

## 초임계 이산화탄소 용매하의 요소부가법에 의한 어유지방산으로부터 EPA와 DHA의 분리

김재덕 · 임종성 · 이윤우

한국과학기술연구원 CFC대체기술센터

## Separation of EPA and DHA from Fatty Acid of Fish Oil by Urea Adduct Formation Using Supercritical Carbon Dioxide Solvent

Kim, Jae-Duck · Lim, Jong-Sung · Lee, Youn-Woo

*CFC Alternatives Technology Center, Korea Institute of Science and Technology*

(Received Jun., 20, 1997)

### ABSTRACT

Separation of EPA and DHA from fish oil fatty acid ethyl ester (FAFE) by urea adductive crystallization method was carried out in the supercritical carbon dioxide (SC CO<sub>2</sub>) as a solvent. Our results showed that SC CO<sub>2</sub> is a good candidate as a solvent in the urea adductive crystallization to separate FAFE by the number of unsaturated bonds. Compared to the separation process using methanol, SC CO<sub>2</sub> yielded better performance in the overall selectivity of EPA and DHA. The effect of process variables on separation of EPA and DHA was discussed in detailed. A hybrid technology of SC CO<sub>2</sub> fractionation and urea adductive crystallization with SC CO<sub>2</sub> was conformed as a viable process to separate and concentrate EPA and DHA from fish oil.

### I. 서 론

어류의 지방질 추출액인 어유에는  $\omega$ -3계 고도불포화지방산(poly unsaturated fatty acid, PUFA)인 EPA(eicosapentaenoic acid, C<sub>20:5</sub>)와 DHA(docosahexaenoic acid, C<sub>22:6</sub>)가 과량 함유되어 있는데 많은 연구결과 이 고도불포화지방산은 혈관확장작용, 혈소판응집 억제작용, 혈액 중 중성지방 저하작용, 혈압저하작용, 혈액 중 VLDL cholesterol과 LDL cholesterol의 저하작용, 혈액 중 HDL cholesterol의 증가작용, 뇌경색 방지작용, 심근경색

방지작용 등 순환기 계통질병의 예방효과가 보고되고 있다<sup>1-5)</sup>.

이 EPA와 DHA는 바다의 홍조, 갈조 등 해조(海藻)류와 이를 먹이사슬로 하는 해산동물에 주로 존재하나 현재 상품화되어 있는 EPA와 DHA 함유 건강보조식품은 거의 어유를 가공하여 시판되고 있다. 정상적인 성인이 순환기계통 질병의 예방효과를 얻기 위해서는 EPA와 DHA를 하루 2~3g을 섭취해야 되나 이 양은 정어리 5마리분에 해당해 통상적인 식생활 습관으로 볼 때 사실상 섭취가 불가능하므로 농축해서 사용해야 한다. 지금까지 개발된 EPA와 DHA 등 고도불포화 지방산의 농축법으로는 trig-

lyceride(TG)형태의 경우 wintering법과 저온분별 결정법 등이 있고, 지방산 에스테르 형태로 농축할 경우 용매의 용해도 차이를 이용하는 염형성법, 저온분별 결정법, 용매추출법, 상대휘발도 차이를 이용한 분별증류법, 흡착도 차이를 이용한 크로마토그래피법, 포접형성을 이용한 요소부가법 등이 있다. 그러나 TG형태로 농축할 경우 고농도로 농축할 수 없는 단점이 있으며 지방산 에스테르 형태로 농축할 경우에도 염형성법, 분별증류법, 저온분별 결정법은 농축농도가 낮고 불포화지방산이 변질될 우려가 있으며 크로마토그래피법은 농축비용이 높은 단점이 있다.

이 밖에도 메탄올을 용매로 한 요소부가법은 액체 용매에 동반되는 포화지방산이 요소와 결합하여 포접화합물(adduct)을 형성하는 점을 이용하여 불포화 지방산을 농축하는 기술이지만 공정의 여과, 요소의 침전, 세척, 여과액으로부터 불포화지방산의 회수, adduct의 분해 등으로 복잡하고, 용매인 메탄올의 회수시 불포화지방산이 변질되는 단점이 있다.

최근 새로 개발되고 있는 초임계 유체 추출기술은 천연물의 유효성분을 추출 및 정제하는 이상적인 방법으로 주목을 끌고 있다. 임계점 이상의 온도와 압력하에 있는 초임계 유체는 밀도가 액체의 밀도와 같이 크므로 용해력이 크고 점도가 기체의 점도와 유사하므로 침투력이 커서 추출효율이 높고 확산속도가 크므로 추출속도가 빠른 장점을 갖고 있다. 또한 초임계 유체의 용해력과 선택성을 간단히 온도와

압력을 변경하여 조절할 수 있으므로 목적물을 선택적으로 추출할 수 있으며 추출후 용매의 회수도 용이하므로 잔존용매가 없는 제품을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 이산화탄소와 같이 임계온도가 낮고 인체에 무해하며 안전한 초임계 유체를 사용하면 열에 민감한 성분을 안정하게 추출할 수 있게 된다<sup>6)</sup>.

Suzuki 등<sup>7)</sup>은 요소포접을 형성시키기 위한 용매로 메탄올대신 초임계 유체를 사용함으로써 공정을 단순화시킬 수 있다고 보고하였다. 즉 초임계 이산화탄소에 용해된 지방산을 요소와 접촉시키면 포화지방산 및 불포화도가 낮은 지방산은 요소와 포접화합물을 형성하고 불포화도가 높은 EPA와 DHA 등은 포접화합물을 형성하지 않으며 용매인 이산화탄소는 감압시켜 쉽게 유지성분과 분리할 수 있다고 보고하였다.

본 연구에서는 초임계 이산화탄소 용매하의 요소부가법에 의해 어유지방산 에틸에스테르의 분리실험을 수행하여 EPA와 DHA 등 고도불포화지방산의 농축 가능성을 검토하고 그 결과를 기존의 메탄올용매하의 요소부가법과 비교하였다.

## II. 실험재료

실험에 사용된 어유는 (주)코리아상사 제품의 정어리유로 TG구조로 결합되어 있는 지질을 지방산 에틸에스테르 형태로 변환시켜 지방산 농축을 위한

Table 1. Gas chromatographic condition for the analysis of fatty acid composition of fish oil

Model	Hewlett Packard HP 5890 Series II
Column	10% Silar 7CP on Chromosorb W-HP, 100/120 mesh 1/8"×3.0m SUS Packed Column
Detector	Flame Ionization Detector
Carrier Gas	N <sub>2</sub> , 25mL/min
Temperature	Oven : Initial Temp. = 185°C, Initial Time = 0 Program Rate = 1.3°C/min Final Temp. = 240°C, Final Time = 1 min Injector Temp. : 250°C Detector Temp. : 280°C
Sample	30wt.% Sample in n-Heptane, 0.5L Injection

시료로 사용하였으며, 그 방법은 다음과 같다.

- 1) 어유 100part를 erlenmeyer flask에 취한다.
- 2) 어유를 지방산 에틸에스테르로 전환시키기 위해 sodium ethoxide 1part와 무수에탄올 35part를 가한다.
- 3) Flask 위에 reflux condenser를 연결하고 냉각수를 흘려 보낸다.
- 4) Hot plate 위에서 격렬히 교반하면서 비등시킨다.
- 5) 약 6시간 동안 교반과 비등을 계속한다.
- 6) 반응이 끝난 후 실온으로 냉각하고 분액깔대기로 옮긴다.
- 7) 층분리시킨 후 하층의 glycerol 및 미반응 에탄올을 제거한다. 이때 끓는 증류수(deionized water)를 준비한다.
- 8) 분액깔때기에 끓는 증류수를 적당량 가하고 흔든 후 약 1시간 가량 방치하여 층분리시킨다.
- 9) 하층의 증류수 층을 제거한다.
- 10) 하층의 증류수가 중성이 될 때까지 끓는 증류수로 계속 세척한다. 이때 하층의 증류수의 pH를 확인한다.
- 11) 수분이 포함되지 않는 상층만을 취하여 냉장고에 보관한다.
- 12) 위의 과정으로부터 얻은 지방산 에틸에스테르를 Gas Chromatography(GC)로 지방산 조성을 분석한다. GC분석 결과 얻은 각 성분의 chromatogram의 면적비를 각 성분의 무게비로 가정하였다.

Table 1에 GC의 분석조건을 나타내었고 Table 2의 Sample-I이 위의 방법으로 얻은 어유지방산 에틸에스테르이다. Table 2의 Sample-II는 초임계 정류법<sup>8)</sup>에 의해 얻은 EPA가 농축되어 있는 실험재료를 나타낸다.

이 밖에도 초임계 용매로 사용한 이산화탄소는 순도 99.9mol% 이상인 신양상사(주)제품을 사용하였으며 요소는 일본 Junsei사의 시약용 제품을 더 이상의 정제없이 그대로 사용하였다.

### III. 실험장치 및 실험방법

#### 1. 실험장치

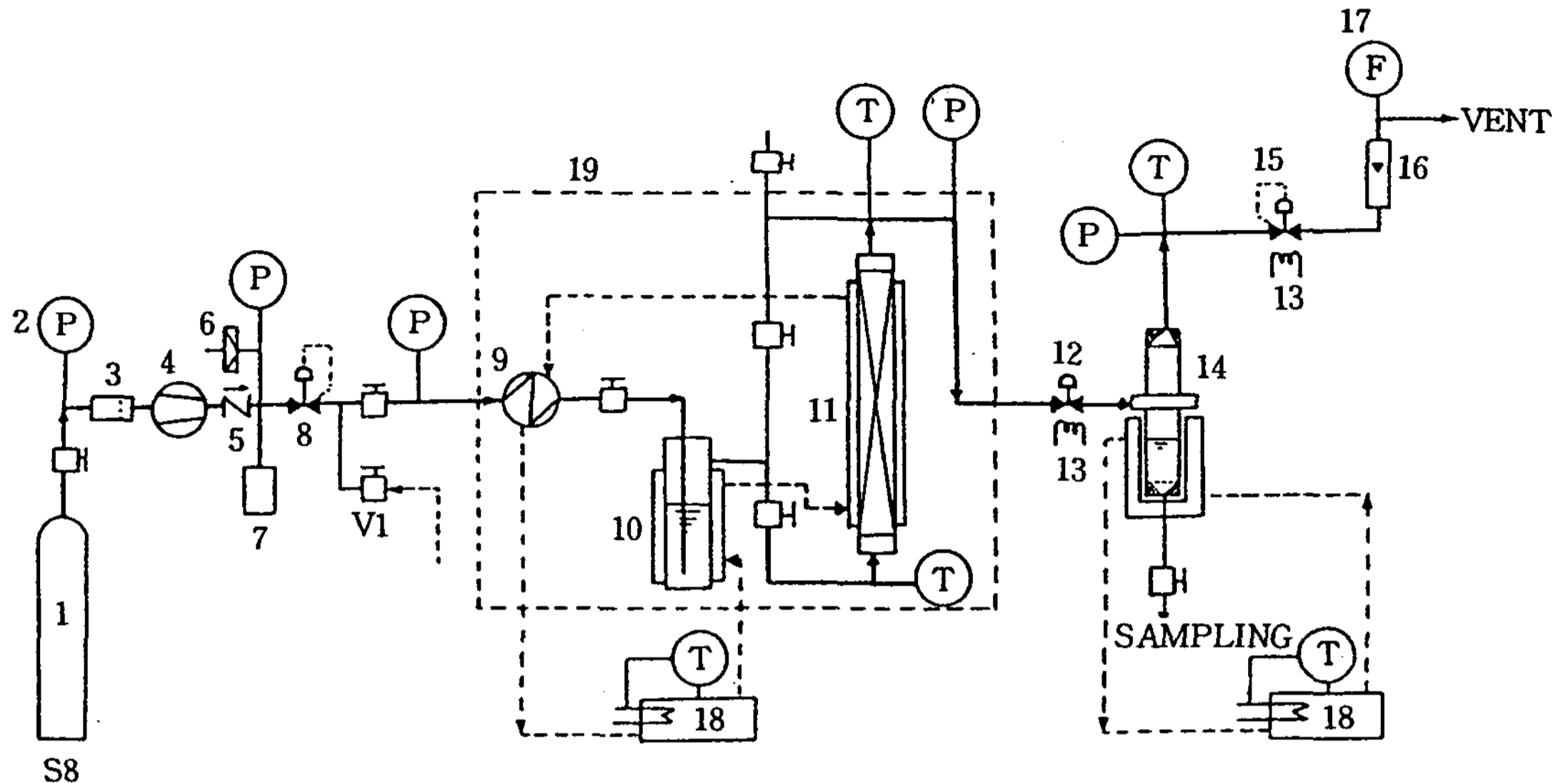
초임계 이산화탄소와 요소를 함께 사용하여 어유

Table 2. Composition of fish oil fatty acid ethyl ester

Components	Sample I (wt%)	Sample II (wt%)
14:0	6.658	1.813
14:1	0.273	—
15:0	0.538	0.110
15:1	0.198	—
16:0	16.378	—
16:1	7.116	13.279
17:0	1.141	4.207
17:1	1.102	—
18:0	3.403	0.406
18:1 $\omega$ 9	13.095	5.096
16:4 $\omega$ 3	1.747	15.882
18:2 $\omega$ 6	1.496	—
18:3 $\omega$ 6	0.390	—
18:3 $\omega$ 3	1.152	1.619
20:1 $\omega$ 9	4.440	0.851
18:4	3.774	12.084
20:2 $\omega$ 6	0.331	—
20:3 $\omega$ 6	0.144	—
20:4 $\omega$ 6	4.252	3.351
20:4 $\omega$ 3	0.954	—
20:5 $\omega$ 3(EPA)	13.868	33.725
22:4 $\omega$ 6	1.523	0.654
22:5 $\omega$ 6	0.297	0.178
22:5 $\omega$ 3	1.998	0.612
22:6 $\omega$ 3(DHA)	11.467	5.761
Unknown	2.265	0.372

지방산 에틸에스테르로부터 EPA와 DHA를 농축하는 실험장치는 Swiss NOVA사의 고압 추출장치로 그 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치는 최대 700bar까지 사용 가능하며 모든 장치와 연결 line의 재질은 고압용 1/4" stainless steel을 사용하였고 연결방법은 high pressure connection법을 사용하였다.

이산화탄소는 cylinder로부터 공급되며, cylinder와 실험장치와의 연결은 외부 stress에 의한 누출을 방지하기 위하여 flexible hose(NOVA model 510. 3174-2)를 사용하였다. 또한 이산화탄소 중 포함될



- |                             |                       |                             |                                     |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1. CO <sub>2</sub> Cylinder | 6. Rupture            | 11. Urea Column             | 16. Rotameter                       |
| 2. Pressure Gauge           | 7. Damper             | 12. Metering Valve          | 17. Flow Totalizer                  |
| 3. Line Filter              | 8. Pressure Regulator | 13. Heater                  | 18. Constant Temperature Circulator |
| 4. Compressor               | 9. Preheater          | 14. Separator               | 19. Air Bath                        |
| 5. Check Valve              | 10. Liquid Extractor  | 15. Back Pressure Regulator |                                     |

Fig. 1. Experimental apparatus for the separation of fish oil fatty acid ethyl ester by urea adductive crystallization using supercritical carbon dioxide solvent.

수 있는 불순물을 제거하기 위하여 compressor 도 입부에 line filter(NOVA model 520.5332-1)를 설치하였다.

이산화탄소의 가압은 최대 1000bar까지 사용 가능한 electrically-driven high pressure compressor(NOVA model 554.2121)를 사용하였고, 20~200bar의 suction pressure를 요구하며 최대 1000bar까지 사용할 수 있다. Compressor의 배출부에는 안전을 위하여 파열판(NOVA model 521.9542; 파열압력 = 1190bar)과 이산화탄소의 역류를 방지하기 위하여 check valve(NOVA model 520.3333)를 설치하였다. 실험압력은 pressure regulator(Tescom model 26-1021-44)에 의해 일정하게 유지시켰으며 20~700bar의 범위에서 조절이 가능하다.

추출탑은 내경 40mm, 외경 60mm, 길이 265mm의 원통형 고압용기를 사용하였으며 내부에 이산화탄소가 상부에서 하부로 들어가 다시 상부로 배출될

수 있도록 dip tube를 설치하였고, 이산화탄소와 지방산의 접촉을 좋게 하기 위하여 내부에 knit mesh를 삽입하였다. 추출탑의 온도를 일정하게 유지시키기 위하여 외부에 jacket을 설치하였고, 추출탑의 도입관을 코일형 이중관식 열교환기(NOVA model 515.0054, int. area = 350cm<sup>2</sup>)로 만들어 주었으며, 열매체는 항온 circulator(HAAKE model F3-K)에서 공급하였다. 추출탑의 압력과 온도는 pressure transducer(NOVA model 5.1359.004,0-800bar range)와 thermocouple(NOVA model 5.1811.008, K type)에 의해 감지되어 digital P-T indicator(NOVA model 560.0016)에 의해 읽혀진다.

요소탑은 요소분말을 충전하기 위한 것으로서, 내경 50.8", 외경 76.2", 높이 550mm인 원통형 고압용기로 탑의 위아래에는 closure와 metal filter가 설치되어 있고, 탑내의 온도를 일정하게 유지시키기 위하여 외부에 jacket을 설치하였으며 항온 circulator로부터 열매체를 공급하였다. 추출탑을 통과한

유체는 요소탑의 하부로 들어가 상부로 배출되는데, 이 과정에서 유체에 녹아있는 지방산 중에서 포화지방산과 불포화도가 낮은 지방산은 요소와 adduct를 형성해 column에 남고 불포화도가 높은 지방산은 이산화탄소와 함께 분리기로 빠져 나간다.

이산화탄소와 추출물을 분리하기 위하여 내경 40 mm, 외경 60mm, 부피 200mL의 분리기를 설치하였다. 초임계 유체는 분리기의 중간부로 도입되어 감압된 후 이산화탄소와 지방산으로 분리되며, 이산화탄소는 상부로 배출되고 지방산은 하부에 축적된다. 분리기 하부의 외벽에도 jacket이 설치되어 있고, circulator(HAAKE model F3)로부터 냉매가 공급된다. 유출되는 이산화탄소의 유량과 분리기의 압력을 조절하기 위하여 출구에 fine-metering valve(NOVA model 530.6351)를 설치하였고, 이산화탄소는 rotameter(Matheson model 604, as ball)와 유량계를 거쳐 외부로 방출된다.

추출탑, 요소탑 및 전후 line들은 실험시 안전을 위하여 철재 cabinet(60cm×90cm×50cm) 내부에 설치하였다. 또한 cabinet 안에 온도조절기(model HY-20D)가 부착된 3개의 electric heater와 fan을 설치하였고, 외부는 styrene foam으로 단열하여 일정온도를 유지시켰다.

2. 실험방법

어유지방산 에틸에스테르와 요소를 각각 추출탑과 요소탑에 충전한 후 온도조절기가 부착된 전기가 열기에 의해 추출탑과 요소탑을 둘러싼 air bath내의 온도를 실험온도로 맞춘다. Compressor를 작동시켜 이산화탄소를 가압하고 실험압력은 pressure regulator로 조절하면서 이산화탄소를 일정한 유량으로 추출탑과 요소탑으로 보낸다.

추출탑과 요소탑의 압력이 실험압력에 도달하면 감압밸브를 통해 이산화탄소를 분리기로 보낸다. 이때 분리기의 압력은 back pressure regulator에 의해 15bar로 일정하게 유지시킨다. 분리기에서 배출된 이산화탄소를 rotameter와 적산유량계로 유량을 측정 후 외부로 방출시킨다. 위의 방법에 따라 실험을 연속적으로 수행하며, 일정시간 마다 분리기로부터 분리된 지방산에틸에스테르를 채취하여 무게를 측정하고, GC로 지방산의 조성을 분석하였다.

IV. 실험결과 및 고찰

첫번째 실험은 추출탑에 어유 Sample-I 125g과 요소탑에 요소분말 720g을 각각 넣고 이산화탄소를 0.84L/min(@20℃, 1atm)의 유량으로 통과시켰다. Fig. 2는 40℃, 100bar의 초임계 이산화탄소와 요소를 사용하여 어유의 지방산에틸에스테르를 농축할 때 시간에 따라 분리기에서 유출된 유지의 조성을 나타낸 것이다. 처음 추출탑에 넣은 유지 중 분리기에서 얻은 유지의 양으로 정의되는 수율은 약 50 wt.%이었으며 약 40wt.% 이후에는 수율이 점차로 둔화되었다. 농축지방산의 조성에 있어서는 초기부터 포화지방산인 C<sub>14:0</sub>, C<sub>16:0</sub>, C<sub>18:0</sub>는 요소와 포접화합물을 형성하여 거의 검출되지 않았다. 또한 불포화 지방산이지만 불포화도가 낮은 C<sub>16:1</sub>, C<sub>18:1n-7</sub>, C<sub>20:1</sub>도 대부분 제거되었다. 한편 불포화도가 높은 C<sub>16:4</sub>와 C<sub>18:4</sub>는 원료의 조성 과 거의 같거나 약간 높

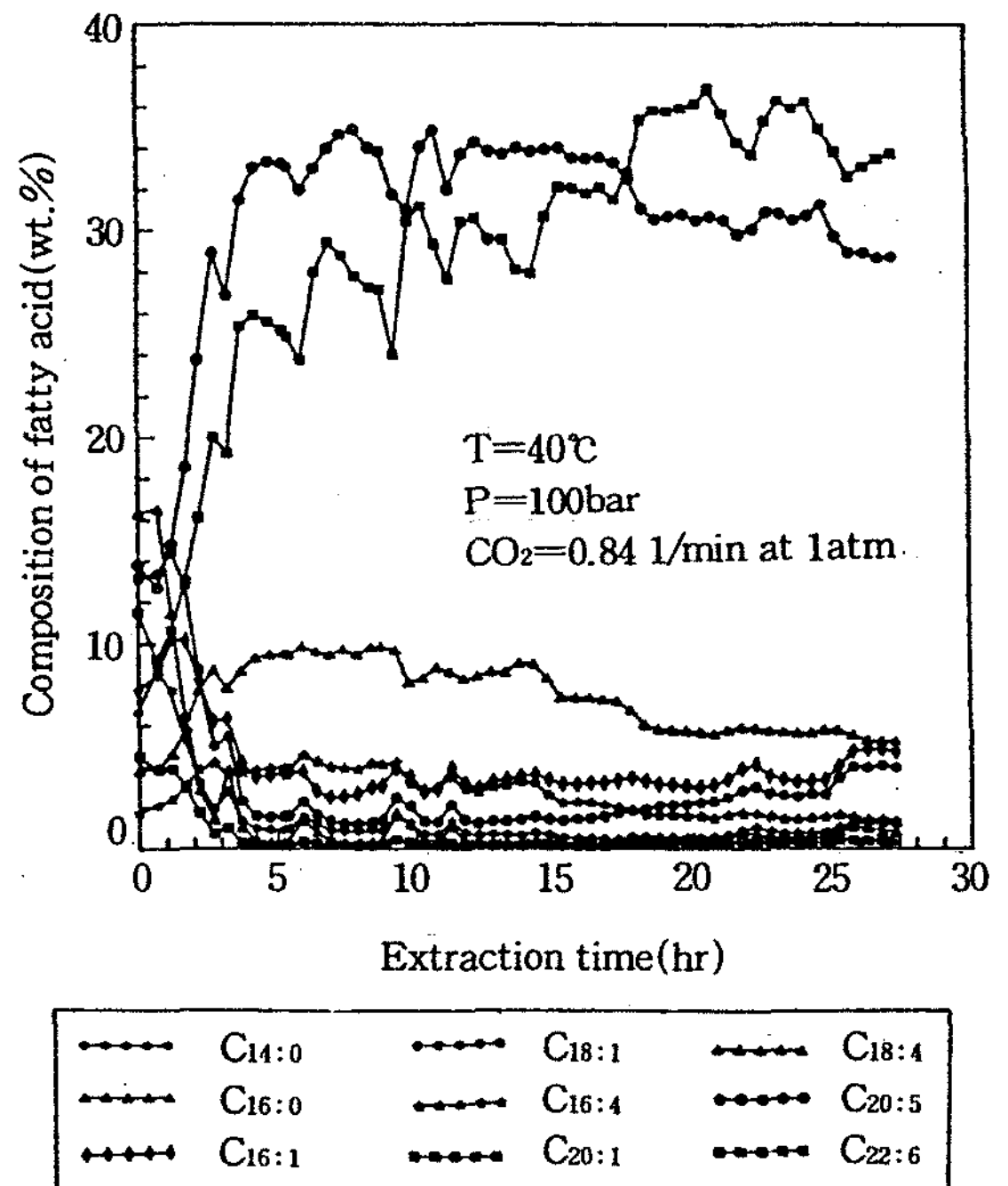


Fig. 2. The composition of fatty acids ethyl ester of fish oil in supercritical CO<sub>2</sub> extraction with urea at 40℃, 100bar.

았다. 특히 EPA와 DHA는 실험초기부터 매우 높게 농축되었는데, EPA의 경우 원료인 13.9%에서 약 30~35%까지 농축되었으며, DHA의 경우 원료의 11.9%에서 약 28~36%까지 농축되었다. 농축이 진행됨에 따라 EPA는 전반부에 더 높게 농축되었으며, DHA는 후반부에 더 높게 농축되었다. 이와 같은 사실로부터 EPA가 DHA보다 이산화탄소에 더 많이 용해됨을 알 수 있다.

두번째 실험은 첫번째의 실험조건 중 압력을 150bar로 높이고 나머지는 동일한 조건에서 수행하였으며 그 결과를 Fig. 3에 도시하였다. 수율은 약 45wt.%로 40℃, 100bar에서보다 약간 낮았고 포화지방산(C<sub>14:0</sub>, C<sub>16:0</sub>)은 거의 제거되었으나, 불포화도가 낮은 지방산(C<sub>16:1</sub>, C<sub>18:1</sub>)은 초기에는 거의 제거되다가 중반 이후부터는 제거효율이 낮아졌다. 특히 EPA와 DHA는 초기에 각각 32%와 28%까지 농축되다가 중반 이후부터는 농축성능이 급격히 떨어졌다. 이러한 결과는 압력이 100bar일 때와 150bar일

때 이산화탄소의 용해도의 차이에 기인한다고 볼 수 있다. 즉 150bar일 때 이산화탄소에 지방산이 더 많이 용해되기 때문에 이산화탄소의 유량이 같더라도 요소탑을 통과하는 지방산의 양이 증가하여 포접화합물을 형성하는데 필요한 시간이 상대적으로 줄어들어 불포화도가 낮은 지방산의 제거율이 낮아진 것으로 생각된다. 따라서 40℃의 온도에서는 압력이 100bar일 때가 150bar일 때보다 농축효과가 훨씬 더 좋음을 알 수 있다.

세번째 실험은 60℃, 150bar의 조건에서 수행하였으며 Fig. 4에 그 결과를 나타내었다. 수율은 약 40wt.%이고 포화지방산은 거의 제거되었으나, 불포화도가 낮은 지방산의 제거 효과는 크지 않았고 EPA와 DHA의 농축효과도 낮았다. 이러한 현상은 즉 초임계 이산화탄소 용매하의 요소포접 형성율은 온도가 낮을수록 증가하며, 온도가 높아질수록 형성율이 감소할 뿐 만 아니라 이미 형성된 포접화합물도 다시 분해하기 시작한다는 Suzuki<sup>7)</sup>의 보고와도

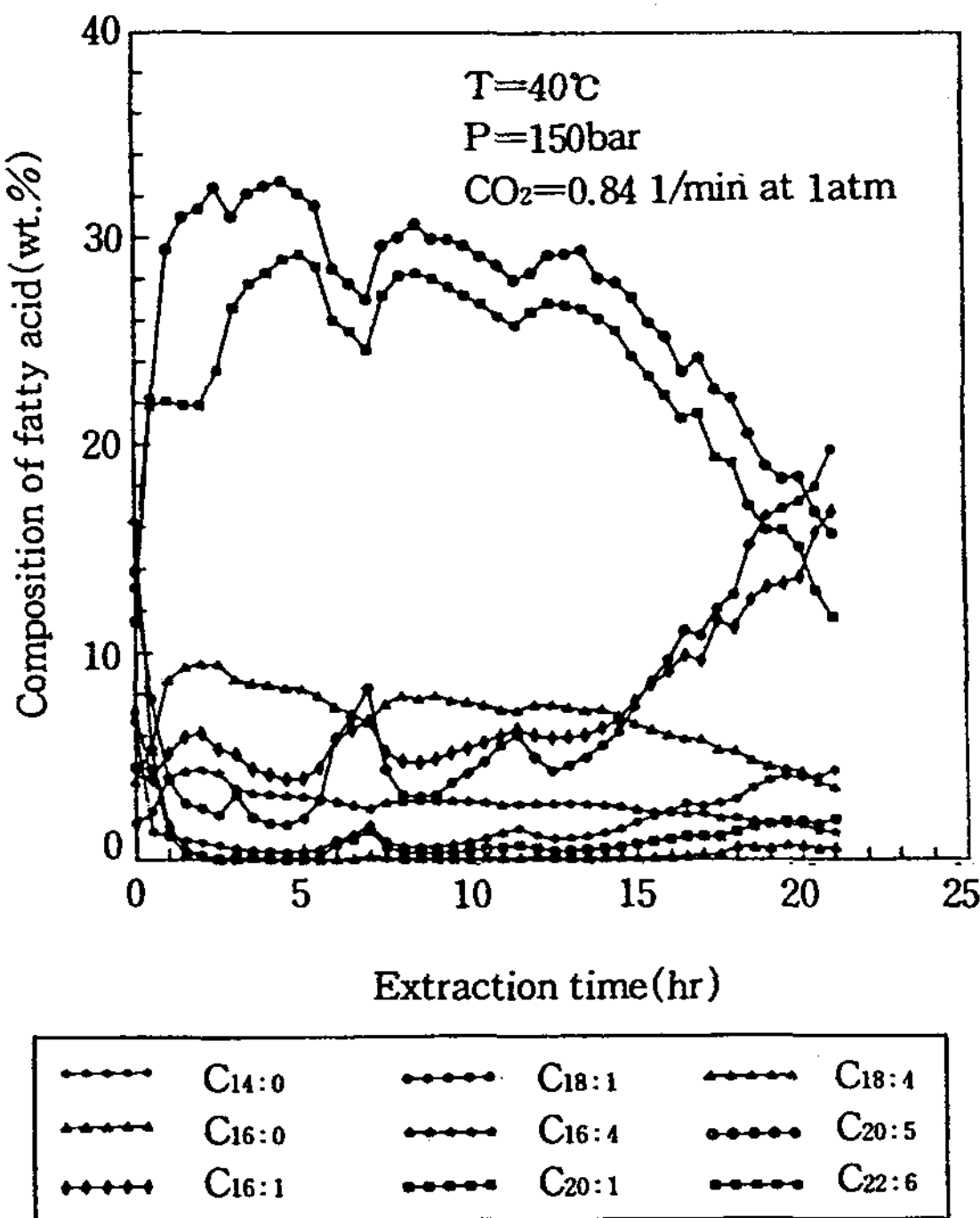


Fig. 3. The composition of fatty acids ethyl ester of fish oil in supercritical CO<sub>2</sub> extraction with urea at 40℃, 150bar.

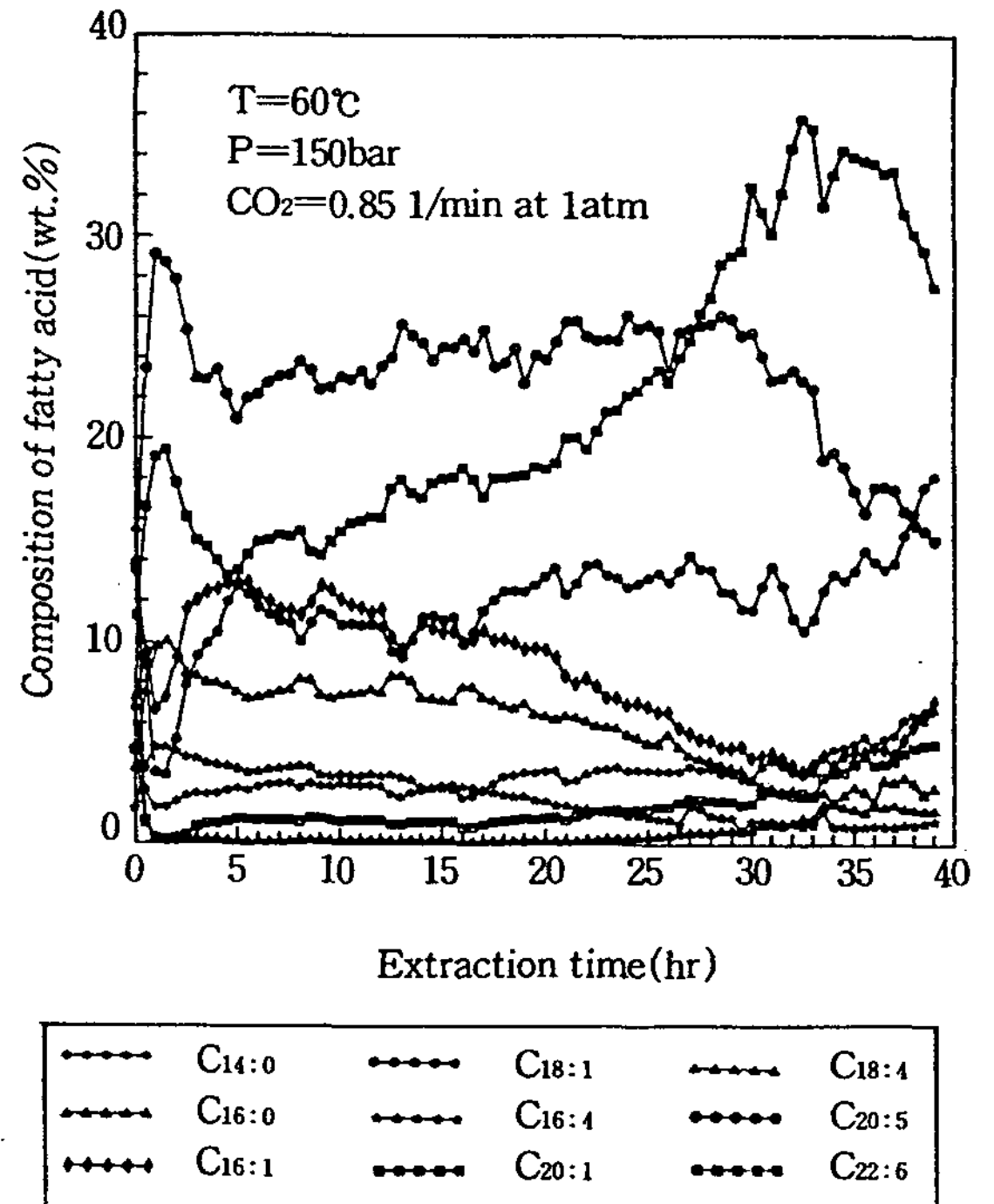


Fig. 4. The composition of fatty acids ethyl ester of fish oil in supercritical CO<sub>2</sub> extraction with urea at 60℃, 150bar.

Table 3. Experimental results in the concentration of fatty acid ethyl ester of fish oil by SC CO<sub>2</sub> and urea

Experimental conditions	Composition <sup>1)</sup> (wt%)			Yield <sup>2)</sup> (wt%)		Concentration ratio <sup>3)</sup>		
	EPA	DHA	Total	EPA	DHA	EPA	DHA	
with urea	40°C, 100bar	32.3	28.6	48.5	99.7	99.8	2.3	2.5
	40°C, 150bar	30.0	26.3	44.4	97.1	99.7	2.2	2.3
	60°C, 100bar	23.9	19.9	49.9	86.0	88.2	1.7	1.8
without urea 40°C, 100bar	13.7	9.9	99.8	98.3	93.0	0.99	0.86	

- 1) Composition in feed : EPA 13.9%, DHA 11.5%
- 2) Yield : EPA and DHA in product(wt)/EPA and DHA in feed(wt)
- 3) Concentration Ratio : wt% of product/wt% of feed

일치한다.

Fig. 5는 농축효과에 미치는 요소의 영향을 관찰하기 위하여 요소를 사용하지 않고 40°C, 100bar의 초임계 이산화탄소만을 사용하여 액체추출탑으로부터 지방산 에틸에스테르를 추출하였을 때의 지방산 조성을 나타낸 것이다. 포화지방산과 불포화도가 낮은 지방산은 원료에 비해 거의 변화가 없었으며, EPA와 DHA의 경우는 중반까지 원료보다도 더 낮은 조성을 보이다가 후반부에만 약간 농축되었다. 따라서 초임계 이산화탄소만으로는 불포화 지방산의 농축이 어렵다는 것을 알 수 있다.

위의 실험결과를 종합하여 Table 3에 정리하였다. 초임계 이산화탄소 용매 하에 분말상태의 요소와 함께 사용하면 EPA는 1.7~2.3배, DHA는 1.8~2.5배로 농축할 수 있었으며 이와 같은 농축비는 Haagsma<sup>9)</sup>의 메탄올 용매하의 요소부가법에 의한 농축비인 EPA의 2.3과 DHA의 3.8보다는 낮았다. 반면에 수율은 메탄올 용매하의 요소부가법은 26.5%에 불과하나 초임계 이산화탄소 용매의 경우 44.4~49.9%이어서 전체적으로 초임계 용매의 경우가 유리함을 알 수 있었다.

시료로 Sample-II를 사용한 농축실험은 40°C, 100bar의 조건에서 수행하였으며 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 실험 결과 전체수율은 약 53wt%이었으며, 농축 지방산의 구성에 있어서는 포화지방산인 C<sub>14:0</sub>, C<sub>16:0</sub> 등은 실험 초기부터 거의 검출되지 않았고 불포화도가 높은 C<sub>18:4</sub> 등은 원료의 12.1%에서

4~7%로 절반 가량으로 제거되었다. 또한 DHA는 원료의 2배 가량 농축되었으며, EPA의 경우는 실험 초기부터 높은 농도로 농축되어 약 50~60%까지 농축되었다. 즉 어유의 지방산 에틸에스테르에서 EPA

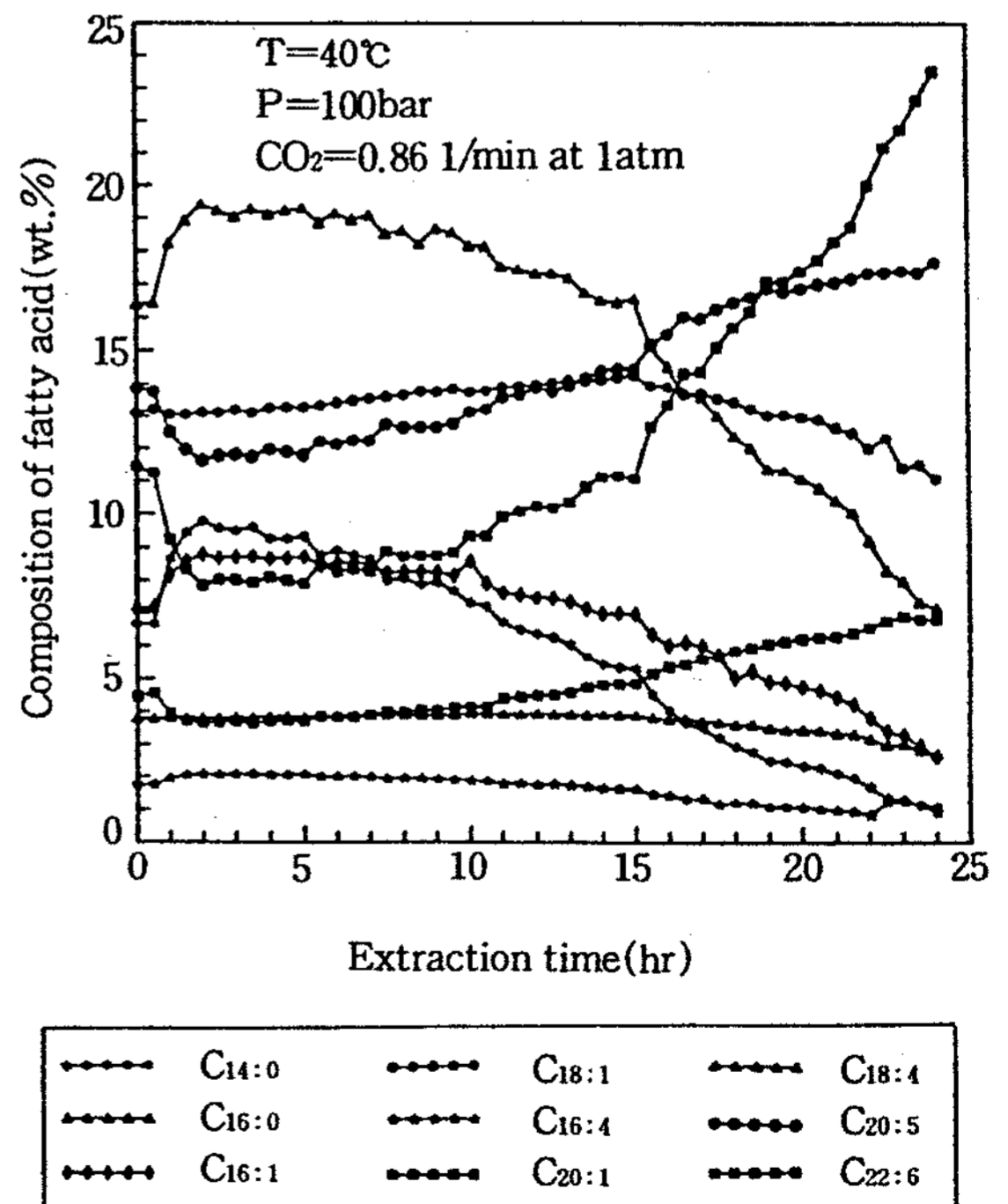


Fig. 5. The composition of fatty acids ethyl ester of fish oil in supercritical CO<sub>2</sub> extraction without urea at 40°C, 100bar.

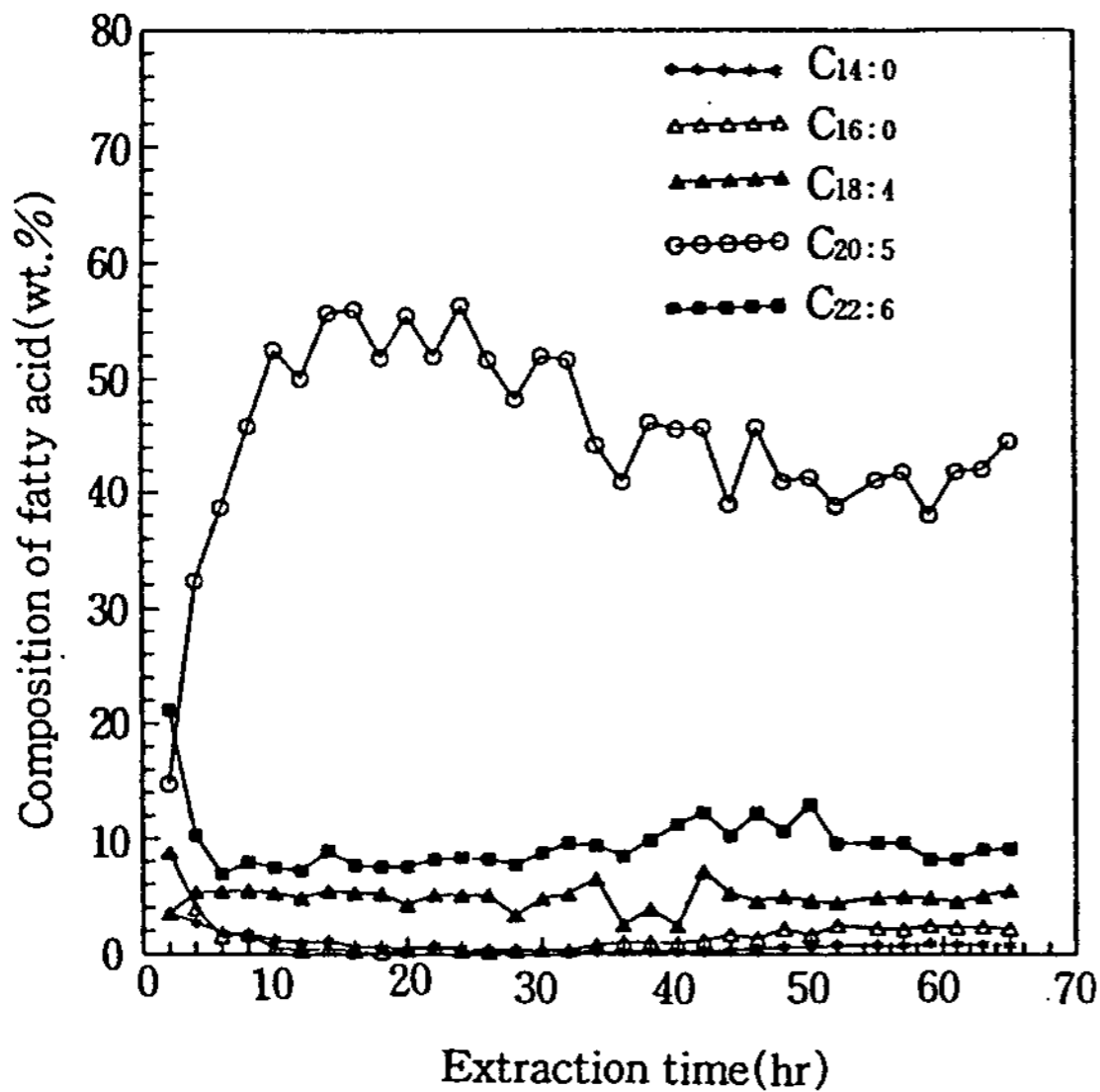


Fig. 6. The composition of fatty acids ethyl ester of fish oil in supercritical CO<sub>2</sub> extraction with urea at 40°C, 100 bar (Sample - II).

와 DHA를 초임계 정류법으로 1차로 농축한 다음 요소부가법으로 C<sub>14:0</sub>, C<sub>16:0</sub> 등 포화지방산과 C<sub>16:1</sub>, C<sub>20:1</sub> 등 불포화도가 비교적 낮은 불포화지방산을 2차로 제거하면 EPA는 최고 60%, EPA와 DHA를 합해서는 최고 70%까지 농축할 수 있음을 확인하였다. 따라서 초임계 이산화탄소 용매하의 요소부가법과 초임계 정류법을 동시에 이용한 EPA와 DHA 농축공정 개발의 가능성을 확인하였다.

## V. 결 론

40~60°C, 100~150bar의 초임계 이산화탄소 용매하의 요소부가법에 의해 어유지방산 에틸에스테

르로부터 EPA와 DHA를 농축할 경우 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지방산 에틸에스테르의 불포화도에 따라 서로를 분리할 수 있으며 수율은 44.4~49.9wt%이다.
2. 최대 농축농도는 EPA, DHA 및 이 두 성분을 합한 것이 각각 35%, 36%, 67%이다.
3. 최대 농축비는 EPA가 1.7~2.3, DHA가 1.8~2.5이다.
4. 일정조건에서 온도가 높아질수록 요소포집형성이 낮아져 EPA와 DHA의 농축비가 낮아졌다.
5. 초임계 이산화탄소 용매하의 요소부가법과 초임계 정류법을 동시에 이용하면 EPA는 60%, EPA와 DHA를 합한 것은 70% 이상으로 농축할 수 있다.

## 문 헌

1. Kinsella, J. E., Food Technol., 40(2), 89 (1986).
2. 齊藤正三郎, 化學と生物, 24(3), 201(1986).
3. 秦和彦·藤田孝夫, 食品工業, 9(下), 953(1985).
4. 안병학·신현경, Korean J. Food Sci. Tech., 19(3), 181(1987).
5. 鹿山光, J. Korean Oil Chemist' Soc., 13(3), 15(1996).
6. 김재덕, "초임계유체 추출기술", KAIST 최신분리공정 및 응용 교재, p.207(1995).
7. Suzuki, Yasuo and Konno Masanori, Kagaku Kogaku Ronbunshu, 15(3), 439(1989).
8. 김재덕, "어유분리에 관한 연구", KIST 보고서 UCN904-4855-6, p.113(1993).
9. Haagsma, N et al, JAOCS, 59, 303(1982).