

재구성 지질의 효소적 생산과 산업적 이용

Enzymatic production and industrial application of structured lipids

이수정¹ · 송예진¹ · 이정은 · 최은지¹ · 김병희^{1*}

Soo Jeong Lee¹, Ye Jin Song¹, Jung Eun Lee¹, Eun Ji Choi¹, Byung Hee Kim^{1*}

¹숙명여자대학교 식품영양학과

¹Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Korea

Abstract

Structured lipids are lipids in which the composition and/or positional distribution of fatty acids have been chemically or enzymatically modified from their natural biosynthetic form. Because structured lipids have desired nutritional, physicochemical, textural or physiological properties for applications in processed foods, functional foods, or nutraceuticals, many research activities have been aimed at their commercialization. The enzymatic production of structured lipids using lipases as the biocatalysts has a big potential in the future market due to the specificity or selectivity of the lipases. This article introduced some examples of

specialty structured lipids that have been enzymatically produced and have been utilized as commercialized products. The commercialized products include medium- and long-chain triacylglycerols, human milk fat substitutes, cocoa butter equivalents, *trans*-free plastic fats, low-calorie fats/oils, and health-beneficial fatty acid-rich oils.

Key words: structured lipids, enzymatic reaction, lipase, commercialization

서론

재구성 지질(structured lipids)은 화학촉매제 또는

* Corresponding author: Byung Hee Kim
Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul, 04310, Korea
Tel: +82-2-2077-7241
Fax: +82-2-710-9479
E-mail: bhkim@sookmyung.ac.kr
Received April 30, 2018; revised May 23, 2018; accepted May 23, 2018

효소를 이용한 화학 반응을 통해 지방산의 조성 또는 분자 구조 내 지방산의 분포를 변형시킨 지질을 말한다(Akoh와 Kim, 2017). 재구성 지질에는 중성지방(triacylglycerols)을 비롯하여 모노아실글리세롤(monoacylglycerols), 디아실글리세롤(diacylglycerols), 인지질(phospholipids), 당지질(glycolipids), 식물성 스테롤 에스터(phytosteryl esters) 등의 다양한 형태가 있다. 재구성 지질은 이러한 구조적 변형을 통해 천연 지질과는 부분적으로 또는 완전히 다른 영양적, 물리화학적, 물성적 또는 생리기능적 특성을 갖는다. 따라서 재구성 지질은 소비자가 요구하는 용도에 맞는 “맞춤형(tailor-made)” 유지로서 일반 가공식품뿐만 아니라 건강기능식품(functional foods) 및 약효식품(nutraceuticals)의 주요 소재로 이용되고 있다.

재구성 지질의 생산 방법 중 화학촉매 반응을 이용한 방법은 메톡사이드나트륨(sodium methoxide) 등을 촉매제로 사용하여 비교적 고온에서 반응을 수행한다. 이로 인해 재구성 지질의 생산 비용이 저렴하나 부산물(side products)이 생성되고 반응 후 잔존하는 유해 촉매제를 제거하기 위해 복잡한 정제 공정이 필요한 단점이 있다. 반면에 효소 반응은 상대적으로 낮은 온도에서 수행하기 때문에 온도에 민감한 기질 및 생성물에 적용이 가능하며, 고정화 효소(immobilized enzymes)를 사용할 경우 생성물과 효소의 분리 및 회수가 용이하고 효소를 재사용할 수 있어 환경 친화적인 생산이 가능한 장점이 있다. 특히 효소반응은 특이성(specificity) 및 선택성(selectivity)을 가진 효소를 이용 시, 부산물의 생성을 최소화시킬 수 있기 때문에 “맞춤형” 유지로서의 재구성 지질 생산에 적합한 방법이다(Kim and Akoh, 2015).

리파아제(lipase, EC 3.1.1.3)는 재구성 지질의 효소적 생산에 주로 사용하는 효소이다. 리파아제는 중성지방을 가수분해하지만 수분이 거의 존재하지

않는 조건에서는 에스테르화(esterification) 반응을 일으킨다. 따라서 리파아제는 유리지방산(free fatty acids) 존재 하 중성지방의 분해 및 에스테르화 반응인 산분해 반응(acidolysis), 중성지방과 지방산 알킬에스테르(fatty acid alkyl esters) 간 에스테르 교환 반응(interesterification), 중성지방 간 에스테르 교환 반응(interesterification), 글리세롤(glycerol) 존재 하 중성지방의 분해 및 글리세롤의 에스테르화 반응인 글리세롤분해 반응(glycerolysis), 에탄올(ethanol) 존재 하 중성지방의 분해 및 에탄올의 에스테르화 반응인 에탄올분해 반응(ethanolysis), 글리세롤과 유리지방산의 직접 에스테르화 반응(direct esterification), 글리세롤과 지방산 알킬에스테르 간 에스테르 전달 반응(transesterification) 등 지질의 여러 화학반응에서 촉매로 작용하여 다양한 형태의 재구성 지질을 생산하는데 이용된다(Fig 1). 특히 이 그림에서 보는 바와 같이 중성지방의 *sn*-1 과 *sn*-3 위치에 특이적으로 작용하는 *sn*-1,3-위치 특이성(*sn*-1,3-specific) 리파아제를 이용하면 지방산의 조성과 위치상 분포가 선택적으로 변형된 재구성 지질의 생산이 가능하다. 실제로 상용화된 재구성 지질의 효소적 생산에는 주로 *sn*-1,3-위치 특이성 리파아제들이 이용되고 있으며 대표적인 예는 덴마크의 Novozymes사에서 개발한 고정화 효소 제품들로 *Rhizomucor miehei* 유래 리파아제를 거대 다공성 음이온 교환 수지에 고정시킨 Lipozyme RM IM, *Thermomyces lanuginosus* 유래 리파아제를 실리카겔에 고정시킨 Lipozyme TL IM 등이 있다(Kang and Kim, 2010).

현재 상용화된 재구성 지질은 주로 중성지방 형태의 것으로 중쇄-장쇄 중성지방, 모유 지방 대체지, 코코아 버터 대용지, 저트랜스 가소성 지방, 저열량 유지, 건강기능성 지방산 고함유 유지 등이 있다. 한편 이러한 재구성 지질의 상용화에 성공한 기업은 대부분 유럽, 미국, 일본의 업체들로 아직까지

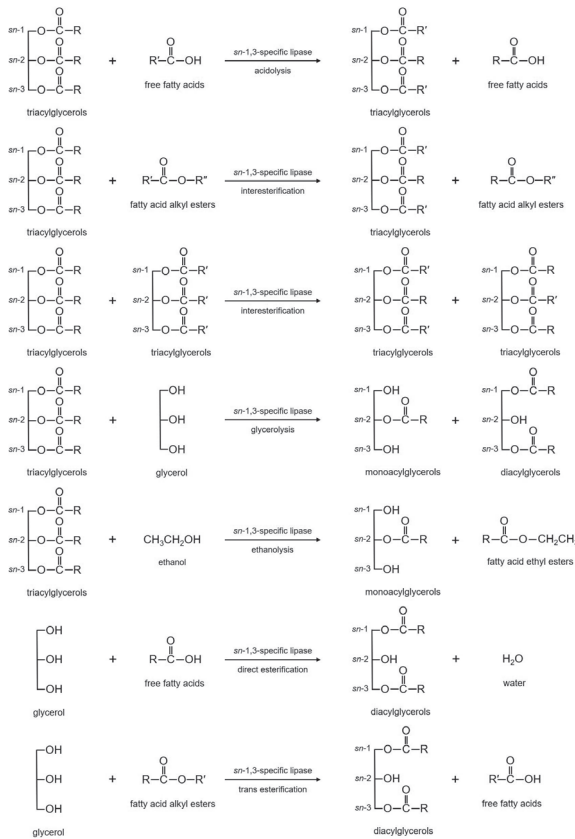


Fig 1. Types of lipase-catalyzed reactions for the production of structured lipids (Kim and Akoh, 2015)

국내업체에 의한 상용화 사례는 많지 않은 실정이다. 본고는 이들 재구성지질의 효소적 생산 관련 연구와 상용화의 예들을 소개함으로써 국내에서 진행 중인 재구성 지질 개발의 방향을 모색하는데 도움이 되고자 한다.

본론

중쇄-장쇄 중성지방(medium- and long chain triacylglycerols, MLCT)

장쇄 중성지방(long-chain triacylglycerols, LCT)

은 일반 식용유지의 주요 형태이며 필수 지방산의 공급원이다. LCT는 체내에서 천천히 대사되며, 대부분 체내 지방조직에 축적된다. 반면에 8-12개의 탄소 원자를 갖는 중쇄지방산으로 구성된 중쇄 중성지방(medium-chain triacylglycerols, MCT)은 비교적 친수성을 띄는 중쇄지방산의 산화를 통해 신속하게 에너지원으로 이용되며 림프계 대신 간문맥(portal vein)을 통해 간으로 직접 운송되기 때문에 지방조직에 축적되는 경향이 낮다. 하지만 MCT만 섭취 시 필수 지방산이 결핍되는 문제가 있다. 따라서 LCT와 MCT의 이점을 함께 가질 수 있는 MLCT 개발의 필요성이 대두되었다(Akoh와 Kim, 2017). MLCT는 지방산의 *sn* 위치 배열에 따라 중쇄-장쇄-중쇄(MLM), 중쇄-중쇄-장쇄(MML), 장쇄-중쇄-장쇄(LML), 장쇄-장쇄-중쇄(LLM)의 네 가지 형태가 가능하다. 그 중에서 *sn*-1과 *sn*-3 위치에 중쇄지방산, *sn*-2 위치에 장쇄지방산을 가진 MLM형 MLCT는 다른 형태의 MLCT에 비해 필수 지방산을 포함한 장쇄지방산의 흡수율이 높기 때문에 이러한 형태를 가진 MLCT의 개발 연구가 활발히 진행되어 왔다(Jandacek et al, 1987).

MLM형 MLCT는 주로 카프릴산(caprylic acid, 8:0) 또는 카프르산(capric acid, 10:0) 존재 하에 LCT를 *sn*-1,3-위치특이성 리파아제를 이용하여 산분해 반응시켜 제조한다. LCT의 급원으로는 대두유, 옥수수유, 올리브유, 카놀라유, 쌀겨유, 아보카도유, 겨자유, 달맞이꽃 종자유(borage oil), 에치움유(echium oil), 잣기름, 팜 올레인(palm olein) 등이 주로 이용되고 있다(Kim and Akoh, 2015). 이 방법은 반응 후 생성물 내 잔존하는 유리지방산을 증류(distillation) 등을 통해 제거하는 정제공정이 필요하다. MLM형 MLCT의 영양적, 생리기능적인 우수성에도 불구하고 현재 산업적으로 이용되고 있는 제품의 예는 없는 실정이다(Akoh and Kim, 2017). 상용화된 MLCT의 대부분은 앞서 언급한 네가지 형태

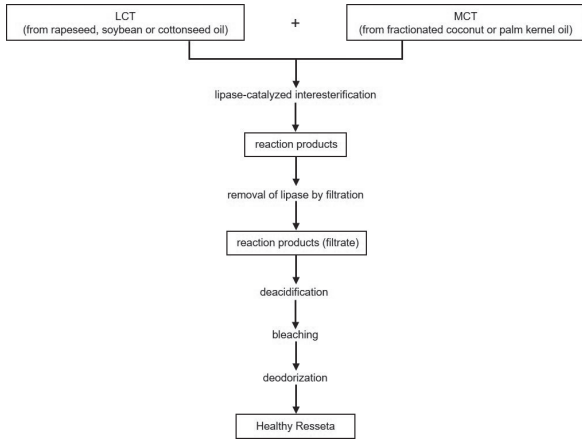


Fig 2. Manufacturing process for Healthy Resseta (Nisshin Oillio, Japan) (source: US FDA GRAS Notices No.217)

의 MLCT의 혼합물로 대두유, 유채유, 면실유 등의 LCT와 코코넛유(coconut oil), 팜핵유(palm kernel oil) 등의 MCT를 리파아제 촉매 에스테르 교환 반응시켜 제조하고 있다(Akoh와 Kim, 2017). 이 방법은 산분해 반응과 달리 유리지방산이 거의 생성되지 않기 때문에 별도의 정제공정이 필요하지 않아 생산 비용이 저렴한 장점이 있다. 상용화된 MLCT의 예로는 일본의 Nisshin Oillio사의 Healthy Resseta가 있다. 이 제품은 유채유, 대두유, 면실유 등의 식물성 기름과 코코넛유 또는 팜핵유를 분획하여 얻은 MCT를 에스테르 교환 반응시켜 제조한 것이다(Fig 2). 장쇄지방산과 중쇄지방산의 함량은 각각 ~85%와 ~12%이며 중성지방의 함량은 ~97%이다. LLM형 또는 LML형의 중성지방 비율이 MLM형 또는 MML형의 중쇄지방산의 비율보다 높은 특징이 있다.

모유 지방 대체지(human milk fat substitutes, MFS)

모유 지방(human milk fats)은 영유아가 섭취하는 열량의 ~50%를 공급하는 주요 에너지원이며 필

수지방산과 지용성 비타민을 제공하는 모유의 주요 성분이다. 모유 지방의 주요 지방산은 올레산(oleic acid, 18:1n-9, ~40%)과 팔미트산(palmitic acid, 16:0, ~25%)으로 팔미트산은 주로 sn-2 위치(~55%)에 결합되어 있는 반면 sn-1과 sn-3 위치(~45%)에는 올레산 등의 불포화 지방산이 주로 결합되어 있다(Tomarelli 등, 1968). 따라서 모유의 중성지방은 주로 1,3-dioleoyl-2-palmitoyl-glycerol(OPO)의 형태를 갖는다. 모유 지방의 이러한 화학구조는 팔미트산과 칼슘 등 무기질의 흡수를 증가시키고, 변을 부드럽게 하여 변비를 예방하는데 도움을 준다(Takeuchi, 2010). 따라서 이러한 모유 지방의 영양적, 생리 기능적 특성을 모방한 유지 소재의 개발 연구가 진행되어 왔다.

HMFS는 영유아용 조제분유 제조에 사용하기 위해 모유 지방과 지방산 조성 및 분포가 유사하게 만들어진 지질로, 주로 sn-1,3-위치특이성 리파아제 촉매 하에 트리팔미틴(tripalmitin), 팜 스테아린(palm stearin), 돈지(lard), 유지방(milk fats) 등의 팔미트산이 풍부한 지방과 올레산 또는 올레산이 풍부한 올리브유, 유채유, 해바라기유, 헤이즐넛유(hazelnut oil), 동백유(camelia oil) 등의 식물성 기름을 가수분해하여 얻은 유리지방산을 산분해 반응시켜 제조한다(Kim과 Akoh, 2015). 한편 모유 지방에는 영유아의 성장과 발달에 중요한 역할을 하는 아라키돈산(arachidonic acid, 20:4n-6), EPA(eicosapentaenoic acid, 20:5n-3), DHA(docosahexaenoic acid, 22:6n-3) 등의 다중불포화지방산의 함량이 낮다. 아라키돈산, EPA, DHA, 스테아리돈산(stearidonic acid, 18:4n-3)은 필수지방산인 알파리놀렌산(α -linolenic acid, 18:3n-3)보다 체내에서 더 효율적으로 EPA로 전환되는 장점이 있다. 이에 따라 최근 연구에서는 어유, 해조류, DHA 고함유 algal oil(예. DHASCO, Market사, 미국), 아라키돈산 고함유 fungal oil(예. ARASCO, Market

사, 미국), 스테아리돈산 고함유 유지(예. high-stearidonic soybean oil, Monsanto사, 미국) 또는 이들을 가수분해하여 얻은 유리지방산 혼합물을 트리팔미틴 등과 에스테르 교환 혹은 산분해 반응시켜 HMFS를 제조하였다(Kim과 Akoh, 2015). 네덜란드의 Loders Croklaan사에서 생산하는 Betapol은 상용화된 HMFS의 대표적인 예이다. 이 제품은 팜 스테아린 등의 트리팔미틴 함유 유지와 고올레산 해바라기유(high-oleic sunflower oil) 등에서 얻은 올레산을 *sn*-1,3-위치특이성 리파아제를 촉매로 이용하여 산분해 반응시켜 제조한 것이다. Betapol의 *sn*-2 위치의 팔미트산 함량은 45-80%로 알려져 있다. 상용화된 모유 지방의 다른 예로는 스웨덴의 Aarhuskarlshamn사와 이스라엘의 Enzymotec사의 합작회사인 Advanced Lipids사에서 개발한 INFAT이 있다. INFAT의 제조방법은 Betapol과 전반적으로 유사하다(Fig 3).

코코아 버터 대용지(cocoa butter equivalents, CBE)

코코아 버터는 카카오 콩에서 추출한 유지로 초콜릿의 주요 원료이다. 코코아 버터의 주요 지방산은 올레산(~36%), 스테아르산(~34%), 팔미트산(~25%)으로 코코아 버터는 다른 식용 유지에 비해 단순한 지방산 조성을 갖고 있다(Kang과 Kim, 2010). 코코아 버터를 구성하고 있는 중성지방의 80% 이상은 *sn*-2 위치에 올레산이 결합되어 있고, *sn*-1과 *sn*-3 위치에는 팔미트산 또는 스테아르산(stearic acid, 18:0)이 결합되어 있는 1,3-dipalmitoyl-2-oleoyl-glycerol (POP, 15-19%), 1-palmitoyl-2-oleoyl-3-stearoyl-*rac*-glycerol (POS, 36-41%) 및 1,3-distearoyl-2-oleoyl-glycerol (SOS, 25-31%)의 형태를 갖는다(Yamada 등, 2005). 코코아 버터의 이러한 지방산 조성 및 중성지방 조성은 초콜릿 특유의 광택, 스냅(snap)성, 용융성 등의 물성과 조직감을 부여하는 역할을 한다. 코코아 버터는 일반 식용유지에 비해 고가이며 중국 등의 국가에서 초콜릿 소비량이 늘면서 국제가격의 변동이 심하며 수요도 계속 증가하고 있다. 국내에서 소비되는 코코아 버터는 전량 수입되고 있으며 코코아 버터의 수입량과 수입액은 2010-2012년 기준으로 연간 약 1,850톤과 약 866만 달러에 이르고 있다(농림축산식품부, 2013). CBE는 카카오 콩보다 가격이 저렴한 식물성 유지로부터 생산되면서 코코아 버터와 유사한 지방산 조성 및 중성지방 조성을 갖고 있어 초콜릿 제조에서 천연 코코아 버터와 어떠한 비율로 혼합하여도 초콜릿 특유의 물성과 조직감을 나타내는 식용유지이다.

최근 CBE 제조 관련 연구는 천연 코코아 버터의 중성지방 조성 및 유사한 CBE 제조에 필요한 POS 고함유 지방 제조에 중점을 두고 있다. 이들 연구에서는 팜 미드 프랙션(palm mid fraction) 등의 POP 고함유 지방과 팔미트산과 스테아르산의 혼합물 간

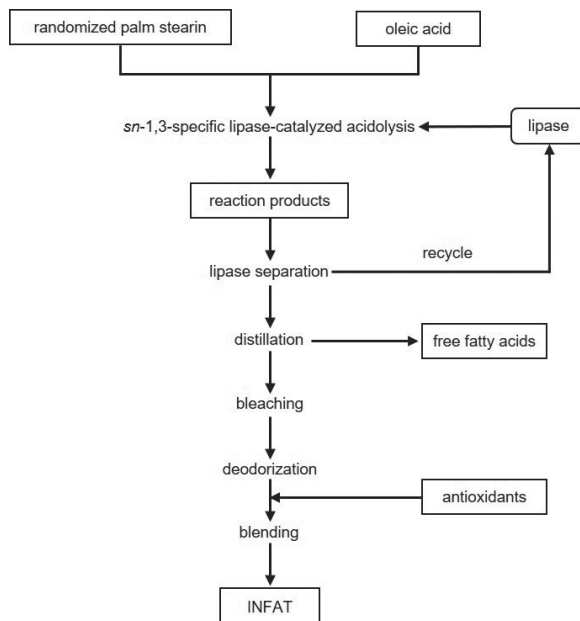


Fig 3. Manufacturing process for INFAT (Advanced Lipids, Sweden) (source: US FDA GRAS Notices No.192)

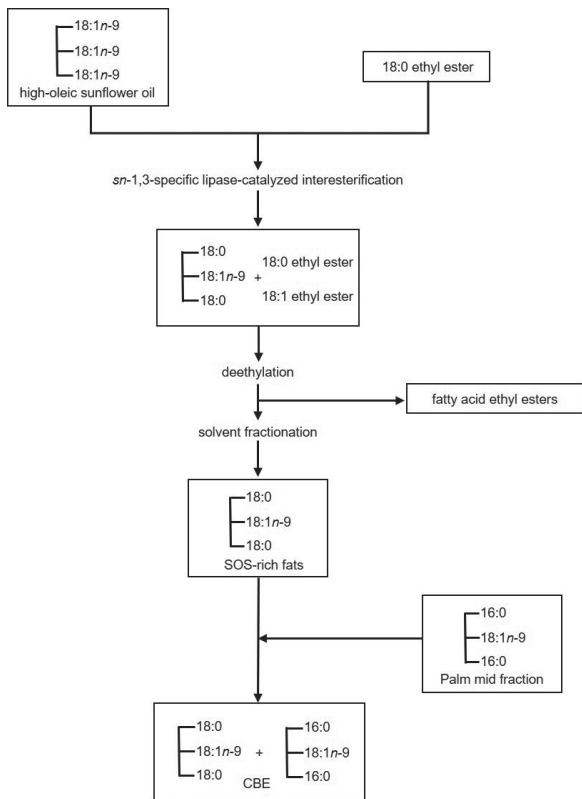


Fig 4. Manufacturing process for Palmy (Fuji Oil, Japan) (source: US FDA GRAS Notices No. 654)

의 산분해 반응, 고올레산 해바라기유 등의 트리올레인(triolein) 함유 유지와 팔미트산과 스테아르산 혼합물 간의 산분해 반응 또는 고올레산 해바라기유와 팔미트산 에틸에스테르(palmitic acid ethyl ester)와 스테아르산 에틸에스테르(stearic acid ethyl ester)의 혼합물 간의 에스테르 교환 반응을 이용하여 POS 고함유 지방을 제조하였다(Kim 등, 2014). 반면에 상업용 CBE는 일반적으로 POP 고함유 지방과 SOS 고함유 지방을 혼합하여 제조한다. 이러한 제품의 예로는 일본의 Fuji Oil사에서 생산하는 Palmy가 있다. Palmy는 고올레산 해바라기유와 스테아르산 에틸에스테르를 *sn*-1,3-위치특이성 리파아제 촉매 하에 에스테르 교환 반응시켜 제조한

SOS 고함유 지방과 팜 미드 프랙션을 혼합하여 생산한 것으로 POP, POS, SOS 함량은 각각 ~43%, ~11%, ~28%이다(Fig 4).

저트랜스 가소성 지방(low-*trans* plastic fats)

마가린과 쇼트닝에 사용되는 가소성 지방(plastic fats)에는 주원료인 식물성 기름을 수소첨가 반응에 의해 부분경화시키는 과정 중 생성된 트랜스 지방산(*trans* fatty acids)이 다량 함유되어 있다. 트랜스 지방산의 섭취는 혈중 총 콜레스테롤과 LDL 콜레스테롤 수치를 증가시키고 HDL 콜레스테롤 수치를 낮추기 때문에 관상동맥 질환의 위험성을 증가시킨다(Mensink과 Katan, 1990). 2000년대에 들어와서 이들 가소성 지방의 트랜스 지방산 저감화 방법 중의 하나로 효소 반응을 이용한 방법이 주목받기 시작했다. 특히 리파아제 촉매 하에 고포화 지방과 고평포화 기름을 에스테르 교환 반응시키면 부분경화유와 유사한 물성을 갖는 저트랜스 가소성 지방의 제조가 가능하다.

최근 연구에서도 팜 스테아린, 극도경화 대두유(fully hydrogenated soybean oil), 우지(beef tallow) 등의 고평포화 지방과 대두유, 고스테아리돈산 대두유, 고올레산 해바라기유 등의 고평포화 기름을 리파아제 촉매 에스테르 교환 반응을 하여 저트랜스 가소성 지방을 제조하는 방법이 보고되었다(Kim과 Akoh, 2015). Akoh와 Kim (2017)은 고평포화 지방, 고평포화 기름과 함께 팜핵유, 코코넛유 등의 중쇄 지방산 함량이 높은 유지를 반응시켜 제조한 가소성 지방은 구성 지방산의 다양성이 증가하여 부분경화유와 보다 유사한 물성을 나타낸다고 보고하였다. 이들 연구에서는 *sn*-1,3-위치특이성 리파아제 외에도 위치 비특이성 리파아제인 Novozym사의 Novozym 435 (*Candida antarctica* 유래 리파아제를 소수성 아크릴 수지에 고정시킨 제품)를 반응 촉매

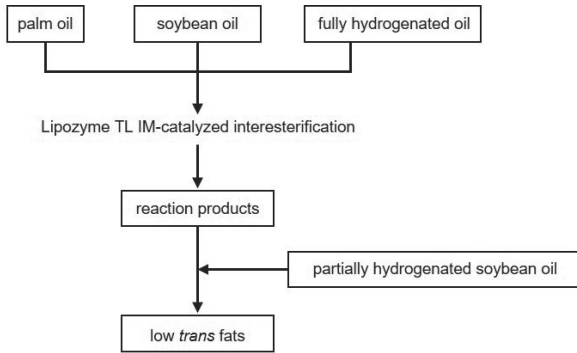


Fig 5. Manufacturing process for low-trans plastic fats (CJ CheilJedang, Korea) (source: Lee 등, 2010)

로 이용하였다(Kim과 Akoh, 2015). 상용화된 저트랜스 가소성 지방의 대표적인 예로는 미국 ADM사에서 개발한 NovaLipid가 있다. 이 제품은 리파아제 촉매 하에 대두유, 극도경화 대두유 및 면실유를 에스테르 교환 반응시켜 생산한 것으로 현재 쇼트닝 제조에 이용되고 있다. NovaLipid의 트랜스 지방산 함량은 1% 미만이다. 한편 국내업체인 CJ 제일제당에서도 팜유, 대두유, 극도경화유(원료 불명)를 *sn*-1,3-위치특이성 리파아제 촉매 하에 에스테르 교환 반응시켜 제조한 재구성 지질을 부분경화 대두유와 혼합하여 트랜스 지방산 함량이 1% 미만인 저트랜스 가소성 지방을 제조하였다(Fig 5). 다만 이 제품은 현재 생산이 중단되었다.

저열량 유지(low calorie fats/oils)

탄소 수가 2-4개인 단쇄지방산은 장쇄지방산(9kcal/g)에 비해 열량이 낮아 저칼로리 재구성 지질 생산에 적합한 기질이다. 예를 들어 아세트산(acetic acid, 2:0)은 3.5kcal/g, 프로피온산(propionic acid, 3:0)은 5.0kcal/g, 부티르산(butyric acid, 4:0)은 6.0kcal/g의 열량을 갖는다(Akoh and Kim, 2017). 또한 베헨산(behenic acid, 22:0)과 같은 탄소 수

가 22개 이상인 초고급지방산(very long-chain fatty acids)은 체내에서 흡수가 잘 되지 않기 때문에 저열량 재구성 지질 제조에 기질로 이용될 수 있다(Akoh and Kim, 2017).

최근 연구에서 사용된 저열량 지방 제조 방법의 예로는 *sn*-1,3-위치특이성 리파아제 또는 위치 비특이성 리파아제 촉매 하에 트리아세틴(triacetin)과 베헨산 에틸에스테르의 에스테르 교환 반응, *sn*-1,3-위치특이성 리파아제 촉매 하 해바라기유 또는 대두유와 베헨산 에틸에스테르의 에스테르 교환 반응, *sn*-1,3-위치특이성 리파아제 촉매 하 코쿰(kokum), 살(sal), 망고(mango) 등 열대 식물 유래 유지와 중급지방산과 베헨산의 혼합물 간의 산분해 반응을 이용한 방법이 있다(Kim and Akoh, 2015). 다만 상용화된 단쇄 지방산 또는 베헨산 함유 저열량 유지(예. Caprenin, Bohenin, Benefat)의 제조에는 화학촉매 반응이 주로 이용되고 있으며 효소적 방법으로 제조된 저열량 유지 제품의 예는 아직 없다(Shin and Lee, 2010).

건강 기능성 지방산 고함유 유지(health-beneficial fatty acid-rich fats/oils)

현재 국내에서 건강기능식품의 기능성 원료로 사용이 인정된 식용유지의 대표적인 예로는 기억력 개선 효능이 있는 오메가-3 지방산(EPA, DHA) (예. 어유), 과민 피부 상태 개선 효능이 있는 감마 리놀렌산(γ -linolenic acid, 18:3n-6) 함유 유지(예. 달맞이꽃 종자유), 체지방 감소 효능이 있는 공액 리놀레산(conjugated linoleic acids) 함유 유지 또는 지방산 혼합물(예. 홍화씨유) 등이 있다. 이러한 건강기능성 지방산 함유 천연 유지를 원료로 이용하여 이들 지방산의 함량을 높인 고부가가치의 재구성 지질의 제조가 가능하며 관련 연구도 꾸준히 진행되고 있다.



최근에도 *sn*-1,3-위치특이성 또는 위치 비특이성 리파아제를 촉매로 이용하여 들기름(알파리놀렌산 함유), 아마씨유(알파리놀렌산 함유), 에치옴유(스테아리돈산 함유), 정어리유(EPA, DHA 함유), 고야유(bitter gourd oil, 공액리놀렌산(conjugated linolenic acids) 함유) 또는 이들 유지로부터 얻은 지방산 혼합물을 글리세롤과 직접 에스테르화 반응시키거나 여러 식물성 기름과 에스테르화 반응 및 산분해 반응시켜 오메가-3 지방산 고함유 재구성 지질 또는 공액리놀렌산 고함유 재구성 지질을 제조한 연구들이 발표되었다(Kim and Akoh, 2017). 오메가-3 지방산이 풍부한 재구성 지질의 예로 미국의 Stepan사의 Marinol이 있다. Marinol은 앞서 소개한 제품들과 달리 에스테르화 반응이 아닌 가수분해 반응을 이용하여 제조된다. 즉 DHA에 대한 선택성이 약한 *Candida rugosa* 유래 리파아제를 이용하여 참치기름을 부분적으로 가수분해하면 DHA의 다른 지방산들이 주로 분해되기 때문에 DHA 고함유 유지의 제조가 가능하다(Fig 6). Marinol의 중성지방 함량은 ~65%이며 DHA와 EPA의 함량은

각각 ~34%와 ~6%이다.

결론

본고는 리파아제 촉매 반응을 이용한 중쇄-장쇄 중성지방, 모유 지방 대체지, 코코아 버터 대용지, 저트랜스 가소성 지방, 저열량 유지, 건강기능성 지방산 고함유 유지 등 중성지방 형태의 재구성 지질 6종의 생산과 관련하여 2010년대에 수행된 최근 연구와 실제로 상용화된 제품의 예들을 소개하였다. 리파아제는 화학촉매제와 달리 특이성과 선택성을 가지고 있어 천연 유지의 지방산의 조성과 위치상 분포를 선택적으로 변형시키기 때문에 이들 재구성 지질의 제조에 적합하다. 특히 고정화 리파아제를 이용하면 반응 후 효소의 재사용이 가능하고 생성물의 분리 정제가 용이하여 재구성 지질의 환경 친화적이며 비용 효율적인 생산이 가능한 장점이 있다. 현재 상용화된 재구성 지질은 대부분 해외업체에서 개발한 것으로 아직까지 국내업체에서 상용화한 제품의 예는 많지 않다. 이들 재구성 지질의 국내 상용화를 위해서는 해외업체에서 보유한 생산기술과는 차별화된 원천기술의 개발이 필요하며 앞으로 관련 연구가 더욱 활발히 이루어지기를 기대한다.

참고문헌

- Akoh CC, Kim BH. Structured lipids. 4th ed. pp. 941-972. In: Food Lipids-Chemistry, Nutrition, and Biotechnology. Akoh CC (ed). CRC Press, New York, NY, USA (2017)
- ADM Co. NovaLipid™ Fluid Shotening. Available from: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1JU5tJwxtawJ:hhttps://www.foodprocessing.com/assets/Media/MediaManager/adm_novalipid.pdf+%&cd=9&hl=ko&ct=clnk&gl=kr, Accessed Apr. 1, 2018.
- Jandack RJ, Whiteside JA, Holcombe BN, Volpenhein RA, Taulbee JD. The rapid hydrolysis and efficient absorption of triglycerides with octanoic-acid in the 1 position and 3 position and long-chain fatty acid in the 2 position. Am. J. Clin. Nutr. 45: 940-945 (1987)

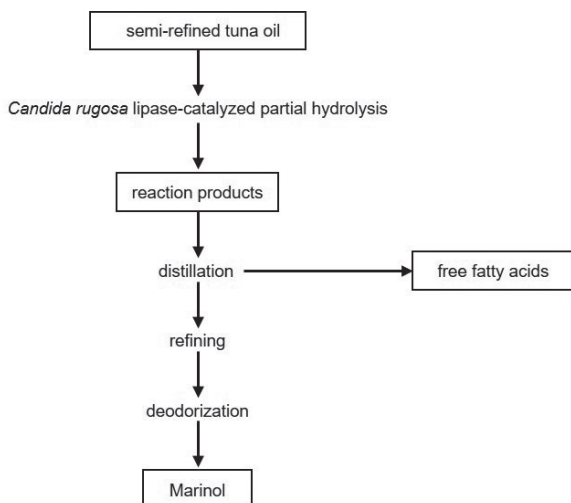


Fig 6. Manufacturing process for Marinol (Stepan, USA) (source: Stepan Co., 2015)

- Kang KK, Kim BH. Current status and prospect of cocoa butter equivalents manufacturing. *Food Sci. Ind.* 43(4): 36-43 (2010)
- Kim BH, Akoh CC. Recent research trends on the enzymatic synthesis of structured lipids. *J. Food Sci.* 80: 1713-1724 (2015)
- Kim S, Kim IH, Akoh CC, Kim BH. Enzymatic production of cocoa butter equivalents high in 1-palmitoyl-2-oleoyl-3-stearin in continuous packed bed reactors. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 91: 747-57 (2014)
- 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 2010/0178386 A1 (2010)
- 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)
- Shin JA, Lee KT. Production and application of structured lipids. *Food Sci. Ind.* 43(4): 14-23 (2010)
- Stepan Co. Marinol™ D-40. Available from: <https://www.stepan.com/Products/Specialty-Products/MARINOL%C2%AE/MARINOL%C2%AE-D-40.aspx>, Accessed Apr. 1, 2018.
- Takeuchi H. Application of biotechnology in the development of a healthy oil capable of suppressing fat accumulation in the body. pp. 104-112. In: *Biotechnology in Functional Foods and Nutraceuticals*. Bagchi D, Lau FC, Ghosh DK (eds). CRC Press, Boca Raton, FL, USA (2010)
- Tomarelli RM, Meyer BJ, Weaber JR, Bernhart FW. Effect of positional distribution on the absorption of the fatty acids of human milk and infant formulas. *J. Nutr.* 95: 583-590 (1968)
- US FDA. GRAS Notices GRN No. 192. Available from: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/fdcc/index.cfm?set=grasnotices&id=192>. Accessed Apr. 1, 2018.
- US FDA. GRAS Notices GRN No. 217. Available from: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/fdcc/index.cfm?set=grasnotices&id=217>. Accessed Apr. 1, 2018.
- US FDA. GRAS Notices GRN No. 654. Available from: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/fdcc/index.cfm?set=GRASNotices&id=654>. Accessed Apr. 1, 2018.
- Yamada K, Ibuki M, McBrayer T. Cocoa butter, cocoa butterequivalents, and cocoa butter replacers. pp. 642-664. In: *Healthful Lipids*. Lai OM, Akoh CC (eds). AOCS press, Champaign, USA (2005)
- 농림축산식품부. 2013 가공식품 세분 시장 현황-초콜릿편 (2013)

감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2016R1D1A1B03930500).