

질소가스의 저온흡착곡선에 의한 촉매의

Pore Size Distribution 결정

임 선 기

한국과학원 화학공학과

Determination of the Pore Size Distribution in Porous Catalysts from Nitrogen Isotherm

Son-Ki Ihm

Department of Chemical Engineering

Korea Advanced Institute of Science, Seoul 131, Korea

요 약

촉매의 Pore Size Distribution을 얻는데 등온흡착 곡선이 사용될 수 있는데, 이와 관련하여 원통형 Pore 내에서의 모세관 응축현상을 검토하고, 흡착상태와 액체상태의 열역학적 포텐셜이 서로 같지 않음을 고려해야 하고, 따라서 종래의 Kelvin 식은 수정되어야 한다는 것을 설명한다. 또한 Pore Size Distribution을 계산하는 방법을 소개하고, 마지막에는 음극 산화 방법으로 만든 알루미늄이 잘 정의된 원통형 Pore를 가지므로 이 시료에서 얻은 등온흡착 곡선을 분석하면 원통형 Pore 모델을 검토할 수 있음을 보여준다.

Abstract

Regarding the nitrogen isotherm for obtaining the pore size distribution in porous catalysts, the capillary condensation models for cylindrical pore structure are reviewed, and it is shown that the traditional Kelvin equation should be modified by taking into consideration of the difference in thermodynamic potentials between the adsorbed state and the bulk liquid. The procedures of calculating the pore size distribution are explained, and anodic aluminas with well-defined cylindrical pores are proven to provide an excellent opportunity for the confirmation of the cylindrical pore model.

1. 서 론

촉매작용은 활성화된 표면으로부터 생기는 것이므로 촉매를 제조할 때는 될 수 있는대로 비표면적을 크게 하려고 한다. 이를 위하여 다공성의 고체 물질을 도입하게 되는데, 이들 Pore들의 구조는 원통형, 서로 연결된 Channel형, 또는 Slit형 등등으로 흔히 문헌에서 가정하고 있으나, 실제로는 대부분의 Pore의 구조는 기하적으로 쉽게 기술할 수 없을 정도로 복잡하다. 불균일 촉매반응은 몇가지 단계를 거쳐서 일어나며,

1. 반응물질의 반응혼합물로부터 촉매입자의 외부 표면까지의 이동,
2. 반응물질의 촉매입자 외부표면으로부터 내부표면으로의 이동,
3. 반응물질의 흡착,
4. 흡착된 반응물의 반응,
5. 반응생성물의 탈착,
6. 반응 생성물의 촉매입자 내부 표면으로 부터 외부표면으로의 이동,
7. 반응생성물의 촉매입자 외부표면으로 부터 반응 혼합물속으로의 이동

으로 분류할 수 있다. 위에서 열거하면 촉매활성도와 표면적과는 직접적 관계가 있는 것 같지만, 전술한 일곱 단계 중 어느 단계가 중요한가에 따라 사정이 달라진다. 즉 반응물질이 얼마나 쉽게 촉매표면에 접근할 수 있고, 생성물질이 얼마나 쉽게 촉매표면으로부터 탈출할 수 있는가에 따라서, 반응 속도는 반응자체에 좌우되거나, 또는 확산과정에 좌우되거나 하게 된다. 따라서 비표면적뿐만 아니라 pore의 Size Distribution을 알아야만 촉매의 효율을 더 잘 설명할 수 있음은 명백하다.

비표면적을 구하는 방법으로는 고체표면에 불활성 기체를 흡착시켜서 얻은 등온 흡착곡선을 분석하는 것인데, 주로 78°K(액체질소의 비점)에서 질소가스를 흡착하는 수가 많다. 그중에서도 소위 BET 방법 [1]은 잘 알려져 있고, 대부

분의 표면화학책에는 소개되어 있으므로 여기서는 더 자세한 설명은 생략하기로 한다.

이러한 불활성기체의 등온흡착곡선(Isotherm)으로부터 Pore의 구조에 관한 정보도 얻을 수 있기 때문에 여기서는 이에 관련하여 모세관 응축과 증발현상(Capillary Condensation and Evaporation)을 설명하고 이들이 Pore Size Distribution을 계산하는데에 어떻게 쓰여지는지 살펴보고, 마지막으로 잘 정의된 원통형 Pore를 갖는 Anodic Alumina의 경우에 계산결과와 직접 관찰한 결과를 비교한다.

2. 모세관 현상과 Kelvin 식

Isotherm으로부터 Pore Size Distribution을 얻기 위하여 모세관 법칙을 응용하거나 변형하려는 노력이 집중되어 왔다.

모세관 현상에 관한 연구는 18세기 부터 시작되었으나, Laplace [2]가 모세관 내에서 두개의 상이 만나는 굽어진 경계면에는 압력차가 있음을 통계역학적인 방법으로 설명하였고, 비슷한 근거에 의하여 Kelvin 경은 이 압력차를 계산하는 방법을 제시하였다. 이 계산식은 후에 Zsigmundy [3]와 Hückel [4] 등의 노력으로 오늘날의 Kelvin식으로 알려지게 되었다.

$$RT \ln(P_s/P) = \gamma \sigma \cos \theta \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1)$$

여기서 R =기체 상수

T =절대 온도

P_s =액체의 포화압력

P =경계면의 평형증기압

γ =표면장력

σ =액체의 물용적

θ =액체의 고체표면에 대한 접촉각

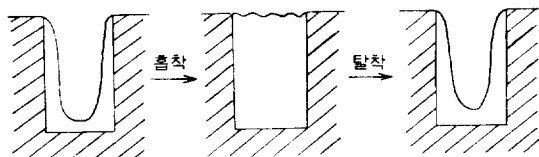
R_1, R_2 =경계면의 주곡면 반경

3. 원통형 Pore에서의 Capillary Condensation과 Hysteresis

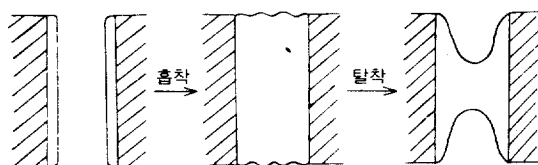
원통형 Pore에서 기체가 흡착하는 것을 보면, 증기압(평형압력)을 증가시키에 따라 흡착층의

두께가 증가하고 어떤 임계점에 다다르면 Pore 내부가 전부 응축물로 메워져 버린다. 반대로 액체로 가득찬 Pore에서 증기압을 감소시키면 Pore 입구쪽에서 액체가 증발하다가 어떤 임계압력에 다다르면 Pore 내부가 갑자기 비워지고 pore의 벽에서 일정 두께의 흡착층이 남게 된다. 이와 같은 갑작스런 Pore의 메워짐과 비워짐을 모세관 응축 및 증발이라고 부른다.

그림 1에 나타낸바와 같이 한쪽이 막힌 원통형형에서는 흡착 및 탈착과정에서 기체와 응축액의 경계면이 변하는 모양이 같지만, 양쪽이 다 열린 원통형 Pore는 서로 다른 모양을 보여준다. 따라서 양쪽이 열린 원통형 Pore의 Isotherm에는 소위 Hysteresis 현상이 나타나며, 한쪽만 열린 Pore는 그러한 Hysteresis를 보이지 않는다.



A. 한쪽만 열린 원통형 Pore



B. 양쪽 다 열린 원통형 Pore

그림 1. 원통형 Pore의 흡착 및 탈착 과정에서의 응축경계면의 변화

양쪽이 열린 원통형 Pore에서, Pore 반경이 r 이고, 흡착층의 두께가 t 라면, 흡착과정 중 기체/응축층의 경계면은 원통형이므로 식 (1)의 두 곡률 반경중 하나는 무한대로 되며 평형관계식은

$$RT \ln(P_s/P) = \frac{\gamma\sigma}{r-t} \quad (2)$$

으로 되고, 탈착과정 중의 기체/응축층의 경계면은 원구형과 가까우므로 두 곡률 반경은 서로 같고, 따라서 평형 관계식은

$$RT \ln(P_s/P) = \frac{2\gamma\sigma}{r-t} \quad (3)$$

이 된다. 여기서 접촉각은 0도로 가정하였다.

보통 식 (2)는 Cohan의 식으로, 식 (3)은 Kelvin의 식으로 구별하여 불리워지고 있으며, 각각 흡착 Isotherm과 탈착 Isotherm에 적용된다. 만일 원통형 Pore의 한쪽만 열려 있는 경우라면 Kelvin의 식(식 (3))을 적용하여야 할 것이다.

일정 크기의 Pore에서 흡착층의 두께가 큰 차이가 없다면 흡착평형압력(p_a)과 탈착평형압력(p_d)은 식 (2)와 식 (3)을 비교할 때 흡착평형압이 더 큰 것을 알 수 있다. Cohan[5]은 같은 관점에서 Hysteresis의 원인을 설명하고, 흡착과 탈착평형압의 관계가

$$P_d^2 = P_s \cdot P_a \quad (4)$$

로 주어진다고 주장했다.

Brunauer[6] 등에 의하면 Isotherm의 형태는 크게 다섯가지로 나눌 수 있으며, 그중 Pore Size Distribution의 계산에 사용될 수 있는 것은 두가지이다. Barrer[7]와 de Boer[8]는 Hysteresis Loop의 형태[중 중요한]것을 세가지로 분류하였다(그림 2).

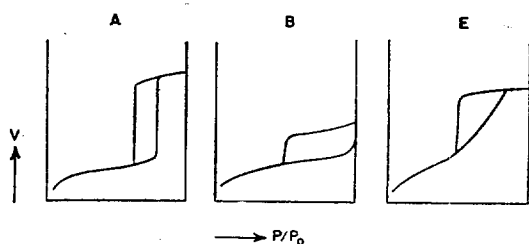


그림 2. de Boer에 의한 Hysteresis Loop의 세가지 형태

Hysteresis Loop의 형태만으로는 Pore의 모양을 분석하기가 매우 힘든 것이지만, 형태 A는 양쪽이 열린 원통형 Pore의 경우이고, 형태 B는 잉크병 모양의 입구는 좁고, 안은 넓은 Pore이거나 또는 모든 방향이 열려있는 Slit형의 Pore인 경우이고, 형태 E는 입구는 좁되 크기가 거의 같고, 안은 넓지만 직경이 서로 다른 Pore들이 분산되어 있는 경우이다.

4. 열역학적 고찰 및 Broekhoff-de Boer 의 식

어떤 고체 표면에 dN 물의 기체가 흡착되어, 흡착층의 표면적이 dA 만큼 증가했다면, 온도 T 및 압력 P 에서 자유에너지 변화는 다음과 같다.

$$dG_{P,T} = (\mu_a - \mu_g) dN + \gamma dA \quad (5)$$

여기서 μ_a , μ_g 는 각각 흡착상태와 기체 상태에서의 열역학적 포텐셜이고, γ 는 역시 표면 장력이다. 평형상태에서 $dG_{P,T}=0$ 이므로

$$\mu_a - \mu_g = - \frac{\gamma dA}{dN} \quad (6)$$

이다.

곡면에서는 다음과 같은 Adam [9]의 식이 성립한다.

$$\frac{dA}{dN} = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (7)$$

한편 기체와 액체간의 열역학적 포텐셜의 차이는

$$\mu_l - \mu_g = RT \ln P_s/P \quad (8)$$

이며, 여기서 μ_l 은 액체 상태의 열역학적 포텐셜이다.

Broekhoff 등 [10]은 흡착상태의 포텐셜은 기체/흡착층의 경계면과 촉매 표면간의 거리 t (즉 응축층의 두께)만의 함수라고 가정한다.

$$\mu_a = \mu_l - F(t) \quad (9)$$

식 (9)중 $F(t)$ 는 액체 상태와 흡착상태의 열역학적 포텐셜의 차이이고, 이는 평면에서의 다분자 흡착에 관한 소위 t -곡선 [11~15]으로부터 얻을 수 있다. 액체질소의 비점인 78°K 에서 질소가스를 흡착시킬 때의 $F(t)$ 는 다음과 같이 주어진다[10].

$$F(t) = 2.303 RT \left(\frac{13.99}{t^2} - 0.034 \right) \quad (t \leq 10 \text{ \AA} \text{ 인 경우}) \quad (10-1)$$

$$F(t) = 2.303 RT \left(\frac{16.11}{t^2} - 0.1682 \exp(-0.1137t) \right) \quad (t > 10 \text{ \AA} \text{ 인 경우}) \quad (10-2)$$

식 (6), (7), (8) 및 (9)로부터, 원통형 경계

조건에 관한 Broekhoff-de Boer의 평형식은

$$RT \ln P_s/P = \frac{\gamma \sigma}{r-t} + F(t) \quad (11)$$

으로 표시된다.

한편 평형상태의 흡착층이 안정되어 있으려면

$$\left(\frac{\partial^2 G}{\partial N^2} \right)_{P,T} \geq 0 \quad (12)$$

이것을 식 (11)에 관하여 다시 쓰면

$$-\frac{dF(t)}{dt} - \frac{\gamma \sigma}{(r-t)^2} \geq 0 \quad (13)$$

식 (13)의 등식관계로부터 흡착층의 임계두께 t_{cr} 이 얻어진다.

$$-\left(\frac{dF(t)}{dt} \right)_{t=t_{cr}} - \frac{\gamma \sigma}{(r-t_{cr})^2} = 0 \quad (14)$$

흡착층의 두께가 임계값이 되면 흡착층은 불안정하게 되며, Pore는 모세관응축 현상으로 메워져 버린다.

전술한바 있는 Cohan의 식(식 (2))과 Kelvin의 식(식 (3))은 흡착상태가 액체상태와 같다고 가정하여 유도된 것이다. 즉 $\mu_a = \mu_l$, 따라서

$$F(t) = 0. \text{ 그러나 } F(t) = 0 \text{ 이면 } \frac{\gamma \sigma}{(r-t)^2} \text{은 언제나}$$

양의 수임으로 흡착층의 안정조건(식 (13))을 만족시키지 못하게 된다. 따라서 Broekhoff와 de Boer가 결론지은 바와 같이 재래의 Cohan 및 Kelvin식은 수정되어야 할 것이다. 다른 Pore의 형태, 예를 들면 구형의 동굴같은 경우 [16, 17]나 Slit 모양 [18]의 Pore에서도 위에 설명한 방법과 비슷한 과정으로 적당한 식을 유도 해 낼 수 있다.

5. Pore Size Distribution의 계산

지금까지 단일 Pore 내에서의 상대압력과 흡착층의 두께 사이의 평형 관계를 소개했고(식 (2), (3) 및 (11), 모세관 응축의 영향(식 (14))이 주어졌으므로 이들이 실제 Pore Size Distribution을 계산하는 데는 어떻게 이용되는지 살펴보기로 한다.

Pore Size Distribution은 Wheeler [19]가 제시한 식으로부터 구할 수 있을 것이다.

$$V_p - V_a = \int_{r_p}^{\infty} \pi(r-t)^2 L(r) dr \quad (15)$$

여기서 V_p 는 모든 Pore의 전체용적이고, V_a 는 어떤 증기압에서 반경이 r_p 보다 작은 Pore들은 모세관 응축현상으로 다 채워졌고, 아직 채워지지 않은 Pore들은 흡착층의 두께가 평형식을 만족시키는 때의 응축물이 차지하는 용적이며, $L(r)$ 은 반경이 r 인 Pore의 전체 길이이다. 그러나 식 (15)로부터 $L(r)$ 을 구하기는 실제적이지 않고, Finite Difference Equation을 사용하는 것이 보통이다.

일반적으로 k 번째 구간은 높은 상대압력 x_{k-1} 과 낮은 상대압력 x_k 로 정해진다고 하자. 상대압력(p/p_s)이 x_k 에서 x_{k-1} 로 증가할 때 Pore 내에서의 흡착층의 용적변화 ΔV_k^c 는 두가지로 분류될 수 있다. 첫째는 k 번째 구간의 평균압력에서 반경 r_k 인 Pore는 모세관 응축현상으로 다 채워질 것이다. 채워지기 직전의 흡착층의 두께는 t_{r_k, x_k} 이었다. 둘째는 같은 k 번째 구간중 아직 채워지지 않은 Pore들에서는 흡착층의 두께가 증가할 것이다. 따라서 k 번째 구간에 평균 반경 r_k 를 갖고, 모세관 응축으로 다 채워져 버리는 Pore들의 전체 길이를 L_k 로 놓고 이에 해당하는 Pore들의 표면적을 S_k , 그리고 그 pore들의 용적을 V_k 로 놓으면

$$\Delta V_k^c = \pi(r_k - t_{r_k, x_k})^2 L_k + \pi \sum_{i=1}^{k-1} L_i [(r_i - t_{r_i, x_k})^2 - (r_i - t_{r_i, x_{k-1}})^2] \quad (16)$$

식 (16)의 오른편 첫째항은 모세관 응축으로 Pore가 채워지는 것을, 둘째항은 아직 채워지지 않은 Pore들의 흡착층의 두께가 증가하는 것을 나타낸다. 한편,

$$S_k = 2\pi r_k L_k \quad (17)$$

$$V_k = \pi r_k^2 L_k \quad (18)$$

식 (16)을 다시쓰면

$$S_k = \frac{2r_k}{(r_k - t_{r_k, x_k})^2} \left[\Delta V_k^c - \sum_{i=1}^{k-1} S_i (t_{r_i, x_{k-1}} - t_{r_i, x_k}) + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{S_i}{2r_i} (t_{r_i, x_{k-1}}^2 - t_{r_i, x_k}^2) \right] \quad (19)$$

식 (19)는 de Vlesschauwer [20]와 Clement 등 [21]에 의하여 이미 유도된바 있으며, 더 간단한 형태이지만 비슷한 방법으로 Barret 등 [22]이 처음 계산에 이용한바 있다.

S_k 가 얻어지면 L_k 가 얻어지고 Pore Size Distribution이 얻어지는 것이다. 계산결과에 대한 확인 방법으로는 직접 Pore 구조를 알 수 없는 경우가 많이 있으므로 BET 방법에 의한 비표면적(S_{BET})과 $\sum_k S_k$ 를 비교하는 수가 많다[23, 24]. 그러나 Pore의 구조(따라서 Pore Size Distribution)가 완전히 다른 경우일지라도 비표면적은 같을 수가 있으므로, 가능한한 Pore의 형태를 확인하는 것이 좋고, 계산할 때에는 가장 근사한 모델을 사용하여야 신빙성있는 결과를 얻을 수 있다는 것을 강조하여 둔다.

6. 음극산화반응(Anodic Oxidation)과 원통형 Pore

알루미늄은 음극산화 반응으로 산화알루미늄의 막을 형성하는데[25], 주로 전해질의 성질에 따라 다공성 또는 비다공성의 막으로 된다. Rai 등 [26]은 알루미늄박을 Oxalic acid 용액의 전해질 속에서 음극산화시켜 반경이 거의 같은 똑바른 원형의 Pore를 갖는 알루미늄 박을 얻었다. 다공성물질을 만드는데는 보통 Silica Gel을 만들 때와 같은 침전법, Gibbsite나 Magnesite 등을 만들때와 같은 열분해법, 또는 Raney Nickel 등을 만들 때와 같은 Leaching 법, 그밖에 승화법 등이 쓰이고 있으나 서론에서 언급한 바와 같이 이들의 Pore 공간은 매우 복잡한 형태이므로 이론적 모델의 가정과 부합하기가 어렵다.

그림 3은 Anodic Alumina 막의 전자현미경을 통하여 본 사진이며, 원통형의 매우고른 Pore들의 모양을 보여주고 있다. 이러한 사진으로 부

터 직접 Pore Size Distribution을 얻을 수 있으며, 따라서 이러한 Anodic Alumina를 Isotherm을 얻기 위한 시료로 사용하면 전술한 원통형 Pore 모델을 검토할 수 있는 좋은 기회가 주어질 것이다.

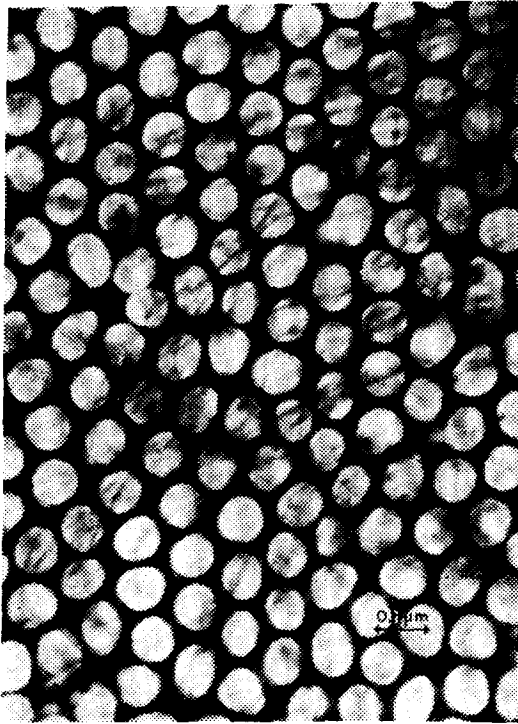


그림 3. 음극산화 반응으로 얻어진 다공성 알루미늄의 원통형 Pore들의 전자현미경 사진

저자등 [27]은 Anodic Alumina의 질소 흡착곡선으로부터 Kelvin식과 Broekhoff-de Boer식을 사용하여 Pore Size Distribution을 계산하고 전자현미경으로부터 직접 얻은 결과와 비교하였다. 그림 4는 Isotherm이며, Pore의 한쪽이 막혀 있기 때문에 Hysteresis가 나타나지 않은 것을 알 수 있다. 그림 5는 Pore Size Distribution을 비교한 것인데 계산 결과가 전자 현미경으로 측정된 것 보다는 다소 작게 추정하고 있다.

그러나 Kelvin식 보다는 Broekhoff-de Boer의 식이 더 근사한 결과를 나타내고 있는 것으로 보아 역시 열역학적 고찰에서 살펴본대로 Kelvin식은 수정하여 사용해야 함을 알 수 있다.

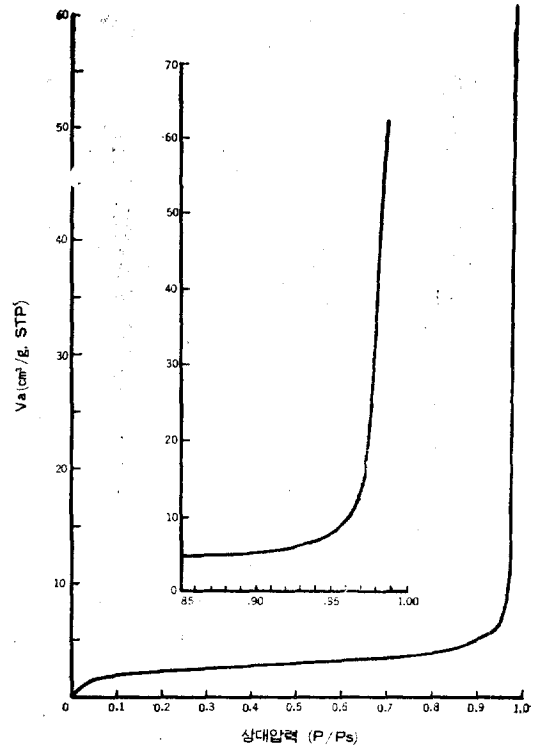


그림 4. 음극 산화반응으로 얻어진 알루미늄 시료의 78°K에서의 질소흡착곡선

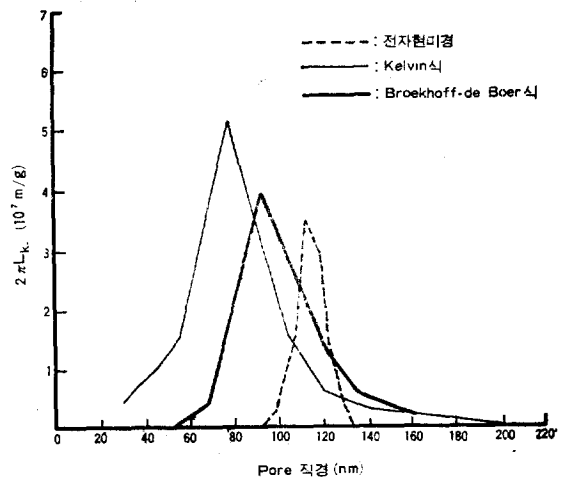


그림 5. Pore Size Distribution의 비교

7. 결 론

축매연구에서는 Pore의 구조가 매우 중요하다. 본 총설에서는 특히 원통형 Pore 내에서의

모세관 응축 및 증발현상을 설명하고, 이들이 Pore Size Distribution을 얻는데 어떻게 사용되며, 또 계산과정은 어떻게 되는가에 대하여 소개하였다.

단일 Pore 내의 모세관 응축현상에 대하여 Broekhoff와 de Boer가 주장한바와 같이, 흡착 상태와 액체 상태의 열역학적포텐셜의 상이점을 고려해야 되며, 종래의 Kelvin 식은 수정되어야 한다는 것을 설명하였다.

마지막으로 원통형 pore 모델을 검토하기 위하여 Anodic Alumina가 사용될 수 있다는 것을 보였는데, 이것은 Anodic Alumina가 종래의 촉매시료와는 달리 잘 정의된 똑바른 원통형 Pore를 갖고 있기 때문이다.

참 고 문 헌

1. S. Brunauer, P.H. Emmett and E. Teller, *J. Am. Chem. Soc.*, **60**(1938), 309.
2. P.S. Laplace, "Traité de Mécanique Céleste," Supp. livre X. See: Oeuvres Complètes VI, Paris(1883), p. 349
3. R. Zsigmundy, *Z. anorg. allg. chem.*, **71** (1911), 356.
4. E. Hückel, "Adsorption und Kapillarkondensation", Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, (1928).
5. L.H. Cohan, *J. Am. Chem. Soc.*, **60**(1938), 433.
6. S. Brunauer, L.S. Deming, W.E. Deming, and E. Teller, *J. Am. Chem. Soc.*, **62** (1940), 1723.
7. R.M. Barrer, N. McKenzie and J. S. S. Reay, *J. Colloid Sci.*, **11**(1956), 479.
8. J.H. de Boer, "The Structure and Properties of Porous Materials" (D. H. Everett and S. Stone, eds), Butterworth, London, (1958), p. 68,
9. N.K. Adam, "The Physics and Chemistry of Surfaces", Oxford University Press, Oxford, (1930) p. 13,
10. J. C. P. Broekhoff and J. H. de Boer, *J. Cat.*, **9**(1967), 8.
11. R.B. Anderson, *J. Am. Chem. Soc.*, **68** (1946), 686.
12. T.L. Hill, *Advan. Catalysis*, **4**(1952), 236.
13. G.C. Halsey, *Advan Catalysis*, **4**(1952), 263, 264.
14. J.H. de Boer, B.C. Lippens, B.G. Linsen, J.C.P. Broekhoff, A. van der Heuvel and Th. J. Osinga, *J. Colloid Interf. Sci.*, **21**(1946), 405.
15. E.O. Kraemer, "A Treatise on Physical Chemistry" (H. S. Taylor ed.), McMillan, New York, (1931), p. 1661.
17. J.W. Mc Bain, *J. Am. Chem. Soc.* **57** (1935) 699
18. B.V. Deryagin, Proc. Int. Congr. Surf. Activ., 2nd, Butterworth, London, (1957), p. 153.
19. A. Wheeler, "Catalysis", Vol. II, p. 118, Reinhold, New York, (1955).
20. W. F. N. M. de Weesschauwer, "Physical and Chemical Aspects of Adsorbents and Catalysts," (B.G. Linsen, ed), Academic Press, London and New York, (1970), p. 50.
21. C. Clement and R. Montarnal, *J. Chim. Phys.*, **59**(1962), 195.
22. E.P. Barret, L.G. Joyner and P.P. Halenda, *J. Am. Chem. Soc.*, **73**(1951), 373.
23. J.H. de Boer, *Proc. Br. Ceram. Soc.* **5** (1965), 5.
24. P.H. Emmett and M. Cines, *J. Phys. Colloid Chem.* **51**(1947), 1260.
25. L. Young, "Anodic Oxide Films," Academic Press, London and New York, (1961).
26. K.N. Rai and E. Ruckenstein, *J. Cat.*, **40**(1975), 117.
27. S.K. Ihm and E. Ruckenstein, *J. Colloid Interf. Sci.*, **61**(1977), 146.

저자 약력

임선기 박사는 1969년 서울공대 화공과를 졸업하고, 한국비료공업주식회사에 근무중 1972년도미하여, Puffalo 소재 뉴욕주립대학 대학원에서 1974년 Reverse Osmosis에 관한 연구로 석

사학위를 받고 1977년 촉매의 구조결정과 활성에 관한 연구로 박사학위를 받았으며, 1978년 한국과학원에 부임할 때까지 동대학에 연구원으로 재직했다. 앞으로는 촉매 및 반응공학, 부식방지, 그밖에 전달 현상 등의 분야에 관한 연구를 할 계획으로 있다.