

# 재구성 지질의 생산과 이용

## Production and Application of Structured Lipids

신정아, 이기택\*  
Jung-Ah Shin, Ki-Teak Lee

충남대학교 식품공학과  
Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

### I. 재구성지질의 의미

지질(lipids)은 상온에서 액체인 유(油, oil)와 고체 혹은 반고체인 지(脂, fat)를 포함한 광범위한 일련의 지용성 화합물들을 총칭한다. 유지(fats and oils)는 크게 지방산과 글리세롤의 에스테르 결합으로 이루어진 중성지방(neutral fats, triacylglyceride)과 그 유도체들인 acylglyceride들(monoacylglyceride, diacylglyceride), 그리고 그 구성성분인 지방산(fatty acid)으로 이루어져 있다(그림 1).

이외에 식품에서 유화제로 이용되고 있는 인지질(phospholipid), 인체 내 대사과정에서 중요한 역할을 담당하고 있는 sterol 류(cholesterol, phytosterol) 등으로 구분된다. 중성지방은 자연계에 존재하는 대표적인 지질로서 식품에 풍미를 부여하며, 향미성분의 전달체 역할을 하기 때문에 튀김식품 및 제과, 제빵에서 필수적인 성분이다. 식생활의 간편화가 이루어지면서 지방을 함유한 가공식품의 섭취가 증가함에 따라, 중요한 3대 영양소 중의 하나인 지방은 비만과 심혈관계 질환을 일으키는 주요 원인 성분으로 인식하게 되었다. 이러한 인식은 지방이 탄수화물과 단백질(1 g 당 약 4 kcal)보다 더 높은 에너지원(1 g 당 약 9.2 kcal)을 내

며, 인스턴트식품을 비롯한 대부분의 가공식품에 함유되어 있는 지방을 과량 섭취하게 되면 인체 내에서 지방으로 저장되어 비만을 일으키는 특성에서 비롯되었다. 중성지방의 구성성분인 지방산은 탄소 수에 따라 장쇄지방산(long chain fatty acid, C<sub>14</sub>이상), 중쇄지방산(medium chain fatty acid, C<sub>8</sub>-C<sub>12</sub>), 단쇄지방산(short chain fatty acid, C<sub>4</sub>-C<sub>6</sub>)으로 나뉘며, 불포화 정도에 따라 포화지방산(saturated fatty acid)과 불포화 지방산(unsaturated fatty acid)으로 나뉜다. 인체 내 대사 작용에서 포화지방산이면서 탄소수가 C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub>인 지방산은 비만과 심혈관질환을 일으키는 주된 요인이 된다(1,2). 반면에 불포화지방산이면서 장쇄지방산인 linoleic acid(omega-6, C<sub>18:2</sub>)와 alpha-linolenic acid(omega-3, C<sub>18:3</sub>)는 인체 대사 작용에 꼭 필요한 필수 지방산이기 때문에 식품을 통하여 반드시 섭취해 주어야 하는 기능성 지방산들이다. 이 외에 인체 내 유효한 기능성을 갖는 건강기능식품원료로 등록되어 있는 공액 리놀레산(conjugated linoleic acid, CLA), Docosahexaenoic acid(DHA, C<sub>22:6</sub>)/ Eicosapentaenoic acid(EPA, C<sub>20:5</sub>) 등의 지방산들은 자연계에 특정 식품(우유와 등푸른 생선 등)에 소량 존재하고 있다. 또한, 이들은 식품으로서 활용이 가능한 중성지방의 형

Corresponding author: Ki-Teak Lee  
Department of Food Science and Technology, Chungnam National University  
99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 305-764, Korea  
Tel: +82-42-821-6729  
Fax: +82-42-822-6729  
email: ktlee@cnu.ac.kr

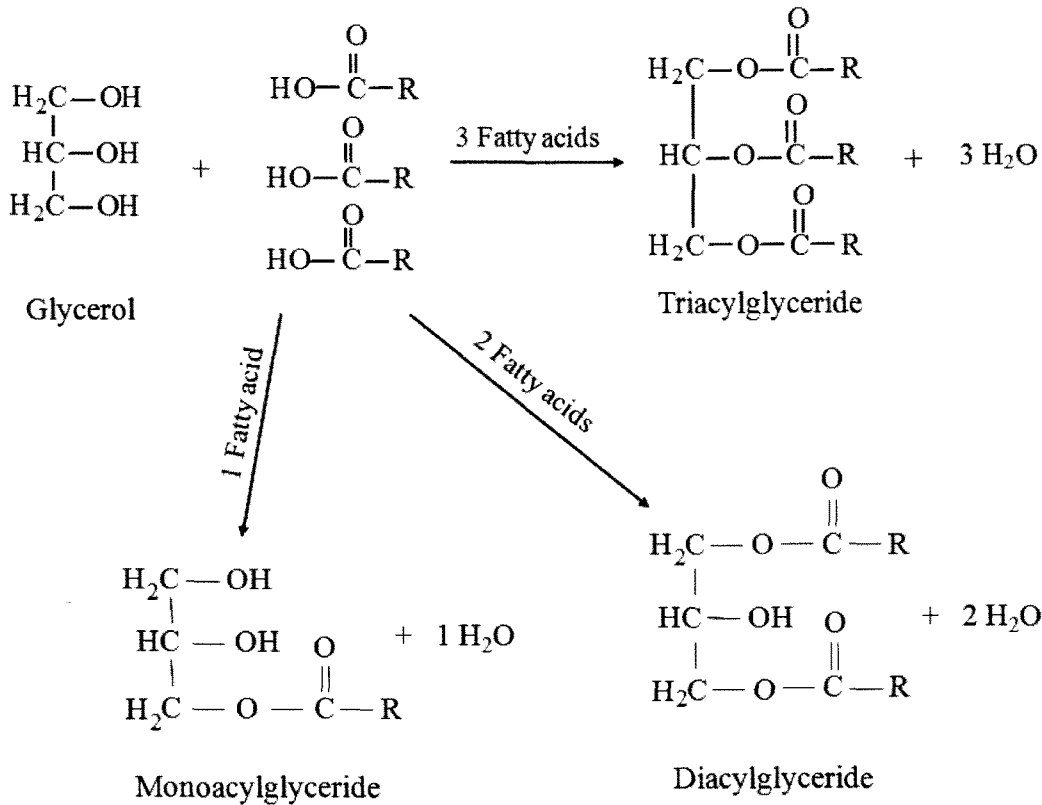


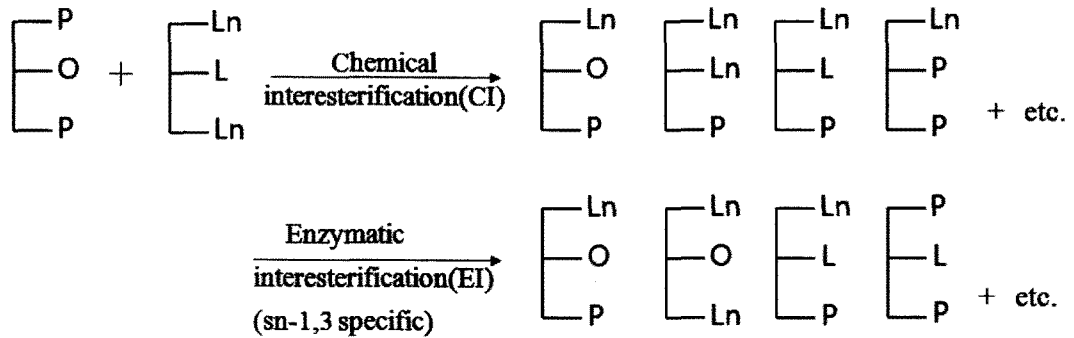
그림 1. 중성지방(triacylglyceride)과 그 유도체들(monoacylglyceride, diacylglyceride)의 형성

태가 아닌 일부 지방산 형태 등으로 존재하고 있어 식품으로 적용하는데 있어서 한계점이 있다. 따라서 중성지방이 갖는 감각기능(풍미, 튀김 적성 등)은 그대로 유지하면서 건강상 문제시 되는 지방, 즉, 포화지방산의 섭취 위험성을 줄이고, 필수지방산과 같은 기능성 지방산의 섭취를 늘리기 위한 방법이 모색되었다.

재구성지질(Structured lipid)은 자연계에 존재하는 중성지방의 glycerol backbone에 위치한 지방산들의 조성분포(*sn-1(3)*, *sn-2*)를 화학적 혹은 효소적 반응을 통하여 재조합하여 지방질의 물리적, 화학적, 영양학적 특성이 개선된 지질을 칭한다(3). 화학적 반응은 sodium methoxide, sodium/lithium hydroxide 등의 촉매제를 사용하며, 비교적 고온에서 수행되기 때문에 에너지 소비가 크며 부반응물이 생성되어 제거하기가 어려울 뿐만 아니라 유해한 촉매제의 잔존 및 이를 제거하기 위한 정제공정이 복잡하다는 단

점이 있다. 반면에 효소적 반응은 비교적 온화한 온도(40-60°C)에서 수행이 되어 부반응이 일어나지 않으며, 기질 및 위치 특이성을 나타내어 tailor-made fat 합성에 적절한 특성이 있다. 효소적 반응의 가장 주목할 만한 특성은 상업화된 고정화 효소(immobilized lipase)를 사용하여 재사용이 가능하며, 쉽게 회수가 가능한 환경친화적인 제품의 생산이 가능하다는 점이다. 이에 맞추어 최근 유지식품업계에서는 기능성유지소재의 합성을 위하여 상업화된 고정화 효소를 사용하고 있는 추세이다. 대표적인 예로 트랜스지방의 함량은 감소시키면서 트랜스지방이 식품에 부여하던 물성을 그대로 지닌 유지소재의 합성을 위하여 대표적인 유지 생산업체들에서는 시설도입 및 설비를 완공하여 제품을 출시하고 있는 추세이다. 재구성지질을 합성하기 위한 방법으로 interesterification, acidolysis, alcoholysis 등이 있다. Interesterification은 tri-

### Interesterification



Ln = alpha-linolenic acid, L = linoleic acid, O = oleic acid, P = palmitic acid

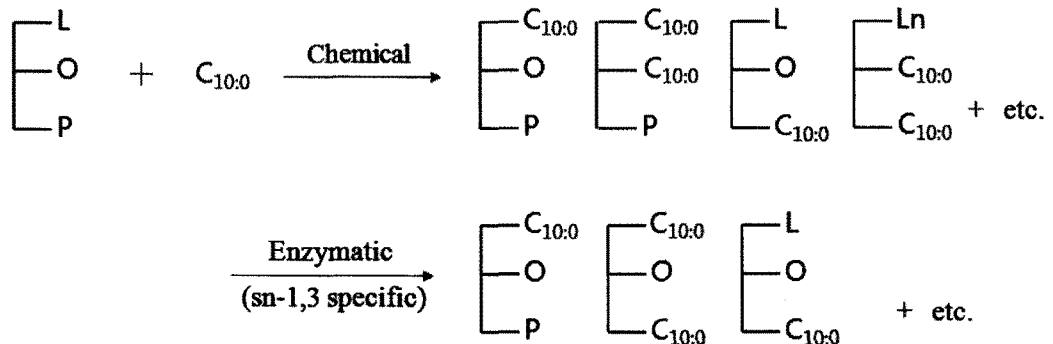
그림 2. 화학적·효소적 에스테르반응(CI, EI)의 예

acylglycerol 형태의 중성지방과 중성지방의 에스테르 반응으로 대표적인 예로 저 트랜스 마가린 혹은 쇼트닝의 합성을 위하여 식물유(예 대두유, 채종유, 옥배유 등)와 고체지(예 fully hydrogenated fat, palm stearin 등)를 반응할 때 사용된다. Interesterification은 크게 화학적 에스테르반응(chemical interesterification, CI)과 효소적 에스테르반응(enzymatic interesterification, EI)으로 구분할 수 있다. 그림 2에서 보여주는 것과 같이 위치특이성(sn-1,3 specific)을 갖는

효소적 에스테르반응은 sn-2 position에 위치한 지방산을 제외한 sn-1,3 position에 위치한 지방산들만을 서로 교환하는 반응이다. 반면에 화학적 에스테르반응은 지방산들이 서로 랜덤하게 위치에 상관없이 무작위로 교환되는 특징을 나타낸다(그림 2). 이러한 이유로 기질 및 반응 위치특이성을 갖는 특정효소를 이용한 에스테르반응은 신소재 기능성 유지 소재를 생산하는데 가장 보편적으로 사용되고 있다.

Acidolysis는 식물유에 특정 지방산을 함유코자할

### Acidolysis



C<sub>10:0</sub> = Capric acid, L = linoleic acid, O = oleic acid, P = palmitic acid

그림 3. 화학적·효소적 acidolysis 반응의 예

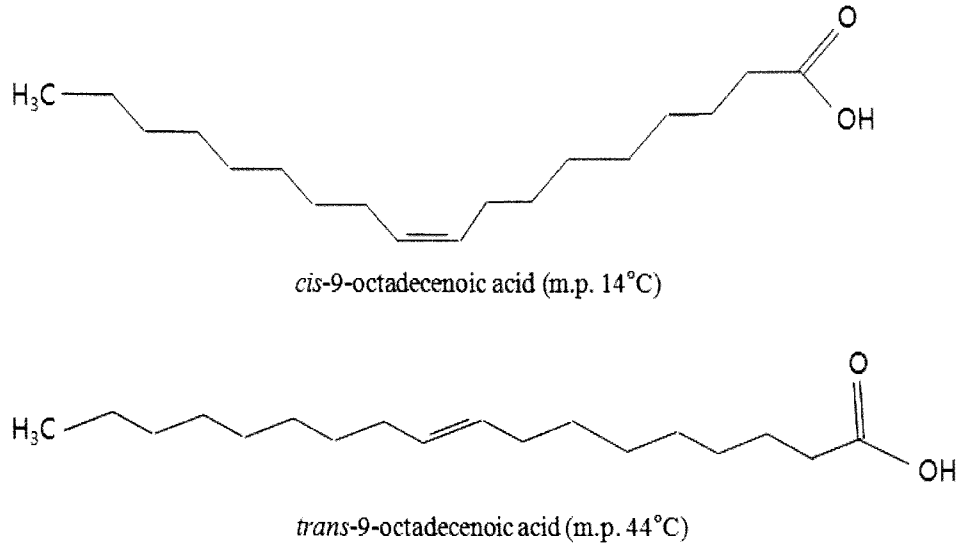


그림 4. 올레익산(oleic acid, *cis* C<sub>18:1</sub>)과 엘라이드산(elaidic acid, *trans* C<sub>18:1</sub>)의 구조

때 사용되는 반응이다(4,5). 예를 들어 식용유(대두유)에 영양학적인 이유로 중쇄지방산(capric acid, C<sub>10:0</sub>)을 함유하도록 할 때 중쇄지방산은 식품의 품질을 저하시키는 지방산의 형태로 되어있기 때문에 그대로 혼합하여 사용할 수 없다. 따라서 식용유의 중성지방과 중쇄지방산을 촉매제를 이용하여 반응하여 triacylglycerol의 형태로 합성하고자 할 때 이용된다. 효소적 acidolysis 반응은 기질 위치특이성을 갖는 고정화 효소를 이용하여 그림 3과 같이 특정지방산을 원하는 위치에 함유도록 할 수 있는 이점이 있다.

중성지방(triacylglycerol)에서 *sn*-2 position에 위치한 지방산은 인체 이용 효율이 높기 때문에 필수지방산과 같은 기능성 지방산이 *sn*-2 position에 위치한 재구성지질의 생산은 영양학적 효과를 기대할 수 있다(6). 대표적인 재구성지질에는 코코아버터대체지(cocoa butter substitutes), 모유지방대체지(human milk fat replacers) 등이 있다.

## II. 재구성지질의 생산

### 1. 기능성 저 트랜스 고체지의 생산

트랜스 지방은 유지식품의 발달 과정 중 과거 동물

성지방을 식물성지방으로 대체하면서 식품에 적용하기 위한 유지소재로서 생산되었다. 동물성지방은 상온에서 고체의 성질을 나타내는 포화지방과 심혈관질환 등의 주요인자가 되는 콜레스테롤의 함량이 높아 점차로 나쁜 인식을 갖게 되었다. 식물성 유지는 불포화지방의 함량이 높고 콜레스테롤 대신에 인체에 유익한 식물성스테롤(phytosterol)을 함유하여 점차로 well-being 식품으로 인식되기 시작하였다. 상온에서 액체인 식물성 유지를 마가린과 같은 반고체지의 물성을 나타내기 위해서는 유지의 불포화도를 낮춰 융점을 높여 상온에서 마가린과 같은 물성을 나타내야 했기 때문에 이것의 일환으로 유지에 수소를 첨가하여 불포화도를 낮추는 경화공정(hydrogenation)이 수행되었다. 자연계에 존재하는 유지의 불포화도를 나타내는 이중결합은 대부분 시스(*cis*)의 형태로 되어 구부러진 모양을 나타낸다(그림 4). 반면에 수소첨가 부분경화공정을 거치면서 시스결합이 일부 트랜스(*trans*) 형태로 전환되면서 그 구조가 포화지방과 유사한 직선상의 체인구조로 바뀌어 융점이 높게 되어 액체유가 반고체지가 된다(그림 4).

식물유(대두유, 옥수수유, 카놀라유 등)에 수소첨가 경화반응을 거치면서 융점을 제어함으로써 부분경화(partially hydrogenation)를 수행할 때 다량의 트랜스



스지방이 생성된다. 그 이후 동물성 지방에서만 유래되는 고체지방이 식물성유지로부터 생성이 가능하게 되어 식물성 마가린과 쇼트닝(튀김유) 등이 대두되면서 건강식품으로 각광받아왔다. 그러나 2000년대 접어들면서 트랜스지방이 포화지방보다 심혈관질환을 더 유도한다는 보고가 속출됨에 따라 미국, 덴마크를 비롯한 각국에서는 트랜스지방의 함량을 규제하기 시작하였고, 영양성분표시에 함량을 표기하도록 하였다. 우리나라에서도 2007년부터 식품 1회 제공량당 0.5 g 미만은 “0.5 g 미만”으로 표시할 수 있으며, 0.2 g 미만은 “0”으로 표시하도록 식품의약품안전청에서 식품 표시기준에 명시하여 규제하기 시작하였다. 단, 식용유지류의 경우 100 g 당 2 g 미만일 경우 “0”으로 표시하도록 기준을 정하였다.

트랜스지방이 부여하던 물성을 그대로 유지하면서 트랜스 지방을 저감화하기 위한 방안으로 식물유와 고체지(팜유계열, 대두극도경화유 등)의 효소적 에스테르반응이 대두되어 재구성지질이 생산되었다. 자연계에 존재하는 식물성 반고체지인 팜유(palm oil), 팜유분획유(palm stearin 등), 경화를 완전히 함으로써 트랜스지방이 없는 식물유 극도경화유(fully hydrogenated fat) 등을 이용하여 마가린, 쇼트닝 등의 고체지의 물성을 부여하였다.

국내 CJ(주)는 저 트랜스 마가린과 튀김유 합성을 위한 효소적 에스테르반응을 수행설비를 갖추었으며, 대두극도경화유(fully hydrogenated soybean oil)와 대두유(soybean oil)를 기질로 한 저 트랜스 마가린과

튀김유의 특허를 보유하고 있다(7,8). 네덜란드의 Unilever 사는 경화유를 사용하지 않고 분별하여(fractionation) 융점을 높인 팜유계열과 팜핵유(palm kernel oil)를 사용하여 에스테르반응을 통하여 저 트랜스 마가린을 생산하는 특허를 보유하고 있다(9,10). 미국의 Lodgers Croklaan 사는 마가린, 쇼트닝, 튀김유로 사용하기 위한 저 트랜스 유지를 Sans Trans™ 명의 제품으로 판매하고 있다. 따라서 국외 식품가공업체(Frito-Lay, Kraft, McDonald 등)를 비롯한 국내 식품가공업체에서는 트랜스 함량기준에 준하는 제품을 생산 및 판매하고 있는 실정이다.

효소적 에스테르화반응은 1세대에서 트랜스 저감화 효과를 나타낼 뿐만 아니라 2세대에서 기능성이 부여된 저 트랜스 고체지의 합성이 가능하게 해준다. 영양학적 기능성을 나타내는 지방산인 공액리놀레산과 중쇄지방이 함유된 저 트랜스 마가린과 같은 재구성지질의 생산이 그 예이다(11,12).

## 2. 저 칼로리 재구성지질의 생산

농축된 에너지원인 지방은 구성성분인 지방산의 탄소수에 따라 열량이 다르게 나타날 수 있다. 따라서 단쇄지방산 혹은 중쇄지방산을 함유한 재구성지질의 생산은 저 칼로리 유지소재로서 이용이 가능하다. 표 1에서는 저 칼로리를 목적으로 합성한 재구성지질이 산업적으로 제품화된 실례를 보여주고 있다. 미국의 Procter & Gamble 사는 아자유(coconut oil), 팜핵유, 채

표 1. 저 칼로리 재구성지질의 산업적 제품화 응용 예

Brend name	Application	Composition	Manufacturer
Caprenin®	Low-calorie fat (5 kcal/g), Cocoa butter replacer	TAG, C8:0, C10:0, C22:0	The Procter & Gamble Co. (USA)
Bohenin	Low-calorie fat (5 kcal/g), Chocolate, Confection	TAG, C22:0, C18:1	Fuji Oil Co., LTD. (Japan)
Salatrim/ Benefat™	Low-calorie fat, Confectionary fat	TAG, C2:0-C4:0, C18:0	Nabisco Foods Group (USA)/ Cultor Food Science, Inc. (USA)
Cooking Oil™	Low-calorie fat, Cooking oil	TAG, C8:0-C10:0	Nissin Oil Co., LTD. (Japan)
Enova oil™	Low-calorie fat, Cooking oil	80% Diacylglycerol	Archers Daniels Midland (ADM, USA) & Kao Corp. (Japan)

중경화유(hydrogenated rapeseed oil)을 화학적 에스테르반응을 통하여 behenic acid(C<sub>22:0</sub>), caprylic acid(C<sub>8:0</sub>), capric acid(C<sub>10:0</sub>)로 구성된 재구성지질을 합성하여 이를 Caprenin<sup>®</sup>으로 상품화하였다. 중성지방이 1g 당 9 kcal의 에너지를 내는데 반해 Caprenin<sup>®</sup>은 5 kcal를 제공하여 저 칼로리 대체로서 제과용 코팅, 부드러운 사탕, 코코아버터 대체지(cocoa butter substitute)로 이용할 수 있다(13). 일본의 Fuji 사에서는 Bohenin을 개발하였다. Bohenin은 sn-1,3 position에 behenic acid가 결합되어 있고, sn-2 position에는 oleic acid(C<sub>18:1</sub>)가 결합되어 있어 인체 내에서 5 kcal/g의 에너지를 제공한다(14). Bohenin은 oleic acid를 함유한 중성지방과 behenic ethylester를 효소적 에스테르반응을 통하여 생성되며, 코코아버터 대체지와 유사한 물성을 나타내어 antibloom agent로서 초콜릿 코팅제로 이용될 수 있다. 미국 Danisco Cultor Food Science사의 Benefat<sup>™</sup>은 Nabisco Food Group에 의해 개발된 일명 SALATRIM(short and long acyltriglyceride molecule)으로 stearic acid(C<sub>18:0</sub>)와 단쇄지방산(acetic-butyric acid, C<sub>2:0</sub>-C<sub>4:0</sub>)으로 구성되어 있는 재구성지질이다(그림 5). Benefat<sup>™</sup>은 초콜릿 향 코팅제(chocolate-flavored coatings), 카라멜, confectionary fat으로 이용되고 있다. 또한, 쿠키, 케이크, 파이, 머핀과 같은 제과용 쇼트닝으로 이용되는 Benefat B를 Danisco Cultor Food Science사에 의하여 상품화하고 있다. Benefat<sup>™</sup>은 단쇄지방산을 함유하고 있기 때문에 튀김유로는 적절하지 않는 특성이 있다. 고온에서 가열되어 튀겨지는 동안 유지의 가수분해가 일어나서 단쇄지방산 특유의 불쾌치(off-flavor)가 생성될 수 있기 때문에 이들은 대체로 제과용(confection)으로 흔히 이용된다.

일본의 Nissin 사에서는 중쇄지방산(C<sub>8:0</sub>-C<sub>10:0</sub>)을 10% 내외 함유하고 있는 Cooking oil<sup>™</sup>을 제조 판매하고 있다. 중쇄지방은 장쇄지방에 비하여 약 8.3 kcal/g의 에너지를 내기 때문에 저칼로리 유지로 자주 등장하는 원료이다.

저 칼로리 재구성지질의 하나로 중성지방(triacylglycerol)의 형태가 아닌 diacylglycerol(DAG)로 구성된 cooking oil(DAG oil)이 등장하였다. 1999년 일

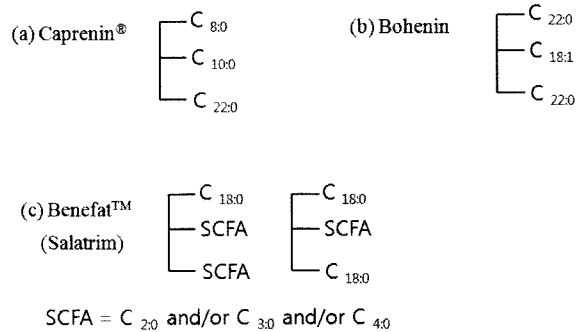
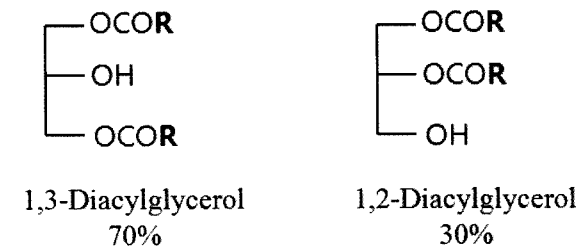


그림 5. Caprenin<sup>®</sup>, Bohenin, Benefat<sup>™</sup>(Salatrim)의 화학적 구조

본의 Kao사에 의해서 Econa로 처음 판매되었다. 미국에서 Kao사와 미국 ADM 사가 공동 판매한 Enova oil은 1,3-DAG와 1,2-DAG가 7:3의 비율로 80% 이상의 DAG로 구성되어 있는 재구성지질이다(15). Enova oil은 식물유(대두유, 옥수수유, 카놀라유, 올리브유)로부터 획득한 지방산들과 monoacylglycerol(MAG) 혹은 glycerol의 효소적 에스테르반응을 통하여 Lipozyme RM IM 을 촉매제로 사용하여 합성되었다. 주된 구성 지방산은 oleic acid, linoleic acid, alpha-linolenic acid 이다(그림 6).

주로 1,3-DAG과 1,2-DAG로 구성되어 있는 DAG oil은 인체 내 소장에서 대사될 때 glycerol과 지방산 혹은 1(3)-MAG으로 가수분해 된다. 이들은 흡수되어 중성지방(triacylglycerol, TAG)으로 재구성될 때 2-MAG보다 재구성율이 낮아서 체내에 적게 축적되는 특성이 있다(15). Enova oil은 튀김유, 샐러드 드레싱,



R = oleic and/or linoleic and/or alpha-linolenic acids

그림 6. Diacylglycerol oil의 화학적 구조



스프레드, 마가린 등으로 이용된다. 국내에서는 2002년 로프리(lowfree)로 판매되었다가 2009년 “라이트리”로 출시되고 있다.

### 3. 제과용 재구성지질의 생산

초코렛 제조에 사용되는 코코아버터는 실온이하에서는 단단한 물성(Snap)을 보이고 체온에서 급속히 용해되어 상쾌한 구용성을 부여한다. 일반적인 코코아버터의 용점은 32-35°C이다. 코코아버터의 이러한 물성은 대칭형의 중성지방들로 구성되어 있기 때문이다. 주된 중성지방의 조성은 *sn*-1,3 distearoyl *sn*-2 oleoyl acyl glycerol(SOS), *sn*-1 palmitoyl *sn*-2 oleoyl *sn*-3 stearoyl acyl glycerol(POS), *sn*-1,3 dipalmitoyl *sn*-2 oleoyl acyl glycerol(POP)이다. 자연 재해와 바이오 에너지의 보급으로 인한 카카오의 원료수급이 어렵게 되어 천연 카카오버터를 대신할 수 있는 코코아버터 대체지의 개발이 진행되었다. 코코아버터 대체지는 크게 3가지(Cocoa butter equivalent; CBE, Cocoa butter replacer; CBR, Cocoa butter substitute; CBS)로 구분된다. 이들은 초코렛, 준초코렛, 초코렛 가공품과 같은 제과용 유지로 사용된다. 코데스 규격에 초콜렛은 코코아버터 18% 이상, 코코아 고품분 35% 이상, 무지방 코코아성분 14% 이상 함유하도록 하고 있다.

#### 1) Cocoa butter equivalent(CBE)

CBE는 POP가 70-80% 함유된 팜중부유(palm mid fraction, PMF)와 열대 천연유지들을 분별하여 획득한 SOS fat을 혼합하여 생산할 수 있다. 2003년 EU에서는 식물유를 5%까지 초콜렛에 혼합하여 사용할 수 있도록 허용하였다. 이들 식물유는 분별(fractionation)과 정제(refining)공정을 수행한 것에 제한을 두어 효소적 에스테르반응을 수행한 유지는 아직까지는 사용이 제한되고 있는 실정이다. 이외에 EU를 제외한 국가에서는 효소적 에스테르 반응한 유지의 사용을 허용하고 있다.

일본 Fuji 사에서는 효소적 에스테르반응을 통하여 올레인산 함유 해바라기 유 혹은 홍화씨 유를 이용

하여 CBE를 합성하였다(16). SOS fat 합성에서 가장 중요한 점은 *sn*-2 position에 oleic acid를 함유하도록 acylmigration을 최소화하는 것이다. 효소적 에스테르반응 동안 반응조건(기질, 반응온도, 효소종류 및 양, 반응시간 등)에 따라 acylmigration이 일어나 부산물(SSO fat)이 생겨 CBE의 물성을 부여하지 못하는 경우도 보고되고 있다. 일반적으로 triolein에 stearic acid를 *sn*-1,3 specific 효소를 이용하여 *sn*-1,3 position에만 반응하여 SOS 반응물을 획득하고 있다. 생산된 CBE는 코코아버터와 유사한 물성을 나타내며, 5%정도까지 코코아버터와 혼합하여 초코렛 제조에 사용할 수 있다.

#### 2) Cocoa butter replacer(CBR)/Cocoa butter substitute(CBS)

기존의 CBR은 트랜스 지방산인 elaidic acid(*trans* C<sub>18:1</sub>)를 함유하고 있었으나 트랜스지방의 규제가 시작되면서 트랜스지방을 대체할 수 있는 CBR의 합성 연구가 진행되고 있다. CBR은 CBE보다 snap성이 다소 떨어지며, cocoa butter와 상용성이 다소 낮은 편이지만, tempering이 필요 없는 이점이 있다. CBR은 주로 준 초코렛, 초코렛 코팅제 등으로 이용되고 있다. CBS는 경화한 lauric 계의 유지로 코코아버터와 상용성이 없으며, lauric 계의 유지를 사용하다보니 수분이 존재하게 되면 비누취(soapy flavor)를 발생하는 단점이 있다. 반면에 팜핵유 혹은 야자유의 경화유를 사용하기 때문에 산화적 안정성이 높으며, CBR과 마찬가지로 tempering이 필요 없는 특징이 있다(16). 덴마크의 Aarhuskarlshamn 사에서는 non-lauric, non-trans, non-temper fat 합성을 위한 특허를 보유하고 있고(17), 일본 Fuji사에서도 low-trans confectionary fat 합성을 위한 특허를 보유하고 있다(18). 따라서 트랜스 지방의 저감화로 인하여 이를 대체하기 위한 CBR/CBS의 유지 소재 시장은 잠재적으로 클 것으로 사료된다.

### 4. 기타 재구성지질의 생산

중쇄지방산은 인체 내에서 장쇄지방산보다는 물에

대한 용해도가 높고 점도와 융점이 낮아서 소장에서 pancreatic lipase에 의하여 가수 분해된 후에 림프관을 거치지 않고 portal vein을 거쳐 혈관으로 이송되어 빠른 에너지원으로 이용될 수 있기 때문에 치료 혹은 영양을 목적으로 사용되고 있다. 미국 Abitec 사에서는 중쇄지방산인 caprylic acid와 capric acid를 glycerol과 에스테르반응을 수행하여 합성된 Captex<sup>®</sup> 제품(Captex 300 EP, Captex 355 EP 등)을 제조하여 식품 혹은 의약품 소재로 판매하고 있다(표 2). 미국 Stepan 사에서는 butter oil과 중쇄지방을 에스테르반응을 수행하여 Neobee<sup>®</sup> 제품(Neobee<sup>®</sup> 1053, Neobee<sup>®</sup> 895 등)을 제조하여 기능성 식품 혹은 화장품소재로 판매하고 있다. Neobee<sup>®</sup> 1053은 주로 caprylic acid와 capric acid의 중쇄지방산으로 구성되어 있으며, Neobee<sup>®</sup> 895은 주로 caprylic triglyceride로 구성되어 있다(표 2).

모유의 지방은 44% 내외의 포화지방과 53%내외의 불포화지방으로 구성되어 있다. 모유 지방은 palmitic acid를 20-30% 내외 함유하고 있으며, sn-2 position에 palmitic acid를 60% 이상 함유하고 있다(19). 따라서 영, 유아의 인체 내에서 소화과정을 거쳐 가수 분해된 2-MAG에 결합되어 있는 palmitic acid는 에너지원으로 쓰이게 된다. sn-1,3 position에 palmitic acid의 함량이 높게 되면, 가수 분해된 유리지방산 형태인 palmitic acid가 유아의 성장에 필요한 칼슘과 불용성의 염을 형성하여 그대로 대변으로 배출됨으로써 칼슘의 흡수를 저해하며, 변비 발생의 요인이 된다

(20). 따라서 모유지방대체지에서 sn-2 position에서의 palmitic acid의 함량은 중요한 영양적 요인이 된다. 네덜란드의 Loders Croklaan 사는 모유지방과 유사한 sn-2 position에서 palmitic acid의 함량이 66-76% 함유하는 Betapol<sup>™</sup>을 제품화하였다(표 2). 모유지방대체지는 tripalmitin(PPP)과 oleic acid 함량이 높은 hazelnut oil, stearic acid를 기질로 하여 sn-1,3 specific 효소인 Lipozyme RM IM을 이용하여 합성될 수 있다(21).

Loders Croklaan 사는 영, 유아의 성장에 필수영양소인 docosahexaenoic acid(DHA, C<sub>22:6</sub>)와 eicosapentaenoic acid(EPA, C<sub>20:5</sub>)의 오메가-3 지방산을 다량 함유한 Marinol<sup>®</sup>를 효소적 반응을 통하여 제조한 후 제품화하였다. Marinol D40<sup>®</sup>는 DHA가 40% 가까이 함유된 재구성지질이다(표 2).

탄수화물계 지방대체지인 Olestra는 hydrophilic 그룹인 sucrose의 8개 hydroxyl 기에 지방산이 ester결합을 이루는 구조로 되어 있다. 결합을 이루는 지방산의 수에 따라 sucrose monoester(지방산 1개 결합)와 sucrose di-/tri ester(지방산 2-3개 결합)는 식품에서 유효제로 사용되고 있다(22). 반면에 지방산 6-8개가 결합되어 있는 sucrose polyester, 즉, Olestra(상품명 Olean<sup>®</sup>)는 1996년 미국 Procter & Gamble 사에 의해 개발되어 크래커, 포테이토 칩 등의 스낵식품에 튀김유로 사용되었다. 고분자인 Olestra는 인체 내 소화효소에 의해 분해되지 않기 때문에 저 칼로리

표 2. 재구성지질의 산업적 제품화 응용 예

Brend name	Application	Composition	Manufacturer
Captex <sup>®</sup>	Pharmaceutics (Carrier, skin care and quick energy source)	MCTs, C6:0-C10:0	Abitec Co. (Ohio, USA)
Neobee <sup>®</sup> 1053/ Neobee <sup>®</sup> 895	Nutritional and cosmetic products	MCTs, C8:0, C10:0 /C8:0	Stepan Co. (Maywood, N.J., USA)
Betapol <sup>™</sup>	Infant formula	C16:0 (66-76% at sn-2 position)	Loders Croklaan (The Netherlands)
Marinol D40 <sup>®</sup>	Infant formula	DHA (40% contained)	Loders Croklaan (The Netherlands)
Olean <sup>®</sup>	Savory snack frying	Sucrose polyester (6-8 FAs)	The Procter & Gamble Co. (USA)



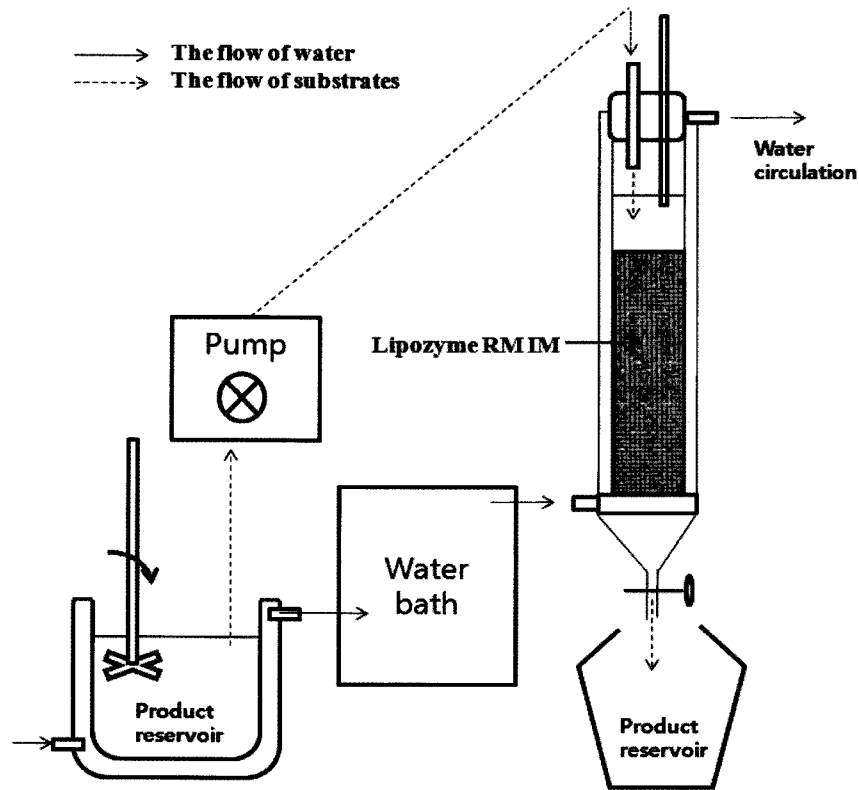


그림 7. 효소적 반응을 위한 연속식 반응기(Packed-Bed Reactor, PBR)

를 내는 반면에, 과량 복용시 위장장애, 설사, 지용성 비타민의 체내 흡수를 저해하는 요인이 되어 그 사용량이 제한되었다.

### 5. 재구성지질 합성기술

고정화 효소를 이용한 재구성지질의 합성은 크게 회분식(batch type reactor)과 연속식(packed-bed reactor, PBR) 반응기에서 수행된다. 기능성 유지의 산업화를 위해서는 회분식보다는 연속식 반응기의 기술이 경제적인 면에서 더 요구되고 있다. 연속식 반응기에 효소를 충전하여 residence time(효소와 기질의 반응 시간)에 영향을 주는 기질의 유량(g/min)과 반응기의 유형에 따라 재구성지질의 합성방법을 제어할 수 있다(그림 7). Osorio는 Lipozyme TL IM으로 충전되어 있는 PBR에서 palm stearin과 팜핵유, 해바라기 유를 기질로 하여 에스테르반응을 수행하였다(23). 저

트랜스 마가린 혹은 기능성지질의 합성을 위하여 효소적 에스테르반응들이 PBR에서 수행된 연구들이 보고되고 있다(2, 24-26).

고정화 효소는 재사용 횟수가 증가함에 따라 활성이 떨어지게 되어 반응하는데 시간이 더 오래 걸리기 때문에 충분한 관련 연구들이 필요하다. PBR에서 수행한 재구성지질의 합성 연구는 많은 반면에 산업화를 위한 효소활성과 반응물의 관계를 위한 연구가 더 진행되어야 하겠다.

### III. 결론

재구성지질은 식품소재, 의약품소재, 화장품 소재 등의 신소재 기능성 유지소재 생산을 위한 하나의 방안으로 대두되고 있다. 특히 상업화된 고정화 효소의 이용은 환경친화적이면서 기질반응 위치 특이성을 갖기 때문에 생산된 기능성 유지소재의 부가가치를 높일 뿐

만 아니라 유지생산업체의 경제적인 면을 보완할 수 있다. 연속식 반응기는 상업화 기능성 재구성지질의 상업화를 더욱 촉진 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. Ulbricht TLV, Southgate DAT. Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*. 338:985-992 (1991)
2. Shin JA, Akoh CC, Lee KT. Production and physicochemical properties of functional-butterfat through enzymatic interesterification in a continuous reactor. *J. Agric. Food Chem.* 57: 888-900 (2009)
3. Lee KT, Akoh CC. Structured lipids: synthesis and application. *Food Rev. Int.* 14: 17-34 (1998)
4. Shin JA, Lee KT. Lipase-catalyzed synthesis of structured lipids with capric acid conjugated linoleic acid in a stirred-batch type reactor. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33: 1175-1179 (2004)
5. Fomuso LB, Akoh CC. Lipase-catalyzed acidolysis of olive oil and caprylic acid in a bench-scale packed bed bioreactor. *Food Res. Int.* 35: 15-21 (2002)
6. Ikeda I, Tomari Y, Sugano M, Watanabe S, Nagata J. Lymphatic absorption of structured glycerolipids containing medium-chain fatty acids and linoleic acid, and their effect on cholesterol absorption in rats. *Lipids*. 26: 369-373 (1991)
7. Lee SB, Kim CJ, Kang JH, Song SH, Lee KP, Kim YC, Lee KT. Trans fatty acid free fat for margarine produced by enzymatic interesterification and method for preparing the same. U.S. patent US 2010/0151079 A1 (2010)
8. Lee SB, Kim CJ, Kang JH, Song SH, Lee KP, Kim YC, Lee KT. Trans fatty acid free fat for frying produced by enzymatic interesterification and method for preparing the same. U.S. patent US 2010/0178386 A1 (2010)
9. Sahasranaman UR. Trans free hard structural fat for margarine blend and spreads. U.S. patent US 2002/0001662 A1 (2002)
10. Sahasranaman UR. Trans free hard palm oil fraction, trans free non-hydrogenated hard structural fat and fat blends and methods. U.S. patent US 7807208 B2 (2010)
11. Adhikari P, Shin JA, Lee JH, Hu JN, Zhu XM, Akoh CC, Lee KT. Production of trans-free margarine stock by enzymatic interesterification of rice bran oil, palm stearin and coconut oil. *J. Sci. Food Agric.* 90: 703-711 (2010)
12. Adhikari P, Shin JA, Lee JH, Hu JN, Hwang KT, Lee KT. Enzymatic production of trans-free hard fat stock from fractionated rice bran oil, fully hydrogenated soybean oil, and conjugated linoleic acid. *J. Food Sci.* 74: E87-96 (2009)
13. Akoh CC. Fat replacers. *Food Tech.* 52: 47-53 (1998)
14. Akoh CC. Structured and specialty lipids. Chapter 24, pp. 591-606. In: *Healthful Lipids*. Akoh CC, Lai OM (ed). AOCS Press, Inc., Champaign, IL, USA (2005)
15. Matsuo N. Nutritional characteristics of diacylglycerol oil and its health benefits. Chapter 28, pp. 685-698. In: *Healthful Lipids*. Akoh CC, Lai OM (ed). AOCS Press, Inc., Champaign, IL, USA (2005)
16. Yamada K, Ibuki M, McBrayer T. Cocoa butter, cocoa butter equivalents, and cocoa butter replacers. Chapter 26, pp. 642-664. In: *Healthful Lipids*. Akoh CC, Lai OM (ed). AOCS Press, Inc., Champaign, IL, USA (2005)
17. Bach M, Juul B. Non-lauric, non-trans, non-temper fat compositions. U.S. patent US 7309508 B2 (2007)
18. Cleenewerck B. Low-trans for confectionery fat compositions. U.S. patent US 7700146 B2 (2010)
19. O'Shea M, Gerritsen J, Mohede I. Clinical benefits of a structured lipid(Betapol™) in infant formula. pp. 261-278. In: *Handbook of functional lipids*. Akoh CC (ed). Taylor & Francis Press, Inc., NY, USA (2005)
20. Weber N, Mukherjee KD. Lipids in infant formulas and human milk fat substitutes. Chapter 25, pp. 607-641. In: *Healthful Lipids*. Akoh CC, Lai OM (ed). AOCS Press, Inc., Champaign, IL, USA (2005)
21. Sahin N, Akoh CC, Karaali A. Lipase-catalyzed acidolysis of tripalmitin with hazelnut oil fatty acids and stearic acid to produce human milk fat substitutes. *J. Agric. Food Chem.* 53: 5779-5783 (2005)
22. Shin JA, Jang JS, Hong JH, Lee KT. The base-catalyzed synthesis of sucrose ester containing omega-3 fatty acids. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 35: 1224-1231 (2006)
23. Osorio NM, Fonseca MMR, Ferreira-Dias S. Operational stability of *Thermomyces lanuginosa* lipase during interesterification of fat in continuous packed-bed reactor. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 108: 545-553 (2006)
24. Ronne TH, Yang T, Mu H, Jacobsen C, Xu X. Enzymatic interesterification of butterfat with rapeseed oil in a continuous packed bed reactor. *J. Agric. Food Chem.* 53: 5617-5624 (2005)
25. Li D, Adhikari P, Shin JA, Lee JH, Kim YJ, Zhu XM, Hu JN, Jin J, Akoh CC, Lee KT. Lipase-catalyzed interesterification of high oleic sunflower oil and fully hydrogenated soybean oil comparison of batch and continuous reactor for production of zero trans shortening fats. *LWT-Food Sci. Technol.* 43: 458-464 (2010)
26. Lo SK, Arifin N, Cheong LZ, Tan CP, Long K, Yusoff MSA, Lai OM. Response surface modeling of 1-stearoyl-3(2)-oleoyl glycerol production in a pilot packed-bed immobilized *Rhizomucor miehei* lipase reactor. *J. Mol. Catal. B: Enzym.* 57: 136-144 (2009)