

## 수용액에서 활성탄을 이용한 파라메톡시페놀의 제거

이상훈\*, 정재관  
고려아연(주) 기술연구소\*,  
성균관대학교 화학공학과

### Removal of p-Methoxyphenol from Aqueous Solution by Activated Carbon

Sang Hun Lee\*, Jaygwan G. Chung  
Technical Research Lab., Korea Zinc Co., Ltd.\*,  
Dept. of Chem. Eng., Sung Kyun Kwan Univ.

#### 서론

본 실험에서 사용한 파라메톡시페놀(p-methoxyphenol)은 페놀 유도체로서 산화 방지제나 의약품, 고분자 화합물의 자외선 방지제 및 안정제로 사용되어지고 있으며 수중의 금붕어에 대한 자료를 검토해 보면 파라메톡시페놀에 대한 치사량은 200mg/l-48h으로 보고되었다. 파라메톡시페놀은 독성이 강한 물질이기 때문에 호흡이나 피부접촉으로 인하여 인체에 침입하였을때 점막을 자극하거나 심한 경우 독성작용으로 조직이 파괴되는 경우까지 나타난다[Lewis, R J., Sr., 1993 ; 유해 화학 물질 연구회, 1991 ; Verschueren, K., 1977]. 파라메톡시페놀을 이용한 흡착 연구는 1982년 미시간 주립대학의 Boyd가 토양에 의한 파라메톡시페놀과 페놀 유도체의 흡착특성을 연구하였고 1991년에 코넬대학의 McBride와 Kung이 파라메톡시페놀과 페놀 유도체를 산화철을 흡착제로 사용하여 연구 하였고 1992년에는 봄베이대학의 Shrlgaonkar등이 활성탄을 이용하여 파라메톡시페놀과 페놀유도체의 흡착에 관하여 연구하였다. 본 연구에서는 유해물질인 파라메톡시페놀을 삼천리사에서 제조한 활성탄(SLS-100)을 이용하여 제거하고자 회분식 실험을 통하여 흡착질의 초기농도, 흡착제의 양 그리고 흡착에 있어서 중요한 변수인 용액의 pH를 변화시키면서 흡착거동에 알맞는 흡착등온식을 찾아내고 이것을 연속공정에서 미분층 반응기를 통하여 얻어진 값과 비교하여 반응속도와 최적조건을 구하였다.

#### 이론

〈흡착평형〉

흡착평형에 사용된 대표적인 두식을 소개하면 다음과 같다.

$$q_e = \frac{X}{M} = K_f C_e^{1/n} \quad (1)$$

$$q_e = \frac{X}{M} = \frac{Q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

(1)식은 Freundlich 흡착등온식으로 표면이 매우 불균일한 흡착체에 주로 적용되며 (2)식은 Langmuir 흡착등온식으로 원래는 기체의 흡착을 위해 개발되었는데 표면에서의 흡착 에너지가 표면 점유율에 관계없이 일정한 값을 갖는다고 가정한다. 즉 흡착체 표면에서 흡착질사이에 상호작용이 없으므로 최대흡착량은 단일 층으로 채워졌을때의 값이며 또한 이 모델은 이론적으로 발전된 식이므로 표면이 균일한 경우에만 적용된다. 위에서  $q_e$ (활성탄 1g에 흡착된 파라메톡시페놀의 양)와  $C_e$ (파라메톡시페놀의 평형농도)를 실험적으로 구하고 나머지 변수는  $q_e$ 와  $C_e$ 의 관계를 이용하여 구한다.

#### <반응속도론>

반응속도론에 사용된 대표적인 식은 다음과 같다.

$$r = (\text{정반응속도} - \text{역반응속도})$$

$$r = k_1 C_{fc}^{a_1} - k_2 q_e^{a_2} \quad (3)$$

### 실험 및 결과

예비실험을 통하여 흡착평형시간을 9일로 결정하였고 최적 pH 조건을 결정하기 위해 100ml 삼각플라스크에 활성탄을 일정(0.02g)하게 채우고 초기농도가 거의 같은 용액을 pH(3, 5, 7, 9, 11)에 따라 제조하여 각각의 플라스크에 100ml씩 두어하여 시간에 따라 농도의 변화를 분석한 결과 pH 5와 pH 7의 값이 비슷하여 pH 6을 최적 pH로 결정하였다. 그리고 흡착평형 시간과 최적 pH를 결정한 후에 100ml 플라스크에 흡착질의 초기농도와 활성탄의 부여량을 변화시키면서 9일 동안 진탕기를 통하여 진탕시켰다. 이때 각각의 용액은 최적 pH를 NaOH와 CaCl<sub>2</sub>를 가시고 조절한 용액과 pH를 조절하지 않은 세종류의 용액을 사용하여 얻은 결과를 분석한 결과 CaCl<sub>2</sub>를 이용하여 pH를 6으로 고정한 용액이 Freundlich 흡착등온식이나 Langmuir 흡착등온식에 잘 적용되었으며 Langmuir 흡착등온식 보다는 Freundlich 흡착등온식에 더 잘 들어맞았다. 따라서 파라메톡시페놀에 대한 흡착평형식을 나타내면 다음과 같다.

$$q_e = 143.7950 C_e^{0.1739}$$

본 실험에 사용한 실험장치를 Figure 1에 나타내었다. 미분층 반응기는 내경 1.5cm, 길이 10cm인 원통형의 유리관으로 반응기의 중앙에 활성탄을 채우고 활성탄의 상하에는 glass bead를 채워서 활성탄을 고정하였다. 유리관 반응기의 상하는 용액이 흐르는 관과 연결하기 위해서 커넥터로 연결하였으며 유리관과 커넥터 사이에는 glass bead가 빠져 나가지 않게 하기 위해서 stainless steel망을 장착 하였고 용액이 새는 것을 막기 위해서 실리콘 고무를 장착 하고 실험을 수행할 때는 활성탄 기공으로의 확산을 용이하게 하기 위해서 반응기 내부에 증류수를 채우고 실험을 하였다.

Figure 1에서 수용액의 수위를 일정하게 유지시키기 위해서 파라메톡시페놀이 녹아있는 수용액을 약 20ℓ 용량의 저장조(holding tank)로부터 일류출구(overflow)를 가진 일정수위조(constant head tank)로 보내지며 일류된 용액은

일류저장조(overflow reservoir)로부터 펌프에 의해서 다시 저장조로 재순환된다. 이러한 방법으로 일정수위조와 반응기 사이에 설치된 유량계를 거쳐 일정한 유속으로 반응기를 통과한다. 반응속도론 실험에 있어서 미분층반응기에서의 정막 확산이 최소화 되는 유속의 범위는 380cm/min 이상일 때임으로 본 실험에서는 420 cm/min으로 고정하고 실험 하였으며 파라메톡시페놀의 흡작에 대한 총괄반응속도식은 다음과 같다.

$$r = 1.4977C_{fc}^{1.0406} - [1.4392C_i - 0.0154] q_e^{0.0044} C_i^{-0.5188}$$

### 참고문헌

1. Lewis, R. J., Sr., "Hazardous chemicals desk reference", 3rd ed., Van Nostrand Reinhold Co., New York, N.Y., p.825 (1993).
2. Verschueren, K., "Handbook of environmental data on organic chemicals", Van Nostrand Reinhold Co., New York, N.Y., p.436 (1977).
3. 유해화학물질연구회, "유해화학물질편람", 동화기술, p.404 (1991).

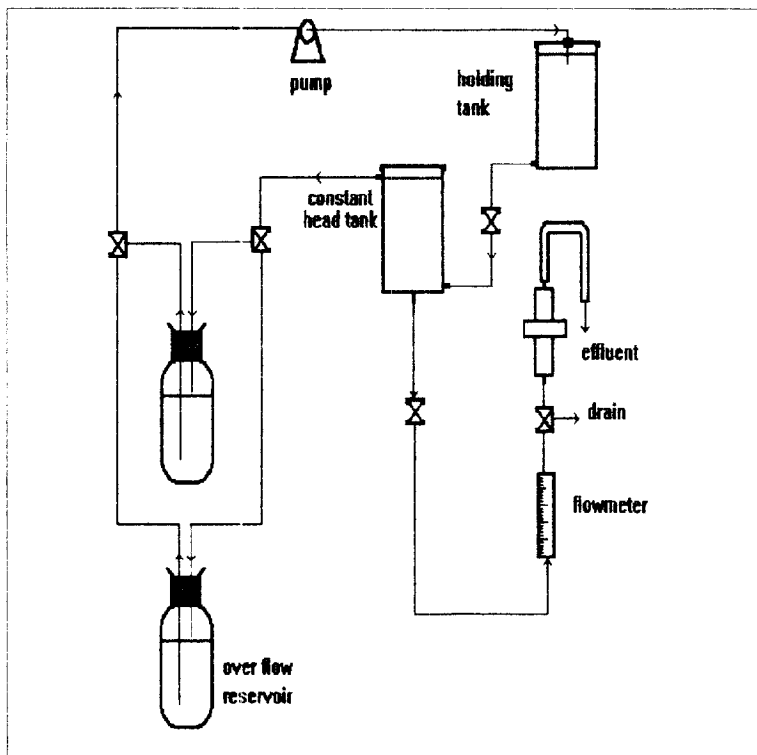


Figure 1. Schematic diagram of experimental unit.

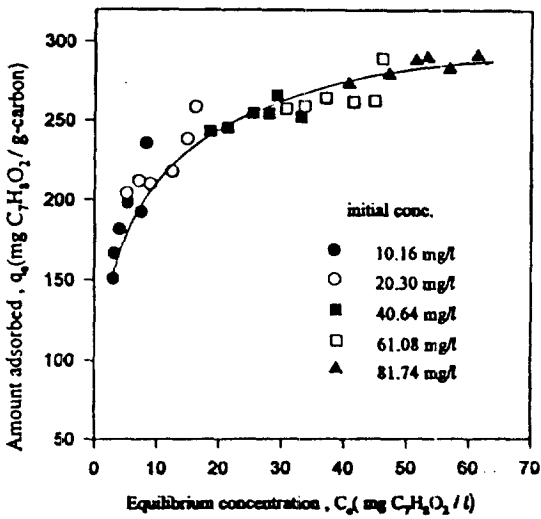


Figure 2. Amount adsorbed on solid vs. equilibrium concentration in solution (pH 6 fixed with CaCl<sub>2</sub>).

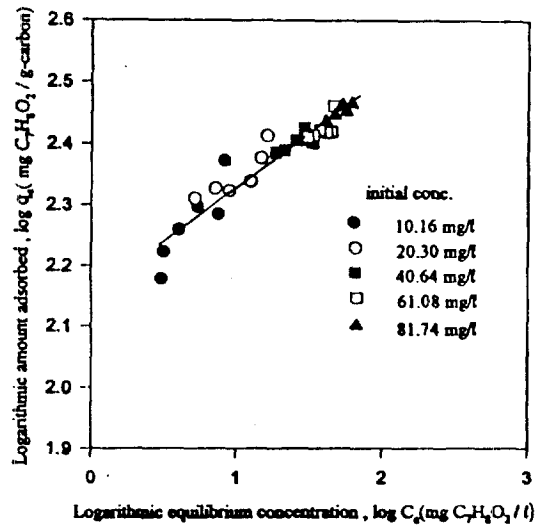


Figure 3. Plot of Freundlich adsorption isotherm (pH 6 fixed with CaCl<sub>2</sub>).

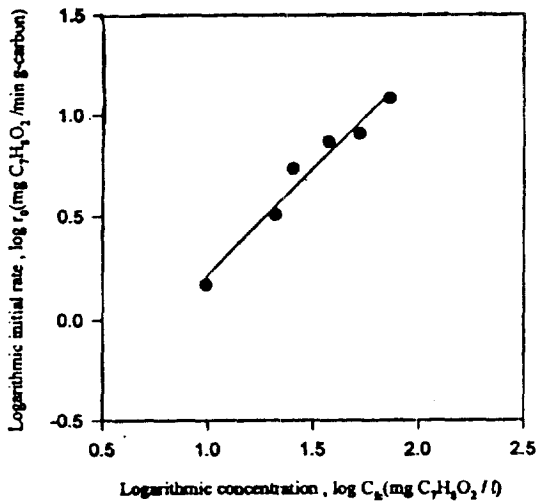


Figure 4. Dependence of initial rates on concentration of p-methoxyphenol in solution

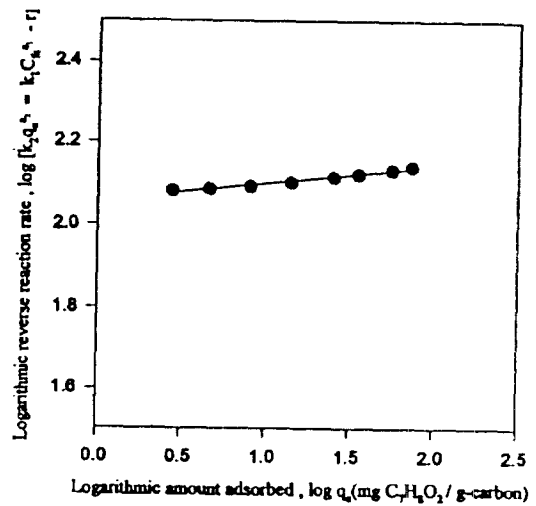


Figure 5. Determination of reverse reaction parameters.