

가열원관군 주위를 유동하는 굴패각의 탈착과정에 대한 열 및 물질전달에 관한 연구

Study on the Heat and Mass Transfer Characteristics of Oyster Shell Flowing through the Bundle of Heating Pipes

김 명 준

Myoung-Jun Kim

(접수일 : 2012년 10월 29일, 수정일 : 2013년 3월 4일, 채택확정 : 2013년 3월 4일)

Abstract: This study is experimentally performed for using the oyster shell as a desiccant in the fluidized bed with bundle of heating pipe. The test material is oyster shell from fishery wastes which can use without costs. The main parameters of experiment are inlet air temperature, velocity of inlet air and heat flux of heating pipes. Also the geometry of heating pipe is treated as important parameter. From this study, the effect of inlet air temperature and input heat flux have much affect to increase the heat and mass transfer. On the other hand, the effect of inlet air velocity has less affect to increase the heat and mass transfer. And it is clarified that the oyster shell has sufficient probability for using as a desiccant in air-conditioning system.

Key Words : Adsorption and Desorption, Bundle of Heating Pipes, Fluidized Bed, Heat and Mass Transfer, Oyster Shell

— 기 호 설 명 —

A : 전열관면적 [m^2]
 h_m : 열전달계수 [$w/(m^2 \cdot K)$]
 K_s : 총물질전달계수 [$kg/(s \cdot m^2)$]
 m_p : 흡착제 중량 [g]
 M_{abs} : 흡착제 질량당 흡착무게 [-]
 P_s : 기체의 포화압력 [Pa]
 Q_h : 입력전력 [W]
 Q_w : 가열전력 [W]
 S : 굴패각의 총표면적 [m^2]

t_f : 종료시간 [hr]
 T_m : 입구공기온도 [K]
 T_m : 전열관의 원주방향 온도의 평균 [K]
 T_p : 유동층 내에 있는 굴패각의 온도 [K]
 U : 입구공기속도 [m/s]

하첨자

b : 실험완료시

1. 서론

최근 들어 지구온난화 문제와 오존층 파괴 등에 관한 문제로 인하여 냉난방 공조분야에 대한 대대적인 고찰이 필요하게 되었다. 특히 냉매로 사용되는 유해가스의 대체 및 냉난방 공조장치에서 사용되는 막대한 에너지 소비에 대한 대책이 절실히 필요하게 되었다. 냉난방 시스템에 사용되는 작동유체에 대해서는 친환경적인 유체인 수증기를 사용하는 연구들이 활발히 진행되고 있으며 에너지 소비적인 측면에서는 신재생에너지에 대한 연구가 박차를 가하고 있다¹⁻³⁾.

냉난방 시스템에 사용되는 작동 유체인 수증기에 대해서 살펴보면, 일단 환경적인 부하가 없기 때문에 적극적인 사용이 권장되고 있으나 효율적인 면에서 아직 연구가 이루어져야 할 부분이 산재해 있다⁴⁻⁶⁾. 하지만 효율을 높이기 위해 상대적인 저온의 미이용 폐열을 회수할 수 있도록 시스템을 구성한다면 효율적인 측면도 높일 수 있다⁷⁻⁹⁾.

본 연구에서는 이러한 수증기를 사용한 공조시스템의 효율을 높이기 위한 연구의 일환으로 굴패각을 공조시스템의 흡착제로 사용하고 가능성을 파악하기 위해 실험을 수행한 것이다. 즉, 수산폐기물인 굴패각을 흡착제로 사용함으로써 인한 환경부하적인 측면을 줄일 수 있으며, 또한 공조시스템의 구성에 필요한 흡착제를 특별한 경비 없이 사용할 수 있어 사용자 측면에서 보다 경제적인 냉난방 시스템을 구축할 수 있다고 할 수 있다^{10, 11)}.

굴패각의 흡탈착 특성을 파악을 위해 유동층 실험장치를 이용하였으며 탈착을 원활히 하기 위해 유동층 내에 가열관군을 설치하여 일정 열유속 조건으로 가열하여 탈착을 완성하였다. 실험의 주된 파라미터는 입구공기의 온도, 공기의 유속 및 가열원관의 열유속 등이 되며, 실험 데이터는 각 파라미터별로 정리하였고 특히 열전달의 경우 전열관 다발의 상단과 하단에서의 비교도 수행하였다.

2. 실험 흡착제(굴패각)의 특성

본 연구에서는 공조시스템에 사용할 수 있는 흡착제로 굴패각을 제안하고 있다. 굴패각은 Fig. 1의 (a)의 사진을 보면 알 수 있는 바와 같이 폐자원인 굴껍질을 (b)에 나타나 있는 바와 같이 수작업으로 특별한 공정없이 분말로 분쇄하여 사용하였다. 그리고, 현미경을 이용하여 마이크로 사진으로 관찰해 보면, (c)의 사진에서 알 수 있는 바와 같이 표면에 많은 주름이 있어 단위체적당 표면적이 넓어 많은 수분을 흡착할 수 있다. 따라서 흡착제로 사용할 수 있을 것으로 판단되어, 본 연구에서 흡착제로서의 사용을 목적으로 기본적인 흡착특성을 연구하였다.



a) Real shell (b) Particle (c) Micro size
Fig. 1 Apparent and microscopic photos of oyster shell

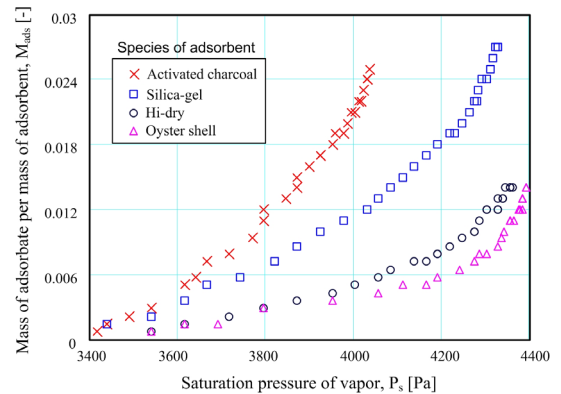


Fig. 2 Non-dimensional adsorption amount (Comparison of adsorbent species)

굴패각의 흡착특성에 대해서는 기본적인 흡착 성능 실험을 통해 Fig. 2와 같은 결과를 얻었다. Fig. 2로부터 알 수 있는 바와 같이 현재 상용화 되어 있는 주된 흡착제인 활성탄, 실리카겔 등과

는 성능에서 차이를 보이고 있으나, 흡착제로서의 사용가능성은 충분하다고 할 수 있다.

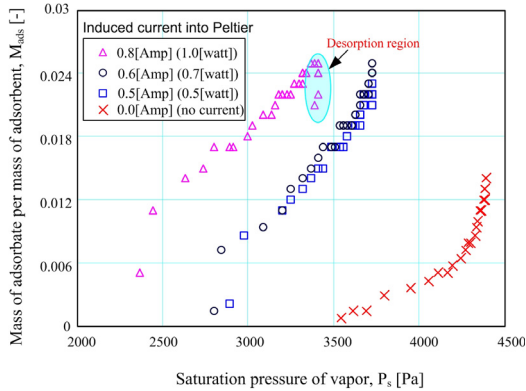


Fig. 3 Non-dimensional adsorption amount (Effect of induced current ; Cooling Effect)

특히 Fig. 3에 나타난 바와 같이 흡착과정 중 온도조건을 변화시켜 주면 더욱 많은 흡착을 수행한다는 것을 알 수 있다. 골패각의 흡착성능에 영향을 미치는 온도특성(냉각특성)에 사용한 것은 열전소자인 페르체(Peltier)소자를 사용하였다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서는 전술한 골패각의 탈착성능에 영향을 미치는 온도조건에 대한 연구를 진행하기 위해 열유속 일정으로 가열되는 유동층형 열교환

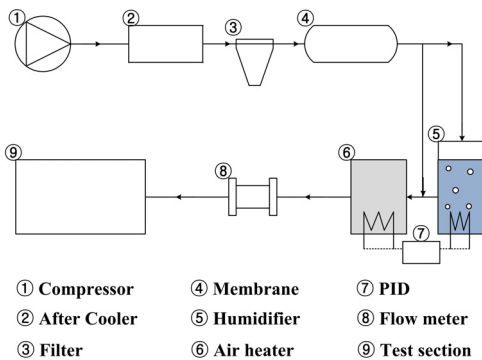


Fig. 4 Experimental apparatus

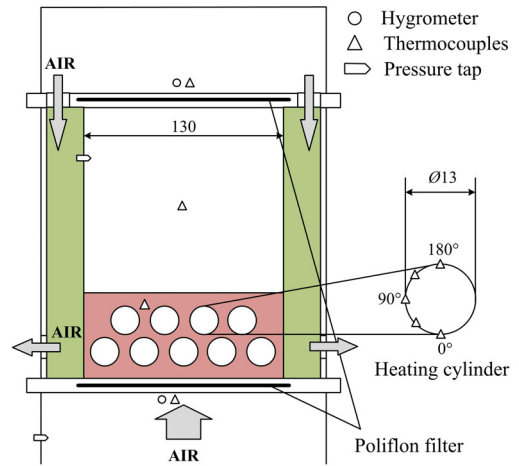


Fig. 5 Detail of test section

실험장치를 제작하여 골패각의 열 및 물질전달에 대한 특성을 파악하기 위해 Fig. 4, 5와 같은 실험장치를 구성하였다.

실험장치는 크게 입구공기조건을 제어하기 위한 부분과 시험부로 구성되어 있고 입구공기의 조건은 온도와 습도를 제어하는 부분들로 구성되어 있다.

3.2 실험방법

실험방법으로는 먼저 공기압축기, 보조 냉각기, 필터, 건조기를 거쳐 압축된 건조공기를 만들고, 기포담과 히터를 이용해 소정의 온도 및 습도조건을 조절하고 시험부로 입구공기를 유입시킨다. 시험부는 아크릴 재질의 구형용기로 내부에 흡착제로 사용한 골패각을 충전시키고 하부로부터 공기를 유입시켜 유동층화 시킨다. 유동층내에는 전기저항가열로 열을 방출할 수 있도록 장치를 구성하여 열유속 일정의 조건으로 가열할 수 있는 전열관을 사용하였다.

본 연구에서는 전술한 골패각의 탈착성능에 영향을 미치는 온도조건에 대한 연구를 진행하기 위해 열유속 일정으로 가열되는 유동층형 열교환 실험장치를 제작하여 실험을 진행하였다. 열교환 파이프의 상단과 하단의 중앙에 위치한 파이프는 원주방향으로 45° 간격으로 열전대(직경1mm, K

형, ±0.5K)를 설치하여 전열관 원주방향에 대한 열전달 특성을 파악하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험완료시간 및 총괄물질전달계수의 정의

본 실험에 있어 실험완료시간(t_f)은 탈착량이 총 탈착량의 90%에 도달했을 때의 시간을 완료시간으로 정의하였다. 그리고 총괄물질전달계수 (K_s)는 다음 식과 같이 정의하였다.

$$K_s = \frac{m_p}{S \left[\left(\frac{m_w}{m_0} \right)_b - \left(\frac{m_w}{m_0} \right) \right]} \cdot \frac{d \left(\frac{m_w}{m_0} \right)}{dt} \quad (1)$$

여기서, m_p : 흡착제 중량(글패각의 중량), $\frac{m_w}{m_0}$:

Fig. 2의 무차원 흡착량, S : 글패각의 총표면적(글패각의 단위 중량당 표면적은, 약 1.6[m²/g])

4.2 물질전달계수에 대한 고찰

Fig. 6~8에 가열관에 공급되는 입력전력, 입구 공기온도 및 입구공기 유속의 영향에 대해 실험 완료시간과 총괄물질전달계수의 변화를 나타내었다. 그래프에 사용된 총괄물질전달계수는 총 실험 시간에 걸쳐 계산된 값의 평균값을 사용하였다.

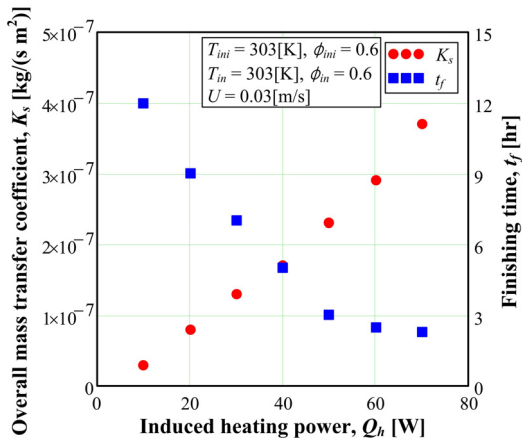


Fig. 6 Relationship between induced power and mass transfer

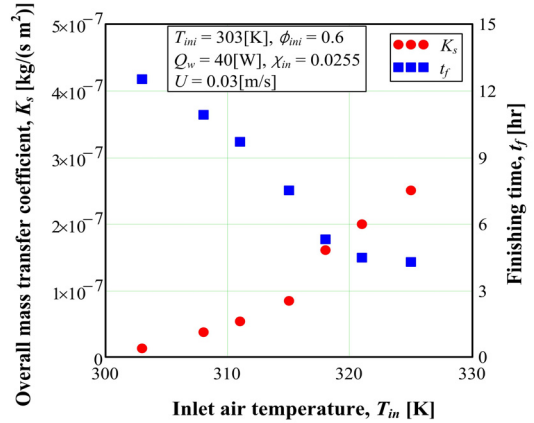


Fig. 7 Relationship between inlet air temperature and mass transfer

Fig. 6과 7에서 알 수 있는 바와 같이 가열전력의 증가 및 입구공기의 온도가 상승함에 따라 총괄물질전달계수가 증가하고 결과적으로 실험완료 시간도 단축되고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 유동층 내에 보다 많은 열원이 공급되어 탈착이 촉진되기 때문이다.

열량의 증가에 따라 급격한 변화를 나타내고 있는 것은 포화수증기량이 온도의 변화에 따라 급격히 변하는 것과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문이다. 즉, 습공기선도상의 변화양상을 살펴보면 온도의 변화에 따라 지수적으로 변화함과 관계가 있다.

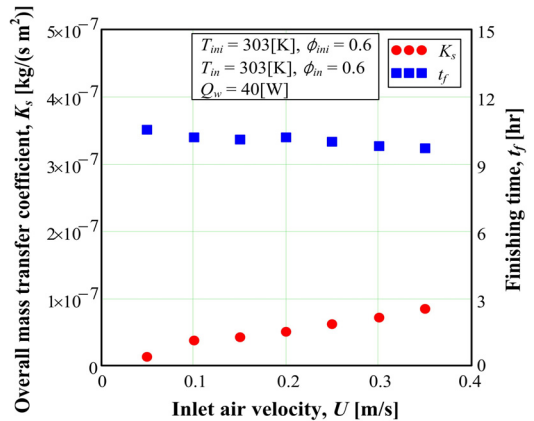


Fig. 8 Relationship between inlet air velocity and mass transfer

유동층 내를 통과하는 공기의 속도에 대해 살펴보면 Fig. 8에 나타난 바와 같이 입구공기의 유속이 증가하여도 실험완료시간은 10[hr]으로 그 변화가 미세하지만, 총괄물질전달계수의 경우에는 $0 \sim 1 \times 10^{-7} [\text{kg}/\text{sm}^2]$ 으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 즉 흐름이 활성화 되어 총괄물질전달계수의 향상은 영향을 받고 있는 것으로 나타나고 있다.

실험완료시간의 경우는 거의 변화가 없는데 이러한 원인으로서는 유속이 증가하면 일반적으로 물질전달이 원활히 이루어지지만 입구공기가 가지고 있는 수증기량(상대습도)이 증가하기 때문이며, 또한 가열원관을 가열하는 열량이 입구공기와 함께 외부로 방출되어 충분한 가열로 인한 골패각의 탈착에 사용되어야 할 열량이 제거되기 때문에 실험완료시간에는 큰 변화가 나타나지 않고 있다.

4.3 열전달에 대한 고찰

열전달특성에 대한 고찰에 있어 먼저, 가열원관에 공급되는 전력에 대한 영향을 살펴보면, Fig. 9에 나타난 그래프와 같다. 실험은 입력전력을 10 ~ 70[W]로 단계적으로 변화시켜가면서 수행하였다.

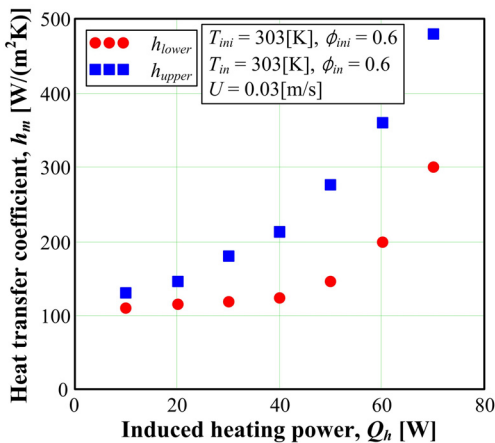


Fig. 9 Relationship between induced power and heat transfer

열전달계수는 다음의 수식(2)로부터 구할 수 있

다. 여기서 사용한 온도는 가열관의 원주방향 각도에 따라 차이가 발생하지만 본 실험에서는 평균값을 이용하여 평균 열전달계수 값으로 채용하였다.

$$h_m = \frac{Q_w}{A \cdot (T_m - T_p)} \quad (2)$$

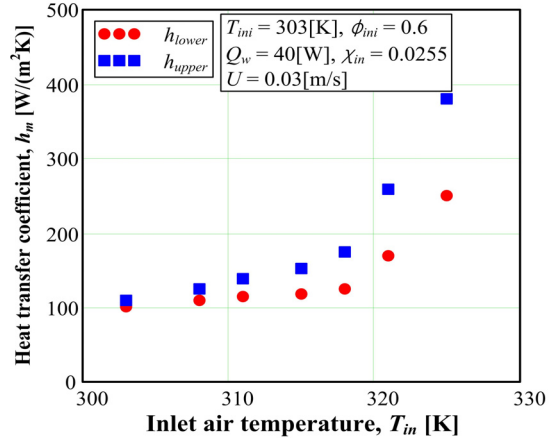


Fig. 10 Relationship between inlet air temperature and heat transfer

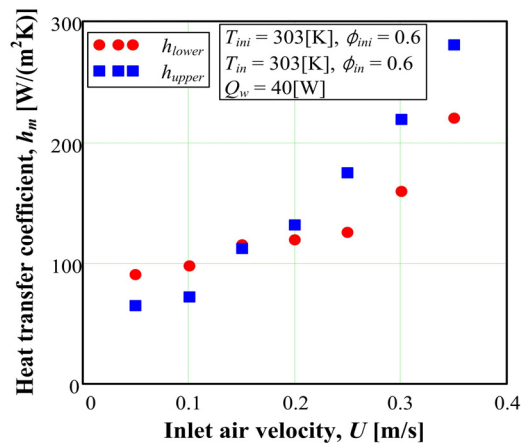


Fig. 11 Relationship between inlet air velocity and heat transfer

온도의 측정은 상기의 실험장치 부분에서 나타난 바와 같이 전열관의 원주방향에 설치한 열전대로부터 얻어진 온도를 평균하여 관의 표면온도

로 하였으며, 굴폐각의 온도는 유동층내의 전열관 상단 중간부분에 설치한 곳의 온도를 측정하여 굴폐각의 온도로 사용하였다.

Fig. 9로부터 알 수 있는 바와 같이 공급되는 전력량이 상대적으로 작은 40[W]일 때는 전열관의 상단 및 하단에서의 열전달계수 값이 약 70[W/m²K] 정도로 차이가 많이 나타나지 않지만, 공급전력량의 증가에 따라 70[W]에서는 전열관의 상단 및 하단에서의 열전달계수 값이 약 180[W/m²K]으로 그 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 이러한 원인으로는 전력량의 증가에 따라 탈착량이 증가하여 굴폐각의 유동이 더욱 활성화되어 열전달이 촉진되고 있다고 할 수 있으며, 상단에서의 열전달이 향상되는 것은 Zukauskas¹²⁾ 등이 얻은 연구결과와 같은 이유로서, 판다발의 후류로 갈수록 난류가 촉진되기 때문이다.

입구공기의 온도에 대한 영향을 파악한 결과, 전술한 가열열량과 비슷한 경향을 나타내고 있으나 전체적인 값의 변화는 가열열량의 경우와 비교해 열전달계수 값의 변화가 크게 나타나지 않았다. Fig. 10에서 보이는 바와 같이 입구공기의 온도가 증가하면 Fig. 7에서 기술한 총괄물질전달계수가 상승하여 탈착량이 증가하기 때문에 굴폐각의 유동활성화에 의한 열전달이 향상하게 된다.

Fig. 11에는 입구공기의 유속이 열전달에 미치는 영향에 대해 나타내었다. 입구공기의 유속이 상대적으로 낮은 경우 전열관 하단에서의 열전달계수가 상단에서의 열전달계수 값보다 높게 나타나고 있다. 이러한 이유로는 입구공기의 유속이 상대적으로 느린 경우 충분히 상부로 빠져나갈 수 없어 하단에서는 유동에 의한 교반이 이루어지고 있으나 상부에서는 운동에너지의 전달이 이루어지고 있지 않기 때문이다.

유속이 상대적으로 높은 경우, 유동층 내에서 전체적으로 흐름이 형성되어 전열관 상부에서의 열전달계수 값이 점차 상승하여 하부관의 값보다 증가하고 있다. 이러한 결과로부터 어느 정도 관통이 가능할 정도의 유속을 유지하지 않으면 물질전달 및 열전달이 충분히 이루어지지 않는다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

기존의 공조시스템에 사용가능한 흡착제로서 굴폐각의 사용가능성을 타진해 보기 위해, 유동층내의 탈착실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 탈착을 위해 시험부에 설치한 전열관으로 공급되는 가열전력의 증가 및 입구공기의 온도가 상승함에 따라 총괄물질전달계수가 증가하고 결과적으로 실험완료 시간도 단축되고 있음을 알았다. 이러한 결과는 유동층 내에 보다 많은 열원이 공급되어 탈착이 촉진되기 때문이다.

2. 입구공기의 유속이 증가하여도 실험완료시간 및 총괄물질전달계수의 변화는 관찰되지 않았다. 하지만 물질전달의 경우는 미세하지만 증가하는 경향을 보이고 있다. 즉 흐름이 활성화 되어 물질전달의 향상은 영향을 받고 있는 것으로 나타나고 있다.

3. 전열관에 공급되는 가열전력의 증가와 입구공기온도의 상승이 탈착현상을 유도하여 굴폐각의 유동성을 더욱 활성화시켜 열전달이 향상된다. 특히 전열관의 하단보다 상단에서 보다 열전달이 크게 향상됨을 알 수 있다.

4. 입구공기의 유속이 상대적으로 낮은 경우 전열관 하단에서의 열전달계수가 상단에서의 열전달계수 값보다 높게 나타나고 있다. 이러한 이유로는 입구공기의 유속이 상대적으로 느린 경우 충분히 상부로 빠져나갈 수 없어 하단에서는 유동에 의한 교반이 이루어지고 있으나 상부에서는 운동에너지의 전달이 이루어지고 있지 않기 때문이다.

상기와 같은 결론으로부터 굴폐각은 흡착제로서 충분히 사용할 수 있으며, 특히 수산폐기물로부터 얻을 수 있는 물질이기 때문에 환경적인 측면과 경제적인 측면을 모두 만족시킬 수 있게 되어 매우 바람직한 기술이 될 것이다.

후 기

본 연구는 한국연구재단의 일반연구자지원사업 (과제번호 : 2010-0022234)의 지원으로 수행된 연구결과임.

References

1. S. h. Lee, 2000, "Environmental Protection and Ecological Ethics" The Korean Ethics Studies Association, Vol. 44, No. 1, pp. 65-82
2. C .D. Coerer and F. C. Alley, 1994, "Air Pollution Control: A Design Approach" PROSPECT HEIGHTS, IL: Waveland Press, Inc. pp. 569-580.
3. J. Benitez, 1993, "Process engineering and design for air pollution control", Englewood Cliffs, NJ:PRT Prentice Hall, Vol. 331, pp. 414-421.
4. A. J. Buonicore and W. T. Davis, 1992, "Air Pollution Engineering Manual", New York: Van Nostrand Reinhold.
5. N. de Nevers, 1995, "Air Pollution Control Engineering", New York: McGraw Hill.
6. K. E. Noll, V. Gounaris and W. S. How, 1992, "Adsorption Technology", Ann Arbor, MI:Lewis Publishers, Inc.
7. M. Dubinin, M. m, 1995, "The potential theory of adsorption of gases and vapors for adsorbents with energetically nonuniform surfaces", Chemical Reviews, pp. 235-241.
8. M. Polanyi, 1932, "Theories of the adsorption of gases", A general survey and some additional remarks, Transactions of the Faraday Society, 28, pp. 316-331.
9. Aminabhavi, T. M Naik, H. G, 1998, "Chemical compatibility study of geomembranes-sorption/desorption, diffusion and swelling phenomena", Journal of hazardous materials, Vol. 60, No. 2, pp. 175-203
10. M. J. Kim, G. H. Chea, 2012, ""Study on the adsorption and desorption enhance effect of oyster shell using peltier element"", KSPSE 2012 Spring conference, pp. 215-220.
11. M .J. Kim, G. H. Chea, 2012, "Study on the heat and mass transfer characteristics of oyster shell flowing through the bundle of heating pipes", KSPSE 2012 Spring conference, pp. 100-105.
12. A. Zukauskas, 1972, "Heat Transfer from Tubes in Cross Flow", Adv. Heat Transfer, Vol. 18, pp. 93-160.