

Oleic acid의 여러 물리화학적 성질에 미치는 Cholesterol계 유도체의 영향

안범수[†]

대진대학교 과학기술대학 생명화학부
(2019년 9월 6일 접수: 2019년 9월 17일 수정: 2019년 9월 18일 채택)

Influence of Cholesterol Derivatives on the Several Physicochemical Properties of Oleic acid

Beom-Shu Ahn[†]

Division of Life Science & Chemistry, Daejin University, Pocheon 11159, Korea
(Received September 6, 2019; Revised September 17, 2019; Accepted September 18, 2019)

요약 : Oleic acid의 분자분절 운동에 대한 cholesterol 유도체들의 영향을 보다 잘 이해하기 위해 소량의 첨가물들이 포함된 oleic acid 시료에 대해 밀도, 점성도, IR, ¹H NMR, self-diffusion coefficient를 측정하였다. 이 측정을 통하여 cholesterol, cholestanol, cholestane, cholesteryl oleate, benzene, ethanol 등의 첨가물이 포함된 oleic acid 시료에 이들의 효과가 어떻게 나타나는지 알 수 있었다. OH기와 하나의 이중결합을 갖고 있는 cholesterol은 oleic acid의 점성도는 크게 증가시켰으나, 자체 확산계수, 분자내 운동은 감소시켰다. 다른 첨가물들을 시험한 결과 OH기의 유무, 이중결합의 정도에 따라 영향이 변화하였다. 벤젠과 에탄올의 경우 점성도는 감소하였으나 자체 확산계수와 분자내 운동은 증가하는 현상을 보여주었다. 이들 실험을 바탕으로 oleic acid는 에탄올 뿐 아니라 cholesterol과도 착물을 형성하고 또 착물이 이뤄지는 메카니즘에 대해서도 이해할 수 있었다. 이들 착물 형성과 oleic acid 이합체로 이루어진 집합체의 성질 조사를 바탕으로 oleic acid의 분자분절 운동에 대한 cholesterol의 영향을 알 수 있었다.

주제어 : 이합체, 착물, 첨가제, 점성도, 분자내 분절운동, 집합체

Abstract : The influence of cholesterol on the physicochemical properties of the oleic acid was clarified through the measurements of density, viscosity, IR, ¹H NMR, self-diffusion coefficient for the oleic acid samples containing a small amount of additives such as cholesterol, cholestanol, cholestane, cholesteryl oleate, benzene, and ethanol. Cholesterol, possessing one OH group and one double bond in its molecular structure, largely increased the viscosity and reduced the self-diffusion coefficient and the intramolecular movement of oleic acid. Oleic acid forms a complex with

[†]Corresponding author
(E-mail: bsahn@daejin.ac.kr)

cholesterol as well as with ethanol. On the basis of these complex formations and the existence of the clusters composed of oleic acid dimers, it was known the role and the fundamental mechanism of cholesterol to the intermolecular and intramolecular movements of oleic acid in the liquid state.

Keywords : dimer, complex, additive, viscosity, intramolecular movement, cluster

1. 서론

생체막들은 다양한 형태의 구조를 갖고 있으나, 그들의 기본구조는 phospholipids의 이중층(짚임) 형태로 이루어져 있고 대부분의 phospholipids들은 최소 반복단위로 cis 불포화 지방산을 포함하고 있다. 지방산 내의 cis 불포화 acyl 기로 인한 큰 입체장애는 phospholipids의 탄화수소 사슬들이 조밀 짚임 구조를 방해하며 생체막의 유연성을 크게 하고, 이것은 비록 낮은 온도에서도 생체막들의 기능을 활성화 시키는 역할을 한다 [1-3]. 또한 생체막들은 cholesterol로 이루어져 있으며 여러 종류의 단백질을 포함한다. 생체막을 이루는 그런 물질들에 있어 cholesterol은 생체막의 유동성을 조절하고, 살아있는 세포들의 대사 작용에 있어 중요한 역할을 한다 [4,5]. 막에서 cholesterol의 기능은 phospholipids에 있는 지방산 일부분과 cholesterol 사이의 상호작용에 바탕을 두고 있다. 포화 지방산들은 피속에서 cholesterol 수치를 증가시킨다고 알려져 있으며, 특히 저농도 지방단백질(LDL)에 결합된 cholesterol 값을 높인다고 알려져 있다 [6-10]. 흥미롭게도 oleic acid와 같이 하나만 불포화되어 있는 산들은 반대효과를 나타낸다. 즉 LDL에 결합된 cholesterol의 농도를 감소시킨다. 더구나 cholesterol은 oleic acid의 점성도를 크게 증가시키므로 oleic acid와 cholesterol 사이의 상호작용 메커니즘을 명확히 아는 것은 아주 흥미로우면서 중요한 일이라고 할 수 있다. 액체 상태에서 대부분의 oleic acid 분자들은 이합체 형태로 존재하고, CCl₄ 같은 비극성 용매에서도 같은 모양을 띤다고 알려져 있다 [11-13]. 이 이합체들은 액체 상태에서 semetic 액정과 비슷한 일종의 집합체를 이루고 있다 [14]. 이 집합체의 존재는 oleic acid의 점성도, 자체화산 계수, 분자내 분절운동 같은 여러 물리화학적 성질을 결정한다고 볼 수 있다. 콜레스테롤의 결정 구조나 물리적 성질에 대해서

는 이미 알려져 있다 [15-16]. 그러나 액체상에서 oleic acid와 cholesterol 사이의 직접적인 상호작용에 관한 연구는 거의 이루어져있지 않다.

본 연구에서는 밀도 ρ , 점성도 η , ¹H NMR, IR의 측정을 통하여 cholesterol과 다른 첨가물(cholestanol, cholestane, cholesteryl oleate, ethanol)들이 oleic acid의 여러 물리화학적 성질에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 액상에서 oleic acid의 분자간 움직임, 분자내 운동에 대한 cholesterol의 역할을 알아보았다.

2. 실험

Oleic acid(cis-9-octadecenoic acid 99.9 % pure), cholesterol(5-cholesten 99.8% pure), cholesteryl oleate는 Aldrich chemicals의 시약을 사용하였다. Cholestanol과 choleatane은 Fluka로부터 구입하여 사용하였다. Ethanol(99.7% pure), benzene(99.7% pure), carbon tetra chloride는 모두 Aldrich로 부터 구입한 후 5Å molecular sieves를 넣고 증류하여 순수하게 정제한 후 이용하였다. 액체 상태에서 첨가물을 넣은 경우, 넣지 않은 경우 Oleic acid의 밀도(ρ), 점성도(η)는 각각 vibration type density meter (Anton Paar model DMA)와 Ubbelohde viscometer (Shibata Co.)를 이용하여 측정하였다. 밀도 측정값은 시료의 점성도를 계산하는데 사용되었으며, oleic acid에서 cholesterol의 용해도가 낮기 때문에 실험은 cholestrol 기준으로 0.15 이하의 mole분율에서 수행하였다.

첨가제를 넣었을 경우와 안넣었을 때, 액체상에서 oleic acid의 자체 화산계수(D) 값 측정을 위하여 NMR 방법을 이용하였으며 oleic acid의 carboxyl 기의 chemical shift는 tetramethylsilane (TMS)를 표준으로 측정하였다. NMR spectrometer는 JEOL Model EX-400을 이용하였다. 또한 CCl₄ 용액에서 cholestrol, ethanol 있

을 경우와 없을 때, oleic acid의 IR spectra는 Perkin Elmer FT-IR 1600 spectrometer를 이용하여 2cm^{-1} 간격으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 oleic acid/cholesterol 혼합물의 점성도 η 와 여러 온도에서 cholesterol 몰분율 x 사이의 관계를 나타내고 있다. 점성도 값 η 이 cholesterol 몰분율이 증가하면서 함께 증가하는 것을 볼 수 있으며, 온도가 증가하면 이 값은 크게 감소한다는 것을 알 수 있다. Cholesterol은 oleic acid의 점성도를 증가시킨다는 사실을 명확히 보여주고 있다.

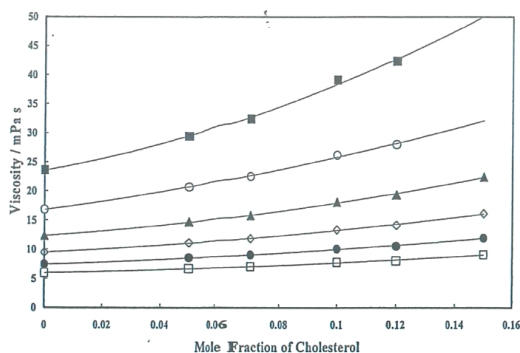


Fig. 1. Influence of cholesterol on the viscosity of oleic acid under various constant temperatures : (■)30°C, (○) 40°C, (▲)50°C, (◇) 60°C, (●) 70°C, (□) 80°C.

Fig. 2는 여러 온도에서 액체상 oleic acid의 자체 확산계수 D 와 oleic acid/cholesterol 혼합물에서 cholesterol 몰농도 사이의 관계를 보여주고 있다. 확산계수 D 는 cholesterol 몰농도가 증가하면서 조금씩 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 온도가 증가하면 이 확산계수 D 값은 크게 증가하는 것을 나타낸다. 그러므로 미시적 성질로서의 자체 확산계수는 거시적 성질의 점성도와 반대로 작용함을 알 수 있다. Oleic acid의 분자내 분절 운동에 대한 cholesterol의 억제 효과를 알아보기

위해 첨가물이 있을 때와 없을 경우, oleic acid에 있는 carboxyl기 수소의 chemical shift σ 값을 측정하였다. Fig. 3을 보면 여러 cholesterol 농도 조건에서 온도와 chemical shift σ 사이의 관계를 보여주고 있다. 순수한 oleic acid의 carboxyl기 수소는 온도가 올라감에 따라 upfield로 이동하는 것을 알 수 있다. 이 upfield 이동은 일반적으로 carboxyl 기로 이루어진 이합체에서 수소결합이 끊어졌음을 의미한다. 즉 온도가 상승함에 따라 비록 작은 비율이긴 하지만 oleic acid의 이합체가 파괴되는 현상을 불러왔다. 모든 cholesterol 기를 포함하고 있는 oleic acid 시료에서 비슷한 정도로 carboxyl기의 수소는 upfield 이동을 나타내었다. 대부분 온도에서 cholesterol은 carboxyl 기의 수소 upfield 이동을 유도하였다. 이 수소의 upfield 이동은 cholesterol 몰농도가 커지면 농도에 비례하여 증가하였다. 즉 cholesterol은 원형의 oleic acid 이합체 분자내에 있는 수소결합을 깨트리는 역할을 촉진한다고 볼 수 있다. 원형 이합체의 붕괴는 지방산 단량체의 농도가 증가하였다는 것을 의미하고 결국에는 점성도 감소를 가져오며, 또한 oleic acid 자체 확산계수의 증가를 유도하는 결과를 가져오게 된다.

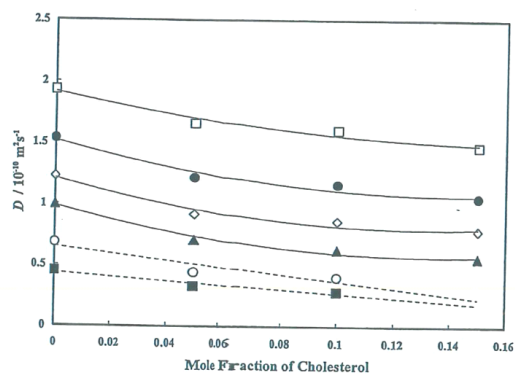


Fig. 2. Influence of cholesterol on the self-diffusion coefficient of oleic acid under various constant temperatures : (■)30°C, (○) 40°C, (▲)50°C, (◇) 60°C, (●) 70°C, (□) 80°C.

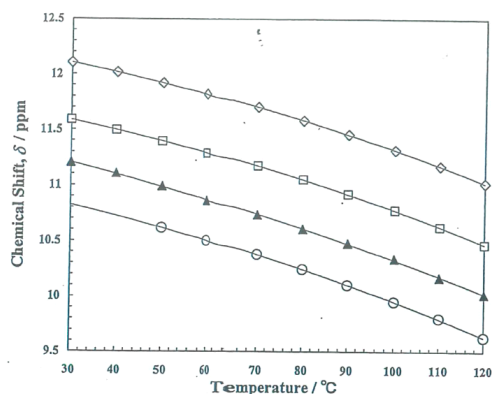


Fig. 3. Temperature dependence of the ^1H NMR chemical shift of carboxyl group of oleic acid with or without cholesterol, mole fraction of cholesterol : (x) = 0(\diamond), 0.05(\square), 0.1(\blacktriangle), 0.15 (\circ),

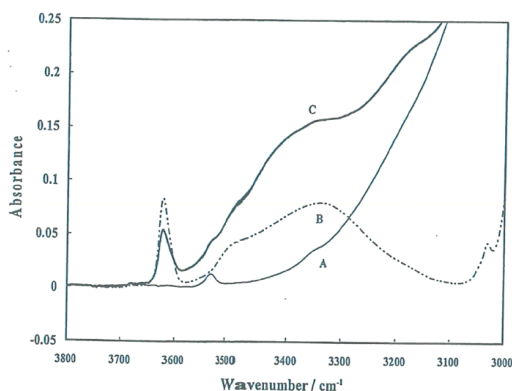


Fig. 4. IR spectra over the $3100 - 3800\text{cm}^{-1}$ region of $0.2\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ oleic acid(A), $0.2\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ cholesterol (B), and $0.2\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ mixture acid/cholesterol (C).

Oleic acid의 수소결합과 관련하여 cholesterol의 역할에 관하여 알아보기 위해 cholesterol이 있을 때와 없을 경우 모두 IR spectra를 측정하였다. Fig. 4는 $3000 - 3800\text{ cm}^{-1}$ 범위에서 0.2 mol dm^{-3} oleic acid (A), 0.2 mol dm^{-3} cholesterol (B), 0.2 mol dm^{-3} oleic acid/cholesterol 혼합물 (C) 시료의 IR을 보여주고 있다. Fig. 5는 $1500 - 1900\text{ cm}^{-1}$ 범위에서 시료 A, B, C의 IR을 각각 나타내고 있다. Fig. 4에서 oleic acid

(A)는 3250 cm^{-1} 에서 작지만 강한 띠를 볼 수 있는데 이것은 oleic acid 단량체의 $-\text{OH}$ 신축진동 때문에 나타난 것이라 볼 수 있다. 크고 넓은 띠는 carboxyl $-\text{OH}$ 기의 신축진동과 methyl기의 $-\text{CH}$ 신축이 합해져서 나타났고, methylene기는 3300cm^{-1} 아래에서 나타나고 있음을 볼 수 있다. Cholesterol의 IR을 보면(B) 3620cm^{-1} 에서 단일 분자 형태의 자유로운 $-\text{OH}$ 신축운동으로 인해 상대적으로 날카로운 피크를 나타내고 있고, 자체 회합 형태 다중체의 수소결합으로 인해 3340cm^{-1} 부근에서 넓은 피크를 나타내고 있다. Spectrum C는 oleic acid와 cholesterol 혼합물의 것을 나타내는데 단순히 oleic acid와 cholesterol의 합한 형태가 아니라는 것을 알 수 있다. 3620cm^{-1} 부근에 있는 cholesterol 분자의 $-\text{OH}$ 신축진동과 연관된 피크를 보면 B의 그것이 혼합물 형태의 C보다 더 강하다는 것을 볼 수 있다. 즉 혼합물에서는 자유로운 $-\text{OH}$ 기의 움직임이 oleic acid로 때문에 감소한다는 것을 말해준다. Fig. 5는 $1500 - 1900\text{ cm}^{-1}$ 영역의 IR을 보여주고 있는데 cholesterol (B)는 어떤 흡수도 일어나지 않았다. 1720cm^{-1} 에서 oleic acid 피크 (A)는 acid/cholesterol 혼합물 (C) 보다 더 강하게 나타났다. 이것은 oleic acid 이합체의 결합 carboxyl 기가 cholesterol 때문에 감소하였기 때문으로 풀이된다. 한편 자유로운 carbonyl 기로 인한 1760cm^{-1} 부근에서는 거의 차이가 없음을 볼 수 있는데, 이는 cholesterol이 oleic acid의 결합된 carboxyl 기를 파괴하지만 자유로운 carboxyl 기의 수는 일정하다는 것을 말해준다.

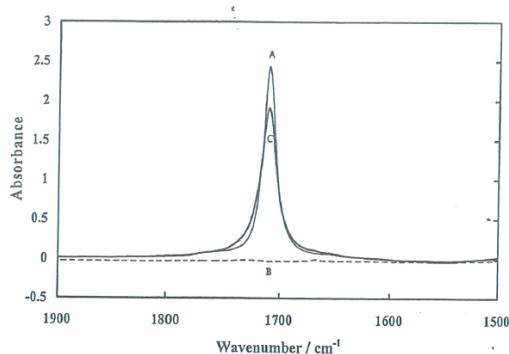


Fig. 5. IR spectra over the $1500 - 1900\text{ cm}^{-1}$ region of $0.2\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ oleic acid(A), $0.2\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ cholesterol (B), and $0.2\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ mixture acid/cholesterol (C).

Oleic acid와 cholesterol 사이의 수소결합을 좀 더 명확히 알아보기 위해 IR 스펙트럼의 혼합물 (C)로부터 oleic acid(A)와 cholesterol(B)를 빼주었다. 이렇게 제외시키면 oleic acid 탄화수소 사슬의 $-CH$ 진동에 의한 기여를 없애주기 때문에 혼합물에서 단지 oleic acid와 cholesterol 사이의 수소결합에 의한 변화만 나타나게 한다. 이렇게 얻어진 차이가 Fig. 6에 $3100 - 3800\text{cm}^{-1}$ (a)과 $1500 - 1900\text{cm}^{-1}$ (b) 범위에 걸쳐 나와 있다. Fig. 6(a)를 보면 cholesterol의 $-OH$ 기로 인한 3620cm^{-1} 피크는 마이너스를 보이는데 이것은 혼합되었을 때 cholesterol의 $-OH$ 기가 oleic acid에 의해 소모되었기 때문이다. 반면에 oleic acid의 carboxyl 기에 의해 나타나는 3520cm^{-1} 부근에서는 약간 증가하는 현상을 보여주고 있다. 흥미로운 점은 3430cm^{-1} 과 3200cm^{-1} 에서 두 개의 넓은 띠가 나타나는데 (6a), 이 두개의 띠는 cholesterol과 oleic acid에 있는 $-OH$ 기 사이의 수소결합에 기인하는 것으로 생각된다.

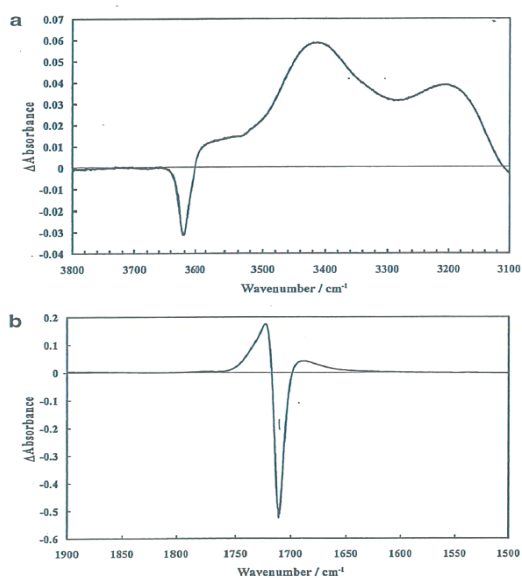


Fig. 6. A difference spectrum in the $3100 - 3800\text{cm}^{-1}$ region (a), $1500 - 1900\text{cm}^{-1}$ region (b) for the oleic acid/cholesterol mixture system. The band due to free OH largely decrease, and $\text{OH}\cdots\text{O}=\text{C}$ band appears near 3500cm^{-1} .

$1500 - 1900\text{cm}^{-1}$ 사이의 그림을 보면 (Fig. 6b) oleic acid 이합체로 인해 1710cm^{-1} 에서 감소하고, 1730cm^{-1} 에서 증가하는데 이는 cholesterol의 $-OH$ 기와 oleic acid의 carbonyl 사이에 생긴 결합 ($\text{OH}\cdots\text{O}=\text{C}$) 때문이다. 이합체화 된 carbonyl 기 영향으로 cholesterol은 1690cm^{-1} 의 피크를 증가시키는데, 이것은 cholesterol을 oleic acid에 첨가했을 때 oleic acid 이합체가 단일 분자로 해리되면서 cholesterol의 $-OH$ 기와 결합을 통하여 cholesterol과 결합한다는 사실을 의미한다.

결과적으로 cholesterol의 $-OH$ 기와 oleic acid의 $\text{C}=\text{O}$ 기 사이의 수소결합 뿐 아니라, cholesterol의 $-OH$ 기와 oleic acid COOH의 $-OH$ 기 사이에도 새로운 수소결합이 만들어 지면서 착물 형태가 형성되고, 따라서 이 착물형성으로 인해 액상에서 oleic acid의 분자간 또는 분자내 운동이 감소하는 결과를 초래한다.

Cholesterol이 oleic acid의 다른 성질들 즉 점성도, 자체확산 계수, 분자내 운동에 미치는 영향을 좀 더 자세히 알아보기 위해 cholestane, cholestanol, cholesteryl oleate, benzene 같은 다른 첨가물질에 대해서 조사하였다. Fig. 7은 점성도에 미치는 몇가지 물질들의 영향을 나타내고 있다. Cholestane은 점성도를 조금씩 증가시키는 반면, 벤젠과 에탄올은 감소시키고 cholesterol은 크게 증가시키고 있다. Fig. 8을 보면 자체 확산 계수가 여러 첨가물에 의해 어떻게 영향을 받는지를 보여주고 있다. 불포화결합을 가지고 있지 않은 cholestanol은 농도가 증가할수록 oleic acid의 확산계수 D값을 감소시키고 있다. 불포화 결합은 oleic acid의 물리적 성질에 별로 영향을 미치지 않는다고 볼 수 있다. Cholestane도 약간이지만 확산계수를 감소시키고 있다. 대조적으로 에탄올, 벤젠은 자체 확산계수 D를 증가시킨다. 스테로이드 고리를 갖는 첨가 물질들은 oleic acid의 분자간 운동을 감소시키는 경향을 갖는 반면, 벤젠, 에탄올 같은 물질들은 확산계수 D를 증가시키고 있다. Fig. 9는 oleic acid의 COOH기에 대한 여러 첨가물질들의 ^1H NMR chemical shift 이동값을 보여주고 있다. OH기를 갖고 있지 않은 벤젠, cholestanol, cholesteryl oleate는 chemical shift에 별로 영향을 미치지 않는 반면, OH기를 갖고 있는 cholestanol, 에탄올은 농도가 증가하면서 상당한 수준의 upfield shift를 보여주고 있다. Cholesterol이나 에탄올의 OH기는 oleic acid

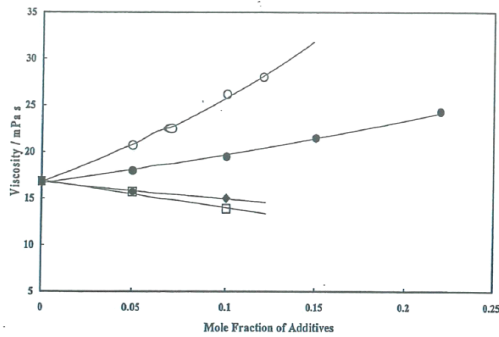


Fig. 7. Influence of various additives on the viscosity of oleic acid cholestane(●), ethanol(◆), Benzene(□), cholesterol (○).

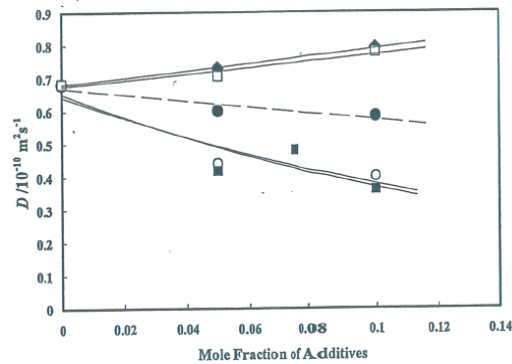


Fig. 8. Influence of various additives on the self-diffusion coefficient of oleic acid cholestane(●), ethanol(◆), Benzene(□), cholesterol(○).

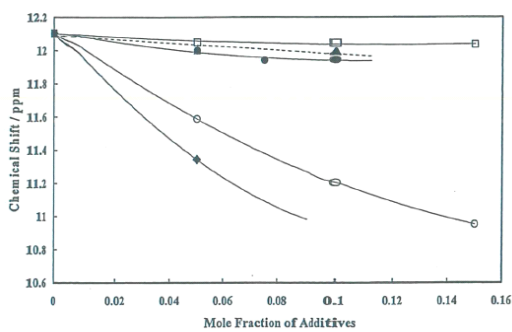


Fig. 9. Influence of various additives on the chemical shift of the ¹H NMR of the caboxyl group of oleic acid cholestane(○), cholestane(●), ethanol (◆), Benzene(□).

에 있는 COOH 사이의 수소결합을 파괴하고 카르보닐기 C=O 기와 새로운 형태의 결합을 만들면서 산과 첨가물 사이에 착물을 생성한다. 이 oleic acid/cholesterol 착물은 분자내 운동을 억제한다는 의미에서 cholesterol oleate 구조와 비슷하다고 여겨진다. Oleic acid와 에탄올도 착물을 형성하는데 앞의 cholesterol 착물과 유사하다는 것을 알 수 있다.

에탄올과 cholesterol 두 착물의 3000 - 3800 cm⁻¹과 1500 - 1800cm⁻¹ 영역에서 IR을 비교해보면 매우 비슷함을 알 수 있다 (Fig. 4). Oleic acid/cholesterol 착물은 oleic acid의 분자 분절운동을 감소시키는 반면, 비슷한 구조를 갖는 oleic acid/에탄올 착물은 분절운동을 증가시킨다. 일반적으로 oleic acid 같은 지방산은 순수 액체 상태에서 유사 액정(liquid crystal)같은 구조를 갖는 집합체를 형성한다. 구조적으로 cholesteryl oleate와 비슷한 cholesterol/oleic acid 착물은 oleic acid 이합체로 이루어진 집합체 속으로 쉽게 침투해 들어가 이들 소수성 분자들끼리 상호 인력 작용에 의하여 집합체 내 이합체들 끼리의 결합을 향상시킨다. 결과적으로 oleic acid의 점성도는 증가하고 cholesterol 농도가 증가하면서 oleic acid 자체 확산계수와 분자내 운동은 감소한다. Oleic acid 분자는 단층막에서 cholesterol과 잘 섞이지만 비이상적 혼합층을 만든다는 사실은 oleic acid와 cholesterol 분자가 강한 상호작용을 하면서 모든 비율로 잘 섞인다는 것을 의미한다. 이것은 또한 oleic acid의 탄화수소 사슬과 큰 cholesterol 분자 사이에 촘촘히 쌓임 형태의 배열이 있다는 것을 암시한다.

Oleic acid/cholesterol 액체 혼합물에서 이들 두 분자의 착물형성은 oleic acid 분자의 분절운동을 억제하는 효과를 가져왔으며, 반면에 oleic acid과 에탄올로 이루어진 착물은 산 이합체들로 이루어진 큰 집합체 속으로 쉽게 침투해 들어간다. 그러나 이것은 에탄올의 매우 작은 소수성 부분으로 인해 산 이합체 배열을 흐트러지게 만들고, oleic acid의 분자 분절 운동을 배가시키게 한다. 또한 Oleic acid 시료에 벤젠을 가했을 경우, 벤젠 분자들이 oleic acid 이합체들로 이루어진 집합체 속으로 침투하여 oleic acid 이합체의 배열을 흐트러서 산 분자들의 분자 분절 운동을 촉진하게 된다. Cholesterol을 첨가하면 oleic acid 분자들의 분자내, 분자간 운동이 모두 억제되는데 oleic acid 이합체에서의 수소결합이

cholesterol에서의 결합보다 훨씬 세기 때문이라고 볼 수 있다. Oleic acid 분자들은 대부분 구형의 이합체를 형성하여 매우 안정된 반면에 cholesterol 분자들은 이합체 이상의 회합체를 형성한다. 그러므로 cholesterol을 oleic acid에 가하게 되면 점성도가 증가하고, 자체 확산계수는 감소하게 된다. COOH, OH 기의 ^1H NMR chemical shift를 분석해 보면 혼합물(cholesterol/oleic acid, ethanol/oleic acid)에서 cholesterol이나 에탄올 분자들은 액상의 oleic acid에서 집합체 또는 단량체로 함께 공존한다는 사실을 알 수 있다. 알콜이나 극성의 비수소 용매들은 비극성 용매보다 짧은 탄화수소를 갖는 지방산에 대해 더 큰 용해도를 나타낸다.

4. 결론

액체 상태에서 oleic acid의 여러 물리화학적 성질에 미치는 cholesterol의 영향을 조사하였다. 밀도 ρ , 점성도 η , IR spectra, ^1H NMR chemical shift, 자체 확산계수 D 등의 측정을 통하여 cholesterol, cholestanol, cholestane, cholesteryl oleate, benzene, ethanol 등의 첨가물이 포함된 oleic acid 시료에 대한 효과가 어떻게 나타나는지 알아보았다. OH기를 갖고 있지 않은 벤젠, cholestanol, cholesteryl oleate는 chemical shift에 별로 영향을 미치지 않는 반면, OH기를 갖고 있는 cholestanol, 에탄올은 농도가 증가하면서 상당한 수준의 upfield shift를 보여주었다. Oleic acid/cholesterol 혼합물에서 이들 두 분자의 착물형성은 oleic acid 분자의 분절운동을 억제하는 효과를 가져왔으며, 반면에 oleic acid과 에탄올로 이루어진 착물은 산 이합체들로 이루어진 큰 집합체 속으로 쉽게 침투해 들어가고 이것은 에탄올의 작은 소수성 부분으로 인해 산 이합체 배열을 흐트러지게 하고, oleic acid의 분자 분절 운동을 배가시켰다. Oleic acid는 에탄올 뿐 아니라 cholesterol과도 착물을 형성하는데 이들 착물 형성과 oleic acid 이합체로 이루어진 집합체에 대한 분석을 바탕으로 oleic acid의 분자분절 운동에 대한 cholesterol의 영향을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2019학년도 대전대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

References

1. G. Schmitz and J. Ecker, "The opposing effects of n-3 and n-6 fatty acids", *Prog. Lipid Res.*, Vol. 47, pp. 147-155 (2008).
2. B. M. Spiegelmann and J. S. Flier, "Obesity and the energy balance", *Cell*, Vol. 104, pp. 531-543 (2001).
3. V. Zammit, D. J. Langkaster, A. M. Brown, and B. S. Park, "Insulin stimulate triacylglycerol secretion by pursed livers", *Eur. J. Biochem.*, Vol. 263, pp 859-864 (1999).
4. K. S. Husted and E. V. Bouzinova, "The importance of fatty acid ratio in the major depressive disorder", *Medicine*, Vol. 52, pp. 139-147 (2016).
5. H. Q. Liu, Y. Qiu, and F. Wang, "A high ratio of dietary polyunsaturated fatty acids improves obesity-linked inflammation", *Nutr. Res.*, Vol. 33, pp 849-858 (2013).
6. P. C. Elodie, T. Mariano, M. Michlie, and W. Salwa, "Dietary polyunsaturated fatty acids upregulate plasma leptin", *J. Nutr.* Vol. 132, pp 2235-2240 (2002).
7. J. Hwangho, S. O. Park, and B. S. Park, "Lipid lowering mechanism of sulfur-fed grain larvae extract", *J. Oil & Appl. Sci.*, Vol., 31, pp 572-583 (2014).
8. K. Bhardwai, N. Verma, K. Tervedi, and N. Shukla, "Significance of ratio of omega in human with special reference to flaxseed oil", *Int. J. Biol. Chem.*, Vol. 10, pp 1-6 (2016).
9. B. S. Park and S. O. Park, "Extracts of house maggot reduces blood cholesterol". *J. Kor. Oil Chem. Soc.*, Vol. 31, pp 101-112 (2014).

10. S. Lee, J. S. Kim, D. H. Choi, and K. H. Um, "Biochemical mechanism of the ratio of fatty acids on blood lipid reduction", *J. Kor. Oil Chem.*, Vol. 34, pp 315-326 (2017).
11. T. Song, L. Li, F. Yang, and X. Zhi, "Hypocholesteremic effects of 2-hydroxy-3-decyl ammonium propyl chloride", *J. Biomaterials Sci.*, Vol. 23 pp 1107-1114 (2012).
12. N. Rotllan and C. Femendez, "Microregulation of cholesterol metabolism", *Cholesterol*, Vol. 201, pp 8-15 (2012).
13. P. G. Kopelman, "Obesity as a problem", *Nature*, Vol 404, pp 635-643 (2000).
14. J. Martinez, and A. Otiz, "State of art and perspectives of catalytic reduction of aqueous nitrates", *Appl. Catalysis B: Environmental*, Vol. 207, pp 42-49 (2017).
15. T. Le, J. Kim, J. Yoon, "Physiochemical properties of RuO₂ effecting chlorine evolution", *J. Indus. & Eng. Chem.*, Vol. 21, pp 400-404 (2015).
16. D. Regonimi, C Brown, and R. Stevens, "A review of growth mechanism, structure, and crystallinity of nanotubes", *Mater. Sci. & Eng.*, Vol. 74, pp 377-182 (2013).