)는 식품 중의 *trans* 지방산 함량을 표시하도록 제안하였으며,¹⁾ 2003년 7월에는 *trans* 지방산의 함량 표기 방법을 다소 수정하는 개정 법안을 발표하고 이 법안은 2006년 1월1일부터 효력을 발생한다고 하였다.²⁾ 본 논문에서는 국내, 외에서 연구된 *trans* 지방산의 생리적 기능성과 가공식품 중의 분포, 그리고 섭취수준 등에 대해 고찰하고 우리나라 식사체제에서 *trans* 지방산 섭취를 감소시키는 방안에 대해 제안하고자 한다.

1. *Trans* 지방산의 정의 및 특성

이중결합을 가진 불포화 지방산은 *cis* 구조와 *trans* 구조로 나누어지며, *cis* 이중결합의 수소원자는 탄소골격의 같은 쪽에 존재하므로, 아실 사슬에서 “비틀림”이 생겨 아주 휘기 쉬운 분자구조를 가지며 *trans* 이중결합은 불포화지방산에서 탄소원자와 결합하는 2개의 수소원자가 탄소골격의 반대편에 위치하여 이중결합을 형성하므로 전형적인 *cis* 이성체의 구조와는 대조적으로 *trans* 지방산의 이중결합은 각이 작고 아실 사슬은 직선 모양이며 높은 용점을 가진 딱딱한 분자가 생긴다 (Fig. 1). *Trans* 지방산은 포화지방산과 유사하게 대사되며, 이것은 이들 지방산의 직선상 사슬 구조에 기인하는 것으로 사료된다. Matthias³⁾는 *trans* 지방산이란 필수지방산의 활성을 가지지 않으며, “비생리적” 또는 “비정상적” 물질이라고 정의하였다. IOM 보고서는 *trans* 형으로 배치된 이중결합을 가지는 모든 지방산을 *trans* 지방산으로 정의하였다. 따라서 IOM의 정의에 따르면 *trans* 지방산에는 공역이중결합을 갖는 conjugated linoleic acid(CLA)도 포함이 된다. 그러나 FDA는 1999년 11월에 제안한 보고서에서 *trans*형으로 배치하고 있는 하나 혹은 그 이상의 비공역이중결합을 가

지는 지방산을 *trans* 지방산으로 정의하였다.¹⁾ 따라서 이 정의에 따르면 공역이중결합을 가지는 CLA는 *trans* 지방산의 범위에서 제외된다. 그 이유는 CLA가 *trans* 이중 결합을 가지는 비공역지방산과는 상이한 대사과정과 생리활성을 나타내기 때문이다. 한편, 반추동물에서 다가 불포화지방산의 biohydrogenation에 의해 생성되는 *trans*-vaccenic acid (C18:1-11*t*)는 Δ^9 -desaturase에 의해 다시 *cis*-9, *trans*-11 CLA로 전환된다. 그러므로 CLA의 전구체이며 우유 중에 많이 함유되어 있는 *trans*-vaccenic acid는 *trans* 지방산의 정의에서 배제되어야 한다는 주장이 있었다. 그러나 FDA는 위에서 정의한 화학적 정의를 만족시키는 모든 지방산을 *trans* 지방산에 포함하기로 하면서 *trans* 지방산의 출처는 문제삼지 않기로 하였다. 따라서 *trans* 지방산의 정의를 만족시키면서 가공식품 중에 들어있는 *trans* 지방산으로는 18:1-9*t*, C18:1-11*t*, 18:2-9*t*12*t*, 18:2-9*t*12*c*, 18:2-9*t*12*t*, 그리고 18:3-9*t*12*t*15*t* 등이 있다.

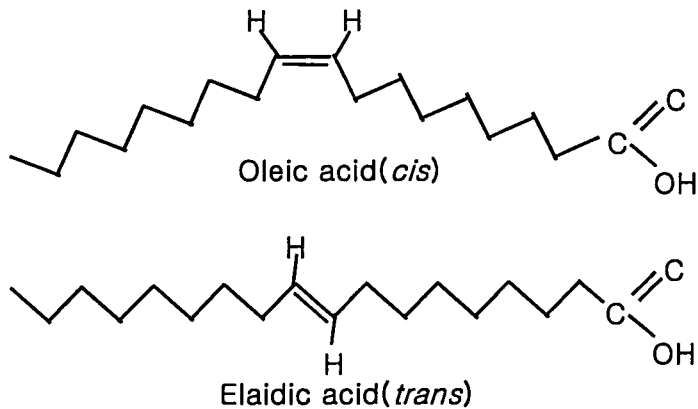


Fig. 1. Structure of typical cis and trans fatty acids, oleic acid(18:1-9*c*) and elaidic acid(18:1-9*t*).

2. *Trans* 지방산의 생리 기능성

Trans 지방산을 식이로서 장기간 섭취하는 것은 심각한 생리적 기능을 초래 할지 모른다는 우려가 제기되었다. 이에 따라 FDA에서는 1985년 *Trans* 지방산의 독성적, 생리적, 영양적 효과에 대한 연구결과들을 광범위하게 고찰할 수 있도록 Federation of American Societies for Experimental Biology(FASEB)에 panel을 구성하도록 하였다. FASEB panel은 *trans* 지방산의 안정성에 대한 보고서에서 *trans* 지방산의 섭취가 인체에 해로운 결과를 초래한다고 단정적으로 이야기할 수는 없으나, *trans* 지방산의 장기간 섭취가 인체의 체지방 조직의 지방산 조성, 암, 동맥경화, 면역기능에 미치는 영향에 대한 연구가 더욱 요망된다고 결론지었다.⁴⁾ 이후 여러 연구자들에 의해 *trans* 지방산의 생리기능성에 관한 연구가 활발히 진행되어오고 있다. 1994년 Ascherio와 Willett⁵⁾는 동물실험과 역학조사 결과 *trans* 지방산이 관상동맥질환의 발생과 밀접한 관계가 있으며 미국의 경우, 연간 30,000명의 사람들이 경화된 식물성유지를 섭취함으로써 발생하는 질병으로 사망한다고 추산

하였다. 한편 *trans* 지방산은 *cis* 지방산보다 겉보기 흡수율과 에너지 효율이 낮다고 보고되었으며⁶⁾ 포화지방산과 *cis* 지방산보다 빨리 산화된다고 보고되었다.^{7,8)}

1) 필수지방산의 대사에 미치는 영향

Trans 지방산은 필수지방산 대사의 중요한 속도조절효소인 Δ^6 -desaturase의 활성을 저하시켜 지질대사를 방해하며^{9,10)} 임신한 쥐의 간 *microsome*에서도 Δ^6 -desaturase와 glucose-6-phosphatase 활성을 저하하였다.¹¹⁾ 리놀레산의 *trans* 이성체는 조직 지방 내에 축적되어 필수지방산의 결핍증상을 악화시키며, *trans*, *trans* 리놀산을 투여하면 *cis* 리놀산의 연장반응을 방해하여 아라키돈산의 농도가 현저하게 감소된다.¹²⁾ Desci와 Koletako¹³⁾는 *trans* 지방산이 건강한 어린이들에게 있어 아라키돈산의 생합성을 방해한다는 증거를 제시하였다. 다량의 *trans* 지방산이 함유된 식이는 이에 따라 성장률 감소, 심근 수축성의 감소, 비정상적인 혈소판 응집을 일으키며^{14,15)} ω -3 *trans* 이성체는 사람의 혈소판에서 아라키돈산 대사를 방해한다.¹⁶⁾ 그러나 *trans* 지방산의 섭취가 프로스타글란딘의 합성에 유의적인 영향을 미친다고 보기는 힘든 것 같다.^{17,18)}

2) 세포막의 지방산 조성 및 유동성에 미치는 영향

Trans 지방산은 조직이나 세포기관 등에 축적되며 세포막 유동성에 영향을 미치는 것으로 보고되었다. 식이성 *trans* 지방산은 뇌를 제외한 다양한 조직내로 이동되어¹⁹⁾ 세포막을 구성하는데 주로 인지질의 sn-1 위치에 포화지방산을 대체하여 결합하며 소수의 *trans* 지방산은 sn-2 위치의 불포화지방산을 대체하여 결합한다.²⁰⁾ 그러나 모체가 섭취한 *trans* 지방산의 태아 조직으로의 이동은 장애를 받는 것으로 사료된다. 즉, 40%의 *trans* 지방산을 섭취한 모체로부터 태어난 어린 쥐의 조직 중의 *trans* 지방산 함량은 약 0.5% 수준이었다.²¹⁾ 한편, 20%의 경화된 대두유를 함유한 식이를 토끼에게 제공하였을 때 세포막과 관련된 효소의 활성이 저하하였으며,²²⁾ Emken²³⁾은 돼지에게 경화된 콩기름을 먹었을 때 세포막 기능에 바람직하지 못한 결과를 초래하였다고 보고하였다. Yu 등¹⁷⁾은 linolelaidate의 섭취가 심장의 단백질의 양을 저하시키는 것을 관찰하였으며 이것은 수용체 단백질과 심장 효소계의 수준과 심장 세포 조직에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다.

Trans 지방산 함유 지방의 섭취가 세포막 유동성에 미치는 영향을 ESR을 이용하여 측정한 결과, 불포화도가 높은 옥수수유 식이군에 비해 *trans* 지방산함량과 포화지방산 함량이 높은 마가린과 버터 식이군에서 유의적으로 높은 값을 나타내었다(Fig. 2). 세포막의 유동성은 막을 구성하는 지방산의 조성에 의해서 큰 영향을 받는데, 포화지방산은 불포화지방산에 비해 질서정연하게 배치되어 세포막의 유동성을 저하시키는 것으로 알려져 있다. Tsuda 등²⁴⁾은 고혈압 쥐의 적혈구막을 이용한 ESR spin labeling 연구에서 S 값의 감소는 세포막 유동성의 증가를 의미한다고 하였으며, S 값의 감소 시 지단백의 유동성은 증가한다고 하였다²⁵⁾. 따라서 마가린과 버터 식이군의 S 값이 옥수수유 식이군에 비해 유의적으로 증가한 것은 *trans* 지방산 함유 식이의 섭취가 포화지방산과 마찬가지로 세포막 유동성을 감소시킴을 보여주는 것이라 하겠다. Felton 등²⁶⁾도 *trans* 지방산의 축적이 막 유동성을 감소시킬 수 있으며, 또한 막지질에 합병된 *trans* 지방산은 막의 물리적 특성과 막

에 결합된 효소에 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. Morgado 등²⁷⁾도 경화정도가 높은 유지를 섭취할수록 조직 내에서 단일 불포화지방산은 증가하고 다가 불포화지방산은 감소하는 등의 지질조성 변화를 가져오며 *trans* 지방산은 포화지방산과 유사한 효과를 나타낸다고 하였다. 본 실험에서 P/S 비율이 가장 낮은 버터 식이군(0.13)에서 S값이 가장 높았고, P/S 비율이 가장 높은 옥수수유 식이군(2.4)의 S값이 가장 낮았으며, *trans* 지방산의 함량이 높은 마가린은 S값이 버터 식이군과 유사하였다. 이와 같은 결과로부터 세포막의 유동성은 포화지방산의 비율이 높을수록 감소됨을 알 수 있으며, *trans* 지방산 또한 포화지방산과 유사한 거동을 보이는 것으로 사료된다.

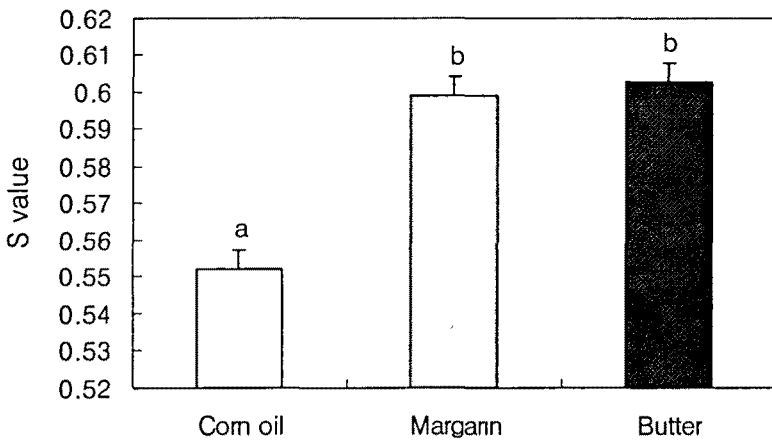


Fig. 2. Membrane fluidity of liver in rats fed margarine, butter, corn oil diets. ^{a-b}Values in rows without common superscripts are significantly different (p<0.05)

3) 심혈관질환에 미치는 영향

여러 연구자들에 의하면 *trans* 지방산의 섭취증가와 관상동맥질환에 의한 사망률의 증가는 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났으며^{14,28-30)}, 지방조직에 있는 *trans* 지방산 농도와 심근경색증으로 인한 사망률,³¹⁾ 또는 혈장의 *trans* 지방산의 농도와 동맥경화와의 관계는 정의 상관관계에 있다고 보고되었다.^{32,33)} 미국에서는 심혈관 질환 사망자의 약 7%가 *trans* 지방산 소비에 의한 것이라고 하였다.³⁴⁾ Framingham Heart Study 역시 마가린의 소비수준과 coronary heart disease(CHD)으로 인한 사망률은 정비례의 관계에 있음을 확인하였다.³⁵⁾ 그러나 Sanders 등³⁶⁾은 단기간의 *trans* 지방산 섭취는 혈액의 혈전생성 위험인자에는 영향을 미치지 않았다고 보고하였다.

Trans 지방산 섭취는 혈장 지질 및 지단백 농도에 영향을 미쳐 심혈관 질환의 발생을 증가시키는 것으로 보고되고 있다. 여러 연구자들은 천연유지와 *trans* 지방산의 대사를 비교 실험한 결과 *trans* 지방산이 혈장의 지질에 불리하게 작용하는 증거를 제공하였다. 즉, LDL-콜레스테롤이 현저하게 증가한 반면 HDL-콜레스테롤은 감소하였다고 보고되고 있다.^{29,37-40)} 당질, 포화지방산, *cis* 불포화지방산을 *trans* 지방산으로 대체하였을 때 심순환계질환 위험도에 미치는 영향을 상대적으

로 분석한 결과에 따르면, 총 섭취 에너지의 2%에 해당하는 포화지방산을 단가불포화지방산으로 대체하였을 때의 CHD 위험을 감소효과가 30%인 것에 비해 동일한 양의 *trans* 지방산을 *cis* 지방산으로 대체하였을 때 CHD의 위험율은 50% 감소하는 효과를 가진다고 보고되었으며,⁴¹⁾ 이것은 LDL의 농도 감소와 밀접한 관계가 있다고 설명되었다.(Fig. 3) 한편 총에너지의 1%에 해당하는 당질을 *trans* 지방산으로 대체하였을 때 HDL-콜레스테롤에 대한 총콜레스테롤 농도의 비율은 증가하였으나 포화지방산으로 대체하였을 때는 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 왜냐하면 포화지방산은 LDL과 HDL 콜레스테롤 농도를 모두 증가시키나 *trans* 지방산은 LDL 콜레스테롤은 증가시키나 HDL 콜레스테롤에는 영향을 미치지 않기 때문이었다.⁴²⁾ (Fig 4) Sack과 Katan⁴³⁾은 총 에너지의 10%에 해당하는 포화지방산을 단가불포화지방산, 다가불포화지방산, 당질, *trans* 지방산으로 각각 대체하였을 때 *trans* 지방산은 포화지방산에 비해 HDL-콜레스테롤에 대한 총 콜레스테롤 비를 13% 증가시키는 경향을 보였다고 하였다. 이상의 연구들을 종합해 볼 때 *trans* 지방산은 HDL 콜레스테롤에 대한 총 콜레스테롤 비를 상승시키는 가장 해로운 영양소임이 밝혀졌다. 따라서 *trans* 지방산을 당질로 대체하는 것은 포화지방산을 당질로 대체하는 것보다 HDL 콜레스테롤에 대한 총 콜레스테롤 비를 개선하는 가장 좋은 방법이라 할 수 있다. 그러므로 일상적인 식생활에서 *trans* 지방산의 섭취를 최소한으로 하려는 노력은 심순환계질환을 예방하는 목표라 할 수 있다.

Kim 과 Campos⁴⁴⁾는 코스타리카인을 대상으로 한 population study에서 심혈관질환의 위험인자인 *trans* 지방산 섭취수준과 LDL 입자크기는 정의 상관에 있으며 *trans* 지방산의 섭취량 차이가 1% 증가하면 LDL의 입자크기가 2.44 Å 증가하였다고 보고하면서 (Fig 5) *trans* 지방산이 LDL의 크기에 영향을 미쳐 CHD 발생을 증가시키는 것으로 추론하였다. 또한 *trans* 지방산의 섭취는 CETP 활성을 증가시키는데 ⁴⁵⁾아마도 CETP 활성의 증가가 HDL로부터 콜레스테롤 에스테르를 전달함으로써 작은 LDL 입자를 큰 LDL 입자로 전환시키는 것으로 사료되고 있다.⁴⁶⁾ 최근 *trans* 지방산을 섭취한 식후 4시간 쯤 CETP 활성이 증가되었으며 TG-rich lipoprotein에서는 apolipoprotein a의 농도가 상승됨이 관찰되었다.⁴⁷⁾ 10% 수준의 에너지에 해당하는 포화지방산을 *trans* 지방산으로 대체하여 섭취시킨 controlled study에서 혈청 HDL-콜레스테롤과 산화적 스트레스로부터 지단백의 산화를 막아주는 다형성 효소인 paraoxonase 활성이 모두 감소하였다.⁴⁸⁾ 특히 B형 paraoxonase-1을 가진 사람에게서 *trans* 지방산의 섭취는 이 효소의 활성을 유의적으로 감소시켰으며 A형의 사람은 B형에 비해 이 효소의 활성이 매우 낮았으나 *trans* 지방산의 섭취에 의해 영향을 받지 않았다. 그러나 몇몇 연구자들은 *trans* 지방산이 LDL의 산화예민도에는 영향을 미치지 않았음을 보고한 바 있다.^{49,50)}

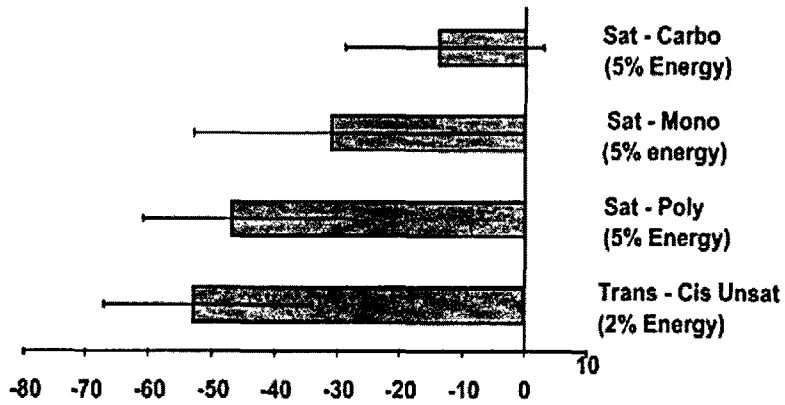


Fig. 3. Change in CHD risk and comparative effects on CHD of replacement of saturated fat with carbohydrate (Carbo), monounsaturated(Mono), or polyunsaturated(Poly) fats, as well as the effect of *trans* versus *cis* unsaturated fats.⁴¹⁾

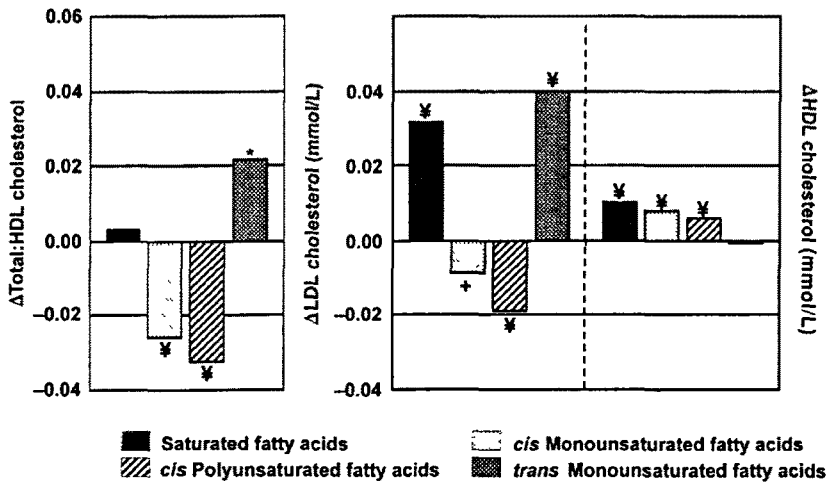


Fig. 4. Predicted changes in the ratio of serum total to HDL cholesterol and in LDL and HDL-cholesterol concentrations when carbohydrates constituting 1% of energy are replaced isoenergetically with various fatty acids.⁴²⁾

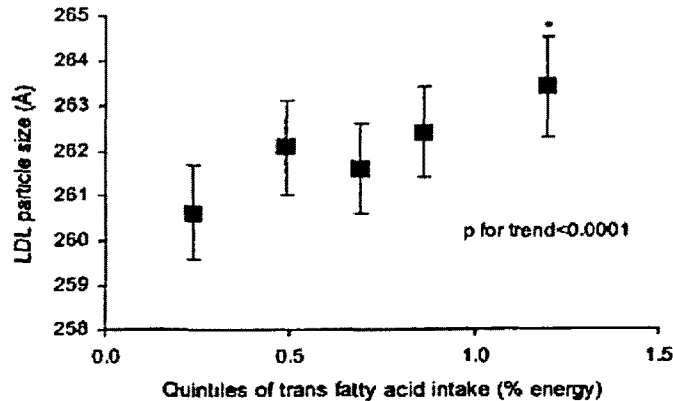


Fig. 5. LDL particle size by quintile of *trans* fatty acid intake (% energy) in Costa Rica. * $P=0.008$ compared with the lowest quintile.⁴⁴⁾

4) 암발생에 미치는 영향

Trans 지방산 섭취량이 암사망률과 관련이 있다는 보고가 있으며^{31,51,52)}, Selenskar 등⁵³⁾은 *trans* monoenoic acid가 간암 및 유방암에 있어 *cis* 지방산보다 높은 발암 촉진 효과를 보였으며 유방암 발병률이 5%인 *cis* 지방산에 비해 *trans* 지방산은 20%로 현저하게 높았다고 보고하였다. 최근 Rissanen 등⁵⁴⁾은 *trans* 지방산과 유방암과의 상관성을 밝히는 종단연구에서 혈청 *trans* 지방산의 농도가 낮은 사람에서 유방암의 발생율이 낮았다고 보고하였다. Watanabe 등⁵⁵⁾은 *trans* 지방산과 대장암과의 상관성에서 분노 중 스테로이드 배설량이 증가하는 것은 대장암의 발병 신호이며 특히 콜레스테롤이 위험인자라고 하였으며 *trans* 지방산을 일정량 이상 섭취한 쥐의 분노에서 스테로이드 배설량이 증가하는 것은 대장암 발생 촉진 효과와 관련성이 있을 것이라고 주장하였다. Sugano 등⁵⁶⁾은 *trans* 지방산이 동물의 성장률에 영향을 미치며 장시간에 걸친 고온 가열처리로 인하여 변화된 성분은 장내에서 암을 유발한다고 하였으며, Hopkins 등⁵²⁾은 *trans* 지방산의 산화생성물이 위암과 대장암의 요인이 될 수 있다고 보고하였다. 그러나 Hunter 등⁵⁷⁾은 *trans* 지방산과 종양발생과의 관계에 관한 역학적, 생화학적 연구에서 *trans* 지방산이 종양발생의 위험율을 증가시켰다는 결과를 얻지 못하였다.

3. *Trans* 지방산의 정량

1) 분석방법

식품 속의 *trans* 지방산 정량과 이성체를 확인하는 방법으로는 IR^{58-61,65)}, TLC^{62,63)}, HPLC⁶⁴⁾, NMR⁶⁶⁾, GC^{61,63,64)}, GC/MS⁶¹⁻⁶⁷⁾ 등 여러 분석 방법이 알려져 있으나 분석법에 따라 편차가 심하다. 더욱이 *trans* 지방산의 함량이 미량이고 유지 중에 *trans* 지방산의 분리, 정량을 방해하는 물질들이 존재하는 경우에는 정량하는데 기술적인 어려움이 많다. FDA는 *trans* 지방산 labelling을 위한 분석

시에 특정 방법을 사용해야한다고 제시하지 않았다.²⁾ 다만, 식품중의 총지방과 불포화지방산을 정량하는데 널리 쓰이는 Association of Official Analytical Chemists(AOAC) Official Method 996.01⁶⁸⁾은 식품 중의 *trans* 지방산 정량에는 적합하지 않다고 제시하고 분석방법은 기업체가 알아서 결정하되 AOAC International(AOACI) 15판 (1990년)⁶⁹⁾에 있는 방법이나 다른 적절한 방법을 선택할 수 있다고 조언하였다. 한편 FDA 자체 실험실에서는 *trans* 지방산을 포함한 지방 분석 시에 2002년에 출판된 가장 최신의 AOACI 17판⁷⁰⁾과 American Oil Chemists Society (AOCS)에서 출판한 Official Methods and Recommended Practices of the AOCS (2002-2003 Methods-Additions and Revisions)⁷¹⁾을 사용하고 있다고 밝혔다. 특히 gas chromatography를 사용하는 AOAC Method 996.06⁷²⁾는 *trans* 지방의 함량을 표시하기 위한 용도로 *trans* 지방을 정량할 때 적절하다고 FDA는 발표하였다. 그러나 이 방법은 AOCS IR 방법(Cd 14d-96)⁶⁰⁾보다 검출한계치가 낮다는 단점이 있다. AOCS 추천 방법인 Cd 14d-96은 0.8% 수준의 *trans* 지방을 함유한 자연식품과 가공식품에서 isolated *trans* double bonds를 측정할 수 있다고 FDA는 언급하였다.²⁾

IR에 의한 총 *trans* 지방산 측정은 수십 년 동안 사용되어 왔으며, 측정의 기초는 C-H 기능기의 *trans* 결합이 966cm⁻¹에서 측정되는 사실에 근거한 것이다. IR방법은 지방산의 메틸화 단계가 필요하며, triacylglycerols(이하 TAG)로 측정 시 오차가 크고 *trans* 수준이 낮을 때 측정의 민감성과 정확도가 저하되는 것이 단점이다. 그러나 conventional transmission cells 대신, attenuated total reflection infrared spectroscopy (이하 ATR-IR) cell을 사용하여 빠르게 측정 할 수 있는 방법을 Mossoba 등⁷³⁾이 제안하여 AOCS에 의해 Recommended Practice Cd 14d-96으로 채택되었다. ATR cell 사용의 장점은 지방산의 메틸화 과정없이 TAG 그대로 사용하며, *trans* 민감도가 증가하여 최소 *trans* 수준 0.2%까지 확인이 가능하므로 상업적으로 생산되는 식품에서의 *trans* 지방산 측정에 효과적인 방법이다. IR은 시료 내의 *trans* 지방산 함량은 측정 가능하지만 각 지방산의 이성체 구조에 관한 정보는 제공하지 못한다. 따라서 *trans* 지방산의 이성체를 확인하기 위해서는 GC/MS와 같은 방법을 사용하여야만 한다. 본 연구팀에서는 한국인 상용 가공식품의 *trans* 지방산 정량을 위하여 attenuated total reflection infrared spectroscopy (이하 ATR-IR) cell을 사용한 IR를 이용하였으며 *trans* 지방산의 다양한 이성체 확인을 위하여 GC/MS를 사용하였다. 식품중의 총 지방은 Soxhlet법, Bligh & Dyer 법⁷⁴⁾ 그리고 우유 및 유제품은 Rose-Gottlieb의 방법⁷⁵⁾으로 추출하여 IR 및 GC/MS를 이용한 *trans* 지방 정량과 이성체 확인에 각각 사용하였다.

Bligh & Dyer 법과 Soxhlet법으로 추출한 가공식품 중의 *trans* 지방산 함량은 큰 차이를 보이지 않았으며, 두 방법 간의 *trans* 지방산 함량은 $r^2 = 0.99$ 로 아주 높은 상관성을 보였다. (Fig. 6A) GC/MS와 IR로 분석한 *trans* 지방산 함량간의 상관성은 매우 높았으나 (Fig. 6B, $r^2 = 0.95$) C18:1t가 상대적으로 높은 비율을 보이는 마가린, 크림스프, 팝콘A, 콘칩, 파이, 냉동피자, 패스트리 등의 제품에서는 IR에서 그 함량이 높게 나타났고, C18:2t 또는 C18:3t의 비율이 상대적으로 높은 대두유, 라드, 아이스크림, 닭튀김, 감자튀김 등은 GC/MS에서 다소 높은 수준을 보였다. 그러나, 쇼트닝, 생크림 케익, 불고기버거, 장조림캔 등은 거의 일치하는 결과를 보였다. Lanser 등⁶¹⁾은 GC와 IR을 사용하여 *trans* 지방산 수준 측정했을 때 IR의 *trans* 함량이 일반적으로 GC보다 높게 나타났으며, 이 이유는 GC에서는 다양한 *trans* 이성체 peaks를 모두 분리 확인하기가 어렵기 때

문이라 하였다. Fritsche⁷⁶⁾는 사람의 지방조직에서 GC와 ATR-IR을 사용하여 *trans* 지방산을 측정하였는데 *trans* 지방산의 수준이 GC에 의해 측정된 것보다 ATR에 의한 결과가 높게 나타났다. 이런 차이의 주된 이유는 GC법이 *cis* 이성체를 선호하여 C18:1 *trans* 이성체가 과소평가되기 때문이라고 하였다.

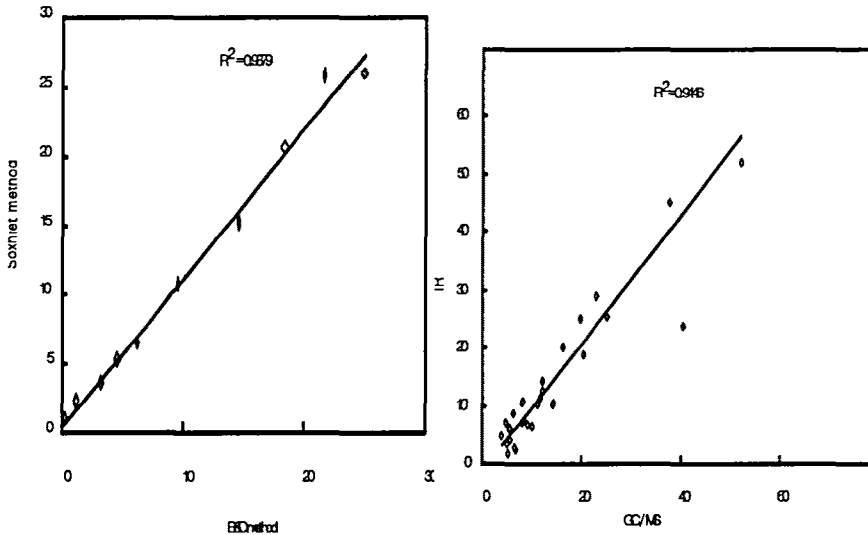


Fig. 6. Correlation coefficient of *trans* fatty acids content (A) by lipid extraction methods and (B) determination techniques

2) 가공식품 중의 *trans* 지방산 분포 및 함량

가공식품 중의 *trans* 지방산 함량에 대한 국내의 database는 구축되어 있으나, *trans* 지방산 함량 또한 해당식품을 제조하는 방법, 제조 시기 및 *trans* 지방 정량법 등에 따라 다소 차이를 보이므로 지속적인 보완이 필요하다. 즉, 같은 종류의 가공식품에서도 *trans* 지방산 함량이 매우 다양한데, Cho와 Sugano⁷⁷⁾는 우리나라에서 생산된 마가린의 *trans* 지방산 함량이 0.2-35.5% 범위에 있으며 평균 18% 수준이라고 발표하였다. 미국에서 생산되는 90여종의 마가린 생산품의 *trans* 지방산 함량은 약 10-30%로 다양했으며 tub 마가린보다는 stick 마가린의 *trans* 지방산 함량이 높았다. 또한 단단한 정도가 강할수록 *trans* 지방산 함량이 높은 것으로 나타났다.⁷⁸⁾ 미국에서 생산되는 fast food의 *trans* 지방산 함량이 평균 11%라고 보고하였으며,⁷⁹⁾ 스페인에서 상업적으로 생산되는 도너츠의 *trans* 지방산 함량은 평균 4.6%, 피자는 평균 3.1% 수준으로 보고하였다⁸⁰⁾ 오스트리아에서 생산되는 피자의 *trans* 지방산 함량은 1.2-24.6% 다양한 범위를 보였다.⁸¹⁾ 미국에서 생산되는 스낵류의 *trans* 지방산 함량은 약 14% 라고 보고되었으며,⁷⁹⁾ 스페인에서 생산되는 비스킷에서는 평균 1.8%, 스낵류의 *trans* 지방산 함량은 평균 0.1%로 비교적 낮은 수준이었다⁸⁰⁾ 오스트리아산 스낵류와 감자 칩의 *trans* 지방산 함량은 0.2-14.8%이었으며,¹⁸³⁾ 초코렛류에서는 0.2-15.7%, 육 가공품은 1%의

trans 지방산을 함유하였다.⁸¹⁾

본 연구팀이 1998년에서 1999년에 생산된 우리나라 가공식품 157종의 *trans* 지방산 함량을 측정 한 결과, 마가린의 총 지방 중 *trans* 지방산 함량은 0.84-25.24%으로 제품 성상과 제조회사에 따라 함량에 차이를 보였다. 버터의 *trans* 지방산 함량은 7.2%이었으며, 쇼트닝은 2.44-10.20%, 라 아드는 0.70-3.81%, 옥수수기름은 2.33-2.48%이었으며, 참기름과 들기름에서는 *trans* 지방산이 검 출되지 않았다. 양념류의 마요네즈와 소스의 *trans* 지방산 함량은 각각 2.19-3.38%와 0-10.12%였 으며, 젓갈류에서는 검출되지 않았다. 빵류에서는 케이크류가 8.75-16.92%, 햄버거류가 0.82-8.42%, deep frying류가 4.85-10.02%이었으며, 원료에 마가린과 버터가 많이 함유되어 있는 패 스트리는 25.66%, 치즈의 함량이 많은 피자류는 3.43-44.83%이었으며 냉동 피자의 *trans* 지방산 함량이 가장 높았다. 파이와 쿠키는 *trans* 지방산 함량은 14.49-25.04%인 반면 초코렛류에서는 검 출되지 않았다. 인스턴트 식품류에서는 냉동식품과 스프의 *trans* 지방산 함량이 각각 0-9.17%와

Table 1. Contents of total lipid and *trans* fatty acids in oils and fats

Food item	Total lipid(%)	tFAs ¹⁾ /total lipid(%)	tFAs/sample(%)	serving size	tFAs(g)/serving size
Margarine(hard)	88.46	0.84	0.74	6g	0.04
Margarine(soft)	83.49	6.04	5.04	6g	0.30
Margarine(soft)	87.29	18.42	16.08	6g	0.96
Margarine(soft)	83.83	25.24	21.16	6g	1.27
Margarine(soft)	83.94	4.64	3.89	6g	0.23
Margarine(soft)	85.77	22.05	18.91	6g	1.13
Peanut butter	44.48	- ²⁾	-	6g	-
Butter	83.33	7.18	5.98	6g	0.36
Shortening	99.45	10.20	10.14	5g	0.51
Shortening	98.67	2.44	2.41	5g	0.12
Lard	98.39	0.70	0.69	5g	0.03
Lard	99.40	3.81	3.79	5g	0.19
Soybean oil	99.05	1.14	1.12	5g	0.06
Corn oil	99.05	2.48	2.46	5g	0.12
Corn oil	97.56	2.33	2.27	5g	0.11
Sesame oil	98.86	-	-	5g	-
Sesame oil	97.61	-	-	5g	-
Sesame oil	100.00	-	-	5g	-
Perilla oil	98.36	-	-	5g	-

¹⁾ *trans* fatty acids

²⁾ Not detected

0.19-10.58%인데 반해 라면류에서는 소량 검출되거나 검출되지 않았다. 튀김류에서는 닭튀김의 *trans* 지방산 함량이 0-14.60%, 감자튀김은 5.22-18.82%로 상대적으로 높은 함량을 보였다. 우유와 유제품의 *trans* 지방산 함량은 0-10.10%이었고, 어육류 가공품의 *trans* 지방산 함량은 0-8.89%로 사용된 재료와 가공부위에 따라 큰 차이를 보였다. 즉 경화유를 함유한 식물성 식품군이 육류와 유제품보다 비교적 높은 *trans* 지방수준을 보여 주었다. (Table 1-4)

가공식품 중의 *trans* 지방산 이성체는 식품군간 혹은 같은 식품군내에서도 그 조성이 매우 다양하다. 마가린을 예를 들어 설명하면 C16:1-9t의 경우 4종의 마가린에서 0.23~1.16%의 범위로 검출된 반면, 마가린 C와 D 2종에서는 검출되지 않았다. C18:1t의 경우 9t가 모든 마가린에서 검출되었으며, 1.10~14.53%의 범위로 확인되었다. C18:2t 이성체로는 9c12t, 9t12c, 9t12t가 모든 마가린에서 검출되었다. C18:2t의 총 함량은 2.02~7.91%의 범위로 다양하였고, C18:3t는 0.33~1.39%의 수준을 보였다.

이상의 결과를 정리하면 지방 100g 당 *trans* 지방산 함량이 높은 식품은 냉동피자, 전자렌지용 팝콘과 마가린이었다. 1회 섭취 분량 중에 *trans* 지방산을 2g 이상 함유하고 있는 식품에는 패스트리, 토스트, 냉동 피자, 생크림 케익, 모카 케익 등의 빵류와 과자류의 파이, 쿠키, 즉석 팝콘, 튀김류의 닭튀김과 감자튀김 등이 있으며, 전자렌지용 팝콘의 경우 1회 분량 100g 당 20% 이상의 *trans* 지방산을 함유하고 있었다. 따라서 한국인의 식사에서 주요한 *trans* 지방산 공급원이 되며, 특히 청소년들이 즐겨먹는 이들 가공식품에 대한 *trans* 지방산 함량 labelling과 한국인의 *trans* 지방산 섭취 수준 평가에 관한 연구가 더욱 더 필요하다고 하겠다.

Table 2. Contents of total lipid and *trans* fatty acids in fried foods

Food item	Total lipid(%)	tFAs ¹⁾ /total lipid(%)	tFAs/sample(%)	serving size	tFAs(g)/serving size
Fried chicken	9.90	- ²⁾	-	60g	-
Fried chicken	6.98	9.25	0.65	60g	0.39
Fried chicken	9.54	4.09	0.39	90g	0.35
Fried chicken	15.89	0.56	0.09	90g	0.08
Fried chicken	16.67	14.60	2.43	60g	1.46
Fried chicken	16.72	1.69	0.28	60g	0.17
French fried	13.99	5.31	0.74	100g	0.74
French fried	14.63	7.60	1.11	100g	1.11
French fried	11.90	5.22	0.62	100g	0.62
French fried	9.09	13.99	1.27	100g	1.27
French fried	19.69	18.82	3.71	100g	3.71

¹⁾ *trans* fatty acids

²⁾ Not detected

Table 3. Contents of total lipid and *trans* fatty acids in dairy and meat products

Food item	Total lipid(%)	tFAs ¹⁾ /total lipid(%)	tFAs/sample(%)	serving size	tFAs(g)/serving size
Milk	3.90	6.07	0.24	200ml	0.47
Condensed milk	11.54	7.00	0.81	20g	0.16
Yogurt(curd)	3.83	3.37	0.13	150g	0.19
Yogurt(liquid)	2.29	- ²⁾	-	100g	-
Shake	4.31	1.88	0.08	174g	0.14
Shake	3.89	6.28	0.24	225g	0.55
Ice cream	11.85	6.35	0.75	100g	0.75
Ice cream with corn	12.73			150g	1.26
Chedda cheese	8.58	10.10	0.87	30g	0.26
Pizza cheese	15.87	6.73	1.07	30g	0.32
Baby food	4.97	-	-	14g	-
Grilled beef	21.98	4.76	1.05	100g	1.05
Grilled pork(jowl)	22.26	6.62	1.47	100g	1.47
Grilled pork(belly)	43.03	0.86	0.37	100g	0.37

¹⁾ *trans* fatty acids

²⁾ Not detected

Table 4. Contents of total lipid and *trans* fatty acids in bakeries

Food items	Total lipid(%)	tFAs ¹⁾ /total lipid(%)	tFAs/sample(%)	serving size	tFAs(g)/serving size
Hamburger(bulgogi)	13.81	5.86	0.81	150g	1.21
Hamburger(bulgogi)	7.80	0.82	0.06	150g	0.10
Chickenburger	7.77	3.32	0.26	154g	0.39
Fishburger	7.91	8.42	0.67	150g	1.00
Doughnuts	17.06	6.62	1.13	80g	0.90
Doughnuts	12.90	4.85	0.63	80g	0.50
Ggwabaegi	12.68	6.30	0.80	93g	0.74
Ggwabaegi	8.88	10.02	0.89	93g	0.83
Toast(fried)	27.12	23.23	6.30	90g	5.67
Hoddug	11.72	2.12	0.25	50g	0.13
Cream puff	6.72	14.15	0.95	17g	0.16
Pastry	22.47	25.66	5.77	80g	4.61
Cheese stick	14.83	16.51	2.45	49g	1.20
Frozen Pizza	8.75	44.83	3.92	200g	7.85
Pizza	7.76	5.51	0.43	200g	0.86
Whipping cream cake	10.35	11.27	1.17	200g	2.33
Moca cake	20.87	16.92	3.53	107g	3.78
Roll cake	4.83	8.75	0.42	68g	0.29

¹⁾ *trans* fatty acids

Table 5. *Trans* fatty acid intakes of several countries estimated by food availability and consumption data

Countries		Gram/person/day
Canada	Average	9.1
	Maximum	17.5
England	Average	12.0
	Maximum	27.0
Germany	Rang	4.5-6.5
Holland	Average	17.0
Sweden	Average	5.0
United States	Average	12.1
	Average	11.4
Adult(F)	Average	9.7
Adolescent(F)	Average	3.1
	Average	13.3
	Range	1.6-38.7
Adults (20-65ys)	Average	14.9
Teenager(F)	Average	>30.0

4. *Trans* 지방산 섭취수준

Trans 지방산 섭취수준에 대한 연구 또한 국외에서는 활발하게 진행되고 있다. Table 5는 1978년에서 1993년에 실시된 여러 나라의 *trans* 지방산 섭취수준을 제시하였으며, 연령층에 따라 다양한 섭취수준을 보이며 가장 섭취 수준이 높은 연령층은 10대들로 특히 10대 여학생들의 1일 *trans* 지방산 섭취수준은 30g 이상으로 추정된다.

Trans 지방산 섭취수준은 조사방법에 따라 다양한 수준을 보여주며 년 간 식품 생산량과 소비량으로 추정된 *trans* 지방산 섭취수준은 식이섭취조사에 의한 섭취수준보다 현저하게 높았다. 즉, 미국 식품 생산량과 소모량으로부터 계산한 *trans* 지방산 섭취수준은 1985년 10.2g⁴⁾, 1990년 12.8g⁸²⁾, 그리고 1991년에 발표된 자료에 의하면 8.1g⁸³⁾으로 보고되었다. 물론 이 때 식품조리과정 중의 손실량은 보정이 되었지만 식품 소모량에 기준을 둔 *trans* 지방 섭취수준 결정방법은 섭취수준을 다소 과대 평가하는 것으로 여겨진다. Allison 등⁸⁴⁾은 미국인을 대상으로 실시한 1989-1991년 Continuing Survey of Food Intakes by Individuals (CSFII)에서 24시간 회상법과 2일간의 식사기록법을 통하여 분석한 *trans* 지방산 섭취수준이 에너지 섭취의 2.6%, 지방섭취의 7.4% 수준이며 5.3g의 *trans* 지방산을 섭취한다고 추정하였다. 1994년부터 1996년에 걸쳐 실시한 CSFII에서는 평균 *trans* 지방산 섭취수준은 5.84g이며 이곳은 총 에너지의 2.55%에 해당한다고 발표되었는데 5년 전의 조사결과에 비해 10.2% 정도 증가하였다.⁸⁵⁾ 1985년에서 1991년까지의 식품섭취빈도조사를 통해 조사된 미국인의 *trans* 지방산 섭취수준은 다양한 분포를 보였으며 그 범위는 2.6g-12.8g 수준이었다.^{86,87)} 한편, Innis 등⁸⁸⁾ 미국인 수유부의 유즙에서 *trans* 지방산이 총 열량의 2.5% 정도 함유되어

있는 것을 확인하였으며, Lemaitre 등⁸⁶⁾은 지방조직의 지방산 조성을 분석한 연구를 통해 미국인 식사 중 총 지방의 8%가 *trans* 지방산으로 추정하였다.

서유럽 14개국의 성인을 대상으로 national food 소비 자료를 이용하여 *trans* 지방산 섭취를 평가한 보고는 *trans* 지방산 함량의 범위가 아주 다양했으며, 남자의 경우 그리스와 이태리는 에너지의 0.5% 수준이었고, 아이슬란드는 2.1%로 1.2-6.7 g/day 였다. 여자의 경우는 그리스가 에너지의 0.8% 수준이었고 아이슬란드는 1.9%로 1.7-4.1 g/day이었으며, 지중해 국가가 에너지의 0.5-0.8%로 가장 낮은 *trans* 지방산 섭취수준을 보였고 핀란드와 독일은 에너지의 1%보다 낮은 수준을 보였다⁸⁹⁾. 스코틀랜드인 40세에서 59세의 남녀 10,359명을 대상으로 식품섭취빈도 조사를 실시한 결과 남녀 1일 *trans* 지방산 섭취수준은 각각 7.1 g/day와 6.4 g/day로 에너지 섭취의 2.7%와 3.3%로 나타났다.⁹⁰⁾

부산지역 여고생 542명을 대상으로 1일 *trans* 지방산의 섭취 수준을 파악하기 위해 식품섭취 빈도조사를 1999년 여름과 겨울 2회 실시한 결과 조사대상자들의 1일 평균 *trans* 지방산 섭취수준은 여름 4.30±0.29g, 겨울 4.18±0.20g 평균 4.24±0.18g이다. 또한 *trans* 지방산 섭취수준에 따라 100분위수로 나누었을 때 여름과 겨울의 10분위수의 값은 각각 0.98g, 0.75g으로 평균 0.70g이었으며, 90분위수의 값은 여름의 경우 8.22g이고 겨울은 8.29g으로 평균 8.27g을 나타내어 조사대상자들 간의 *trans* 지방산 섭취수준에 상당한 차이가 있었다. 식사기록법으로 조사한 *trans* 지방산의 섭취 수준은 여름에 실시한 조사 결과 평균 1.54±0.00g, 겨울에 실시한 조사 결과 2.22±0.11g으로 여름의 조사 결과보다 높은 수준을 보였으며, *trans* 지방산의 섭취량은 평균 1.88±0.01g으로 조사되었다.(Table 6) 1990년 Won과 Ahn⁶⁴⁾이 식사기록법을 이용하여 실시한 우리나라 여자대학 기숙사생의 1일 *trans* 지방산 섭취량은 0.63g으로 본 연구에서 조사된 여고생의 1일 *trans* 지방산 섭취수준보다 낮았다. 이것은 *trans* 지방산 섭취량이 소득수준(p<0.05), 간식(p<0.01)과 외식(p<0.05)의 빈도와 정의 상관관계가 있다는 분석결과에서 나타났듯이 본 연구의 조사대상자들이 비교적 *trans* 지방산 섭취량이 높을 것으로 생각되는 여고생일 뿐만 아니라 10년 동안 식생활의 서구화와 패스트푸드 섭취 증가 등의 식생활 변화에 기인하는 것으로 사료된다. 한편, 우리나라 국민의 1일 *trans* 지방산 섭취수준을 1998년도 우리나라에서 생산, 소비된 마가린(39,113톤)과 쇼트닝(38,003톤)을 기준⁹¹⁾으로 하여 본 실험실에서 얻어진 *trans* 지방산 수치를 대입하여 계산하였을 때 1일 1인당 *trans* 지방산 섭취량은 0.41g으로 추정되었다. 이것은 *trans* 지방산 섭취량에 육가공품 및 유제품이 포함되지 않은 점이 영향을 미쳤으리라 사료된다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 *trans* 지방산의 섭취수준이 서구보다 낮은 수준이기는 하나, 산업, 경제의 발달 및 여성 취업인구의 증가로 인한 다양한 가공식품 및 반조리식품의 개발, 외식의 빈도 증가로 인해 *trans* 지방산의 섭취량은 증가할 것으로 사료되므로, *trans* 지방산 섭취수준에 대한 조사연구는 지속적으로 추진되어야 할 필요한 것으로 사료된다.

부산지역 여고생의 *trans* 지방산 주요 급원은 Table 7과 같다. 섭취빈도조사에서는 과자류가 37.5%로써 가장 높았으며 그 다음이 빵류(28.7%)>우유 및 유제품(17.2%)>튀김류(9.7%)의 순이었으나, 식사기록법으로 조사한 결과에서는 빵류(27.23%)가 가장 높은 섭취비율을 보였고 그 다음이 과자류(21.91%)> 우유 및 유제품(19.52%)>어육류 가공품(5.34%)의 순이었다. 식품섭취빈도조사법

으로 조사했을 때 경화유로부터 섭취하는 *trans* 지방산의 비율은 1일 총 *trans* 지방산 섭취수준의 79.7% 이었으며 육류와 유제품으로부터 섭취하는 *trans* 함량은 20.3%이었다.(Table 6) 그리고 식사 기록법으로 조사하였을 때 경화유로부터 섭취하는 *trans* 지방산의 비율은 1일 총 *trans* 지방산 섭취수준의 70.2% 이었으며 육류와 유제품으로부터 섭취하는 *trans* 함량은 29.8%이었다.(Table 11) 이러한 결과로 보면 천연 *trans* 지방산에 비해 인공 *trans* 지방산 섭취수준이 높았으며, 가공식품의 종류가 다양해지고 이들의 사용이 증가되는 상황을 고려해 볼 때 한국인의 상용가공식품에 포함되어 있는 *trans* 지방산 함량의 데이터베이스는 보완되어야 할 것이다.

Table 6. Comparison of *trans* fatty acid intakes of high school girls by food frequency questionnaires and food records

	FFQs(n=542)	Food Records (n=450)	t-value
Total tFAs	4.24±0.18 ³⁾	1.88±0.00	-13.2229**
N-tFAs ¹⁾	0.86±0.00 (20.3) ⁴⁾	0.561±0.00 (29.79)	-12.1641**
H-tFAs ²⁾	3.38±0.14 (79.7) ⁵⁾	1.32±0.00 (70.21)	-10.7703**

¹⁾N-tFAs; natural sources of *trans* fatty acids, ²⁾H-tFAs; *trans* fatty acids formed during hydrogenation of oils, ³⁾mean±SE, ⁴⁾N-tFAs/total tFAs×100(%), ⁵⁾H-tFAs/total tFAs×100(%), **, p<0.001

Table 7. Intake patterns of *trans* fatty acids of high school girls by food groups

Food groups	Food Records(%)	FFQs(%)
Oils and fats	6.45	0.83
Seasonings	3.74	1.40
Bakeries	27.23	28.70
Confectioneries	21.29	37.48
Instant foods	0.92	1.72
Fried foods	6.32	9.68
Milk and dairy products	19.52	17.19
Meat and fish products	13.91	1.40

5. 맺는말

지금까지 발표된 많은 연구결과들이 *trans* 지방산이 심순환계질환의 위험인자임을 확인하고 있으나 아직 fast food 업체와 식품산업계에서는 경제성, 기호성, 안정성 등의 이유로 경화유를 사용하고 있다. 미국의 경우 맥도널드사와 Frito-Lay사는 자사제품의 *trans* 지방산을 점차적으로 감소해 나가겠다고 밝히고 있으며 국내에서도 경화유의 *trans* 지방산을 최저화하기 위한 노력이 계속되고 있다 그러나 아직 쿠키, 스낵, pastry 등에는 상당한 양의 *trans* 지방산이 함유되어 있다. 따라서 경화유를 대체할 수 있는 유지에 대한 관심이 필요하며 팜유나 옥수수유, 대두유 등을 혼합한 형태

의 유지가 대안이 될 수 있을 것으로 사료된다. 한편 유제품과 육가공품의 *trans* 지방산의 생리적 기능성에 대한 자료가 많지는 않으나 Zutphen Elderly Study⁹²⁾에서는 반추동물에서 생성된 *trans* 지방산도 심순환계질환의 위험율을 증가시킨다고 보고한 바 있다. 따라서 유지방이 없는 유제품이나 lean meat를 선택하는 것도 *trans* 지방산의 섭취를 저하시킬 수 있는 방법으로 사료된다. 또한 소비자들의 *trans* 지방산의 생리적 기능성에 대한 이해를 돕기 위해 홍보책자 등을 통한 영양교육이 필요하며, 특히 fast foods에 상대적으로 많이 노출되어 있는 청소년, 대학생 층을 위한 영양교육은 필수적이다. 뿐만 아니라 *trans* 지방산을 함유한 가공식품의 조성과 종류가 다양해지고 있으므로 동시대의 소비자가 섭취하는 *trans* 지방산 함량에 대한 정확한 분석자료가 제시되어야 하며 이를 위해서는 기존의 *trans* 지방산 함량자료집을 보완하는 노력이 필요하다. 또한 *trans* 지방산의 섭취 수준이 서구보다 낮은 수준이기는 하나, 산업, 경제의 발달 및 여성 취업인구의 증가로 인한 다양한 가공식품 및 반조리식품의 개발, 외식의 빈도 증가로 인해 *trans* 지방산의 섭취량은 증가할 것으로 사료되므로, *trans* 지방산 섭취수준에 대한 조사연구는 지속적으로 추진되어야 할 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

- 1) Food and Drug Administration. *Federal Register* 64: 62746-62757, 1999
- 2) Food and Drug Administration. Food labeling: Trans fatty acid in nutrition labeling, nutrient content claims, and health claims. *Federal Register* 68:41433-42506, 2003
- 3) Metthias S. *Trans* unsaturated fatty acid in natural products and processed foods., *Prog Lipid Res* 22: 221-33, 1983
- 4) FASEB Expert Panel. Health aspects of dietary *trans* fatty acids. Federation of American Societies for Experimental Biology and Medicine. Bethesda, MD, 1985
- 5) Ascherio A, and Willet C. Health effects of *trans* fatty acids. *Am J Clin Nutr* 66(s): 1006s-1010s, 1997
- 6) Colandre ME, Diez RS, Bernal CA. Metabolic effects of *trans* fatty acids on an experimental dietary model. *Br J Nutr* 89(5): 631-639, 2003
- 7) Lovejoy JC, Smith SR, Champagne CM, Most MM, Leevre ML, DeLany JP, Denkins YM, Rood JC, Veldhuis J, Bray GA. Effects of diets enriched in saturated(palmitic), monounsaturated (oleic), or *trans* (elaidic) fatty acids on insulin sensitivity and substrate oxidation in healthy adults. *Diabetics Care* 25: 1283-1288, 2002
- 8) Ide T, Watanabe M, Sugano M, Yamamoto I. Activities of liver mitochondrial and peroxisomal fatty acid oxidation enzymes in rats fed *trans* fat. *Lipids* 22: 6-10, 1987
- 9) Larque E, Perez-Llamas F, Puerta V, Giron MD, Suarez MD, Zamora S, Gil A. Dietary *trans* fatty acids affect docosahexaenoic acid concentrations in plasma and liver but not brain of pregnant and fetal rats, *Peidatr Res* 47(2): 278-283, 2000

- 10) Larque E, Zamora S, Gil A. Dietary *trans* fatty acids in early life: a review. *Early Human Development* 65(s): s31-s41, 2001
- 11) Larque E, Garcia-Rui PA, Perez-Llamas F, Zamora S, Gil A, Dietary *trans* fatty acids alter the composition of microsomes and mitochondria and the activities of microsomal Δ^6 -fatty acid desaturase and glucose-6-phosphatase in livers of pregnant rats. *J Nutr* 133(8): 2526-2531, 2003
- 12) Willett WC, Ascherio A. *Trans* fatty acids : are the effects only marginal? *Am J Public Health* 84(5) : 722-724, 1994
- 13) Decsi T, Koletzko B. Do *trans* fatty acids impair linoleic acid metabolism in children. *Am Nutr Metab* 39: 36-41, 1995
- 14) Hill GE, Johnson SB, Holman RT. Intensification of essential fatty acid deficiency in the rat by dietary *trans* fatty acids. *J Nutr* 109: 1759-1764, 1979
- 15) Yu PH, Mai J, Kinsella JE. The effects of dietary *trans*, *trans* methyl octadecadienoic acid on composition and fatty acids of rat heart. *Am J Clin Nutr* 33: 598-605, 1980
- 16) O'Keefe SF, Lagarde M, Grandirard A, Sebedio L, *Trans* ω -3 eicosapentaenoic acid docosahexaenoic acid isomers exhibit different inhibitory effects on arachidonic acid metabolism in human platelets compared to the respective *cis* fatty acid. *J Lipid Res* 31:1241-1247, 1990
- 17) Wickwire MA, Craig-Schmidt MC, Weete JD, Faircloth SA. Effect of maternal dietary linoleic acid and *trans*-octadecenoic acid on the fatty acid composition and prostaglandin content of rat milk. *J Nutr* 117(2): 232-241, 1987
- 18) Han SN, Leka LS, Lichtenstein AH, Ausman LM, Schaefer EJ, Meydani SN. Effect of hydrogenated and saturated, relative to polyunsaturated, fat on immune and inflammatory response of adults with moderate hypercholesterolemia. *J Lipid Res* 43: 445-452, 2002
- 19) Pettersen J, Opstvedt J. *Trans* fatty acids: 2. fatty acid composition of the brain and other organs in the mature female pig. *Lipids* 23: 720-726, 1988
- 20) Sugani M, Ikeda I. Metabolic interactions between essential and *trans* fatty acids. *Curr Opin Lipidol* 7: 38-42, 1996
- 21) Johnson PV, Johnson OC, Kummerow FA. Non transfer of *trans* fatty acids from mother to young. *Proc Soc Exp Biol Med* 96: 760-762, 1957
- 22) Alam SQ, Ren YF, Alam BS. Effect of dietary *trans* fatty acids on some membrane-associated enzymes and receptors in rat heart. *Lipids* 24:39-44, 1989
- 23) Emken EA. Nutrition and biochemistry of *trans* and positional fatty acid isomers in hydrogenated oils. *Annu. Rev. Nutr* 4: 339-377, 1984
- 24) Tsuda K, Ueno Y, Nishio I, and Masuyama Y. Membrane fluidity as a genetic marker of hypertension. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 19:11-16, 1992
- 25) Foucher CL, Lagrost M, Maupoil L, Rochette and Gambert P. Alterations of lipoprotein fluidity by non-esterified fatty acids known to affect cholesteryl ester transfer protein activity. An electron spin

- resonance study. *Eur J Biochem* 236: 436-442, 1996
- 26) Felton CV, Crook D, Stevenson JC. *Trans* fatty acids and the composition of human aortic plaques. *Atherosclerosis* 115: 33s-42s, 1995
- 27) Morgado N, Sanhueza J, Galleguillos A, Effect of dietary hydrogenated fish oil on the plasma lipoprotein profile and on the fatty acid composition of different tissues of rat. *Annals of Nutr & Meta* 43:310-318, 1999
- 28) Lichtenstein AH, *Trans* fatty acids and cardiovascular disease risk. *Curr Opin Lipidol* 11(1): 37-42, 2000
- 29) Vijver LP, Kardinaal AF, Couet C, Aro A, Kafatos A, Steingrimsdottir L, Amorim CJ, Moreiras O, Becker W, Amelvoort JM, VidalJessel S, Salminen I, Moschandreas J, Sigfusson N, Martins I, Carbajal A, Ytterfors A, Poppel G. Association between *trans* fatty acid intake and cardiovascular risk factors in Europe : the TRANSFAIR study. *Eur J Clin Nutr* 54(2): 126-135, 2000
- 30) Lichtenstein AH. *Trans* fatty acids and blood lipid levels, Lp(a), parameters of cholesterol metabolism, and hemostatic factors. *J Nutr Biochem* 9: 244-248, 1998
- 31) Baylin A, Kabagambe EK, Ascherio A, Spiegelman D, Campos H. High 18:2 *trans*-fatty acids in adipose tissue are associated with increased risk of nonfatal acute myocardial infarction in Costa Rican adult. *J Nutr* 133(4): 1186-91, 2003
- 32) Singha RB, Niaza MA, Ghosha S, Beegoma R, Rastogia V, Sharmaa JP, Dubeb GK. Association of *trans* fatty acids(vegetable ghee) and clarified butter(Indian ghee) intake with higher risk of coronary artery disease in rural and urban populations with low fat consumption, *International Journal of Cardiology* 56: 289-298, 1996
- 33) Willet WC, Stampfer MT, Manson JE, Colditz GA, Speizer FE, Rosner BA, Sampson LA, Hennekens CH. Intake of *trans* fatty acids and risk of coronary heart disease among women. *Lancet* 341: 581-585, 1993
- 34) Shapiro, S. Do *trans* fatty acids increase the risk of coronary artery disease? A critique of the epidemiologic evidence. *Am J Clin Nutr* 66(s): 1011s-1017s, 1997
- 35) Gilman MW, Cupples LA, Gagnon D, Millen BE, Ellison RC, Castelli WP. Margarine intake and subsequent coronary heart disease in men. *Epidemiology* 8(2): 122-123, 1997
- 36) Sanders TA, Oakley FR, Crook D, Cooper JA, Miller GJ, High intake of *trans* monounsaturated fatty acids taken for 2 weeks do not influence procoagulant and fibrinolytic risk markers for CHD in young healthy men. *Br J Nutr* 89(6): 767-776, 2003
- 37) Nestel P, Noakes M, Belling B, McArthur R, Clifton P, James 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: 1029-1036, 1992
- 38) Zock PL, Katan MB. Hydrogenation alternatives effects of *trans* fatty acids and stearic acid versus

- linoleic acid on serum lipids and lipoproteins in humans. *J Lipid Res* 33: 399-410, 1992
- 39) Mensink RP, Katan MB. Effect of dietary *trans* fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. *N Engl J Med* 323: 439-445, 1990
 - 40) Mensink RP, Zock PL, Katan MB, Hornstra G. Effect of dietary *cis* and *trans* fatty acids on serum lipoprotein{a} levels in humans. *J Lipid Res* 33: 1493-1501, 1992
 - 41) Hu FB, Stampfer MJ, Manson JE Dietary Fat Intake and the Risk of Coronary Heart Disease in Women. *New England J Med* 333:1491-1499, 1997
 - 42) Mensink RP, Zock PL, Kester DM, Katan MB. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins:meta-analysis of 60 controlled trials. *Am J Clin Nutr* 77: 1146-1155, 2003
 - 43) Sack FM, Katan MK. Randomized clinical trials on the effects of dietary fat and carbohydrate on plasma lipoproteins and cardiovascular disease. *Am J Med* 113(9s): 13s-24s, 2002
 - 44) Kim MK, Campos H. Intake of *trans* fatty acids and lipoprotein size in a Costa Rican population. *Metabolism* 52(6): 693-698, 2003
 - 45) van Tol A, Zock PL, van Gent T. Dietary *trans* fatty acids increase serum cholesterylester transfer protein activity in man. *Atherosclerosis* 115:129-134, 1995
 - 46) Sakai N, Matsuzawa Y, Hirano K. Detection of two species of low-density lipoprotein particles in cholesteryl ester transfer protein deficiency. *Arterioscler Thromb* 11: 71-79, 1991
 - 47) Gatto LM, Sullivan DR, Samman S. Postprandial effects of dietary *trans* fatty acids on apolipoprotein (a) and cholesteryl ester transfer. *Am J Clin Nutr* 77: 1119-1124, 2003
 - 48) de Roos N, Schouten EG, Scheek LM, van Tol A, Katan MB. Replacement of dietary saturated fat with *trans* fat reduces serum paraoxonase activity in healthy men and women. *Metabolism* 51:1534-1537, 2002
 - 49) Harborsen B, Almendingen K, Nenseter MN, Pederson JI, Christiansen EN. Effects of partially hydrogenated fish oil, partially hydrogenated soybean oil and butter on the susceptibility of low density lipoprotein to oxidative modification in men. *Eur J clin Nutr* 50:364-370, 1996
 - 50) Cuchel M, Schwab US, Jones PJH, Vogel S, Lammi-Keefe C, Li Z, Ordovas J, McNamara J, Schaefer EJ, Lichtenstein AH. Impact of hydrogenated fat consumption on endogenous cholesterol synthesis and susceptibility of low density lipoprotein to oxidation in moderately hypercholesterolemic individual. *Metabolism* 45: 241-247, 1996
 - 51) Mckelvey W, Greenland S, Chen SJ, longnecker MP, Frankel HD, Lee ER, Haile RW. A case control study of colorectal adenomatous polyps and consumption of foods containig partially hydrogenated oils. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 8(6): 519-524, 1999
 - 52) Hopkins GJ, West CE. Possible roles of dietary fats in carcinogenesis. *Life Sciences* 19: 1103-1116, 1976
 - 53) Selenkas SL, Ip MM, Ip C. Similarity between *trans* fat and saturated fat in the modification of rat

- mammary carcinogenesis. *Cancer Res* 4: 1321-1326, 1984
- 54) Rissanen H, Knek tP, Jarvinen R, Salminen I, Hakulinen T. Serum Fatty acids and breast cancer incidence. *Nutr Cancer* 45(2): 168-175, 2003
- 55) Watanabe M, Koga T, Sugano M. Influence of dietary *cis*- and *trans*-fat on 1,2-dimethylhydrazine-induced colon tumors and fecal steroid excretion in Fischer 344 rats. *Am J Clin Nutr* 42(3): 475-484. 1985
- 56) Sugano M, Ryu K, Ide T. Cholesterol dynamics in rats fed *cis*- and *trans* octadecenoate in the form of triglyceride. *J Lipid Res* 25: 474-485, 1984
- 57) Hunter JE, Ip C, Hollenbach EJ. Isomeric fatty acids and tumorigenesis : a commentary on recent work. *Nutr Cancer* 7(4):1999-2009, 1985
- 58) Adam M, Chew M, Wasserman S, McCollum A, McDonald RE, Mossoba MM. : Determination of *trans* fatty acids in hydrogenated vegetable oils by attenuated total reflection infrared spectroscopy: two limited collaborative studies. *J Am Oil Chem Soc* 75: 353-358, 1998
- 59) Greyt WD, Kint A, Kellens M, Huyghebaert A. Determination of low *trans* levels in refined oils by fourier transform infrared spectroscopy. *J Am Oil Chem Soc* 75: 115-118, 1998
- 60) AOCS, AOCS Recommended Practice Cd 14d-96 (Reapproved 1997), Isolated *trans* Geometric Isomers-Single Bounce-Horizontal Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopic Procedure, AOCS Official Methods and Recommended Practices, Champaign, IL.
- 61) Lanser AC, Emken EA. Comparison of FTIR and capillary gas chromatographic methods for quantitation of *trans* unsaturation in fatty acid methyl esters. *J Am Oil Chem Soc* 65: 1483-1487, 1988
- 62) Kennerly DA. Two dimensional thin-layer chromatographic separation of phospholipid molecular species using plates with both reversed phase and argentation zones. *J Chromatography* 454:425-431. 1988
- 63) McDonald RE, Armstrong DJ, Kreishman GP. Identification of *trans* diene isomers in hydrogenated soybean oil by gas chromatography, silver nitrate-thin layer chromatography, and ¹³C-NMR spectroscopy. *J Agric Food Chem* 37: 637-642, 1989
- 64) Won JS, Ahn MS. A study on contents of *trans* fatty acids in food served at University dormitory and their composition, *Korean J Nutr* 23(1): 19-24, 1990
- 65) Sebedio JL, LeQuere JL, Semon E, Morin O, Prevost J, Grandgirund A. A heat treatment of vegetable oils. II. GC-MS and GC-FTIR spectra of some isolated cyclic fatty acid monoenes, *J Am Oil Chem Soc* 64: 1324-1333, 1987
- 66) Cassidy DM, Pratt DA, Taylor R, Alberti KG, Laker MF. Capillary column gas chromatography-mass spectrometry for the determination of the fatty acid composition of human adipose tissue. *J Chrometogr* 491(1): 1-113, 1989
- 67) Athari AK, Watkins BA. Chromatographic analysis of 18:1 isomers in blended feed-grade fats used

- in poultry diets. *Poult Sci* 67(2): 307-312, 1988
- 68) Ali LH, Angyal G, Weaver CM. Determination of total *trans* fatty acids in foods: Comparison of capillary-column gas chromatography and single bounce horizontal attenuated total reflection infrared spectroscopy. *J Am Oil Chem Soc* 73: 1699-1705, 1996
- 69) AOAC, Official Methods of Analysis of AOAC International, 15th ed., Revision 1, AOAC International, Gaithersburg, MD, 1990
- 70) AOAC, Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th ed., Revision 1, AOAC International, Gaithersburg, MD, 2002
- 71) AOAC, Official Methods and Recommended Practices of the AOCS, 2002-2003 Methods-Additions and Revisions, AOCS Press, Champaign, IL
- 72) AOAC, AOAC Official Method 996.06, Fat (Total, Saturated, and Unsaturated) in Foods, Official methods of analysis of AOAC International, 17th ed., Revision 1, Chapter 41, pp. 20-24, AOAC International, Gaithersburg, MD, 2000.
- 73) Mossoba MM, Yurawecz MP, McDonald RE. Rapid determination of the total *trans* content of neat hydrogenated oils by attenuated total reflection spectroscopy. *J Am Oil Chem Soc* 73: 1003-1009, 1996
- 74) Bligh EG, Dyer WJA. Rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol.* 37: 911-917, 1959
- 75) Jo HG, Jo KY, Park CG, Cho GS, Chai SG, Ma SJ. Food analysis., pp.225-227, Yurim Pub. Co, Seoul, 1994
- 76) Friysche J, Steinhart H, Mossoba MM, Yurawecz MP, Sehat N, Ku Y. Rapid determination of *trans* fatty acids in human adipose tissue. Comparison of attenuated total reflection infrared spectroscopy and gas chromatography. *J Chromatogr B Biomed Sci Appl* 705(2): 177-182, 1998
- 77) Cho YJ, Sugano M. Content of *trans* fatty acids in Korean margarine. *Korean J Food Sci Technol* 17: 219-223. 1985
- 78) Slover HT, Thompson RH, David CS, Merola GV. Lipids in margarines and margarine-like foods. *J Am Oil Chem Soc* 62: 775-786, 1985
- 79) Innis SM, Green TJ, Halsey TK. Variability in the *trans* fatty acid content of foods within a food category: implications for estimation of dietary *trans* fatty acid intakes. *J Am. Coll Nutr* 18(3):255-260, 1999
- 80) Parceria J, Codont R, Boatella J, Rafecas M. Fatty acids including *trans* content of commercial bakery products manufactured in Spain, *J Agric Food Chem* 47(5): 2040-2043, 1999
- 81) Pfalzgraf A, Timm M, Steinhart H. Amounts of *trans* fatty acids in foods. *Z Ernährungswiss* 33: 24-43, 1993
- 82) Enig MG, Atal S, Keeney M, Sampugna J. Isomeric *trans* fatty acids in the U. S. Diet, *J Am Coll Nutr* 9: 471-486, 1990

- 83) Hunter JE, Applewhite TH. Reassessment of *trans* fatty acids availability in the U. S. Diet, *Am J Clin Nutr* 54: 363-369, 1991
- 84) Allison DB, Egan SK, Barraj LM. Estimated intakes of *trans*-fatty acids and other fatty acids by the U. S. Population, *J Am Dietetic Assoc* 99: 66-174, 1999
- 85) Smiciklas-Wright H, Mitchell DC, Mickle SJ. Foods commonly eaten in the United State: Quantities per eating occasion and in a day, 1994-1996, Department of Agriculture NFS Report 96-5:pre-publication version, i -xii, 1-8, 202-204, 216-244, and 252, 2002
- 86) Lemaitre RN, King IB, Patterson RE, Psaty BM, Kestin M and Heckbert SR. Assessment of *trans*-fatty acid intake with a food frequency questionnaire and validation with adipose tissue levels of *trans*-fatty acid. *Am J Epidemiol* 148(11): 1085-1093, 1998
- 87) Baylın A, Kabagambe EK, Siles X, Campos H. Adipose tissue biomarkers of fatty acid intake. *Am J Clin Nutr* 76(4): 750-757, 2002
- 88) Innis SM, King DJ. *Trans* fatty acids in human milk are inversely associated with concentrations of essential all-*cis* n-6 and n-3 fatty acids and determine *trans*, but not n-6 and n-3, fatty acids in plasma lipids of breast-fed infants. *Am J Clin Nutr* 70: 383-390, 1999
- 89) Aro A, Antoine JM, Pizzoferrato L, Reykdal O, Poppel G. *Trans* fatty acids in dairy and meat products from 14 European countries: The TRANSFAIR study, *J Food Composition & Analysis* 11: 150-160, 1998
- 90) Bolton-Smith C, Woodward M, Fenton S, McCluskey MK, Brow CA. *Trans* fatty acids in the Scottish diet. An assessment using a semi-quantitative questionnaire. *Br J Nutr* 74(5): 661-670, 1995
- 91) 식품공업협회. 식품. 식품 첨가물 생산실적, *식품공업* 154: 100-115, 1998
- 92) Oomen CM, Ocke MC, Feskens EJ, van Erp-Baart MA, Kok FJ, Kromhout D. Association between *trans* fatty acid intake and 10-year risk of coronary heart disease in the Zutphen Elderly Study: a prospective population-based study, *Lancet* 357: 746-751, 2001