

# 초임계유체를 이용한 축산식품 중의 콜레스테롤 제거

- 유지방을 중심으로 -

임 상 빈

(제주대학교 식품공학과)

## I. 서 론

버터는 다른 동물성 유지에 비하여 저급지방산을 다량 함유하고 있고 필수지방산의 원천이며 특히 풍미가 우수하여 버터 그 자체로서 또는 아이스크림, 초콜릿, 과자류 등 여러 종류의 식품에 첨가 원료로서 다양하게 이용된다. 그러나 버터는 농축된 에너지원이고 콜레스테롤을 0.25~0.4% 함유하고 있으며 약 65%의 포화지방산으로 구성되어 있고 또한 -40~40℃의 넓은 융점범위를 가지고 있어서 퍼짐성(spreadability)이 나쁘다는 이유 등으로 매년 소비량이 감소 추세에 있다. 따라서 버터의 소비량을 증진시키기 위해서는 유지방을 불포화 지방산의 비율이 높고 각 첨가식품에 필요로 하는 물리, 화학적 특성을 갖는 분획으로 분별하여야 된다. 또한 성인병의 원인이 되고 있는 콜레스테롤도 제거하여야 한다.

지금까지 수소 첨가, 에스테르 교환반응 그리고 분별법 등에 의해 유지방의 분획 및 콜레스테롤 제거를 시도하여 왔으나 어느 방법도 문제점을 해결할 수 없었다(Arul et al., 1987). 일반적으로 저콜레스테롤 유제품을 만들기 위해서는 유지방 중의 콜레스테롤을 90% 이상 제거하여야 한다(Kosikowski, 1990).

본고에서는 유지방을 초임계이산화탄소를 이용하여 연속적으로 가공하는 경우에 있어서 추출, 분획 특성 및 흡착제를 이용하여 콜레스테롤을 제거할 때의 운전 특성을 소개하려고 한다.

### 1. 유지방의 화학적 조성 및 물리, 화학적 성질

무수유지방은 보통 버터보다 저장성이 높으며 식품공업에서 아이스크림, 초콜릿, 과자류, 튀김류, 쇼트닝 등에 풍미, 조직감을 부여하는 원천으로 이용되어 오고 있다. 유지방은 97~98%가 triglycerides이며 미량성분으로서 스테롤, 유리지방산 그리고 인지질 등을 함유하고 있다.

유지방은 주요 20여개의 지방산으로 구성되어 있으며 유지방의 물리, 화학적 성질은 구성지방산의 탄소수와 불포화도에 의해 결정된다. 유지방은 저급지방산을 특히 많이 함유하고 있어서 유제품에 특유의 풍미를 부여한다. 전 지방산의 66%가 포화지방산이며 주요 지방산으로서는 팔미틴산과 올레인산으로서 각각 전체 지방산의 20~30%이다.

유지방의 밀도, 굴절을 그리고 점도는 온도증가에 따라 감소한다. 상온에서 유지방의 요오드가는 26~42, 검화가는 220~240, 그리고 표면장력(dyne/cm)은 34이다.

유지방의 물리, 화학적 성질 즉 융점, 퍼짐성 그리고 물성 등은 그 구성 지방산의 탄소수, 포화도, 구조 등에 기인한다. 유지방은 -40~40℃에서 녹으며 그 중간 온도에서는 고상과 액상의 혼합물로서 존재한다. 상온에서 70%이상이 고상으로 존재하기 때문에 빵, 크래커 등에 spread로 이용하는 경우 퍼짐성이 좋지 못하다는 단점을 가지고 있다.

유지방의 인지질은 단백질이나 cerebroside와 결합하여 fat globule membrane중에 존재하며 양성을 띠고 있으며 강한 표면활성을 갖고 있다. 이와 같은 성질은 oil-in-water와 water-in-oil에 멸전을 안정화 시키는 역할을 한다. 유지방은 특유의 풍미와 향미를 갖고 있는데 이는 저급지방산, 알데히드, 케톤, 락톤 등에 기인한다 (Walstra and Jenness, 1984).

## 2. 콜레스테롤의 화학

유지방 중의 스테롤은 비검화물로서 그 중 95%는 콜레스테롤이다. 콜레스테롤의 화학식은  $C_{27}H_{46}OH$ 이며 분자량은 386, 융점은 148℃이다. 유제품 중 무수 유지방중의 콜레스테롤은 256 mg/100g으로 가장 높다 (USDA, 1976). 유지방 중의 콜레스테롤은 3가지 형태로 존재하는데 유리상태, fat globule의 lipoprotein과 결합상태 그리고 콜레스테롤 에스터이다.

## 3. 유지방의 분획법

유지방은 비록 유제품에 우수한 풍미, 향미, 조직감을 부여해 주지만, 유지방의 특이한 물리적 성질 즉 결정화, 낮은 퍼짐성, 넓은 범위의 융점 등은 여러 가지 식품에 첨가원료로 사용하는 경우 여러가지 문제점을 안고 있다. 유지방의 물리적 성질들은 유제품의 물성에 지대한 영향을 미치기 때문에 물리적 (분별, 조직화, 다른 유지와 혼합) 및 화학적 (에스테르 교환반응, 수소첨가반응, 탈수소반응) 방법에 의하여 유지방을 변형시키려는 다양한 시도가 되어 왔다. 그러나

에스테르 교환반응, 수소첨가 반응 등은 가공과정 중 풍미와 비타민 등이 유실된다는 단점을 지니고 있다.

유지방은 물리적 성질 및 분자량이 다른 다양한 triglycerides로 구성되어 있다는 그 물질 자체의 특성 때문에 이러한 성질을 이용한 분별방법이 유지방의 물리화학적 변형에 유리하리라고 기대된다. 이와 같은 분별법에는 용융결정법 (Melt Crystallization), 용제분별법 (Solvent Fractionation), 단단증류법 (Short-Path Distillation) 등이 있다 (Arul et al., 1988b). 이렇게 하여 물리, 화학적 성질이 다른 여러 형태의 분획으로 분별을 할 수 있다면 유지방의 이용을 극대화시킬 수 있을 것이다. 이와 같이 변형된 물리, 화학적 특성을 가지는 분획의 이용 분야는 여러 연구자들에 의하여 제시되어 왔다. 저급지방산을 다량 함유하고 있는 연질유지 분획은 유아용 식품 또는 환자용 식품 등에 필요한 즉석 에너지 원천으로 사용이 가능하다. 또한 저융점 버터 및 마가린, 쇼트닝의 배합용이나 frying oil로 이용이 가능하다. 반고형 유지 분획은 과자류 및 아이스크림 제조시 원료로 사용이 가능하고, 고형유지 분획은 pastry나 비스킷 제조, 고융점 버터 제조에 이용이 가능하다 (IDF, 1985).

#### 4. 용융결정법

용융결정법은 유지방을 분획하는 방법으로 산업체에서 현재 이용되고 있으며, 이는 여러 종류의 triglycerides의 융점 차이에 근거를 둔 방법이다. 먼저 용해시킨 유지방의 온도를 낮추어 고형유지 분획을 여과 등의 분리조작에 의해 분리한 후 다시 액체상의 온도를 낮추어 반고형유지 분획을 제거한 후 연질유지 분획을 얻는다. 이 때 연질유지 분획은 저급지방산, 색소, vitamin A, 그리고 콜레스테롤 분획들이 농축되어 있고, 고형유지 분획은 고급지방산으로, 반고형유지 분획은 중급지방산으로 농축되어 있다.

이 방법은 또한 면실유, 대두유, 미강유 등의 식물유에서 미량의 고융점 glyceride나 wax류를 제거하여 salad oil을 제조할 때 많이 이용되고, 또 팜유, 우지, 돈지 등의 반고형 유지에서도 이 방법에 의해 고형유지와 연질유지로 분별한다. 그러나 이 방법은 시간이 오래 걸린다는 점, 결정부에 액체부가 혼합되어 분리되는 등의 결점이 있으나 비교적 설비비용이 적게 들기 때문에 많이 이용되고 있다 (Norris et al., 1971).

## 5. 용제 분별법

적당한 용제(유기용매)에 유지를 용해하여 이것을 냉각시키므로서 고히유지를 결정화시켜 분별을 할 수 있다. 용제로 부터 석출되는 결정은 일반적으로  $\beta$  형 또는  $\beta$  형과 같이 안정한 것이 얻어져 용융결정법보다 여과하기 쉬운 결정이 얻어진다. 일반적으로 유기용매에 대한 지방산의 용해도는 온도가 낮을수록 저하하며, 탄소수가 증가하면 감소하고 이중결합이 증가할수록 증가한다. glycerides의 용해도도 구성 지방산의 성질에 의해 지배된다. 용제분별에 사용하는 유기용매로는 hexane, acetone 등의 탄화수소계, alcohol계, ketone계가 많다.

일반적으로 용제분별법은 안정한 결정이 얻어져 여과가 쉽고, 혼합물의 점도가 낮으므로 연속화가 가능한 점 등의 장점이 있으나, 유기용매 사용에 따른 잔류문제, 시설이나 안전관리면에서 어려운 점이 많아 공업적으로 많이 이용되고 있지 않다 (Chen and de Man, 1966).

## 6. 단단증류법

이 방법은 triglycerides 분자들의 휘발점 차이를 이용하여 이들 분자들을 진공에서 증발시켜 분별한다. 이 방법의 단점은 온도가 높다는 점이다. 높은 온도에서는 triglycerides들이 분해, 중합반응을 일으키는 경우가 있다 (IDF, 1991).

이러한 문제들을 해결하는 방법으로 시도되어온 것이 초임계유체 추출법이다. 그 이유는 용매, 용질의 분리가 단순하며, 낮은 온도에서 가공이 가능하고, 기체상과 유사한 확산계수, 점도 등의 우수한 전달물성을 가지며, 액체상과 비슷한 밀도, 즉 용매 효과를 가지며, 이산화탄소를 용제로 사용하는 경우 무해하다는 데 있다(Lim et al., 1993-1994; Rizvi et al., 1989, 1992).

## 7. 초임계유체 추출법에 의한 유지방의 추출

유지방의 추출, 분리 및 콜레스테롤 제거를 위한 초임계유체 가공공정이 경제적으로 타당성을 갖기 위해서는 단위시간당 유지방의 추출량을 극대화 시켜야 한다. 연속식 초임계유체 추출 분획장치는 그림 1과 같다.

무수유지방이 일단추출/사단분리와 이단추출/삼단분리에 의해 분획되어졌다. 이 때 추출

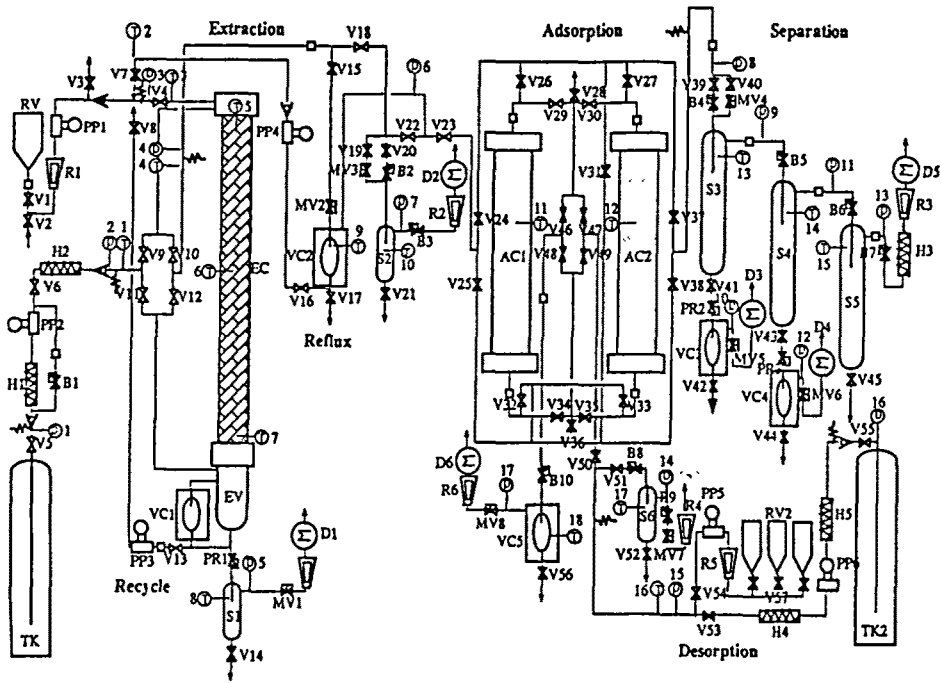


그림 1. Schematic diagram of continuous supercritical fluid fractionation system (AC; adsorption column, B; back pressure regulator, D; dry test meter, EC; extraction column, EV; extraction vessel, H; heat exchanger, MV; metering valve, P; pressure reading, PP; high pressure pump, PR; pressure regulator, R; rotameter, RV; AMF reservoir, T; temperature reading, TK; carbon dioxide cylinder, V; on/off valve, VC; view cell).

및 분리조건은 온도가 40~80℃ 이고 압력은 3,500~1,000 psi였다. 추출칼럼에서 고분자 triglycerides는 추출잔유물로서 분리되고 초임계 이산화탄소에 용해된 저분자 triglycerides들은 칼럼 상부를 통과한 후 각 분리조에서 온도와 압력의 조건에서 분획되었다.

### 8. 초임계유체 추출 분획의 지방산 조성

표 1은 위 공정에서 얻어진 분획들의 지방산 조성을 보여주고 있다. 저급 ( $C_4 \sim C_8$ ) 및 중급 ( $C_{10} \sim C_{12}$ ) 지방산들은 추출된 분획들 ( $S_2 \sim S_4$ )에 농축되어 있고, 그 양은 분리조의 압력이 증

표 1. Fatty acid composition(mol%) of AMF and its SC-CO<sub>2</sub> fractions

Operation	First extraction				Second extraction		
	AMF	Ext	R <sub>1</sub>	S <sub>1r</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
S /F(g /g)		61				70	
Extract loading(wt%)		1.3				1.1	
Fat recovery(%)		101				96	
Temp. (K)	313	313	333	353	353	333	
Press(bar)	241	241	241	207	172	69	
Fat yield(wt%)	82	19	12	27	24	15	
C <sub>4</sub>	6.8	8.8	1.0	1.9	9.2	11.4	12.1
C <sub>6</sub>	3.5	4.3	0.7	1.4	4.6	5.7	5.7
C <sub>8</sub>	1.5	1.7	0.4	0.7	1.7	2.1	2.3
C <sub>10</sub>	3.2	3.5	1.2	2.0	3.5	3.7	4.2
C <sub>12</sub>	3.6	4.0	1.9	2.7	4.0	4.0	4.7
C <sub>14</sub>	11.4	12.3	8.4	10.3	12.3	12.3	13.5
C <sub>16</sub>	28.9	29.8	28.5	29.5	30.3	29.9	29.3
C <sub>18 0</sub>	12.0	10.0	18.4	14.8	9.6	8.7	7.7
C <sub>18 1</sub>	22.5	19.1	32.2	28.8	18.3	16.2	14.6
C <sub>18 2</sub>	2.7	2.3	3.4	3.4	2.3	2.0	1.8
C <sub>18 3</sub>	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
C <sub>4/8</sub>	11.8	14.9	2.2	4.1	15.6	19.3	20.2
C <sub>10/12</sub>	6.8	7.5	3.1	4.8	7.6	7.7	8.9
C <sub>14/18</sub>	81.2	77.4	94.6	90.9	76.7	72.9	70.7
Unsat.	27.8	24.1	38.2	35.1	23.3	20.7	18.8
Sat.	53.4	53.3	56.4	55.7	53.4	52.1	51.8
Unsat. /sat.	0.52	0.45	0.68	0.63	0.44	0.40	0.36

가함에 따라 감소함을 보여주고 있다. 반면, 고급지방산 (C<sub>14</sub>~C<sub>18</sub>) 은 추출잔유물 분획들 (R<sub>1</sub> and S<sub>1r</sub>)에 상당량 농축되어 있고 그 양은 분리조의 압력이 감소함에 따라 감소함을 알 수 있다. 한편 불포화지방산들은 추출잔유물 분획에 농축되어 있고, 포화지방산의 함량은 각 분획들에 있어서 거의 일정했다. 이단추출 시험구가 단단추출 시험구보다 분획들의 지방산 조성에 있어서 차이가 컸다. 따라서 더 많은 칼람을 사용한다면 (예, 다단추출) 지방산 조성에 있어서 차이가 더 큰 분획들을 얻을 수 있다고 기대된다.

### 9. 초임계유체 추출 분획의 melting thermogram

여러 종류의 triglycerides가 각 분획들의 물리적 성질에 미치는 영향을 평가하기 위하여 무수 지방산과 이의 초임계 이산화탄소 분획들의 열특성을 미분열량계(Differential Scanning Calorimeter)에 의해 측정된 결과는 그림 2와 같다.

무수유지방은 230 K에서 부터 녹기 시작하여 290 K에서 최고를 나타냈으며 293~311 K에서 고용용 글리세라드 (high-melting glycerides)가 shoulder로 나타나고 있다. 모든 온도 기록에

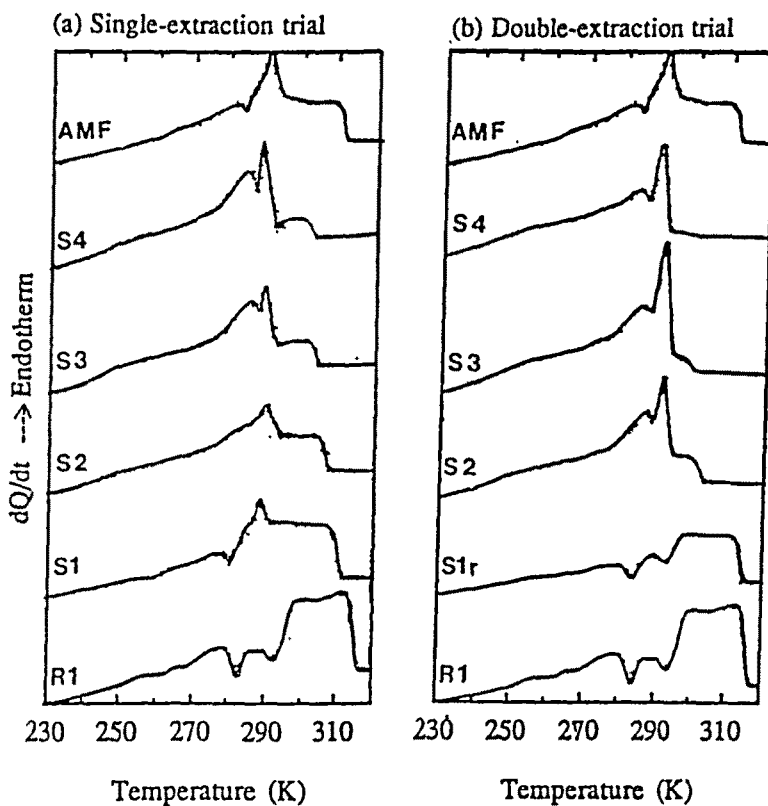


그림 2. Melting thermograms of AMF and its SC-CO<sub>2</sub> fractions obtained in the single-extraction trial and the double-extraction trial.

있어서 상한 온도 범위는 뚜렷하지만, 하한 온도 범위는 뚜렷하지 않음을 보여 주고 있다. 각 커브에서 주요 피크는 지방의 용융시 잠열이 최대인 지점에서 나타남을 볼 수 있다. 추출잔류물 분획인 경우 283 K에서 발열전이 즉, 바탕선이 밑으로 내려감을 알 수 있다. 그 이유는 덜 안정한 결정형태에서 더욱 안정된 형태로 다형전이가 일어나기 때문이다.

모든 분획들은 용융온도 기록에서 보면, 조그만 피크로서 저용융 지역 (Low-melting zone), 주요 피크로서 중간용융 지역 (Intermediate-melting zone), 그리고 넓은 shoulder로서 고용융 지역 (High-melting zone) 세 부분으로 특징지을 수 있었다. 각 지역에서의 글리세라이드 비율로 나타내면 유지방 분획간의 차이를 뚜렷이 알 수 있다. 표 2에서 보면 231~288 K에서 녹는 저용융 글리세라이드 (Low-Melting Glycerides, LMG)의 비율은 원료 중의 29%와 비교해 볼 때 추출 분획(S<sub>2</sub>~S<sub>4</sub>)에서 일단추출 시험구인 경우 44~72%였고, 이단추출 시험구인 경우 61~81%였다. 추출잔류물인 경우 293~317 K에서 녹는 고용점 글리세라이드 (High-melting glycerides, HMG)인 경우 원료에서는 38%인데 반하여 73~75%였다. 282~295 K에서 녹는 중간 용점 글리세라이드 (Medium-melting glycerides, MMG)인 경우 원료 중의 33%에 비하여 7~30%임을 알 수 있다. 이렇게 감소되는 이유는 추출물에서 MMG가 LMG로, 추출잔류물에서는 MMG가 HMG로 이동하기 때문이다.

**표 2. Melting characteristics of AMF and its SC-CO<sub>2</sub> fractions**

Fractions	Low-melting		Medium-melting		High-melting	
	Temp range	Area	Temp range	Area	Temp range	Area
AMF	252~283	29	283~293	33	293~311	38
<u>Single~extraction trial</u>						
R <sub>1</sub>	253~283	18	284~294	7	294~317	75
S <sub>1</sub>	260~282	20	282~293	26	293~313	54
S <sub>2</sub>	231~288	44	288~295	30	295~309	26
S <sub>3</sub>	231~288	70	288~293	19	293~305	11
S <sub>4</sub>	244~287	72	287~292	16	292~303	12
<u>Double~extraction trial</u>						
R <sub>1</sub>	253~284	18	284~294	7	294~317	75
S <sub>1r</sub>	261~283	13	283~293	14	293~314	73
S <sub>2</sub>	242~288	61	288~295	23	295~303	16
S <sub>3</sub>	239~287	66	287~294	23	294~300	11
S <sub>4</sub>	238~285	81	285~292	16	292~297	3



특히 추출물 ( $S_2 \sim S_4$ ) 중 292~309 K에서 녹는 HMG인 경우 원료중의 38%에 비하여 일단추출 시험구인 경우 26~12%인 반면, 이단추출 시험구인 경우 16~3%로서 매우 적었다. 따라서 분획들 간의 차이는 지방산 조성에서 보다 용융 온도 기록에서 더욱 더 뚜렷함을 보여주고 있다.

### 10. 초임계유체 추출 분획의 고형유지 함량

그림 3은 각 분획들의 고형유지 함량을 보여주고 있다. 고형유지 함량은 온도 증가에 따라 "S"자형으로 감소됨을 알 수 있다. 모든 분획들에 있어서의 고형유지 함량은 원료 중의 그것과 비교해 볼 때 뚜렷한 차이를 보여주고 있다. 특히 추출잔류물 중의 고형유지 함량은 동물성 유지로부터 수소 첨가 반응에 의해 만들어진 pastry용 유지와 비슷함을 보여주고 있다. 고형유지 함량은 유지방의 경도 및 피집성을 결정하는 중요한 변수이기 때문에 그림에서와 같은 온도변화에 따른 고형분 함량 변화 자료는 어떤 분획들이 어떤 식품, 예를 들면 아이스크림, 초콜릿, pastry 그리고 spread에 적당한가를 결정하는 데 중요한 자료가 된다.

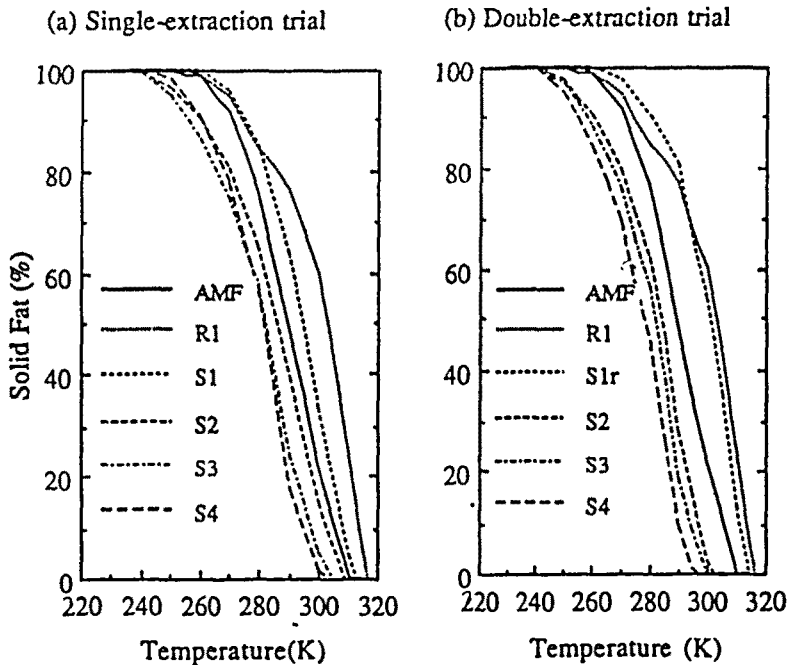


그림 3. Solid fat content of AMF and its SC-CO<sub>2</sub> fractions.

## 11. 초임계유체 추출 분획의 기타 물리, 화학적 성질

이단추출 시험구에 의해 얻어진 분획들의 물리, 화학적 특성을 표 3에 나타내었다. 녹는 점은 297~317 K로서 각 분획간에 20℃의 차이를 보여주고 있다. 약 67%의 분획이 원료 무수유지방보다 낮은 온도에서 녹음을 알 수 있다.

지방의 불포화도를 나타내는 요오드가는 추출잔류물에서 높았고 분자량과 반비례하는 검화가는 추출물에서 높았다. 녹는 점과 검화가 사이에는 높은 상관관계를 보였지만, 녹는 점과 요오드가 사이에는 상반관계를 나타내었다. 추출잔류물의 높은 요오드가는 지방산 조성 데이터로 볼 때 불포화지방산이 많이 함유되어 있다는 사실과 일치하였다. 그러나 이에도 불구하고 추출잔류물의 녹는 점이 높다는 것은 고급포화지방산들이 많이 함유되어 있기 때문이다.

표면장력은 일반적으로 사슬길이가 길어짐에 따라 높은 값을 갖는다. 추출분획들의 표면장력은 원료 (AMF)와 비교하여 볼 때 모두 낮았다. 표면장력이 낮은 유지들은 카로테노이드, 토크페롤, 인지질 그리고 스테롤들보다 흡착제에 대한 흡착력이 적음이 보고되어져 있다. 따라서 이러한 성질은 유지방으로 부터 흡착제를 이용하여 콜레스테롤을 제거할 때에 콜레스테롤 만을 흡착제에 선택적으로 흡착시킬 수 있다는 장점을 부여한다. 한편, 고급지방산으로 구성된 추출잔류물 분획들의 표면장력들도 원료의 그것과 비교해 볼 때 낮았다. 그 이유는 표면활성제로서의 역할을 하는 극성인 인지질이 이산화탄소에 용해되지 않기 때문에 추출잔류물 중에 잔존하므로서 표면장력을 낮추는 역할을 하기 때문이다.

**표 3. Yield and selected physico-chemical properties of AMF and its SC-CO<sub>2</sub> fractions**

Fractions	Fat yield (wt%)	Melting point (K)	Iodine value	Saponification value	Surface tension (dyne/cm)
AMF	100	311	35.2	228	32.0
R <sub>1</sub>	19.5	317	44.3	204	28.3
S <sub>1r</sub>	12.1	314	39.2	217	26.4
S <sub>2</sub>	27.6	303	29.8	246	24.9
S <sub>3</sub>	24.2	300	27.3	252	24.4
S <sub>4</sub>	15.3	297	25.3	257	23.6

## 12. 흡착제를 이용한 유지방의 콜레스테롤 제거

표 4는 초임계유체 추출과 분리공정 사이에 흡착 칼럼을 삽입하여 유지방을 가공한 결과 콜레스테롤 제거율을 보여주고 있다. 흡착제로서는 60~100 mesh의 마그네시움 실리케이트를 사용하였다.

흡착제를 사용하지 않을 경우 콜레스테롤은 추출분획들 ( $S_2 \sim S_4$ )에 농축되었다. 그 이유는 콜레스테롤이 이산화탄소에 용해성이 높은 저급/중급지방산들에 대한 친화력이 크기 때문이다. 결과적으로 추출잔류물 중의 콜레스테롤은 62% 감소되었고 산출량은 원료의 19%였다. 흡착칼럼을 연결한 경우 추출분획들의 콜레스테롤 제거율은 80~86%였고, 이 때 격변량 (Break-through quantity)은 0.93 g/g였다.

이 결과에 의거하여 볼 때 연속식 초임계 분획 공정은 흡착칼럼과 동시에 사용시 콜레스테롤이 제거된 그리고 특별한 물리, 화학적 성질을 갖는 분획들로 분리할 수 있음을 보여주고 있다.

표 4. Cholesterol content of AMF and its SC-CO<sub>2</sub> fractions

	AMF	R <sub>1</sub>	S <sub>1r</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	A
Temp. (K)	—	313	333	353	353	333	313
Press(bar)	—	241	241	207	172	69	241
<u>Without in-line adsorption</u>							
Fat yield(wt%)	100	19.5	12.1	27.6	24.2	15.3	—
Chol. (mg/100g)	239	90	110	227	265	298	
Chol. change(%)	0	-62	-54	-5	+11	+25	—
<u>With in-line adsorption</u>							
Fat yield(wt%)	100	19.5	15.6	27.5	11.6	15.7	9.5
Chol. (mg/100g)	239	90	110	33	47	33	1384
Chol. change(%)	0	-62	-54	-86	-80	-86	+479

## II. 결 론

최근 새로운 분리공정 기술로써 관심의 대상이 되고 있는 초임계유체 추출법의 기본원리, 식품에의 응용에 및 유지방의 분획 및 콜레스테롤 제거에 대하여 소개하였다. 현재초임계유체 추출법을 이용한 개선된 가공방법의 개발을 위하여서는 꾸준하고 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 특히 기존의 공정과 비교하여 우위성 있는 대상물을 선정함과 동시에 이에 따르는 문제점을 해결하기 위한 많은 데이터를 모으는 노력이 필요하리라 생각된다. 이를 공업화 하기 위해서는 고압상태에서의 상평형이론 및 초임계유체 추출 실험장치의 조작 경험과, 고압기술에 대한 기본지식 및 고압장치에 대한 실무경험과, 초임계유체 추출법을 이용한 프랜트의 최적화를 위한 공정개발들이 우선적으로 선행되어야 한다.

## III. 참고 문헌

1. Arul, J., Boudreau, A., Makhlof, J., Tardof, R. and Sahasrabudhe, M. R. : Fractionation of AMF by Supercritical Carbon Dioxide. *J. Food Sci.*, 52, 1231 (1987).
2. Arul, J., Boudreau, A., Makhlof, J., Tardof, R. and Bellavia, T. : Fractionation of AMF by Short - Path Distillation. *JAOAC*, 65, 1642 (1988a).
3. Arul, J., Boudreau, A., Makhlof, J., Tardof, R. and Grenier, B. : Distribution of Cholesterol in Milk Fat Fractions. *J. Dairy Res.*, 55, 361 (1988b).
4. Chen, P. C. and de Man, J. M: Composition of Milk Fat Fractions obtained by Fractional Crystallization from Acetone, *J. Dairy sci*, 49, 612 (1966).
5. IDF : Utilization of Milk Fat, *Bull. Int. Dairy Fed.*, No. 260, Brussels, Belgium (1991).
6. Kaufmann, V. W., Biernoth, G., Frede, E., Merk, W., Precht, D. and Timmen, H. : Fractionation of butterfat by Extraction with Supercritical Carbon Dioxide. *Milchwissenschaft*, 37, 92 (1982).
7. Kosikowski, F. V. : "Cholesterol-Free" Milks and Milk Products : Limitations in Production and Labeling, *Food Technol.*, 44, 130 (1990).
8. Lim, S. and Rizvi, S. S. H. : Continuous supercritical fluid processing of anhydrous

- milk fat in a packed column. *J. Food Sci.*, 60(5), (1995).
9. 임상빈, 좌미경: 초임계이산화탄소에 의한 당근 중의 베타 카로틴 추출. *한국식품과학회지*, 27(3), 414 (1995).
  10. Lim, S. and Rizvi, S. S. H. : Performance of packed columns for continuous countercurrent supercritical CO<sub>2</sub> processing of anhydrous milk fat. *Food Biotechnol.*, 4(2), 122(1995).
  11. 임상빈, 김수현, 고영환, 오창경, 오명철, 고용구, 박제석: 초임계이산화탄소에 의한 톱과 알로에 추출물의 수율 및 항균활성. *한국식품과학회지*, 27(1), 68 (1994).
  12. Lim, S. and Rizvi, S. S. H. : Selected physico-chemical properties of modified milk fat fractions by continuous supercritical CO<sub>2</sub> processing. *Foods and Biotechnol.*, 3(3), 175 (1994).
  13. Lim, S. and Rizvi, S. S. H. : Continuous cocurrent extraction of milk fat by supercritical CO<sub>2</sub>. *한국영양식량학회지*, 23(3), 459 (1994).
  14. Lim, S. and Rizvi, S. S. H. : Adsorption of cholesterol from milk fat in supercritical CO<sub>2</sub>. *Cheju Univ. J. (Natural Sci. )*, 36, 329(1993).
  15. Lim, S. and Rizvi, S. S. H. : Modification of beef tallow by supercritical CO<sub>2</sub>. *Cheju Univ. J. (Natural Sci. )*, 36, 321(1993).
  16. Lim, S. and Rizvi, S. S. H. : Modification of milk fat by supercritical CO<sub>2</sub>. *Foods and Biotechnol.*, 2(2), 64 (1993).
  17. Lim, S. : Performance characteristics of a continuous supercritical CO<sub>2</sub> separation system coupled with adsorption. Ph. D. Thesis, Cornell Univ., Ithaca, New York (1992).
  18. Norris., Gray, I. K., McDowell, A. K. R. and Dolly, R. M., The Chemical Composition and Physical Properties of Fractions of Milk Fat obtained by a Commercial Fractionation Process, *J. Dairy Res.*, 38, 179 (1971).
  19. Rizvi, S. S. H., Bernado, A. L., Zollweg, J. A. and Daniels, J. A., : Supercritical Fluid Extraction ; Fundamental Principles and Modeling Method, *Food Technol.*, 40 (6), 55 (1986a).
  20. Rizvi, S. S. H., Daniels, J. A., Bernado, A. L. and Zollweg, J. A. : Supercritical Fluid Extraction ; Operating Principles and Food Applications, *Food Technol.*, 40(7), 57.

(1986b).

21. Rizvi, S. S. H., Lim, S., Nikoopour, H., Singh, M. and Yu, Z. : Supercritical Fluid Processing of Milk Fat, in *Engineering and Food*, vol. 3, Spiess, W. E. L. and Schubert, H., Eds., Elsevier Applied Science, New York, P. 145 (1989).
22. USDA : *Composition of Foods : Dairy and Egg Products*, Agriculture HB 8-1, Agriculture Research Service (1976).
23. Walstra, P. and Jenness, R. : *Dairy Chemistry and Physics*, John Wiley and Son Inc., New York (1984).