

양모에서 초임계 이산화탄소에 의한 Wool Grease의 탈착

구본식 · 김진철 · 전정호 · 배효광

영남대학교 공과대학 화학공학과
(1992년 3월 16일 접수, 1992년 6월 24일 채택)

Desorption of Wool Grease from Greasy Wool with Supercritical Carbon Dioxide

Bon Sik Koo, Jin Chul Kim, Jeong Ho Jeon and Hyo Kwang Bae

Department of Chemical Engineering, Yeungnam University
(Received 16 March 1992; accepted 24 June 1992)

요 약

초임계 상태의 순수한 이산화탄소를 사용하여 양모에 부착되어 있는 wool grease의 탈착특성을 온도 313.2-333.2 K, 압력 15-35 MPa 범위의 초임계 영역에서 이산화탄소의 일정 유량에 대해 실험 및 이론적으로 검토되었다. Wool grease의 탈착속도는 압력이 증가할수록 현저하게 증가하였고, 온도가 증가할수록 일반적으로 감소되었으며, 유량이 증가될수록 증가되었으나 최종탈착량은 주어진 조건에서 거의 일정하였다. Wool grease의 탈착은 313.2 K, 35 MPa에서 가장 높은 평형탈착율인 약 80%를 나타내었지만, 가장 바람직한 탈착율(95-96%)은 실험 범위의 조건에서 얻을 수 없었다. 고정층에서 물질수지에 의한 탈착속도를 표현하기 위한 모델이 제시되었다. 탈착속도에 대한 실험 데이터는 제안된 모델에 잘 일치되었으며 탈착속도 정수 k_1 은 일정한 압력에서는 온도에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내었으며, k_2 는 탈착속도가 빠를수록 증가되었다.

Abstract—The desorption characteristics of wool grease on wool with supercritical carbon dioxide were studied experimentally and theoretically at the pressure up to 35 MPa, the temperature range of 313.2-333.2 K and constant flow rate of carbon dioxide. Desorption rates of wool grease were found to increase markedly with increasing pressure, to decrease generally with increasing temperature and to increase with increasing flow rate but the final desorption amounts were constant. The highest desorption amount of wool grease was 80% at the temperature of 313.2 K and the pressure of 35 MPa with the flow rate of carbon dioxide of 440 ml(STP)/min, but desirable desorption amount(95-96%) was not found at the experimental condition. The experimental data were well correlated to desorption rate model, that was proposed by applying the material balance in fixed bed. The desorption rate constants in the model, k_1 was nearly constant at constant pressure and k_2 was increased with increasing desorption rate.

1. 서 론

양모에 부착되어 있는 wool grease 등을 탈착시키는 양모의 세정과정은 양모에 부착된 wool grease(Me-

rino종: 약 13-15%), 오물, 땀성분, 단백질 등과 같은 오염물질을 양모와 분리하는 과정을 말하며 이 과정의 처리법으로는 냉동세척법, 침적법, 비누-소다 세정법, 용매세척법 등이 사용되고 있는데[1] 우리나라에서 사

용되고 있는 방법은 주로 비누-소다 세정법이다. 이 방법은 비누와 알칼리를 세척제로 사용하여 세척된 세액 중의 wool grease를 원심분리에 의해 분리하는 세정법으로 비누와 알칼리가 wool grease의 에멀존화, 분산 작용, 유리 지방산의 부분 겹화, 표면장력의 저하 등이 일어나게 하는 현상을 이용하여 세척이 일어나게 하는 방법이다. 이 방법을 이용하면 상당히 높은 알칼리 영역에서 처리하게 되므로 알칼리에 약한 양모가 손상되게 되어 세모 수율이 저하되며 특히 양모 중의 유황성분이 감소될 뿐만 아니라 burning 현상이 일어나 양모의 강도, 탄성, 촉감, 색상, 광택, 염색성 등에 나쁜 영향을 가져오게 하며 crimp 현상도 줄어 들게 되어 양모의 기질을 손상시킬 수 있어 양모의 질을 저하시킬 수도 있으며 이에 더하여 세정과과정에서 양모의 독특한 현상인 felting 현상이 일어나며, 또한 많은 양의 폐수가 생성되므로 이의 처리에 많은 경비가 소요될 뿐만 아니라 wool grease의 손실도 많게 된다. 한편, 용매세척법은 1987년 오스트레일리아에서 isoprophyl alcohol과 n-hexane을 사용한 용매 세척법[2]을 공업화하여 위의 단점을 개선하였지만, 이 방법은 많은 양의 유기용제가 사용되므로 이 용제를 회수하기 위해서는 많은 에너지가 소요된다. 이에 비누-소다 세정법 및 용매 세척법 보다 에너지를 절약할 수 있으며 양질의 양모를 얻을 수 있는 wool grease의 초임계 탈착법에 의한 세정방법은 일반적으로 사용하는 비누-소다 세정법 보다는 아래와 같은 장점을 예측할 수 있다.

(1) 비누-소다 세정법은 세정과과정에서 wool fiber의 길이가 2-10% 감소될 뿐만 아니라 양모의 기질에 손상을 일으키지만 초임계 유체법은 양모의 손상을 줄여 양모의 질을 향상시킬 뿐만 아니라 양모의 세모 수율을 향상시킬 수 있다.

(2) 용제의 회수가 용이하여 에너지를 크게 절감시킬 수 있는 효과가 있다.

(3) Wool grease의 손실없이 거의 모두를 회수할 수 있을 뿐만 아니라 성분의 변화없이 천연 그대로 회수할 수 있다.

(4) 양모에 잔존시켜야 할 wool grease의 양을 조절할 수 있다.

(5) 양모의 세정과과정에서 발생하는 felting현상이 일어나지 않으므로 카-딩공정을 보다 쉽게 할 수 있다.

(6) 폐수의 발생을 없앨 수 있다.

이에 본 연구는 초임계 상태의 기체가 물질을 용해하는 탁월한 능력과 위의 장점을 예측할 수 있는 초임계 유체 추출법을 이용하여 양모에 부착되어 있는 wool grease를 양모에서 탈착시켜 보다 양질의 양모를 얻는데 목적을 두고 있다. 그러나 이 방법은 상당히 고압에서

운전되어야 하므로 설비비와 운전상의 어려움이 따르는 단점을 가지고 있다. 한편 wool grease의 조성은 약 80종의 sterol, aliphatic alcohol과 180종 이상의 고급 지방산으로 형성된 ester의 복잡한 혼합물로 구성[2]되어 있어 이의 구성성분을 명확히 규명한 연구는 매우 드물 뿐만[3-5] 아니라, 그 복잡성 때문에 정확한 성분의 분석에는 큰 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 초임계 상태의 이산화탄소 용매를 사용하여 양모에 부착되어 있는 wool grease를 초임계 조건에서 탈착시키는 연구를 하여 wool grease의 탈착속도를 온도, 압력 및 유량 등의 변화에 대해 조사하고, 또한 탈착시의 탈착속도를 물질 이동현상에 의한 이론적인 수학적 모델과의 일치성에 대해 연구 검토하였다.

2. 실험

2-1. 시료 및 시약

본 연구에 사용한 시료는 호주산 메리노종(T222) 양모이며, 이 원료 양모 중 함유되어 있는 동, 식물성 물질 및 배설물과 같은 이물질을 먼저 제거한 후, 상온의 물에 2시간 이상 침적시킨 후 두 번 세척하여 시료에 부착된 무기염과 단백질을 제거한 다음 진공 건조기에서 50°C 항온으로 24시간 이상 건조한 후 혼합한 것을 시료로 사용하였으며 추출 용매로는 99.8% 이상의 순도를 가진 이산화탄소를 사용하였다.

2-2. 시료 중 wool grease의 함량 결정

시료에 부착된 wool grease의 함량은 benzene과 n-hexane에 각각 5회씩 약 10g의 시료를 침적시킨 후 50°C에서 10시간 이상 세척 추출한 후 추출된 양모의 건조 무게와 시료의 무게를 비교하여 결정된 wool grease의 무게를 산술평균하여 wool grease의 함량으로 하였으며 평균 13.8 wt%의 wool grease를 포함하고 있었다.

2-3. 실험장치 및 방법

초임계 유체를 이용한 양모 중 wool grease의 탈착 실험장치는 많은 연구자[6-9]에 의해 사용된 장치와 비슷한 장치로써 최대압력 413 bar까지 사용 가능한 연속 유통형의 초임계 추출장치(Auto Clave Engineers, 08U-06-50 FS-S)의 일부를 개조하여 사용하였으며 그 개략도는 Fig. 1에 나타내었다. 먼저 장치내부의 공기를 진공펌프(13)로 실험전 축출시킨다. 용매 cylinder(1)는 용매가 액상으로 나올 수 있도록 siphon이 장착된 cylinder를 사용하였으며 장치에 공급된 용매는 check valve (3)와 line filter(4)를 거쳐, 정량용 액체 고압펌프(Nikiso, INID 15)(5)에 의해 가압된다. 이 때 펌프 작동시

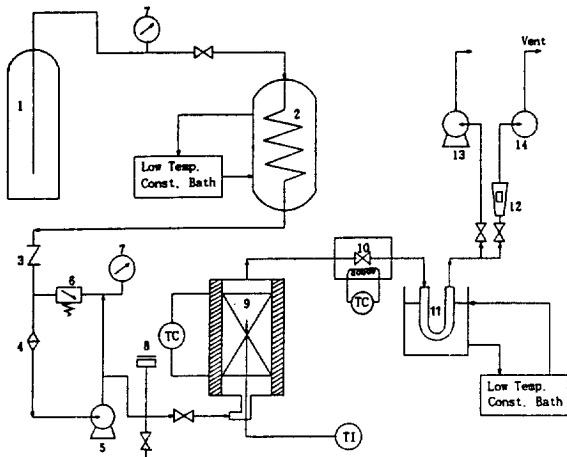


Fig. 1. Schematic diagram of supercritical extraction apparatus.

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1. Solvent cylinder | 2. Cooling jacket |
| 3. Check valve | 4. Filter |
| 5. Liquid high pressure pump | 6. Back pressure regulator |
| 7. Pressure gauge | 8. Rupture disc |
| 9. Extractor | 10. Expansion valve |
| 11. Separating U-trap | 12. Rotameter |
| 13. Vacuum pump | 14. Gasmeter |
- TC: Temperature controller
TI: Temperature indicator

용매 주입부의 공동화 현상을 방지하기 위해 냉각조(2)를 설치하여 용매의 기화를 방지하였다. 가압된 유체는 배압 압력 조절기(6)에 의해 압력이 ± 0.05 MPa 내로 조절되며, 사하 중 압력계(Asakawa, FK03)에 의해 보정된 Bourdon형의 압력계(7)로 압력이 측정되며, 추출기(9)로 공급된다. 이 추출기는 약 5g의 칭량된 시료가 일정 부피로 채워지며, 일정온도로 유지시킨다. 추출기 내에서의 온도는 ± 0.5 K 범위 내에서 온도 조절계(TC)로 조절되며, 표준 온도계로 보정된 열전대온도계(TI)에 의해 온도가 측정된다. 이와 같이 조절된 일정 압력과 온도에서 정상 상태를 유지하며 시료 중의 wool grease를 일정 유량의 초임계 이산화탄소로 탈착시킨다. 정상 상태에서 초임계 이산화탄소에 의해 추출기 내의 시료 중 wool grease가 용해된 고압의 혼합유체는 약 120°C로 가온 조절된 팽창밸브(10)에 의해 상압으로 감압 팽창되면서 -20~-30°C로 냉각된 cold trap(11)에서 용매로 사용된 이산화탄소와 추출된 wool grease는 분리되어, 추출된 wool grease는 포집되어 칭량되고 이산화탄소는 rotameter(12)를 거쳐 wet gas meter(14)에 의해 유량을 측정하고 대기로 방출한다. 한편

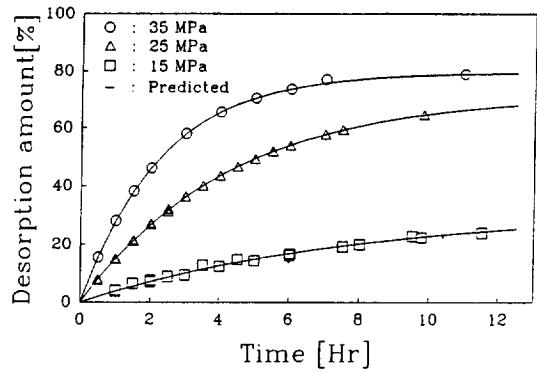


Fig. 2. Pressure effect on wool grease desorption from wool with supercritical CO₂(Temp.: 313.2 K, Flow rate: 440 ml(STP)/min).

trap에 포집된 wool grease는 시간별로 무게를 칭량하여, wool grease의 추출량을 측정하였다. 또한 실험 종료 후 추출기 내의 탈착된 시료의 무게를 칭량하여 물질 수지를 확인한 결과 5% 이내에서 일치하였다. 이 실험에 사용된 추출기의 규격은 직경 17 mm, 높이 270 mm이며 추출기에 충전된 시료 약 5g은 항상 80 mm의 높이로 충전하여 실험을 행하였다.

이상과 같은 실험장치와 방법으로 온도 313.2-333.2 K, 압력 15-35 MPa의 범위에서 초임계 상태의 이산화탄소를 용매로 사용하여 시료 중에 흡착되어 있는 wool grease의 탈착속도를 온도, 압력 및 유량 변화에 대해 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 탈착속도에 대한 압력의 영향

Fig 1의 실험장치의 추출기에 약 5g의 시료를 80 mm의 일정 높이로 충전하여 이산화탄소를 440 ml(STP)/min의 일정 유량으로 공급하였을 때 일정한 탈착온도에서 시료 중 wool grease의 탈착율에 미치는 탈착압력의 영향을 탈착시간에 대해 나타내었다. Fig. 2는 탈착온도 313.2 K에서 초임계 이산화탄소를 용매로 사용하였을 때의 그림으로 압력이 증가할수록 탈착속도가 현저히 증가되며, 최대 탈착율은 35 MPa에서 약 80%, 25 MPa에서 약 65%, 15 MPa에서 약 24%의 탈착율을 나타내고 있다. Fig. 3과 4는 탈착온도를 각각 323.2 K와 333.2 K로 하였을 때 탈착압력에 대한 탈착율을 나타낸 결과로서 313.2 K의 조건에서와 같이 탈착압력이 증가할수록 탈착속도가 현저히 증가되었는데 이는 초임계 상태에서는 용해도가 밀도에 크게 의존하기 때문에 압력이 증가함에 따라 탈착율이 크게 증가되는 것으로 볼 수 있다. 그러나 실험범위 내에서 양모에 부착되어 있는 wool grease는

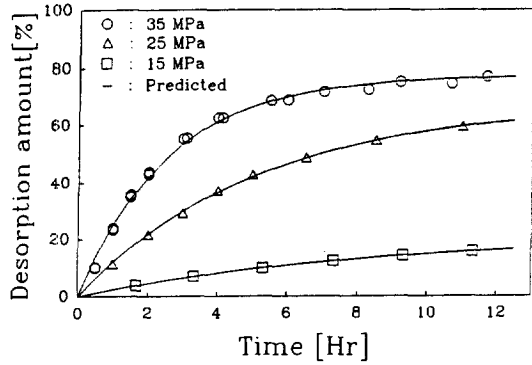


Fig. 3. Pressure effect on wool grease desorption from wool with supercritical CO₂(Temp.: 323.2 K, Flow rate: 440 ml(STP)/min).

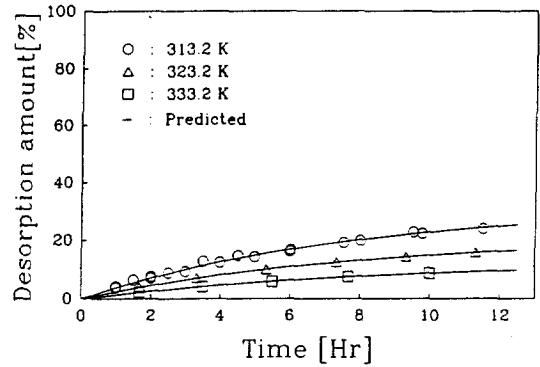


Fig. 5. Temperature effect on wool grease desorption from wool with supercritical CO₂(Pressure: 15 MPa, Flow rate: 440 ml(STP)/min).

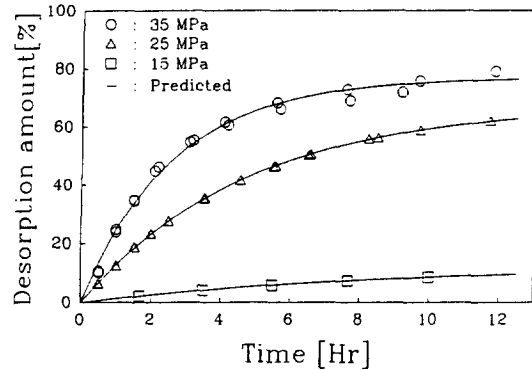


Fig. 4. Pressure effect on wool grease desorption from wool with supercritical CO₂(Temp.: 333.2 K, Flow rate: 440 ml(STP)/min).

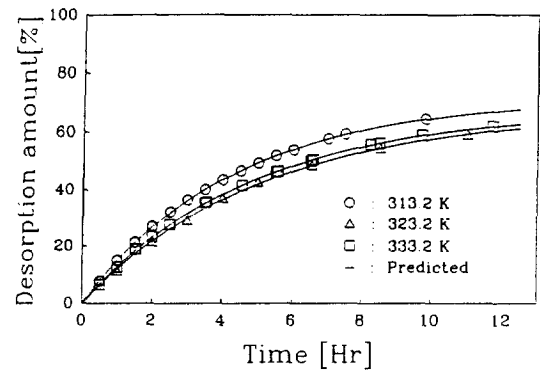


Fig. 6. Temperature effect on wool grease desorption from wool with supercritical CO₂(Pressure: 25 MPa, Flow rate: 440 ml(STP)/min).

초임계 이산화탄소에 의해 완전 탈착이 이루어 지지 않았으며, 주어진 탈착 조건에서 거의 일정한 탈착율에 접근하는 현상을 나타내었다.

3-2. 탈착속도에 대한 온도의 영향

일정한 탈착압력에서 시료 중 wool grease의 탈착율에 미치는 영향을 이산화탄소를 440 ml(STP)/min의 유량으로 공급하였을 때 시료 중 wool grease의 탈착율에 미치는 탈착온도의 영향을 나타내었다. Fig. 5, 6 및 7은 각각 35 MPa, 25 MPa, 15 MPa의 일정한 탈착압력에서 초임계 이산화탄소를 용매로 사용하였을 때의 결과를 도시한 것이다. 온도의 영향은 압력의 영향에 비해 매우 작았으며, 일정압력 35 MPa와 15 MPa에서는 온도가 낮을수록 탈착율이 조금씩 증가하는 경향에 있으며, 25 MPa에서는 313.2 K, 323.2 K, 333.2 K의 순으로 탈착율이 증가하였다. 이는 용해도

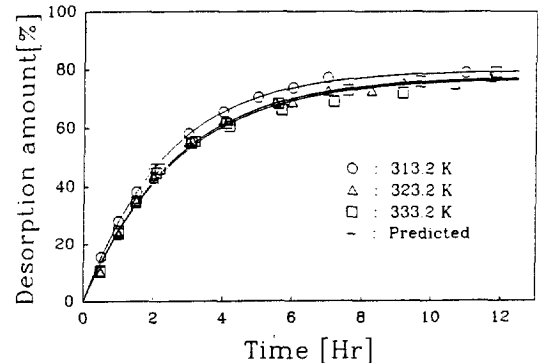


Fig. 7. Temperature effect on wool grease desorption from wool with supercritical CO₂(Pressure: 35 MPa, Flow rate: 440 ml(STP)/min).

의 실험에서 흔히 나타나는 cross-over의 현상 때문에 생기는 영향으로 판단된다.

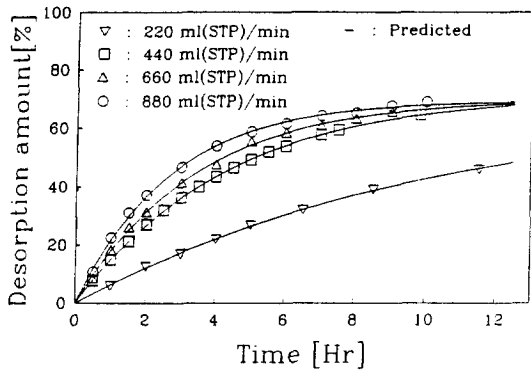


Fig. 8. Flow rate effect on wool grease desorption from wool with supercritical CO₂ at 25 MPa and 313.2 K.

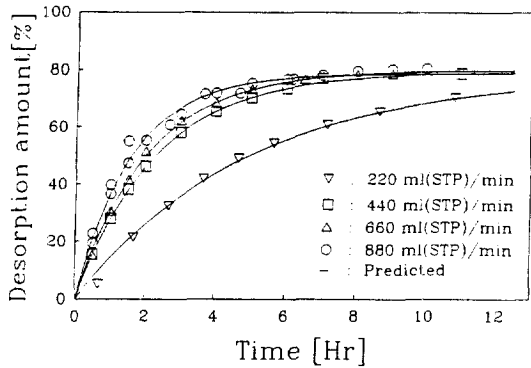


Fig. 9. Flow rate effect on wool grease desorption from wool with supercritical CO₂ at 35 MPa and 313.2 K.

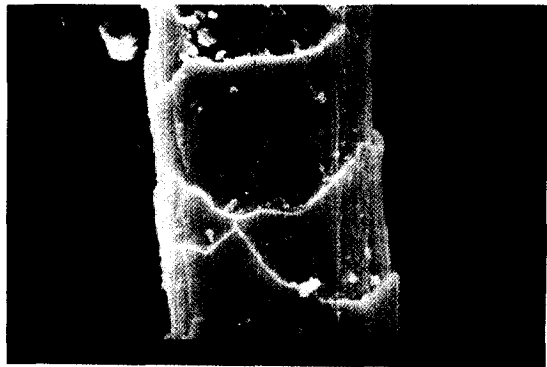
3-3. 탈착속도에 대한 유량의 영향

Fig. 8과 9에서는 일정한 탈착온도, 압력에서 이산화탄소의 유량이 wool grease의 탈착율에 미치는 영향을 나타내었다. 이산화탄소의 유량이 커질수록 물질전달 속도가 커져서 탈착속도는 빨라지는 현상을 나타내고 있으며 일정온도, 압력에서 최종 탈착율은 유량 변화에 관계없이 거의 일정하게 나타날 것으로 예상된다.

위의 결과를 종합하여 보면 실험조건 범위에서의 최대 탈착율은 35 MPa, 313.2 K의 조건에서 약 80%의 탈착율을 나타내고 있다. 그러나 양모에서 wool grease를 탈착시킬 때 carding공정 및 제직성 등을 고려하여 약 95-96%의 탈착율로 탈착시키는 것이 바람직하므로 초임계 상태의 순수한 이산화탄소만으로는 목적하는 바의 탈착율을 얻을 수 없었다. 이산화탄소에 cosolvent를 첨가한 용매를 사용하면 entrainer효과에 의해 탈착율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 예상되며 본 연구실에



Photo. 1. Photograph of undesorbed wool (×2000).



(a)



(b)

Photo. 2. Photographs of scoured wool (×2000) by solvent at 323.2 K.

(a) solvent: Benzene, (b) solvent: n-Hexane

서는 cosolvent의 영향에 대한 실험을 계속하고 있다. 초임계 이산화탄소에 의해 wool grease가 탈착된 시료와 원료 양모의 전자 현미경 사진을 살펴보면, 원료 양모(greasy wool)는 Photo. 1과 같이 기질 표피에 두 겹께 wool grease가 부착되어 있는 것을 볼 수 있으나,

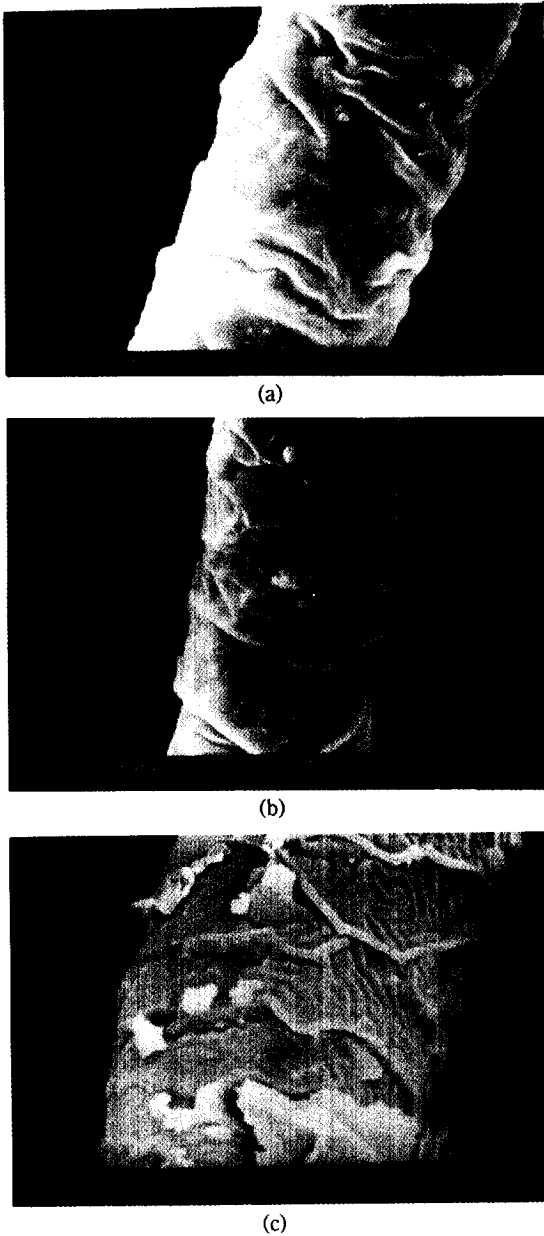


Photo. 3. Photographs of wool(×2000) by supercritical desorption with CO₂ at 313.2 K.
 (a) 15 MPa, (b) 25 MPa, (c) 35 MPa

벤젠과 n-hexane의 액체 용제로 충분히 세척한 양모는 Photo. 2와 같이 양모의 스케일이 분명하게 나타나고, wool grease는 완전히 탈착된 상태임이 확인된다. 그리고 용매로 초임계 이산화탄소를 사용하여 양모에 부착된 wool grease를 313.2 K에서 탈착시켰을 경우, Photo. 3과 같이 15 MPa의 조건에서는 기질 표피에 wool grease

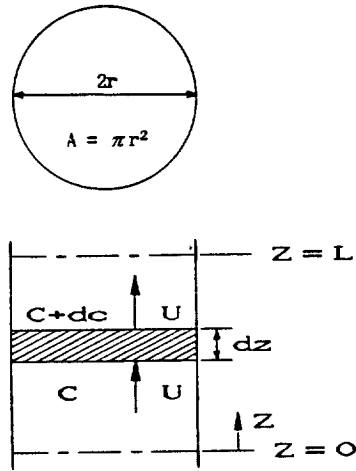


Fig. 10. A section of a fixed bed.

가 두껍게 부착되어 있으며, 25 MPa의 경우에는 스케일의 윤곽이 조금 나타나지만 아직 wool grease의 잔존량이 많으며, 35 MPa의 경우에는 기질 표피의 스케일이 분명히 나타나지만 아직도 wool grease가 어느정도 부착되어 있음을 볼 수 있다. 이는 Photo. 3의 (a), (b), (c)로부터 wool grease의 탈착에 대한 압력의 영향을 나타낸 Fig. 3의 결과를 시각적으로 판명하게 된다.

4. 탈착속도의 Modelling

양모에 흡착된 wool grease를 초임계 이산화탄소로 탈착시킬 때 Fig. 10과 같은 충전층의 미소부피 Adz에 대한 wool grease의 물질수지식은 충전층 내의 공극율(ε)이 일정하다고 가정하고, wool grease의 축방향 유효 확산계수(D_e)를 일정하다고 가정하면 (1)식과 같이 표시된다[10-12].

$$C \frac{\partial U}{\partial Z} + U \frac{\partial C}{\partial Z} - \epsilon D_e \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} + \epsilon \frac{\partial C}{\partial t} + (1 - \epsilon) \frac{\partial S}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

여기서 C는 유체상에서의 wool grease의 농도(kg/m³), U는 축방향의 공탑 기준속도(m/sec), t는 시간(sec)이고, S는 양모에 흡착되어 있는 wool grease의 농도(kg/m³)이다. 그런데 본 연구에서 유체 중 탈착되는 wool grease의 농도는 매우 작으므로 탑 내 유체의 흐름이 plug flow라 가정하면 탑 내의 유속(U)은 일정하다고 가정할 수 있고, wool grease의 축방향의 확산에 의한 영향을 무시하면 (1)식은 (2)식과 같이 된다.

$$\epsilon \frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial Z} = -(1 - \epsilon) \frac{\partial S}{\partial t} \quad (2)$$

Table 1. Values of k_1 and k_2 at CO₂ flow rate 440 ml (STP)/min

Press. [MPa]	$k_1 \times 10^3$			$k_2 \times 10^5$		
	313.2	323.2	333.2	313.2	323.2	333.2
	K	K	K	K	K	K
15	-3.173	-3.256	-3.225	3.788	3.432	3.092
25	-2.336	-2.285	-2.320	6.513	5.542	5.798
35	-3.412	-3.477	-3.493	12.000	11.087	10.967

여기서 ε 은 충전층 내의 공극율이며 실험에 의하면 0.68 이었다. (2)식의 $\partial S/\partial t$, 즉 양모에 부착되어 있는 wool grease의 탈착속도를 (3)식과 같은 선형식으로 표현된다고 가정하면

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -(k_1 + k_2 S) \quad (3)$$

여기서 k_1 과 k_2 는 탈착속도 정수이고 (3)식의 초기조건은 $S(Z, 0) = S_0$ 이다. (3)식을 적분한 후 (2)식에 대입하고 해석적으로 풀면 충전층의 출구에서 용질의 농도 C_e 는 다음과 같이 표현된다.

$$C_e = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{k_1 + k_2 S_0}{k_2} \left\{ \exp\left[-k_2\left(t - \frac{\varepsilon L}{U}\right)\right] - \exp(1 - k_2 t) \right\} \quad (4)$$

여기서 L 은 충전층의 높이이다.

본 실험에서는 wool grease의 적산량을 시간(t)에 따라 측정하였으므로 (4)식을 시간에 대해 적분하면 (5)식과 같고

$$\int C_e dt = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{k_1 + k_2 S_0}{k_2^2} \left[1 - \exp\left(\frac{k_2 \varepsilon L}{U}\right) \right] [\exp(-k_2 t) - 1] \quad (5)$$

추출된 wool grease의 적산량인 $\int C_e dt$ 와 시간(t)에 대한 실험 데이터로부터 Simplex법[13]에 의해 최적한 탈착속도 정수 k_1 과 k_2 를 구하였다. 일정한 유량에서 얻은 탈착속도 정수 k_1 은 온도에 관계없이 일정한 압력에서 거의 일정하였으며 k_2 는 탈착속도가 빠를수록 증가되었다. 이 값들은 Table 1, 2에 정리하였으며 이들을 사용하여 계산한 계산값은 모든 실험조건에서 실험 데이터와 잘

일치하였고 최대 편차는 약 5%, 평균 편차는 약 2%이었다.

5. 결 론

순수한 이산화탄소를 사용하여 유통형 초임계 추출장치로 313.2-333.2 K, 15-35 MPa 범위의 초임계 상태에서 양모에 흡착되어 있는 wool grease의 탈착 실험을 한 결과는 다음과 같다.

(1) 일정 온도 및 유량에서 wool grease를 탈착시킬 때 압력이 증가할수록 wool grease의 탈착속도는 현저하게 증가되었다.

(2) 일정 압력 및 유량에서는 온도가 낮아질수록 일반적으로 탈착속도는 약간씩 증가되나 압력의 영향에 비해 그 효과는 작았다.

(3) 일정 온도 및 압력에서는 유량이 증가될수록 탈착속도가 증가되었으나 최종탈착율은 거의 일정하였다.

(4) 탈착율은 313.2 K, 35 MPa에서 약 8시간 동안에 약 80%의 가장 높은 평형 탈착율을 나타내었다. 그러나 wool grease의 탈착율은 차후의 카딩공정 및 제직성을 고려해 95-96%로 탈착하는 것이 바람직하므로 순수한 이산화탄소만으로는 만족할만한 탈착율을 이룰 수가 없었다.

(5) Wool grease의 탈착속도에 대한 모델을 제안하였고, 제안된 모델은 실험치와 평균 약 2% 이내에서 잘 일치되었으며, 일정한 유량에서 탈착속도 정수 k_1 은 온도에 관계없이 일정한 압력에서 거의 일정하였으며, k_2 는 탈착속도가 빠를수록 증가되었다.

사용기호

- A : cross sectional area of extractor [m²]
- C : concentration of wool grease [kg/m³]
- C_e : exit concentration of wool grease [kg/m³]
- D_e : effective diffusivity coefficient [m²/sec]
- k_1 : desorption rate constant [kg/m³·sec]
- k_2 : desorption rate constnat [1/sec]
- L : fixed bed length of extractor [m]
- P : pressure [MPa]

Table 2. Values of k_1 and k_2 on flow rate at 313.2 K

Press. [MPa]	$k_1 \times 10^3$				$k_2 \times 10^5$			
	Flow rate[m/(STP)/min]				Flow rate [m/(STP)/min]			
	220	440	660	880	220	440	660	880
25	-1.024	-2.336	-3.123	-4.005	2.666	6.513	8.306	10.500
35	-1.586	-3.412	-3.722	-5.020	5.533	12.000	13.630	17.616

S : loaded wool grease on greasy wool [kg/m^3]
 S_0 : initially loaded wool grease on greasy wool [kg/m^3]
 t : time [sec]
 T : temperature [K]
 U : superficial velocity of solvent in the extractor [m/sec]
 Z : distance from extractor bottom [m]
 ε : void fraction [-]

참고문헌

1. 정순영 : “양모방적”, 학문사(1977).
2. AWP Holding Limited(Australia) “The De Smet Wool Scouring Process”, (1987).
3. Motiuk, K.: *JAACS*, **56**(2), 91(1979).
4. Motiuk, K.: *JAACS*, **56**(6), 651(1979).
5. Motiuk, K.: *JAACS*, **57**(4), 145(1980).
6. Kurnik, R. T., Holla, S. J. and Reid, R. C.: *J. Chem. Eng. Data*, **26**, 47(1981).
7. Adachi, Y. and Benjamin, C-Y.: *Fluid Phase Equil.*, **14**, 147(1983).
8. Mchugh, M. A. and Paulaitis, J. M.: *J. Chem. Eng. Data*, **25**, 326(1980).
9. Tolley, W. K., Altringer, P. B. and Seidel, D. C.: *Separation Science and Technology*, **22**(2&3), 1087(1987).
10. Sutikno, T. and Himmelstein, K. J.: *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **22**, 420(1983).
11. Fleck, R. D., Kirwan, D. J. and Hall, K. R.: *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **12**(1), 95(1973).
12. Tan, C. S. and Liou, D. C.: *AIChE J.*, **35**(6), 1029(1989).
13. Nelder, J. A. and Mead, R.: *Computer J.*, **7**, 308(1965).