

工學碩士 學位論文

차세대 연속자기역세형메디아필터개발을  
위한 설계 인자의 구현

Development of Major Factors for Advanced Self-back  
Flushing Media Filter

指導教授 金仁洙

2008年 2月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科

朴宣枉

本 論 文 을 朴 宣 桎 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 工 學 博 士 宋 永 彩 (印)

委 員 理 學 博 士 高 星 澈 (印)

委 員 工 學 博 士 金 仁 洙 (印)

2008年 2月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

土 木 環 境 工 學 科

朴 宣 桎

## 목 차

목 차 .....	I
List of Figures .....	III
List of Tables .....	VI
Abstract .....	VII
1. 서론 .....	1
2. 문헌연구 .....	3
2.1 여과의 정의 및 종류 .....	3
2.2 역세여과 .....	4
2.3 여과이론의 수리학 .....	7
2.4 입자 제거 기작 .....	15
2.5 벨러스트수 .....	18
2.6 연속자기역세형메디아필터의 개념도 .....	22
3. 실험 장치 및 방법 .....	23
3.1 실험 재료 .....	23
3.2 실험 방법 .....	25
4. 실험 결과 및 고찰 .....	32
4.1 메디아 물리적 성상 .....	32

4.2 미디어 용출실험 .....	34
4.3 여과층 두께별 압력과 유량 측정 결과 및 고찰 .....	38
4.4 진공여과 후 여과수의 입도와 탁도 분석 결과 및 고찰 .....	46
5. 종합 결론 .....	63
참고문헌 .....	64

## *List of Figures*

Fig. 2.1 Schematic diagram of media filter system .....	22
Fig. 3.1 Photomicrograph of the typical water used in this study ...	24
Fig. 3.2 Experimental equipments used in this study .....	28
Fig. 3.3 Design of the experimental filter .....	29
Fig. 3.4 K-PIA .....	31
Fig. 3.5 An illustration of the K-PIA program used in this study ...	31
Fig. 4.1 Erupted components of coke as a filtering material over time .....	34
Fig. 4.2 Erupted components of anthracite as a filtering material over time .....	35
Fig. 4.3 Erupted components of sand as a filtering material over time .....	36
Fig. 4.4 Erupted components of diatomaceous earth as a filtering material over time .....	37
Fig. 4.5 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of coke ( $300\mu\text{m}$ ) .....	39
Fig. 4.6 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of coke ( $200\mu\text{m}$ ) .....	39
Fig. 4.7 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of coke ( $150\mu\text{m}$ ) .....	40

Fig. 4.8 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of anthracite (1700 $\mu\text{m}$ ) .....	41
Fig. 4.9 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of anthracite (1180 $\mu\text{m}$ ) .....	41
Fig. 4.10 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of anthracite (850 $\mu\text{m}$ ) .....	42
Fig. 4.11 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of sand (200 $\mu\text{m}$ ) .....	43
Fig. 4.12 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of sand (150 $\mu\text{m}$ ) .....	43
Fig. 4.13 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of sand (90 $\mu\text{m}$ ) .....	44
Fig. 4.14 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of diatomaceous earth (300 $\mu\text{m}$ ) .....	45
Fig. 4.15 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of diatomaceous earth (90 $\mu\text{m}$ ) .....	45
Fig. 4.16 Change of turbidity of the coke over time (300 $\mu\text{m}$ ) .....	46
Fig. 4.17 Change of turbidity of the coke over time (200 $\mu\text{m}$ ) .....	47
Fig. 4.18 Change of turbidity of the coke over time (150 $\mu\text{m}$ ) .....	47
Fig. 4.19 Granularity of coke 300 $\mu\text{m}$ depending upon thickness of the media layer .....	48
Fig. 4.20 Granularity of coke 200 $\mu\text{m}$ depending upon thickness of the media layer .....	49

Fig. 4.21 Granularity of coke $150\mu\text{m}$ depending upon thickness of the media layer .....	50
Fig. 4.22 Change of turbidity of the anthracite over time .....	51
Fig. 4.23 Granularity of anthracite $1700\mu\text{m}$ depending upon thickness of the media layer .....	52
Fig. 4.24 Granularity of anthracite $1180\mu\text{m}$ depending upon thickness of the media layer .....	53
Fig. 4.25 Granularity of anthracite $850\mu\text{m}$ depending upon thickness of the media layer .....	54
Fig. 4.26 Change of turbidity of the sand over time .....	55
Fig. 4.27 Granularity of sand $200\mu\text{m}$ depending upon thickness of the media layer .....	56
Fig. 4.28 Granularity of sand $150\mu\text{m}$ depending upon thickness of the media layer .....	57
Fig. 4.29 Granularity of sand $90\mu\text{m}$ depending upon thickness of the media layer .....	58
Fig. 4.30 Change of turbidity of the diatomaceous earth over time .....	59
Fig. 4.31 Granularity of diatomaceous earth $300\mu\text{m}$ depending upon thickness of the media layer .....	61
Fig. 4.32 Granularity of diatomaceous earth $90\mu\text{m}$ depending upon thickness of the media layer .....	62

## *List of Tables*

Table 3.1 Characteristics of water .....	24
Table 3.2 Specifications of pump used in this study .....	27
Table 4.1 Characteristics of media to be tested in this study .....	33



## *Abstract*

While there have been growing interests in protecting marine environments, with the damages to the marine ecosystems by mixing exotic organisms through ballast water, cost due to damages has been estimated to be over 1 billion dollars yearly. Maritime Environment Protection Committee(MEPC) of International Marine Organization(IMO) has reached an international agreement, and in the effective period of 2009 through 2016, installation of ballast water disposal device will be mandatory for each of 30000 vessels worldwide. Its international market size Korea is projected to be approximately over 500 billion won. Korea is not possible to be outside of influence of this new international agreement, since 99% of our foreign goods are transported by vessels. Therefore, if we don't invest in marine technology at an early stage, there will be an accelerated dependency on imported technologies. In the ballast disposal system, the filtering process has to process over 500M/T, which is a large amount, of organisms if over 10 $\mu$ m in size, every hour. Since the system needs be installed on a vessel taking minimal amount of space, development of a feasible disposal system is quite challenging. A research on next-generation media filter was done to overcome the constraint in this study. In order to find out the relevant factors of vacuum filtration, for each media type,

pressure due to filtration layer was found, and flux measurement experiment was done. Also, after vacuum filtration, and experiment was done to monitor the changes in turbidity and granularity of the purified water, in order to present the best operative direction of the media filter. Media used in the test in sand, diatomaceous earth, anthracite and coke. The results of this study showed that, after conducting experiments considering all the relevant factors involved, the best configuration of the media which is part of ballast water disposal is vacuum filtration using 8mm of sand layer allowing size of 150 $\mu$ m.

## 1. 서론

선박의 밸러스트수에 의해 전 세계로 운반되는 해수에 수많은 해양생물들이 포함되어 외래 생물종의 유입을 초래하고 해양생태계가 파괴되어 연간 10억 달러 이상의 피해가 발생하고 있다. 이에 미국을 위시한 여러 항만국들은 점차 밸러스트수 배출에 대하여 외래생물 유입에 대한 규제를 강화 하고 있으며 2006년 국제해사기구(IMO) 해양환경보호위원회(MEPC)에서 밸러스트수와 침전물관리 국제협약을 채택하기에 이르렀다.

이 협약에 의하면 밸러스트수협약이 발효되는 2009년부터 2016년까지 전 세계 선박 3만여 척에 밸러스트수처리장치를 설치해야하며 이 분야의 세계시장규모는 연간 약 5천억 원 이상으로 추정되고 있다(최 와 욱, 2004). 현재 미국, 일본, 유럽 등 많은 선진국들이 밸러스트수처리에 관한 여러 종류의 기술을 연구하고 있으며, 국내에서도 다수의 처리시스템이 연구되어 곧 상품화 될 예정이다.

우리나라처럼 대외 교역 물량의 99%가량을 선박을 이용하여 운송하고 있는 경우 이 같은 규제조치의 도입에 따른 영향에서 벗어나기가 사실상 불가능한 실정이며, 관련기술을 조기에 개발하지 않는 경우 해양환경기술의 대외 종속을 가속화시키고 기술 도입에 따른 로열티 지급 등 이중 삼중의 부담이 불가피한 실정이다(최 와 욱, 2004).

밸러스트수처리장치 개발 시 여과공정의 경우  $10\mu\text{m}$ 이상의 미세물질을 시간당 500톤 이상의 대용량으로 처리해야하며, 선내의 좁은 공간에 최소의 부피로 설계되어야 하는 제한요소가 전제되므로 실용적인 처리장

치의 개발이 매우 어렵다.

본 연구에서는 이러한 제한요소를 극복하기 위한 방안으로 차세대 자기 역세형 미디어필터개발에 관한 연구를 추진하게 되었으며, 적절한 미디어의 재질을 선정하기 위한 실험과 최적설계인자의 도출을 위하여 각 미디어별로 여과층에 따른 압력과 유량측정 실험과 진공여과 후 여과수의 입도와 탁도 변화 관찰 실험을 수행하였다. 실험의 결과는 밸리스트대용량 여과장치의 설계와 막분리형 여과공정을 대체하기 위한 차세대 미디어필터의 설계인자로 사용될 수 있을 것이다.

## 2. 문헌연구

### 2.1 여과의 정의 및 종류

여과란 유동성이 있는 고체·액체혼합물을 다공성 여과재를 지나게 하여 고체는 여과재의 표면이나 내부에 퇴적시키고 액체는 투과시켜 양자를 분리시키는 기계적인 조작을 말한다(정종순, 2005). 일반적인 여과공정은 어떤 입경의 여재를 적당한 두께로 충전된 장치로 이루어진다(한국상하수도협회, 2004). 여과의 성능은 여과이전의 전처리상태, 여재의 관리, 적정한 역세정등에 의해서 좌우된다. 여과는 공정에 따라서 역삼투막을 비롯하여 NF, UF, MF, 그리고 전위차를 이용한 ED 등으로 나누어진다. 요즘은 낮은 압력을 이용하여 비용을 줄이는 방법으로 NF와 그 이하의 압력에서도 사용가능한 UF와 MF의 사용방법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다(정철우 외 3, 2006).

## 2.2 역세여과

여과공정에서 역세척은 가장 중요한 공정으로서 여과 중에 집적된 탁질을 제거하기 위한 공정이다. 여과 중 억류된 탁질은 여과가 진행될수록 여재간의 공극을 막아 손실수두를 발생시키며, 여과지의 능력을 넘어 계속 여과를 하는 경우에는 오히려 여상에 억류된 탁질이 누출되어 정수를 오염시키는 사고를 유발시킨다. 따라서 일정한 여과시간이 지나면 억류된 탁질을 제거해 주어야만 효율적인 여과를 계속할 수 있다(김자겸 외, 1999). 역세척 효율에 영향을 미치는 기본적인 요소로는 역세척속도, 여재의 크기, 형상 및 비중 그리고 원수의 수질 및 수온, 응집제의 사용 여부등이 있으며, 이러한 요소들의 특성에 맞는 적절한 팽창율이 보장되어야 최대의 수류전단력을 유발하여 최적의 역세척 효율을 달성할 수 있다(안종호 외, 1999). 수류전단력(hydrodynamic shear forces)은 역세척의 주요 정화 메커니즘으로 여재의 표면에 부착된 탁질의 탈착에 관여하는 중요한 힘으로 알려져 있으며 효율적으로 여재층을 역세척 하려면 여재가 적절한 공극율을 유지하면서 최대한으로 큰 수류전단력을 얻고 적절한 역세척속도로 여과지를 세척하여야만 한다(이정택 외, 1999). 역세방법으로는 물, 물과 연속적인 공기의 주입, 물과 간헐적인 공기의 주입 등 3가지 방식이 있다(최 와 이, 1996).

## 2.2.1 역세척 방식

### 2.2.1.1 물역세척 방식

재래식 방식 또는 지간 역세척 방식 등이 있으며 이중 재래식 방식은 현재까지 물역세척 방식으로 널리 사용되어 왔으나 에너지 손실이 많고 운전을 위한 부속시설이 많은 점이 단점으로 지적되어 왔다. 이에 비하여 지간 역세척 방식은 재래식 방식의 에너지 및 설비 면에서의 단점을 보완한 방식으로 운전이 매우 간편한 장점을 가지고 있다.

#### (1) 재래식 방식

물만으로 또는 표면세척과 병행하여 역세척을 시행하여 여층내의 부착 탁질을 배출시키는 방식으로 역세척의 시기는 손실수두계에 의하여 시행된다. 역세수량을 공급하기 위하여 역세척 수조 또는 역세척 전용 펌프를 설치하여야 하며, 역세척 효율을 높이기 위하여 표면세척장치가 추가로 필요하게 되는 등 유지보수 대상설비가 많아져 설치비용과 유지관리에 많은 비용과 노력이 든다.

#### (2) 지간 역세척 방식

재래식 방식과 동일하게 물만으로 작동하나 본 방식은 상수 처리의 경우 역세수량을 여과지 옆의 정수거에서 직접 공급받고 정수거 수위의 위치수두를 이용하게 되므로 재래식 방식에서의 역세척 수조나 역세척 전용펌프가 필요 없어 재래식 방식보다는 경제적인 장점이

있다.

#### 2.2.1.2 공기 + 물 역세척 방식

공기와 물을 조합하여 역세척을 시행하는 방식으로 상승기포의 미진동을 이용하여 여층내에 부착된 탁질을 떨어뜨려 역세수와 함께 배출시키는 원리를 이용한다. 이 방식의 역세척 시기는 손실수두 계 또는 level switch에 의하여 결정되는데, 역세수량이 물세척에 비하여 적게 소요되는 반면 공기 공급설비가 필요하게 된다. 공기와 물을 동시에 공급하므로 시공이 까다로우며, 특히 하부시설의 수평성, 수밀성이 유지되어야 한다.



## 2.3 여과이론의 수리학

### 2.3.1 여과의 수리학

층전층을 통한 흐름은 고전적인 수리학 이론으로 해석될 수 있는데, Cermen은 균일한 크기의 다공성 매체층의 조건에 영향을 미치는 파이프내의 두 손실에 대한 Darcy-Wiesbach 식을 변형시켰다. Carmen-Kozeny 식으로 알려진 결과식은(조영일 외, 1999)

$$hf = \frac{f' L(1-e) V_s^2}{e^3 g d_p} \text{-----}(1)$$

여기서 hf는 균일한 크기  $d_p$ 의 입자상을 통한 마찰손실, m

L= 여과기의 깊이, m

e= 상의 다공도

$V_s$ = 여과속도 , m/s

g = 중력가속도,  $m/s^2$

d = 여과기 매체입자의 직경, m

나머지 항인  $f'$ 는 입자주위의 항력 계수와 관계된 마찰인자로 보통의 여과속도 범인인 층류에서는 다음과 같이 계산된다.

$$f' = \frac{150(1-e)}{Re} + 1.75 \text{-----}(2)$$

$$Re = \frac{\Phi \rho_w V_s d}{\mu} \text{-----}(3)$$

$\rho_w$  = 물의 밀도,  $\text{kg/m}^3$

$\mu$  = 물의 점도,  $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$

$\Phi$ 는 형상인자로 대부분의 매체에서 0.75~0.85의 범위에 있다.

매체의 체 분석에 의하여 균일한 매체상에 대한 변형식은 다음과 같다. 매체의 체 분석에 의하여 인접해 있는 체 크기 사이의 무게분을  $X_{ij}$ 를 구한다. 평균입자의 크기  $d_{ij}$ 는 체 크기 사이의 중간이라고 가정한다. 체 크기 사이의 입자의 깊이는  $X_{ij}L$  이라고 할 수 있다.

$$hf = \left( \frac{L(1-e) V_s^2}{e^3 g} \right) \left( \sum \frac{f_{ij} X_{ij}}{d_{ij}} \right) \text{-----}(4)$$

### 2.3.2 역세척의 수리학

균등한 미디어로 이루어진 여상을 수리학적으로 팽창시키기 위해서는 수두손실이 유체 내에서의 입상미디어의 부유 질량과 같아야 한다. 수학적으로 이 관계식은 다음과 같다(조영일 외, 1999).

$$h = L_e(1 - a_e) \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \text{-----}(5)$$

$h$  = 여상을 팽창시키는데 필요한 수두손실

$L_e$  = 팽창여상의 깊이

$a_e$  = 팽창된 공극율

$\rho_s$  = 미디어의 밀도

$\rho_w$  = 물의 밀도

상향류에 의해 생긴 저항력 때문에 각 입자들이 부유 상태로 있으므로, 침전이론으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_D A_P \rho_w \left( \frac{v^2}{2} \right) \Phi a_e = (\rho_s - \rho_w) g v_P \text{-----}(6)$$

$v$  = 역세척수의 상승속도, m/s

$\Phi(a_e)$  = 보정계수

실험 결과들로부터 팽창상(expandedbed)의 공극율은 레이놀즈 수를 대략 1이라 가정할 때 다음 관계식으로부터 구할 수 있다.

$$\Phi(a_e) = \left(\frac{v_s}{v}\right)^2 = \left(\frac{1}{a_e}\right)^9 \text{-----}(7)$$

그러므로

$$a_e = \left(\frac{v}{v_s}\right)^{0.22} \text{-----}(8)$$

또는

$$v = v_s a_e^{4.5} \text{-----}(9)$$

여기에서  $v_s$  = 입자의 침강속도, m/s

그러나 단위 면적당의 메디아의 부피가 일정하기 때문에  $(1 - a)L$  은  $(1 - a_e)L_e$ 와 같다.

$$\frac{Le}{L} = \frac{1 - \alpha}{1 - \alpha_e} = \frac{1 - \alpha}{1 - \frac{v}{v_e}^{0.22}} \text{-----}(10)$$

메디아가 증화된 경우에는 상층의 작은 입자들이 우선 팽창한다. 전체의 여상이 팽창하기 위해서는 역세척 속도가 가장 큰 입자를 들어 올릴 수 있을 만큼 충분히 커야 한다. 여상의 증화를 설명하기 위해서 체 안의 입자들이 균일하다고 가정하여 위의 식을 수정해야 한다.

$$\frac{L_e}{L} = (1 - \alpha) \sum \frac{\rho}{1 - \alpha_e} \text{-----(11)}$$

여기에서  $p\rho$  = 체 안에 있는 메디아의 비율

위의 식을 이용하면 필요한 역세척 속도와 팽창 깊이를 구할 수 있다.

### 2.3.3 케이크 여과의 수리학

케이크 여과란 여과조작이 여과매체 표면에 형성되는 입자층인 케이크에 의해서 행해지는 것을 말한다. 이러한 케이크 여과 현상의 분석에는 흔히 Darcy의 공식이라고 불리는 식을 사용한다(임성삼 외, 2004).

$$v_D = \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta\rho_c}{\mu\alpha_{av}w} \text{-----(12)}$$

$V$  = 여과 단위 면적당 여액의 부피( $\text{m}^3/\text{m}^2$ )

$t$  = 여과시간 (sec)

$\Delta\rho_c$  = 케이크 양쪽 면의 압력 차이 (pa)

$\mu$  = 여액의 점도 ( $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ )

$\mu\alpha_{av}$  = 여과 평균 비저항 ( $\text{m}/\text{kg}$ )

$W$  = 여과 단위 면적당 케이크의 질량( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

위의 식은 케이크의 저항만을 고려해 준 식으로 단위 시간당 단위 면적당 여액의 부피,  $v_0 = dV/dt$  는 케이크의 공간을 통해 빠져 나오는 여액의 속도를 특정한 값이므로 케이크와 여과매체를 빠져 나온 후의 여액의 속도이다.

여과에 적용되는 전체 압력  $\Delta\rho$ 는 케이크에서의 저항과 여과매체에서의 저항을 고려하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta\rho = \Delta\rho_c + \Delta\rho_m = \alpha_{av}W\mu v_D + R_m\mu v_D \text{-----(13)}$$

$R_m$  = 여과매체의 저항 (  $m^{-1}$  )

위의  $v_0$  dp 대해 다시 정리하면 다음과 같다.

$$v_D = \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta\rho_c}{\mu(\alpha_{av}W + R_m)} \text{-----(14)}$$

여과가 시작되는 순간에는 여과매체 위에 케이크가 형성되지 않았으므로 위의 식에서 단위 면적당 케이크의 질량  $W$  는 존재하지 않게 된다. 이 순간 이후 즉, 여과조작이 진행되는 기간에는 여과 단위 면적당 케이크의 질량  $W$  값이 증가함으로 이에 대한 물질수지를 단위 면적당 케이크의 질량으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

현탁액 전체의 질량 = 케이크의 질량 + 여액의 질량

$$\frac{W}{S} = \frac{W}{S_c} + PV \text{-----(15)}$$

여기서,  $P$ 는 여액의 밀도 ( $kg/m^3$ ),  $S$ 는 여과 대상 현탁액 내의 고체 분율,  $S_c$ 는 여과 케이크 내의 고체 분율이다. 이 식을 여과 단위 면적당 케이크의 질량,  $W$ 에 대해 정리하면,

$$W = \frac{PS}{\frac{1-S}{S_c}} V \text{-----(16)}$$

$W = CV$ 라 정의하면 여액 부피당 형성되는 여과 케이크의 질량,  $C$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$C = \frac{W}{V} = \frac{PS}{\frac{1-S}{S_C}} \text{-----(17)}$$

여과가 진행되는 동안 여액의 밀도  $P$ 가 변화하는 경우는 드물므로  $C$ 는 여과 대상 현탁액 내의 고체분율  $S$ 와 케이크 내의 고체분율  $S_C$ 에 의해 결정된다. 이 관계를 식 (3)에 대입하면 흔히 Ruth의 식이라고 부르는 식 (7)이 된다.

$$v_D = \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta \rho_c}{\mu(\alpha_{av} CV + R_m)} \text{-----(18)}$$

이 식을 역으로 놓고 정리하면, 다음의 식이 된다.

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\Delta t}{\Delta V} = \frac{\mu \alpha_{av} C}{\Delta \rho} V + \frac{\mu}{\Delta \rho} R_m \text{-----(19)}$$

여과실험에서  $\frac{\mu \alpha_{av} C}{\Delta \rho}$ 와 점도  $\mu, C$  그리고 여과 압력 값을 사용하여 여과 평균 비저항값  $\alpha_{av}$ 을 구할 수 있다.



## 2.4 입자 제거 기작

입자가 중력의 방향을 따라 포집자(고정층 미디어)를 중심으로 나타내는 여러 가지 궤적은 유체역학적작용(Hydrodynamic), 확산(Diffusion), 침전(Sedimentation), 관성력(Inertia)에 의한 부착(관성충돌), 차단(Interception)등으로 나눌 수 있다. 이러한 메커니즘에 포집자의 크기가 상당한 영향을 미칠 것이다. 좀 더 구체적으로 묘사하면 탁질 입자의 이동과 부착과정에는 브라운 운동, 중력(관성충돌), 유체역학적 운동이 관여하고, 미디어표면과 탁질입자 또는 탁질입자와 탁질입자간의 인력에는 반데르발스 힘, 쿨롱인력, 화학적 결합력 등이 작용한다(곽중운, 1998).

### 2.4.1 직접 여과 효과

직접 여과 효과란 유체 속에 들어있는 오염입자의 크기가 필터재질이 구성하고 있는 기공의 크기보다 커서 통과하지 못하고 필터에 걸리는 현상이다.

### 2.4.2 관성 여과 효과

그림과 같이 유체 속에 들어있는 오염입자가 유체와 같이 움직이다가 필터 Media 앞에서 유체의 흐름 각도가 변함에 따라 유체를 따라가지 못하고 관성에 의해 직진을 계속하다가 필터 Media에 걸리는 현상을 관성 여과 효과라 한다. 이런 효과는 유체가 액체이고 액체 속에 있는 오염입자의 밀도가 액체보다 높을 때 많이 발생하며 흔히 물속에 침전

되어 있는 모래나 파이프 스케일 등에서 많이 발생하는 메커니즘이다.

#### 2.4.3 확산 여과 효과

그림과 같이 유체 속에 들어있는 오염입자가 크기도 아주 작고 가벼워서 실제 유체의 흐름선(stream line)과 같이 따라 움직이지 못하고 Micro Brownian Motion에 의한 지그재그 모양으로 자기 마음대로 움직이는 확산 현상을 이용한 여과 방법이다. 이런 현상은 액체에서는 찾아보기가 힘들고 주로 기체에서 많이 나타나는 현상인데 이 현상 때문에 똑같은 필터라고 하더라도 액체인 경우와 기체인 경우의 여과 등급이 틀려진다. (Micro Brownian Motion : 유체 속에 들어 있는 입자가 유체의 입자들과 지속적으로 충돌하면서 유체의 흐름선을 벗어나려는 움직임)

#### 2.4.4 포집입자 재통과 효과(Unloading)

유체 속에 포함된 오염입자가 위에서 설명한 효과들에 의해서 필터미디어에 포집되면 그냥 그 곳에 머무는 것이 아니라 다시 유체에 휩싸여서 필터미디어를 통과하여 나오는 현상을 포집입자 재통과 효과라 한다.

한번 포집 된 입자가 다시 유체에 휩쓸려서 유체 속으로 들어가는 이유는 몇 가지가 있는데 예를 들면 유체의 유량이 증가해서 유속이 빨라지면 다시 유체에 휩쓸릴 수 있고 필터를 오래 쓰면 차압이 증가하게 되고 차압이 증가하면 기공이 넓어져서 빠져 나올 수 있으며 펌프의 맥동 현상에 의해서 다시 나올 수도 있다. 잘 만들어진 좋은 필터는 필터

미디어의 기공크기보다 큰 입자가 통과되지 않으면서 입자를 포집 할 수 있는 기공을 많이 가지고 있어야 한다. 큰 입자가 1개도 통과되지 않으려면 필터의 기공 크기가 압력이 높아지더라도 커지지 않고 필터 미디어가 충분한 두께를 가지고 있어서 오염물의 대부분이 표면으로부터 20% 내의 층에 포집될 수 있도록 설계되어야 한다.

## 2.5 밸러스트수

### 2.5.1 밸러스트수로 인한 문제점 인식

오래 전부터 인간은 선박을 이용하여 물자를 운반하였고, 최근에는 선박기술이 발달함에 따라 교역량이 상상할 수 없을 만큼 증가하였다. 화물의 이동과 함께 해양생물도 선박을 통해 바다를 건너 다른 나라로 유입되고 있는데 부유생물이나 어류는 선박 내 밸러스트수 탱크에 실려 새로운 환경에 배출된다. 이 외래생물종의 유입으로 인해 해양생태계가 파괴되고 해양 생물종 다양성이 감소하는 문제점이 발생하고 있다 (Carlton, 2001). 많은 수의 외래해양생물로 인해 생태적·경제적 피해가 발생하자, 국제사회는 외래해양생물 이동의 주원인인 선박의 밸러스트수를 관리할 필요성을 제기하였고 마침내 2004년 2월 ‘선박 밸러스트수와 침전물 관리를 위한 국제협약’을 채택하였다.

## 2.5.2 밸러스트수에 의한 해양환경 피해 상황

밸러스트수가 선박의 항해 안전성을 확보하는 유일한 수단임에도 불구하고, IMO에서 현안으로 대두된 이유는 그 속에 박테리아, 미생물, 미세한 무척추 동물이나 유충 등 다양한 종류의 해양생물이 포함되어 있기 때문이다(최 와 욱, 2004). 이 같은 위해성 생물체는 처리하는데 상당한 경제적비용이 소모되며 가장 큰 문제점으로는 외래생물종의 유입으로 인해 토착 해양생태계가 파괴된다는 점이다. 미국산 빗해파리의 사례는 이 같은 문제점을 극명하게 보여주고 있다. 빗해파리는 본래 북미에서만 서식하였으나 1982년 선박의 밸러스트 수를 통하여 유럽의 북해에 유입되어 어업생산에 상당한 피해를 초래하였다. 빗해파리는 번식력이 왕성하여 해역 내 플랑크톤을 닥치는 대로 잡아먹는 특성이 있는데 이로 인해 플랑크톤을 먹이로 하는 어족자원이 급속하게 감소하는 현상이 나타났다. 빗해파리의 유입으로 인한 피해는 연간 5억 달러에 이르는 것으로 추정되고 있다(Ballast water news, 2000). 뉴질랜드 또한 외래해양생물종 때문에 피해를 입은 나라의 하나이다. 1987년에 아시아 지역에서 유입된 것으로 추정되는 유독 적조로 패류산업이 심각한 영향을 받아 국내 유통뿐 아니라 해외 수출길이 막혔기 때문이다(ANZECC, 1995). 이처럼 외래해양생물종이 한 종이라도 유입되어 정착하는 경우, 해당나라의 생태계를 위협하는 정도는 매우 심각하다.

### 2.5.3 밸러스트수 관리 협약의 채택 배경

IMO는 1973년 해양오염에 관한 국제회의를 열어 ‘전염병 유발 세균이 포함된 밸러스트 수 배출 영향에 관한 연구’ 수행을 권장하는 결의안을 채택하였고 1980년대와 1990년대를 거쳐 해양환경보호위원회(MEPC)에서 밸러스트수로 인한 문제점을 활발하게 논의하기 시작했다. 1992년 유엔환경개발회의에서는 IMO나 관련기구가 선박에 의한 외래해양생물종의 이동문제를 해결하기 위한 조치를 강구할 것을 요청하기 시작하였으며 더불어 미국, 호주, 캐나다에서도 외래생물종에 의해 해양환경에 막대한 피해를 입었다며 국제적인 관리 틀을 마련해야한다고 주장하기 시작했다. IMO에서는 1993년 “밸러스트수 관리지침”이라는 결의안을 채택하였고 제 40차 MEPC에서 논의되기 시작하여 제 49차 MEPC 회의에서 협약초약을 마련하였고, 마침내 2004년 2월 IMO 외교회의에서 정식으로 채택되었다.

#### 2.5.4 밸러스트수 처리 기준

2009년부터 발효되는 IMO협약의 밸러스트수 성능기준(REGULATION D-2)은 아래와 같다(Korean Register of shipping, 2007).

1. 밸러스트수에 포함된 수중생물의 최소길이가  $50\mu\text{m}$  이상 크기인 경우 생존가능한 생물(viable organisms)이  $10\text{개}/\text{m}^3$  미만으로 배출되어야 하고, 최소길이  $10\mu\text{m}$  초과  $50\mu\text{m}$  미만 크기인 경우 생존 가능한 생물이  $10\text{개}/\text{ml}$  미만으로 배출되어야 한다.
2. 인간건강기준으로써 지표 생물종은 다음을 포함하여야 한다.
  - 독성 비브리오 콜레라(O1과 O139)는  $100\text{ml}$  당  $1\text{cfu}$ ( $\text{cfu}=\text{군체형성단위}$ )미만, 동물성플랑크톤 시료  $1\text{그램}$  당  $1\text{cfu}$ . 미만 (습중량)
  - 대장균  $100\text{밀리리터}$  당  $250\text{cfu}$  이하
  - 분변성대장균  $100\text{밀리리터}$  당  $100\text{cfu}$  이하로 처리되어야 한다.

## 2.6 연속자기역세형메디아필터의 개념도

본 실험에서 구현하려는 실험장치의 개략도는 Fig 2.1과 같다. 메디아 필터는 회전식 드럼의 외형을 가지고 있으며 가운데 축의 겉 표면을 메디아가 둘러싸면서 필터역할을 한다. 원수가 유입되면 필터표면에 부유물질이 케이크를 형성하며 막힘 현상이 발생하기 시작하는데, 이를 극복하기 위해 아래쪽의 칼날이 회전하는 필터 표면의 부유물질을 절단하게 된다. 칼날에 의해 제거된 메디아는 부유물질과 분리가 되고 원상태로 돌아온 메디아는 진공에 의해 필터표면에 흡착되면서 초기의 필터상태를 계속해서 유지하게 된다.

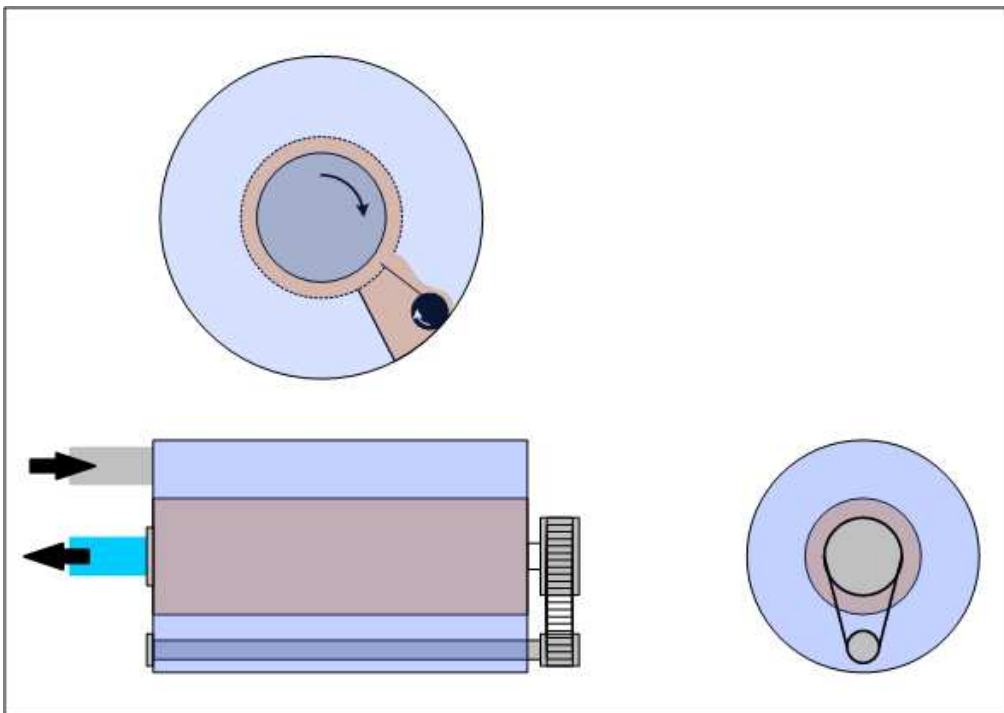


Fig 2.1 Schematic diagram of media filter system



### 3. 실험 장치 및 방법

#### 3.1 실험 재료

##### 3.1.1 미디어

실험에 사용한 미디어는 입상여과매체로 흔히 사용되는 모래, 규조토, 코크스, 안트라사이트를 선택하여 사용하였다. 모래는 창원시 북면의 낙동강변에서 채취한 것을 이용하였고, 코크스는 국내 S사에서 판매중인 중국 산서성을 원산지로 하는 것을, 안트라사이트는 국내 H사의 제품을 사용하였으며, 규조토는 L사에서 판매중인 중국산 제품을 사용하였다.

##### 3.1.2 진공여과시료

실험에 사용된 부유고형물을 함유한 진공여과시료는 규조토를 사용하여 조제하였다. 광학현미경(Carl Zeiss Axiostar plus) 상에서 찍은 규조토 입자 Fig. 3.1을 살펴보면 규조토는 독특한 모양을 가지고 있는데 이러한 특징으로 인하여 여과수 분석을 용이하게 해준다. 진공여과시료는 규조토를 45 $\mu$ m의 체로 분리 하여 그 이하의 입자크기만을 여과수 제조에 사용하였다. 여과수 농도는 10NTU로 일정하게 유지하여 실험 장치에 투입하는 방법을 채택하였다.

Table 3.1 Characteristics of water

Item	Concentration
Turbidity(NTU)	10



Fig. 3.1 Photomicrograph of the typical water used in this study

## 3.2 실험 방법

### 3.2.1 메디아의 물리적 성상

측정항목은 유효경(effective grain size), 최소경 및 최대경(minimum size and maximum size), 세척탁도(washing turbidity), 비중(specific gravity), 강열감량(ignition loss), 염산가용율(dissolved rate with HCL) 등으로 수도용 여과모래 시험방법(한국상하수도협회 규격 KWWAF100)에 의해 직접 측정하였으며 실험방법은 다음과 같다. 세척 탁도는 풍건시료 30g을 증류수 300ml에 넣어 1분간 150회의 비율로 혼합한 후 3분간 정치하여 상등액의 탁도를 HACH사의 2100N 탁도계를 이용하여 측정하였다. 체가름은 건조시료(105~110℃, 3hr) 0.15~2mm범위의 체를 이용하여 통과 중량을 측정하여 누진%로 나타낸 입도누적곡선을 바탕으로 하여 유효경, 균등계수, 최소경 및 최대경을 계산하였다. 비중은 건조시료 30g을 50ml비중병에 넣고 증류수로 채워 수욕 상에서 30분간 중탕한 후 상온으로 냉각시켜 측정하였다. 강열감량은 시료 10g을 도가니에 넣어 925±25℃에서 30분간 가열한 후 상온으로 냉각시켜 측정하였다. 염산가용율은 건조시료 10g에 미리 37~40℃로 가온한 염산(1+1) 50ml를 가한 후, 배양기 속에서 1시간 정치시킨 후 측정하였다. 공극율은 증류수를 안지름 28mm 길이750mm인 잭슨 탁도관의 절반을 채운 후 시료 150g을 넣고 관을 180도 3회 이상 회전시켜 그 부피의 평균값과 비중을 이용하여 측정하였다.

### 3.2.2 매디아 용출실험

매디아를 장시간 이용할 경우 원수의 계속적 유입이나 세척의 반복에 따라 대상물질의 구조변화 또는 자체 용출물질에 의한 여과수의 지화학성 변화가 초래될 가능성이 높다(고상모, 2003). 이에 매디아에 대한 용출실험을 실시함으로써 원수의 지화학성변화 및 여과처리 과정 중에 미칠 수 있는 영향을 알아보았다. 이 용출실험방법은 매디아 40g과 증류수 200ml를 혼합하여 진탕 시켰으며 1, 3, 5, 10, 15시간으로 반응시간을 달리하여 실험하였다. 용출 후 3000rpm에서 30분간 원심 분리시켜 상등액의 성분분석을 실시하였다. 상등액의 성분분석은 Cl, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>로 IC(709METALFREE, Switzerland)를 이용하여 분석하였다.

### 3.2.3 여과층 두께별 압력과 유량 측정

메디아의 여과층 두께에 따른 압력과 유량측정을 위해 Fig. 3.2의 실험 장치를 제작하였다. 지름이 10cm인 두 개의 테프론 파이프 사이에 90 $\mu$ m이상의 고형물을 여과할 수 있는 금속재질의 여과망을 설치하고 펌프의 흡입시에 메디아가 흡착이 되도록 하여 각 메디아의 크기별로 두께에 따른 압력과 유량 측정을 위한 실험을 수행하였다. 수조는 1m $\times$ 0.6m $\times$ 0.5m크기의 아크릴 수조를 제작하여 사용하였다. 메디아 여과층은 0cm 부터 10cm 까지 1 cm의 간격으로 두께를 달리하여 각각의 압력과 유량을 측정하였다. 펌프를 가동 하였을 경우 펌프는 약 -750mmHg 정도까지 흡입이 가능하였으며, 펌프는 L사의 270L/min 용량의 원심펌프를 사용하였으며 Table 3.2는 실험에 사용된 펌프의 명세를 나타낸 것이다.

Table 3.2 Specifications of pump used in this study

ITEM	Capacity
Water mark	270 l/min
Power consumption	1500W
Induction pipe	50m <sup>2</sup>
Minimum head	0.5m

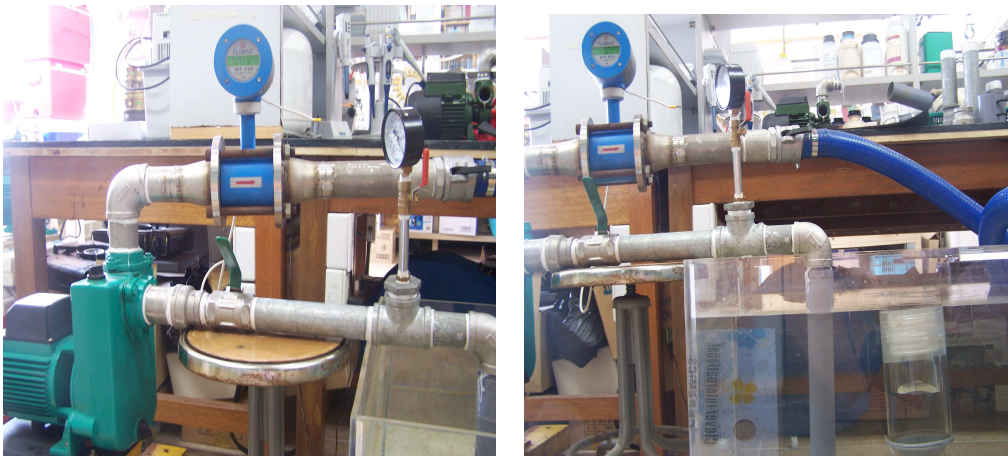
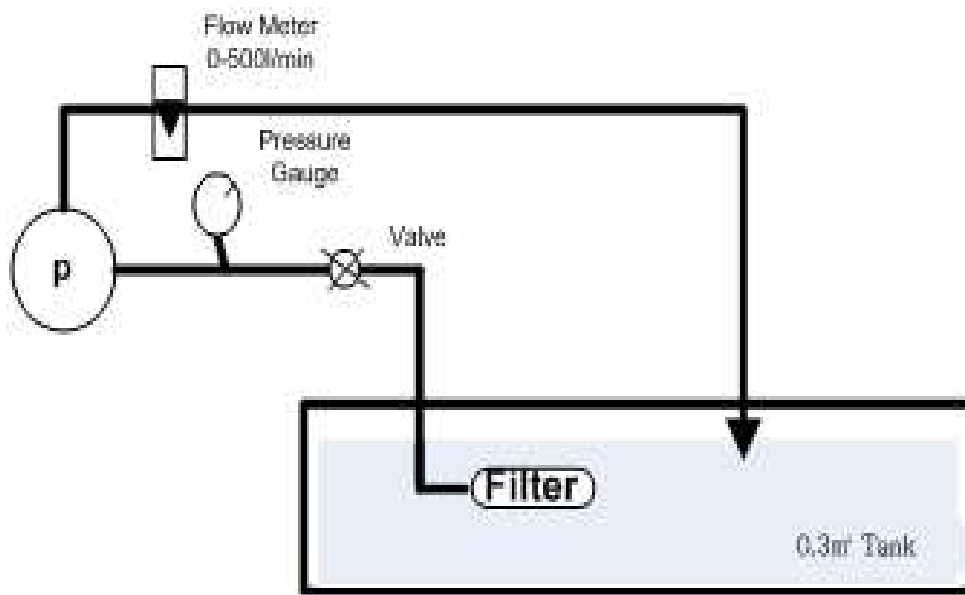


Fig. 3.2 Experimental equipments used in this study

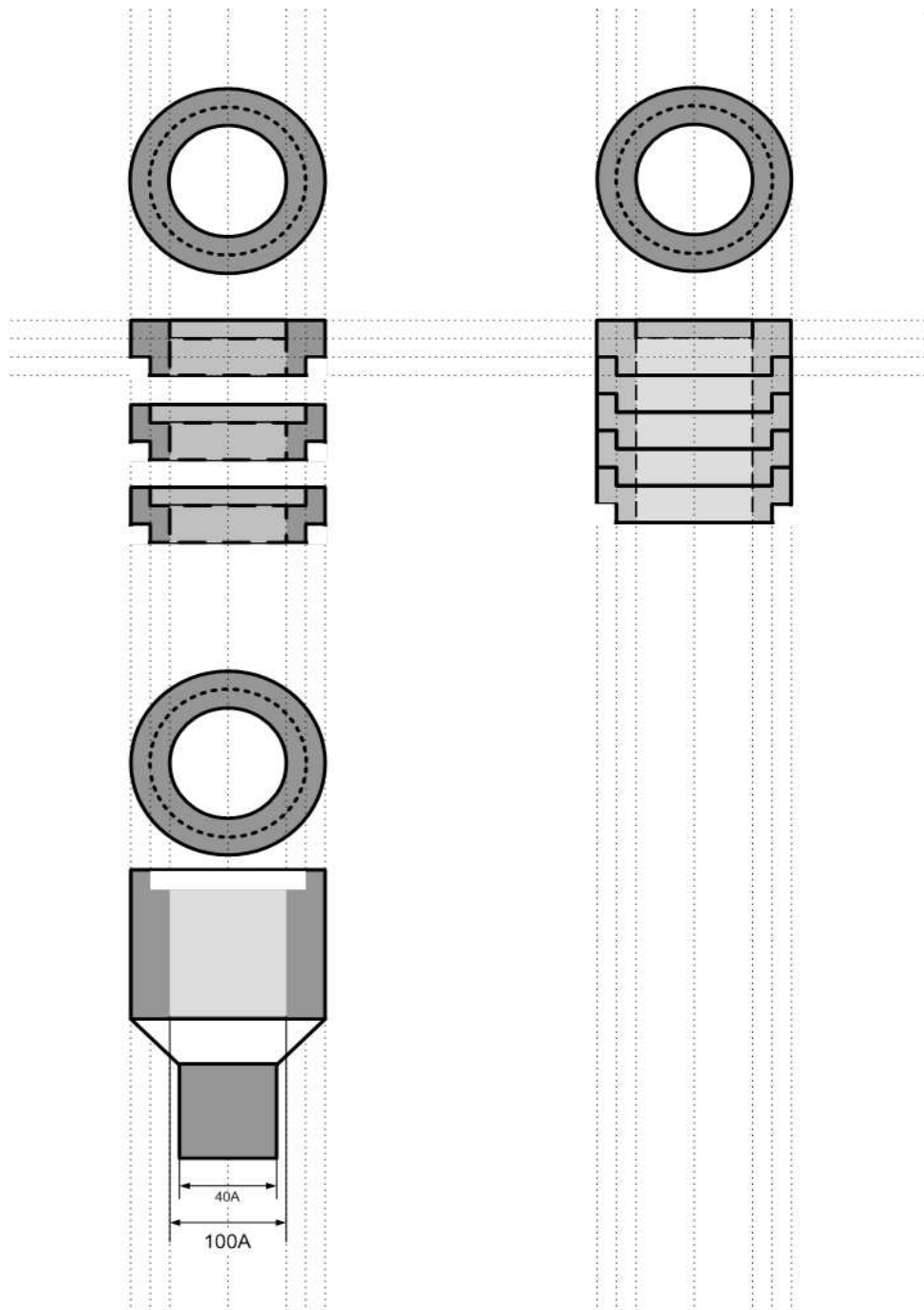


Fig. 3.3 Design of the experimental filter

### 3.2.4 진공여과 후 여과수 측정

위의 실험 장치 Fig. 3.2에 진공여과시료의 농도를 10NTU 로 일정하게 유지시켜 수조에 가득채운 후 여과층 두께를 0.5cm, 1cm, 1.5cm, 2cm로 균일하게 흡착시켜 여과 실험을 실시하였다. 본 실험기간 동안 안트라사이트의 경우에는 크기가 다른 메디아에 비해 큰 관계로 진공 여과시료 내 입자의 크기를 1.6~400 $\mu$ m로 조정하여 사용하였으며 모래, 코크스, 규조토는 45 $\mu$ m 이하의 입자크기를 가진 진공여과시료를 사용하여 여과실험을 실시하였다.

### 3.2.5 여과수의 분석

여과수의 분석은 진공여과 후 1분, 2분, 3분, 4분, 5분, 10분의 여과수를 받아 입도와 탁도를 분석하였다. 입도는 5 $\times$ 배율 상태에서 광학현미경을 이용하여 여과수내의 통과입자를 수 장 찍은 후, 입도분석프로그램인 K-PIA((주)아이아이티, Korea)를 이용하여 분석하였다. K-PIA는 여과수 내 통과입자의 최대, 최소, 평균크기의 분석이 가능한 프로그램이다. Fig. 3.4는 광학현미경을 이용해 찍은 여과수를 프로그램에서 분석하는 모습이다. 분석 시에 여과수내의 최대크기를 측정하기 위해서 Roundness를 지정하여 깨지지 않은 정상상태의 규조토를 분석하도록 노력하였다. Fig. 3.5는 K-PIA 프로그램상의 결과그래프로 여과수내의 통과된 규조토 입자가 각 크기별로 그 빈도가 나타나있다. 탁도는 HACH사 2100P Tubidimeter을 이용하여 측정하였다.



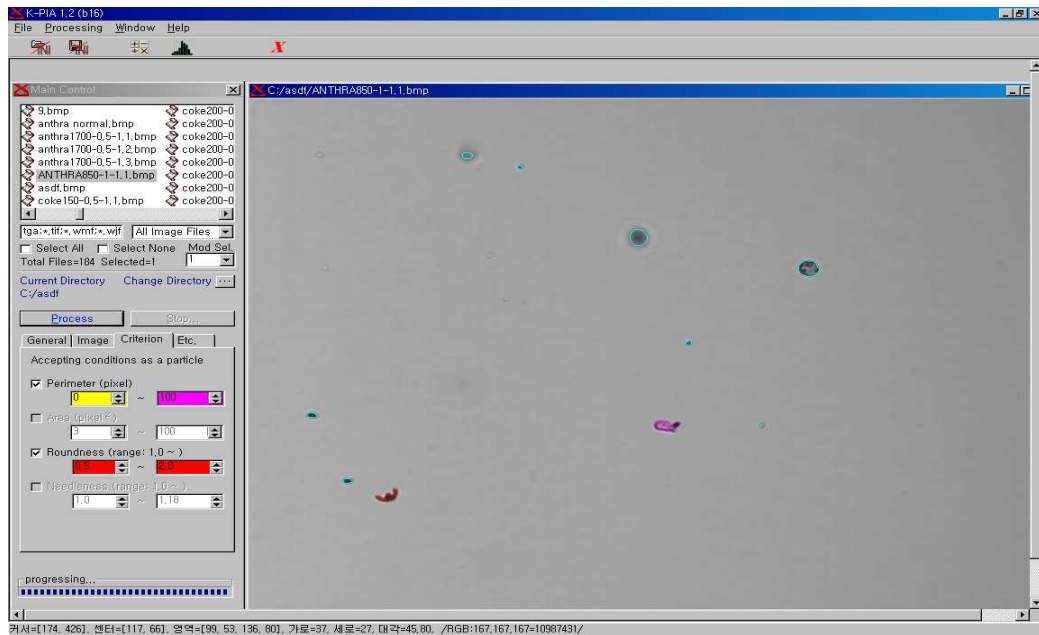


Fig. 3.4 K-PIA

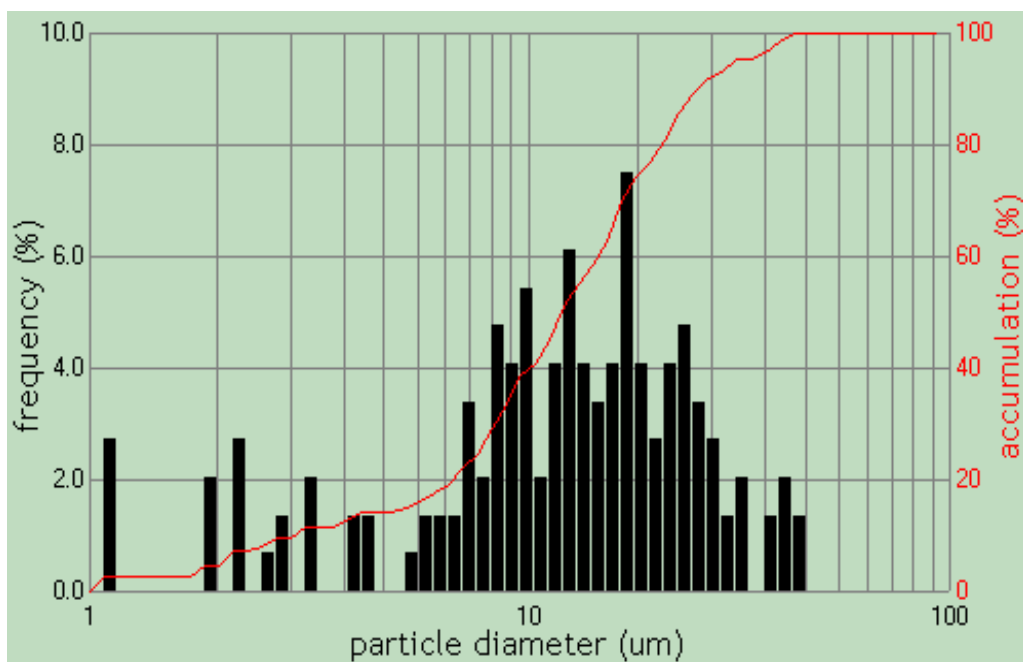


Fig. 3.5 An illustration of the K-PIA program used in this study

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 메디아 물리적 성상

수도용 여과모래 시험방법에 따른 메디아의 물리적 성상 측정결과를 Table 4.1에 나타내었다. 본 연구에서는 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 소재로 창원시 북면의 낙동강 변에서 채취한 모래를 이용하여 실험하였다. 그밖에 뛰어난 여과능력으로 액체로부터  $0.5\mu\text{m}$ 보다도 적은 입자를 걸러낼 수 있으며(유재영, 2000) 높은 공극률과 투수율을 가지고 있는 구조토는 비중이 낮아서 유기물의 탈착이 어렵고 여과시켰을 때 그 깨짐 현상이 심하며 염산 가용율이 낮은 문제점이 발생하였다. 특히 구조토는 세척 각도가 다른 메디아에 비해 높게 나왔는데 이는 구조토의 불순물 함유율이 높은 것을 의미하며 초기 원수에 영향을 미칠 것으로 판단되었다. 안트라사이트는 정수 및 폐수에서 수질의 개선을 목적으로 흔히 사용되는 물리적 처리의 여과재이다. 이것은 경도가 높아 입자의 마모손실이 아주 적고 수압에 의한 내구력이 커 장기사용에 의한 여과속도의 저하가 일어나지 않으며, 비중이 가벼워 역세수량이 적고 시간이 짧은 장점이 있는데 강열감량에서 기준에 미치지 못하였으며 입자의 크기가 커 본 연구에서 원하고자 하는 입자크기까지 제거가 어려웠다. 석유에서 얻어진 코크스는 모래 다음으로 여과사의 품질기준에는 근접하였으나, 초기 코크스 성분 내의 기름성분이 유출되어 초기 원수의 탁도에 영향을 미칠 것이라 판단되었다.

Table 4.1 Characteristics of media to be tested in this study

ITEM	Sand	<i>Diatomaceous earth</i>	<i>Anthracite</i>	Coke
Dissolved rate with HCl(%)	3.1	66.3	1.6	3.3
Ignition loss (%)	1.3	0.7	0.8	14.16
Specific gravity	2.42	1.38	1.51	1.88
Washing turbidity(NTU)	1.2	12.7	1.5	2.1
Grike (%)	53	58	35	52
Effective grain size(10%)	0.1 mm	0.15mm	1.0mm	0.2mm
Uniformity coefficient	2	1.33	1.3	4.25
Maximum size(mm)	1.0	0.5	1.95	2.0
Minimum size(mm)	0.01	0.03	0.01	0.01

## 4.2 미디어 용출실험

미디어에 대한 용출실험을 실시함으로써 원수의 지화학성변화 및 여과처리 과정 중에 미칠 수 있는 영향을 알아보았다. 반응 시간을 달리 한 미디어별 상등액의 성분 분석 결과는 Fig. 4.1~4.4 와 같다. 코크스는 용출이 시작된 초기 1시간 동안에  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{NO}_3$ 가 빠르게 용출되다가 점차평형을 이루었다. 전체적인 용출농도는  $\text{Cl}$ 과  $\text{NO}_3$ 는 낮은 농도를 보였고,  $\text{PO}_4$ 와  $\text{SO}_4$ 가 높은 농도를 보였는데 특히  $\text{PO}_4$ 의 농도가 최대  $20\text{mg}/\ell$ 로 가장 높은 농도를 보였다. 이는 코크스가 석탄이나 석유에서 생산되는 탄소를 주요 성분으로 하는 고체인 특성을 봤을 때, 석탄이나 석유에 포함된 인광석의 영향을 받았을 것으로 판단된다.

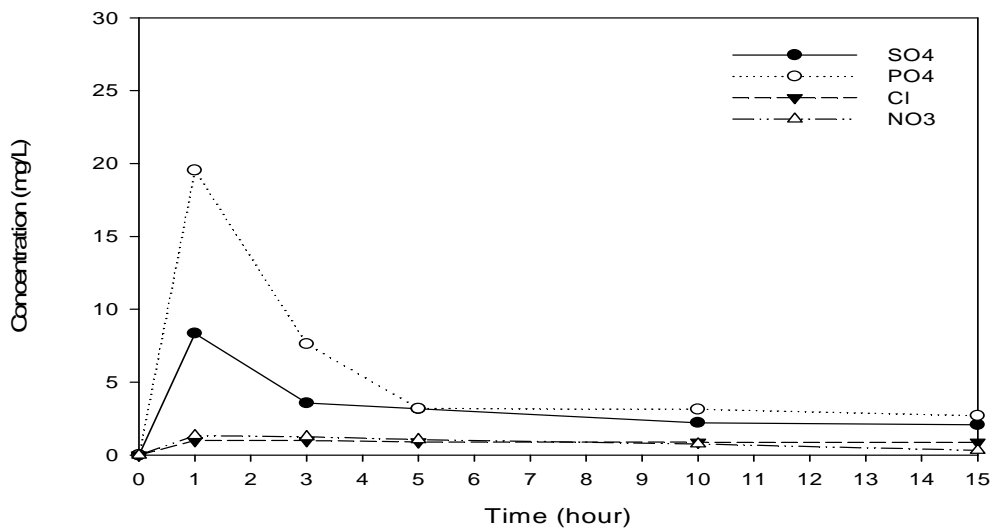


Fig. 4.1 Erupted components of coke as a filtering material over time

안트라사이트의 용출결과를 살펴보면, 다른 메디아와 비교하였을 때 용출농도가 0~5mg/l로 가장 낮은 농도를 분석되었다. PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>는 용출이 시작된 지 1시간 내에 빠르게 용출되다가 점차 평형을 이루었다. Cl성분은 5시간 이후에 가장 높은 용출농도를 보이다가 점차 낮은 농도로 평형을 이루었다. 안트라사이트 용출결과 SO<sub>4</sub>가 특히 높은 농도를 보였다.

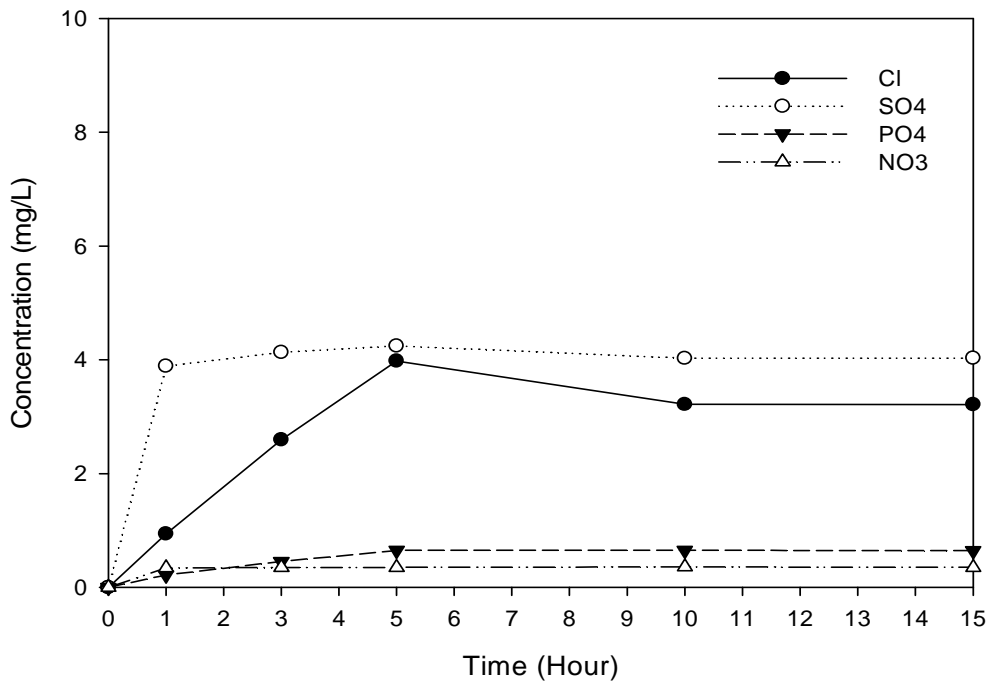


Fig. 4.2 Erupted components of anthracite as a filtering material over time

모래의 경우 Cl, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>는 낮은 농도로 용출되었고 NO<sub>3</sub>성분이 35mg/L로 가장 높은 농도를 보이는 것으로 분석되었다. NO<sub>3</sub>성분을 제외한 다른 성분의 농도는 용출이 시작된 지 1시간 이후에는 점차 평형을 이루었으나 NO<sub>3</sub>성분은 시간에 따른 일정한 농도변화를 패턴을 나타내지 않았다.

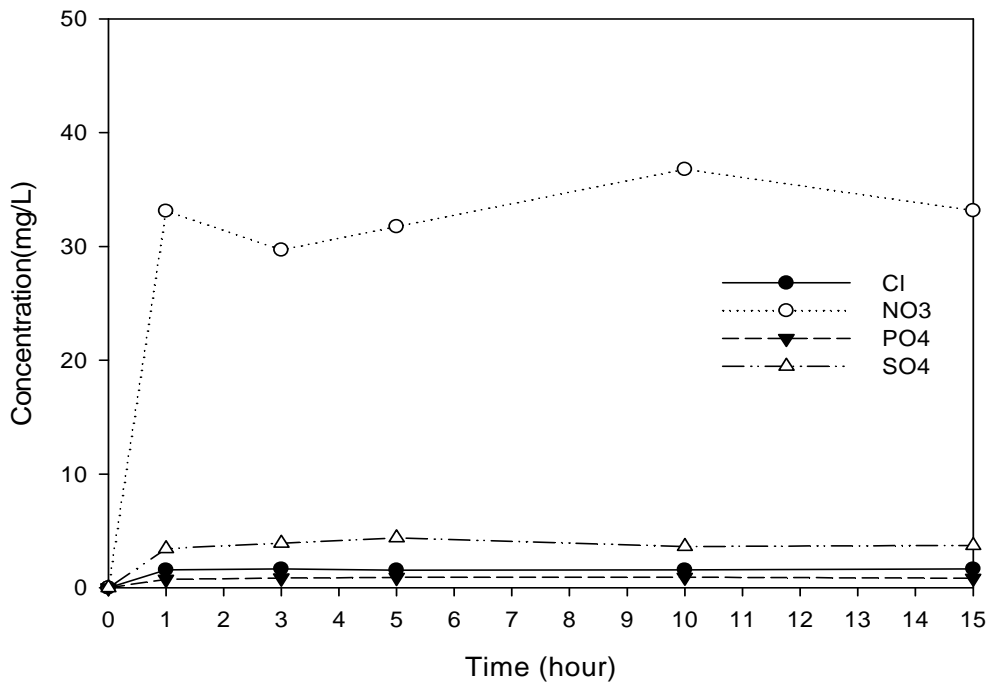


Fig. 4.3 Erupted components of sand as a filtering material over time

규조토는 초기 Cl, NO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>성분이 빠르게 용출되었으며, 시간이 경과함에 따라 Cl성분이 미량성분 중 가장 높은 용출농도를 보였다. 용출실험결과 가장 낮은 농도를 보이는 메디아는 안트라사이트로 나타났다. 하지만 본 연구에서 처리하고자 하는 벨러스트수의 경우 대부분 해수성분으로 음이온성분이 메디아 자체에서 용출되는 음이온성분보다 많은 양을 가지고 있어 장시간 운전하여도 메디아자체에서 오는 문제점은 발생하지 않을 것이라 판단되었다.

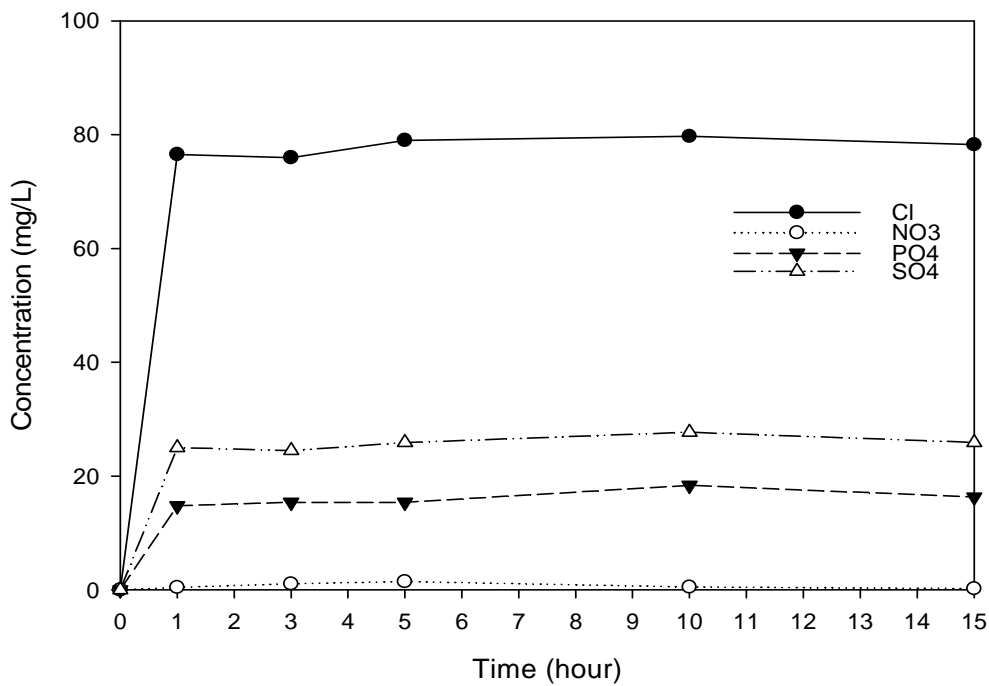


Fig. 4.4 Erupted components of diatomaceous earth as a filtering material over time

### 4.3 여과층 두께별 압력과 유량 측정 결과 및 고찰

수중에서 체 분리 한 90~150, 150~200, 200~300 $\mu\text{m}$ 크기의 코크스와 850 $\mu\text{m}$ 이하, 850~1180, 1180~1700 $\mu\text{m}$ 크기의 안트라사이트, 45~90, 90~150, 150~200 $\mu\text{m}$ 크기의 모래, 45~90, 200~300 $\mu\text{m}$ 크기의 규조토를 이용하여 0cm 부터 10cm까지 여과층에 따른 압력과 유량 측정실험을 하여 최적의 매 디아 여과층을 구현하기 위한 실험을 실시하였다.

#### 4.3.1 코크스 매디아에서 압력과 유량의 상관관계

코크스의 결과그래프 Fig. 4.5~4.7는 300 $\mu\text{m}$ 크기에서 여과층의 두께가 1cm일 때, 200 $\mu\text{m}$ 에서 0.7cm, 150 $\mu\text{m}$ 에서 0.6cm일 때 각각 한계점을 나타내 고 있음을 알 수 있다. 압력변화를 살펴보면 여과층의 두께가 1cm이상 이 되면 압력이 급격하게 변화하면서 최고 660mmHg까지 증가함을 알 수 있으며, 그 후로는 점차 평형을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 매 디아층의 두께가 10cm가 되었을 때 최대 압력 값을 살펴보면, 300 $\mu\text{m}$  일 때 660mmHg, 200 $\mu\text{m}$  일 때 700mmHg, 150 $\mu\text{m}$  일 때 700mmHg로 나타 났다. 매디아의 크기에 따른 압력변화 값은 크기가 작아질수록 최고압 력 값이 증가함을 알 수 있다. 여과유량 변화를 살펴보았을 때 한계점 인 1cm이상의 농도가 되면 유량이 50%이하로 급격하게 줄어들었으며 압력과 유사하게 코크스의 입자의 크기가 작아질수록 유량이 줄어드는 결과를 나타내었다. 본 실험으로 코크스의 크기가 압력과 유량변화에 미치는 영향과 각 크기별로 한계점을 찾을 수 있었다.



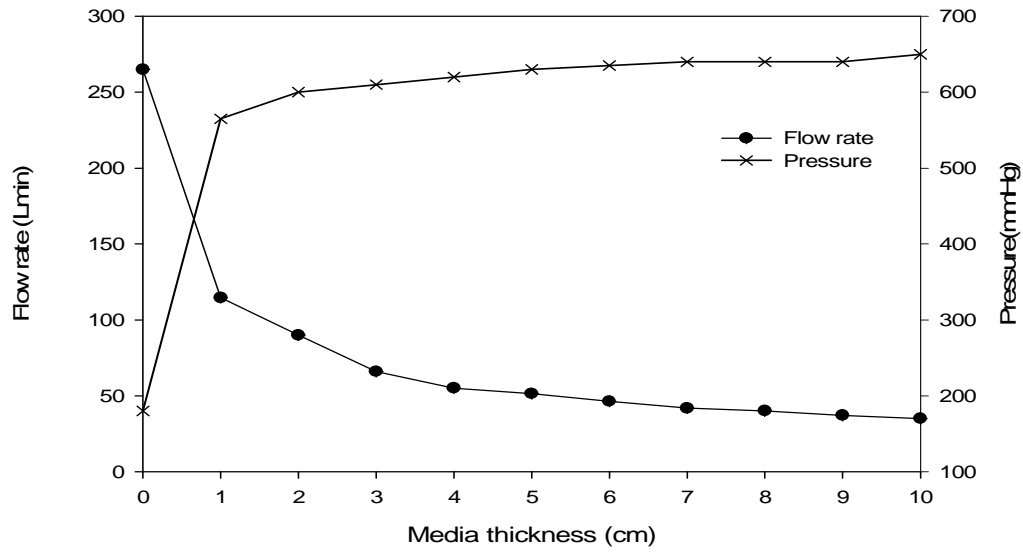


Fig. 4.5 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of coke ( $300\mu\text{m}$ )

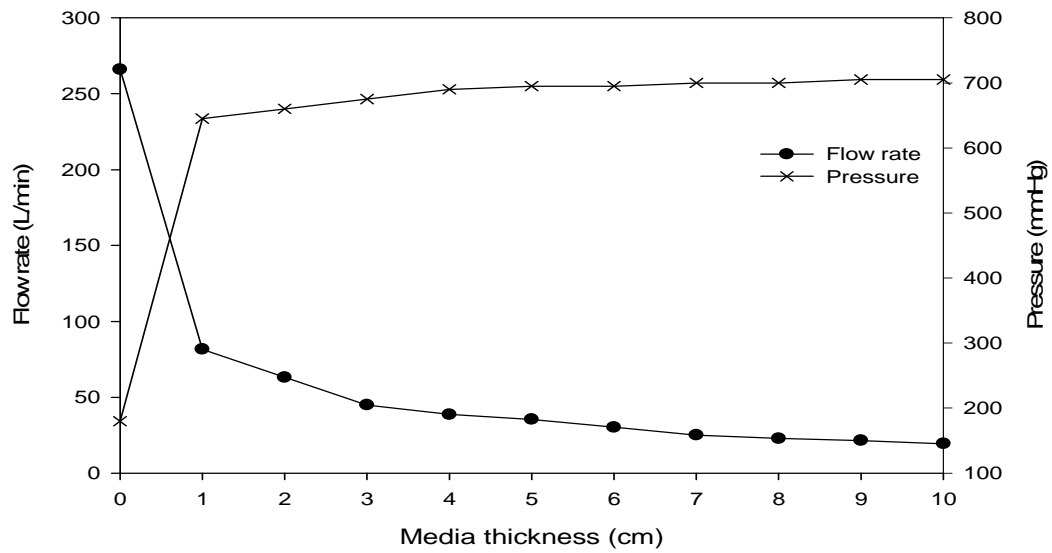


Fig. 4.6 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of coke ( $200\mu\text{m}$ )

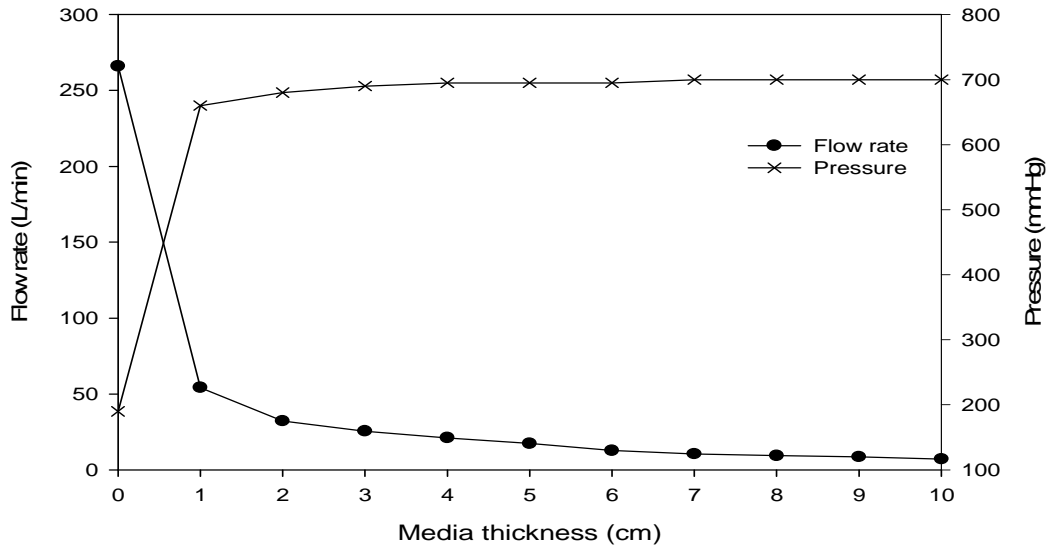


Fig. 4.7 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of coke ( $150\mu\text{m}$ )

#### 4.3.2 안트라사이트 미디어에서 압력과 유량의 상관관계

안트라사이트의 결과그래프 Fig. 4.8~4.10를 살펴보면  $1700\mu\text{m}$ 에서 3cm 일 때,  $1180\mu\text{m}$ 에서 1.8cm일 때,  $850\mu\text{m}$ 이하에서 2.1cm일 때 각각 한계점을 나타내고 있다. 안트라사이트는 크기가 다른 미디어에 비해 큰 소재로 비교적 높은 여과유량과 낮은 압력 값을 보여줬다. 압력변화는 미디어 층의 두께가 5cm이상이 될 때부터 600~610mmHg로 일정한 값을 나타내기 시작하였으며, 유량변화는 최고260~최저120L/min을 나타내었다. 안트라사이트는 여과층의 두께를 평균 2cm까지 운전하였을 때 압력과 처리유량이 가장 효율적일 것으로 판단되었다.

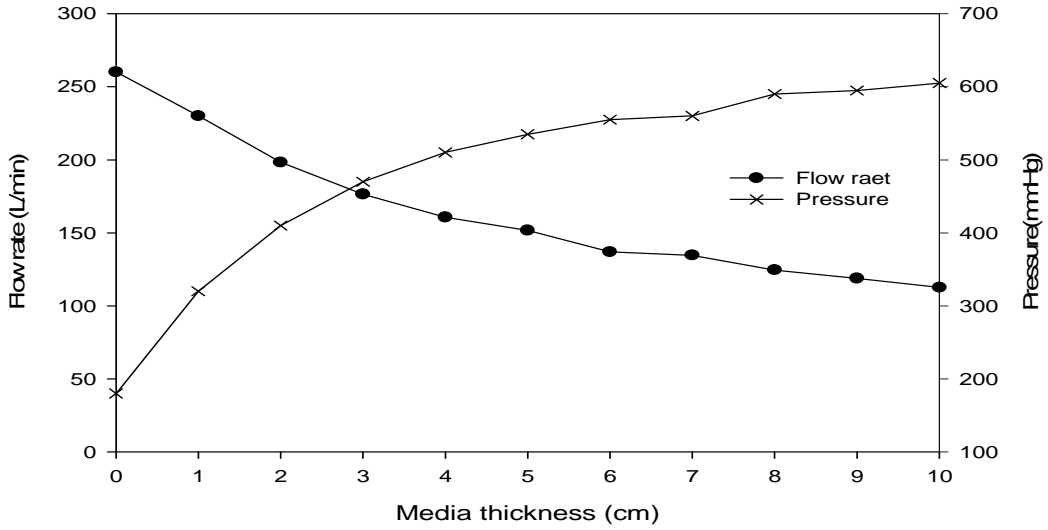


Fig. 4.8 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of anthracite ( $1700\mu\text{m}$ )

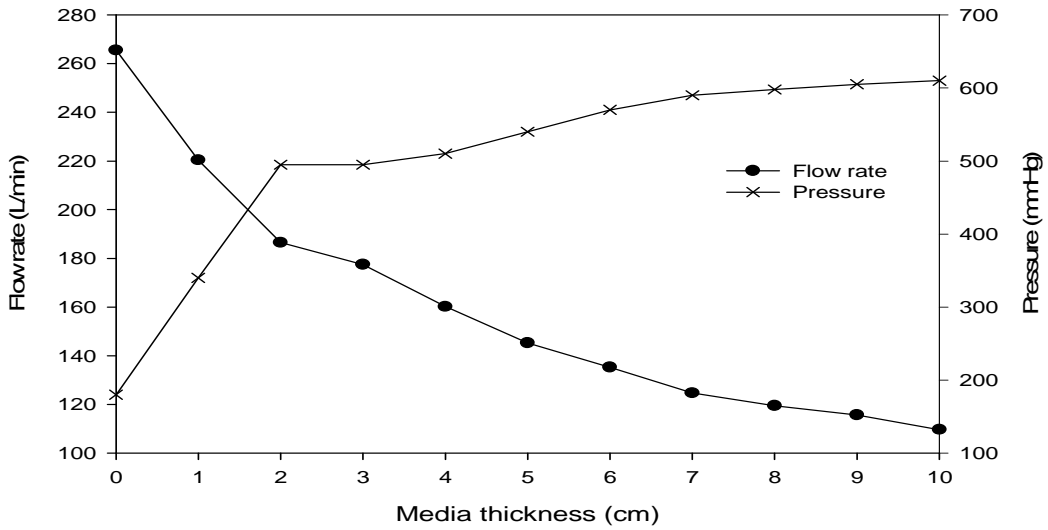


Fig. 4.9 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of anthracite ( $1180\mu\text{m}$ )

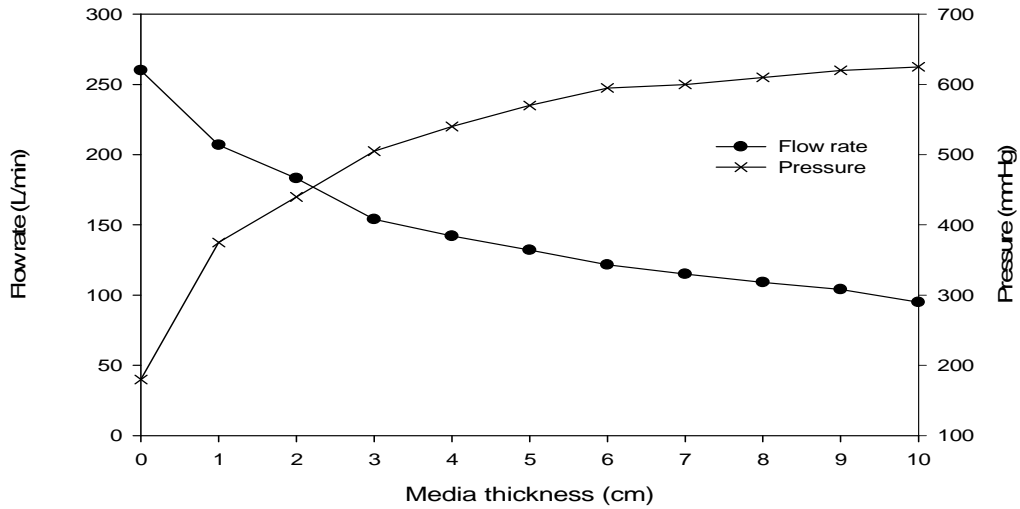


Fig. 4.10 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of anthracite (850 $\mu$ m)

#### 4.3.3 모래 메디아에서 압력과 유량의 상관관계

모래의 결과그래프 Fig. 4.11~4.13를 살펴보면 200 $\mu$ m에서 0.9cm일 때, 150 $\mu$ m에서 0.8cm일 때, 90 $\mu$ m에서 0.7cm일 때 각각 한계점을 나타내고 있다. 크기가 비슷한 코크스 200 $\mu$ m와 압력과 유량 값을 비교해보았을 때 두 소재의 메디아 모두 여과층의 두께가 1cm일 때 한계점을 나타내고 최대 압력 값이 700mmHg로 유사함을 보여준다. 유량 변화 값은 크기가 가장 작은 90 $\mu$ m에서 여과층의 두께가 10cm일 때 가장 낮은 값을 보여준다.

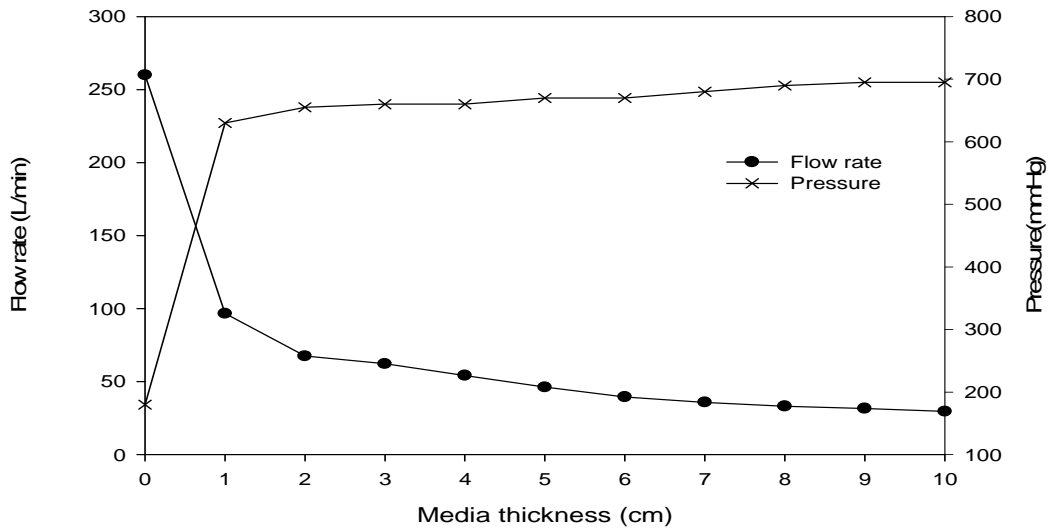


Fig. 4.11 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of sand ( $200\mu\text{m}$ )

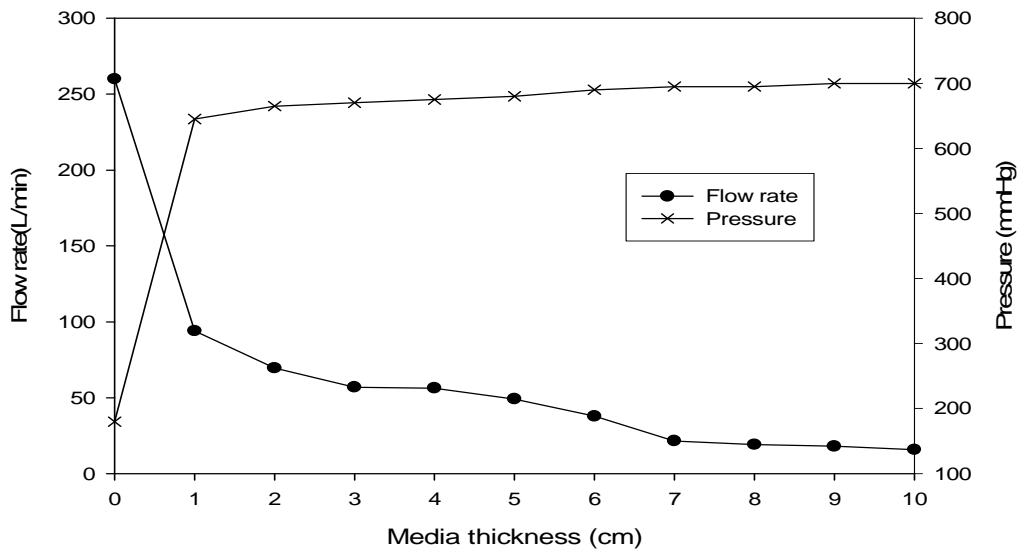


Fig. 4.12 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of sand ( $150\mu\text{m}$ )

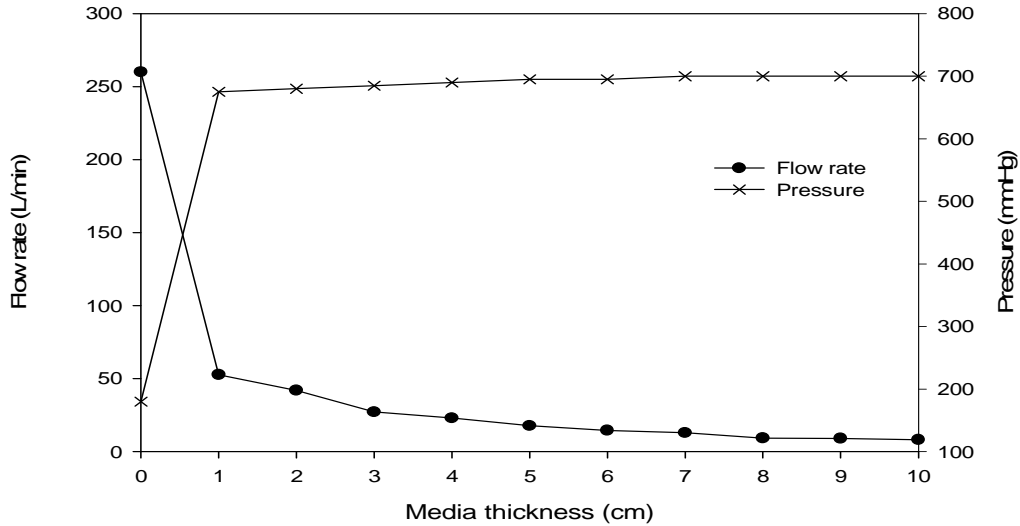


Fig. 4.13 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of sand ( $90\mu\text{m}$ )

#### 4.3.4 규조토 미디어에서 압력과 유량의 상관관계

아래의 Fig. 4.14 ~ Fig 4.15 규조토의 그래프를 살펴보면  $300\mu\text{m}$ 에서 1cm,  $90\mu\text{m}$ 에서 0.7cm일 한계값을 나타내고 있다.  $300\mu\text{m}$ 의 코크스와 비교하였을 때 한계점은 1cm일 때로 비슷한 결과를 나타내었으나 최대압력이 코크스가 660mmHg 규조토가 690mmHg로 나타났다. 크기가 같음에도 불구하고 이와 같이 최대 압력 값은 약간의 차이를 나타내었다. 이 실험결과는 각 미디어층에 따른 유량과 압력의 한계점을 나타내는 것으로 차세대자기역세형미디어필터를 운전할 때 각 미디어의 한계점 이하로 운전하면 그 효율이 극대화 될 것으로 예상된다.

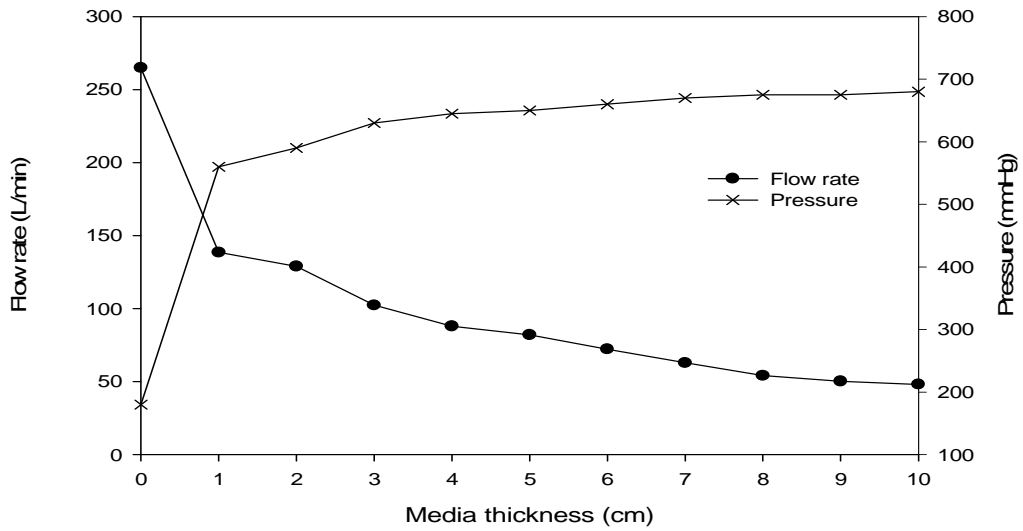


Fig. 4.14 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of diatomaceous earth ( $300\mu\text{m}$ )

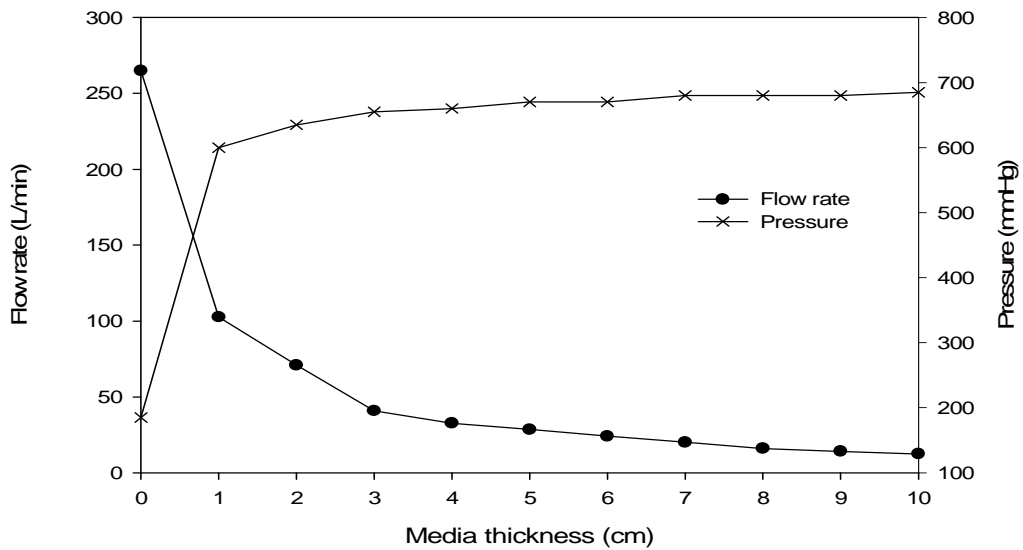


Fig. 4.15 Change of the filter pressure and flow rate upon thickness of diatomaceous earth ( $90\mu\text{m}$ )

#### 4.4 진공여과 후 여과수의 입도와 탁도 분석 결과 및 고찰

##### 4.3.1 코크스 미디어에서에서의 입도 및 탁도

Fig. 4.16~18의 코크스탁도 실험결과는  $300\mu\text{m}$ 크기와  $200\mu\text{m}$ 일 때 탁도 농도가 최고 0.6NTU를 2cm 10분일 때 최저 0.4NTU의 탁도로 두 비슷하게 나타남을 보여준다.  $150\mu\text{m}$ 크기 일때는 전체적으로 0.4NTU의 농도를 보이고 최저 0.3NTU의 농도를 나타냈다. 코크스는 최대입자와 평균 입자크기는 작았으나, 다른 미디어와 비교하였을 때 높은 탁도를 나타내었다. 이는 코크스의 기름성분이 여과시 유출된 것으로 판단되었다. Fig. 19~21은 코크스의 입도분석결과를 나타낸 것이다.  $300\mu\text{m}$  크기의 코크스는 대체적으로 최대입자의 크기가  $11\mu\text{m}$  평균입자의 크기가  $8\mu\text{m}$ 로 분석되었으며,  $200\mu\text{m}$ 는 최대입자크기가  $8\mu\text{m}$  평균입자크기가  $5\mu\text{m}$ 로,  $150\mu\text{m}$ 는 최대입자크기가  $6\mu\text{m}$  평균입자크기가  $4\mu\text{m}$ 로 나타났다.

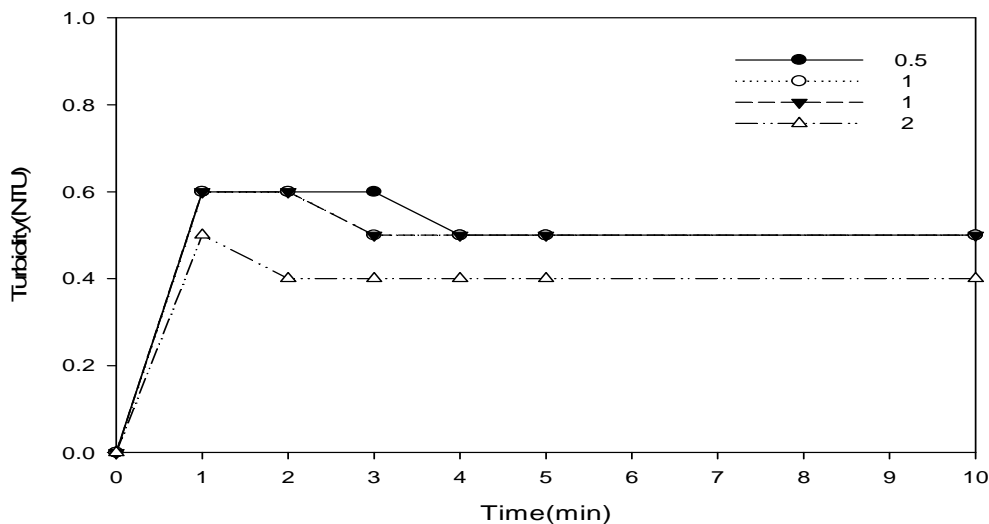


Fig. 4.16 Change of turbidity of the coke over time ( $300\mu\text{m}$ )



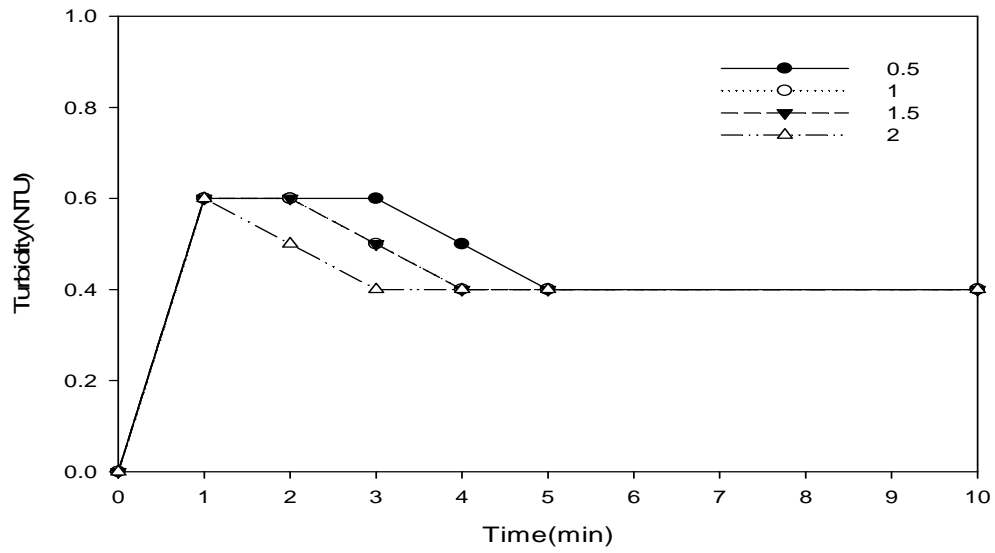


Fig. 4.17 Change of turbidity of the coke over time (200 μm)

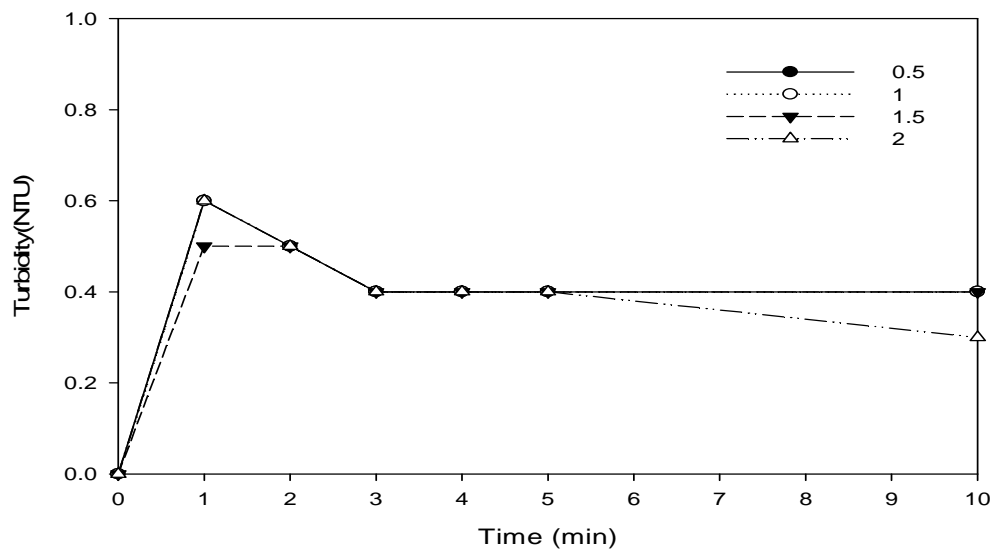
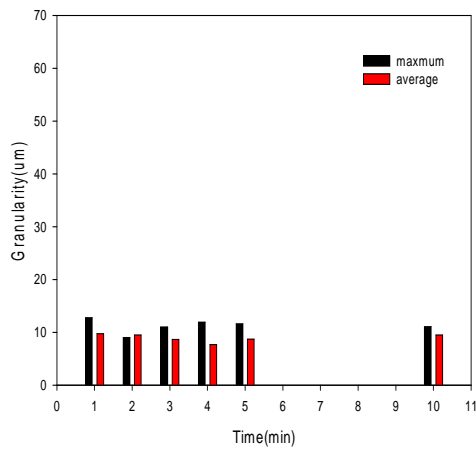
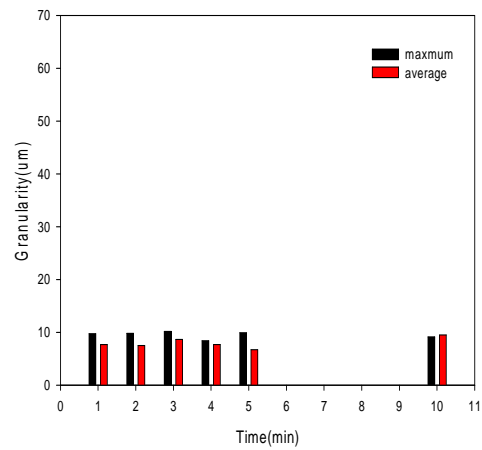


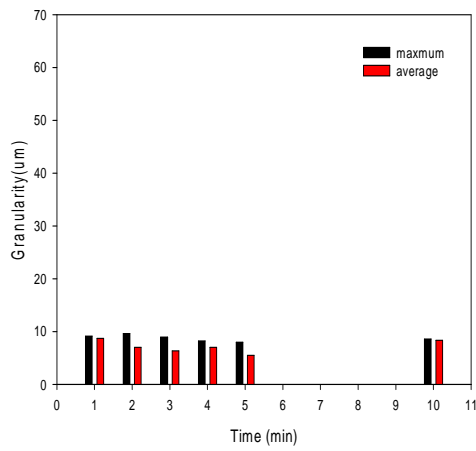
Fig. 4.18 Change of turbidity of the coke over time (150 μm)



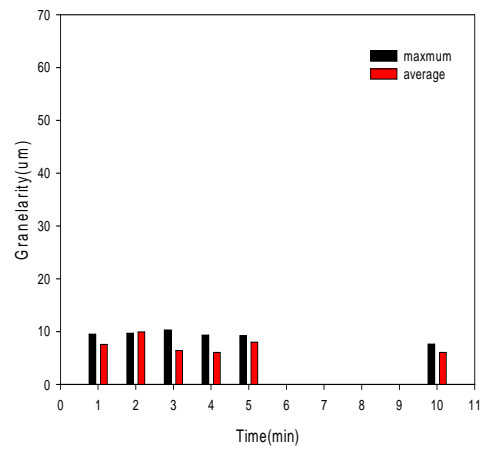
media layer thickness 0.5cm



media layer thickness 1cm



media layer thickness 1.5cm



media layer thickness 2cm

Fig. 4.19 Granularity of coke  $300\mu\text{m}$  depending upon thickness of the media layer

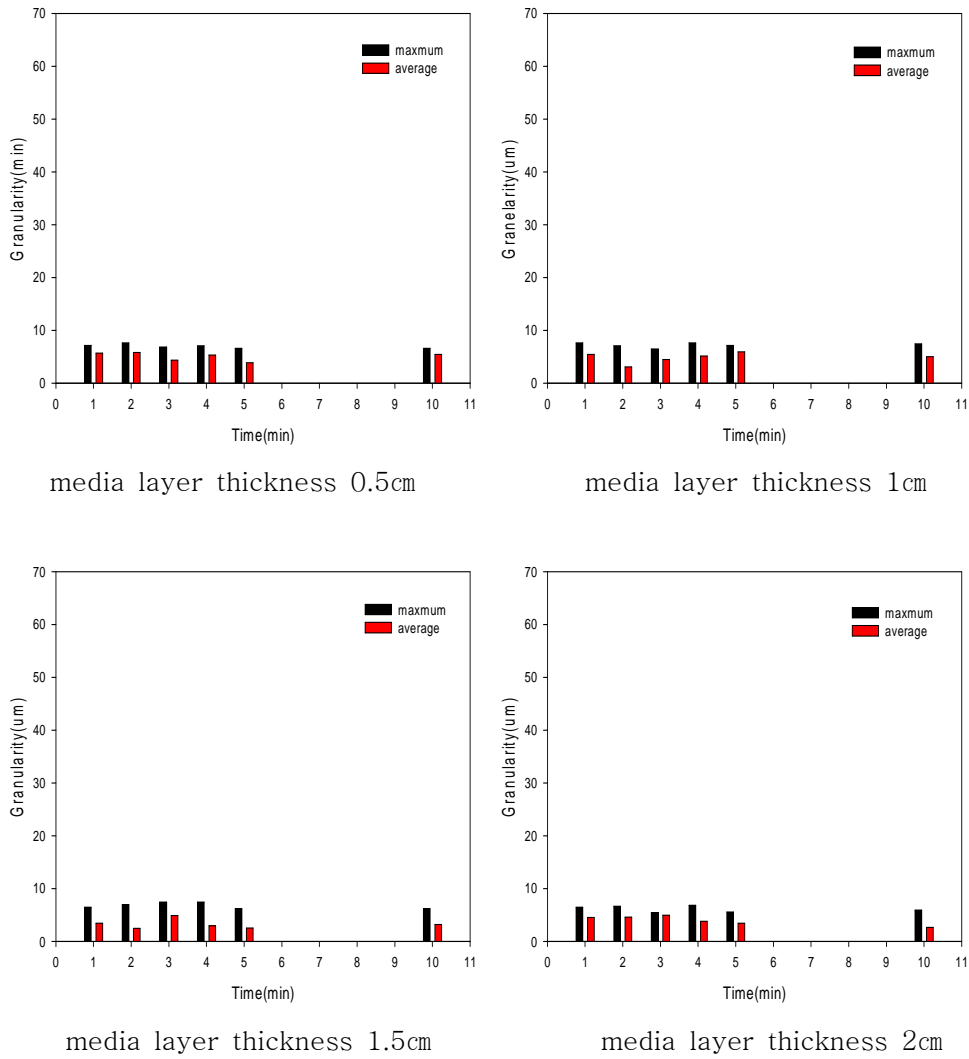
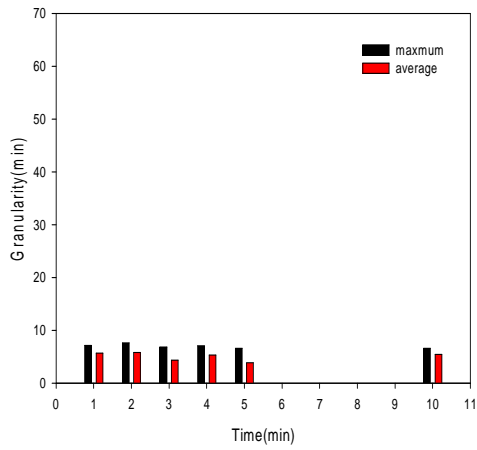
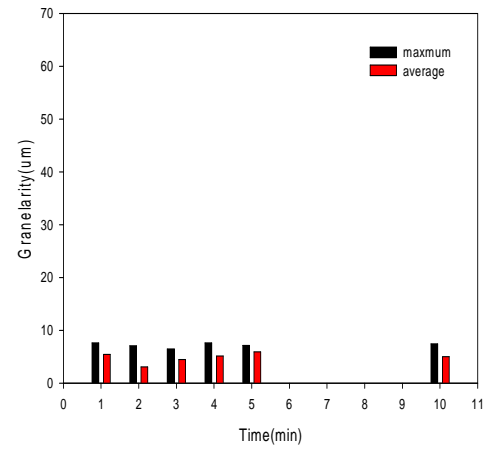


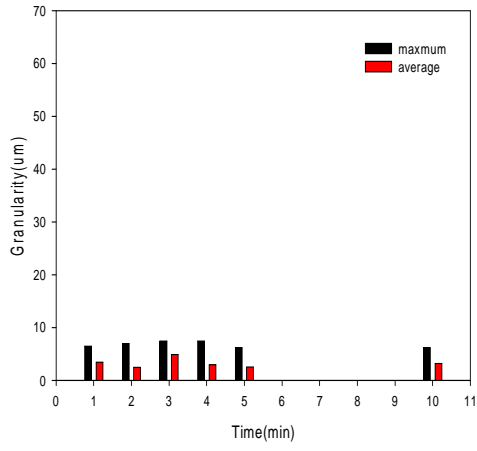
Fig. 4.20 Granularity of coke  $200\mu\text{m}$  depending upon thickness of the media layer



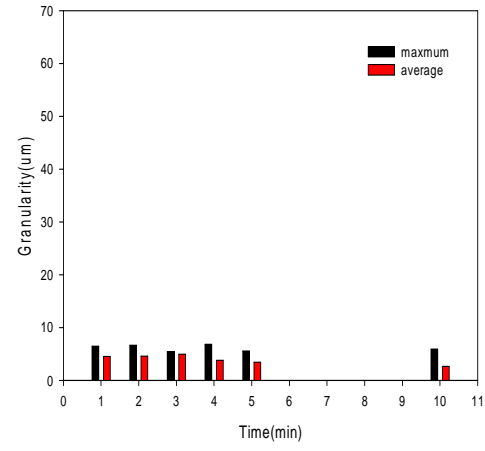
media layer thickness 0.5cm



media layer thickness 1cm



media layer thickness 0.5cm



media layer thickness 0.5cm

Fig. 4.21 Granularity of coke  $150\mu\text{m}$  depending upon thickness of the media layer

#### 4.4.2 안트라사이트 미디어에서의 입도 및 탁도

10NTU농도의 진공여과시료를 여과하였을 때 분석한 결과 탁도 결과는 Fig. 4.22와 같다. 각각의 실험결과는 미디어층의 두께가 0.5cm, 1cm, 1.5cm, 2cm일 때 여과한 것 인데 크기가 1700 $\mu\text{m}$ 일 때 여과수의 농도가 0.4NTU, 1180 $\mu\text{m}$ 일 때 0.3~0.4NTU의 농도를, 850 $\mu\text{m}$ 이하의 농도일 때 0.2~0.3NTU로 나타났다. 안트라사이트의 입도분석결과 Fig. 4.23~25이다. 1700 $\mu\text{m}$  크기의 안트라사이트는 대체적으로 최대입자의 크기가 47 $\mu\text{m}$ , 평균입자의 크기가 17 $\mu\text{m}$ 로 분석되었다. 1180 $\mu\text{m}$  크기의 안트라사이트는 최대입자의 크기가 34 $\mu\text{m}$  평균입자의 크기가 12 $\mu\text{m}$ 로 분석되었으며, 850 $\mu\text{m}$ 이하의 안트라사이트는 최대입자크기가 26 $\mu\text{m}$  평균입자크기가 8 $\mu\text{m}$ 로 분석되었다.

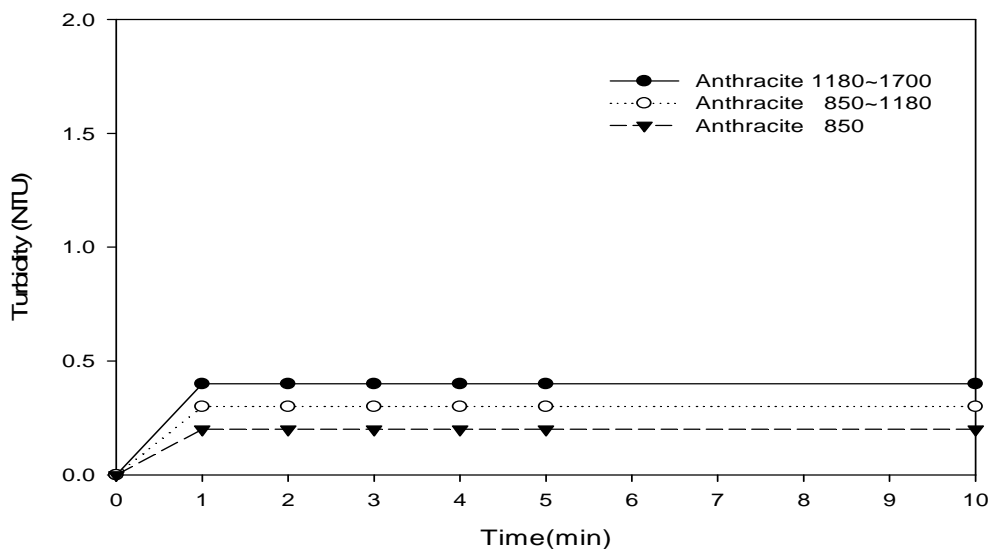
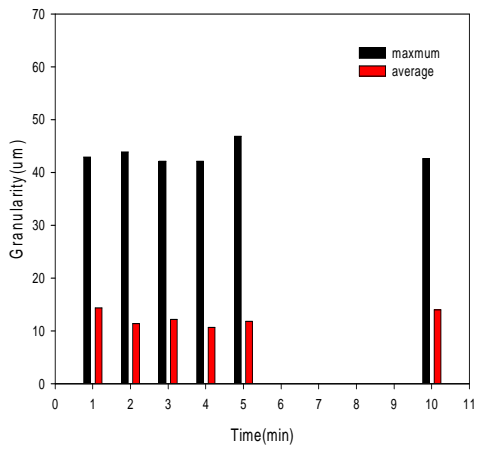
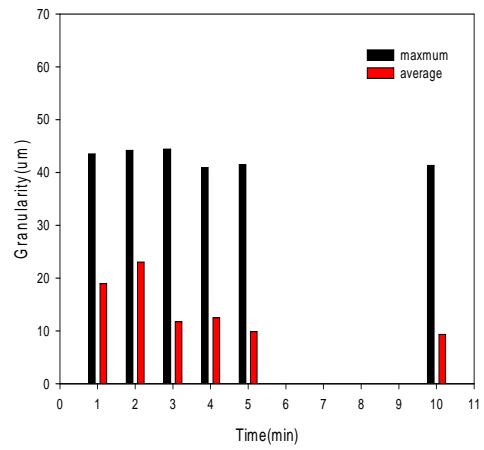


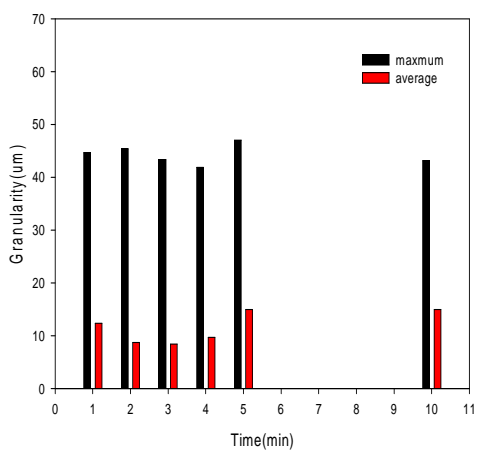
Fig.4.22 Change of turbidity of the anthracite over time



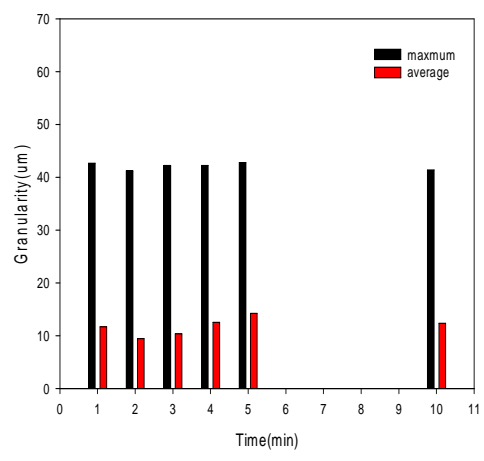
media layer thickness 0.5cm



media layer thickness 1cm



media layer thickness 1.5cm



media layer thickness 2cm

Fig. 4.23 Granularity of anthracite 1700 $\mu\text{m}$  depending upon thickness of the media layer

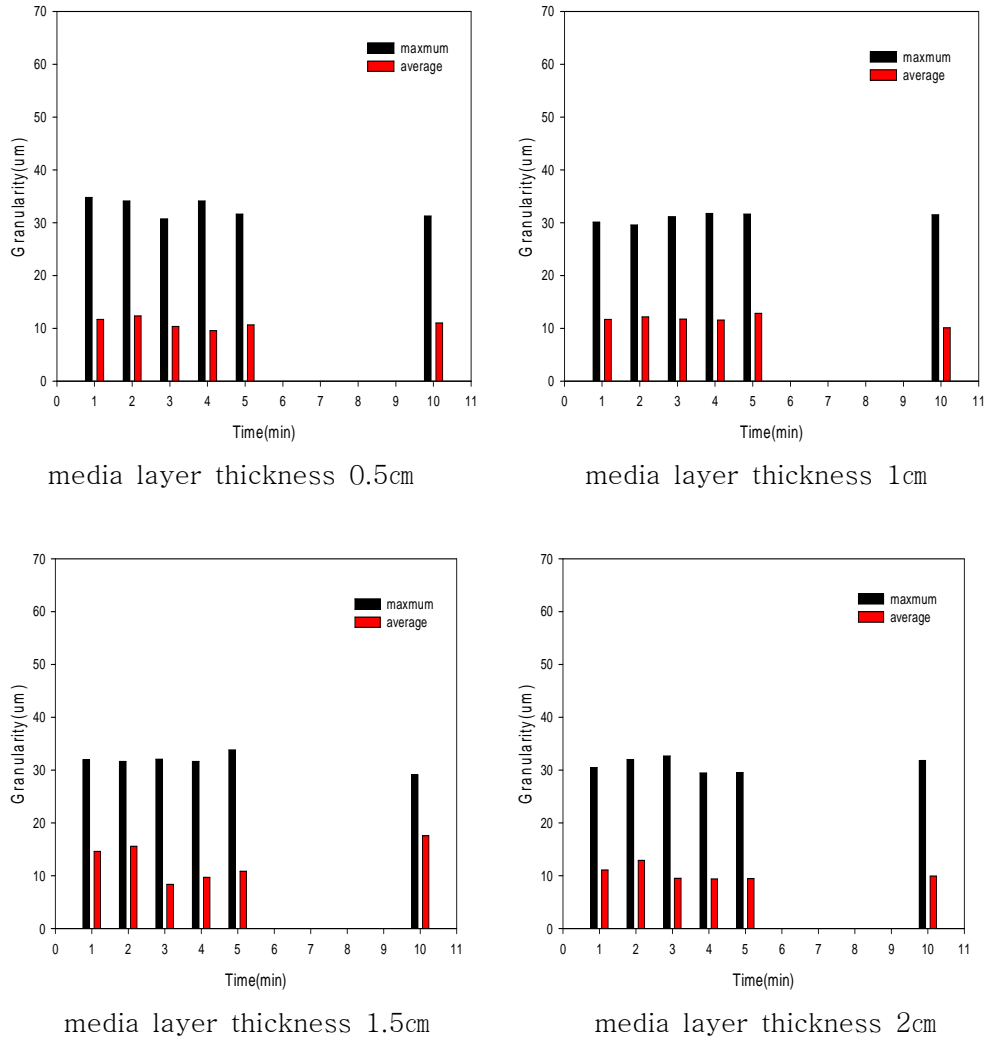


Fig. 4.24 Granularity of anthracite  $1180\mu\text{m}$  depending upon thickness of the media layer

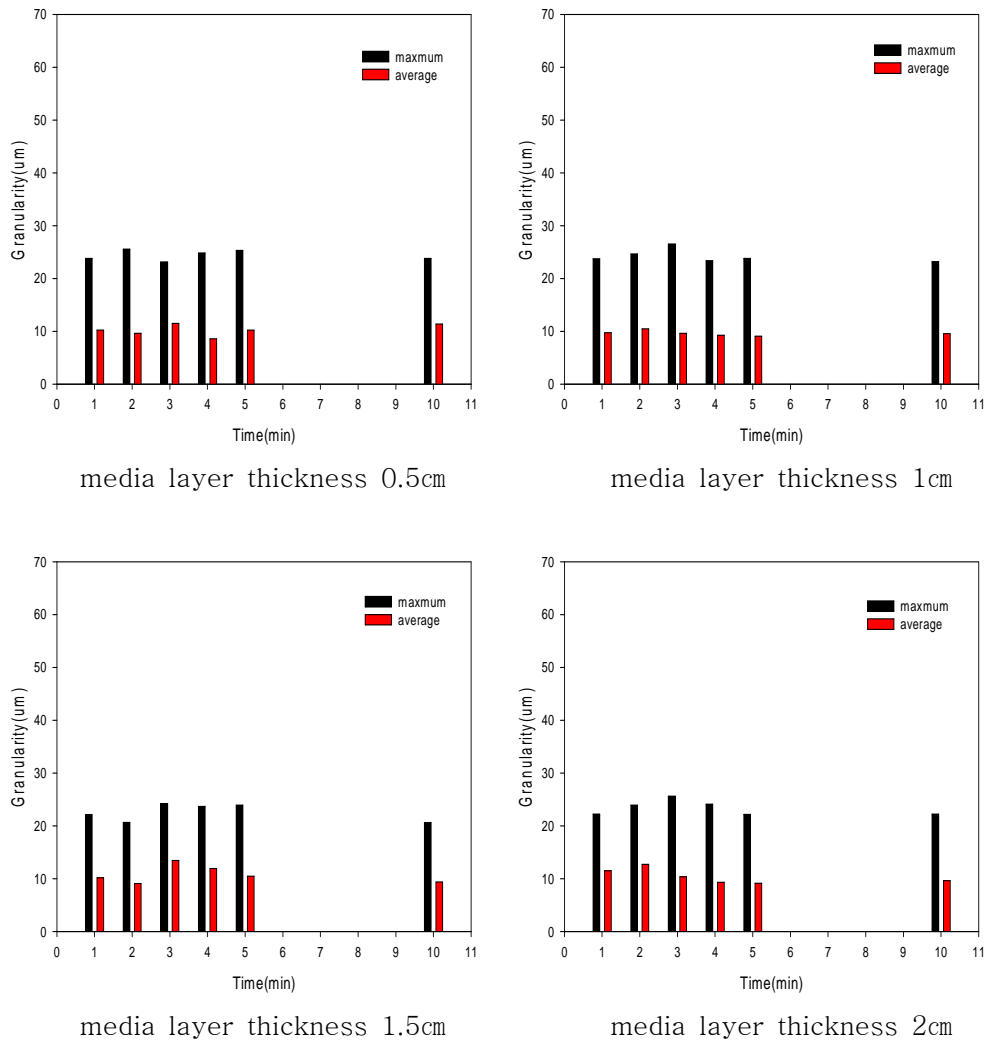


Fig. 4.25 Granularity of anthracite  $850\mu\text{m}$  depending upon thickness of the media layer



#### 4.4.3 모래 미디어에서에서의 입도 및 탁도

모래의 크기가  $200\mu\text{m}$ 일 때,  $150\mu\text{m}$ 일 때,  $90\mu\text{m}$ 일 때 유출수의 탁도는 0.2NTU로 미디어층의 두께와 시간에 변화 없이 같은 농도를 보였으며 다른 미디어에 비해 가장 우수하고 안정적인 탁도 제거 특성을 보였다.

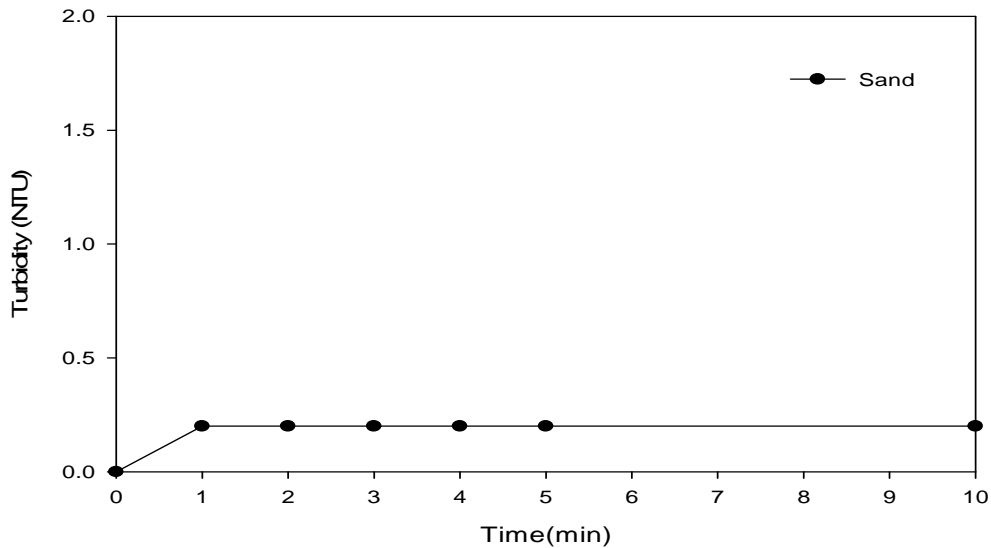
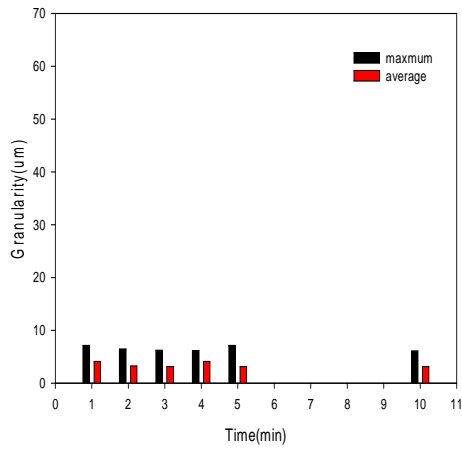
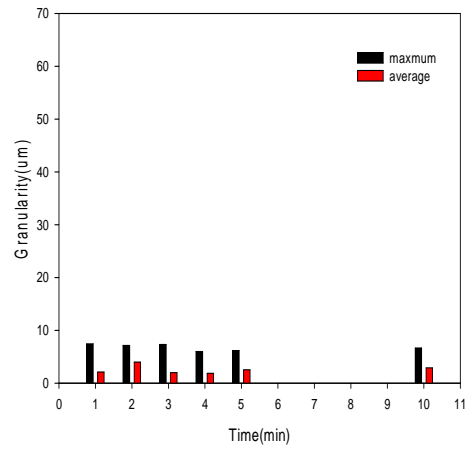


Fig. 4.26 Change of turbidity of the sand over time

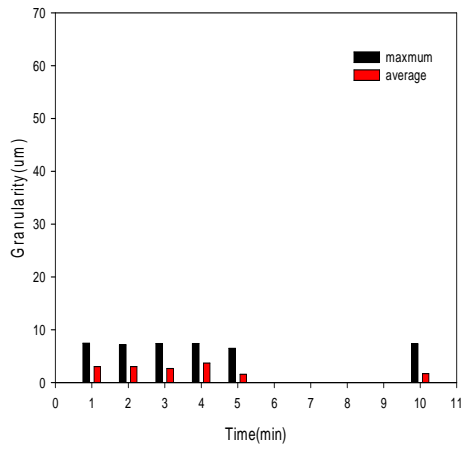
모래의 입도분석결과는 Fig. 4.27부터 Fig. 4.29이다.  $200\mu\text{m}$  크기의 모래는 대체적으로 최대입자의 크기가  $8\mu\text{m}$ , 평균입자의 크기가  $4\mu\text{m}$ 로 분석되었다.  $150\mu\text{m}$  크기의 모래는 최대입자의 크기가  $6\mu\text{m}$  평균입자의 크기가  $3\mu\text{m}$ 로 분석되었으며,  $90\mu\text{m}$ 의 모래는 최대입자크기가  $3\mu\text{m}$  평균입자 크기가  $1.7\mu\text{m}$ 로 나타났다.



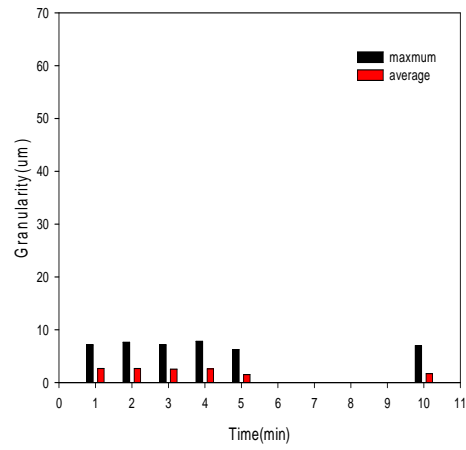
media layer thickness 0.5cm



media layer thickness 1cm

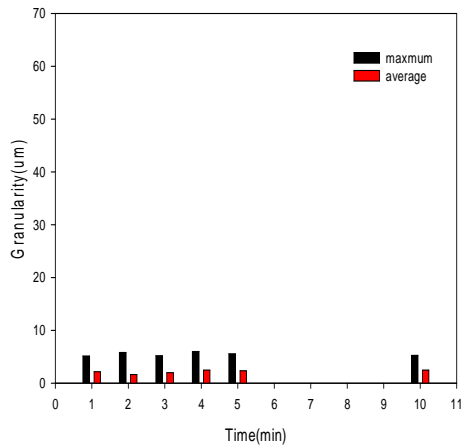


media layer thickness 1.5cm

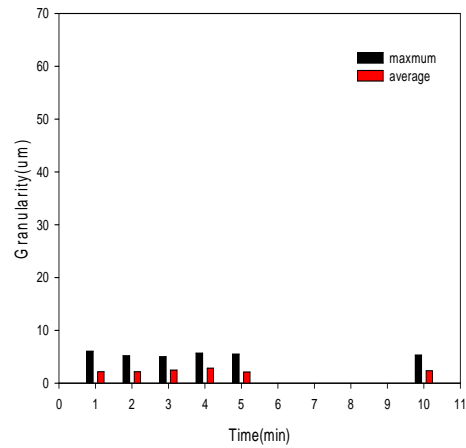


media layer thickness 2cm

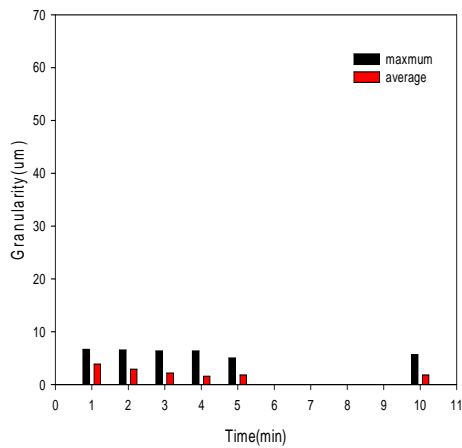
Fig. 4.27 Granularity of sand  $200\mu\text{m}$  depending upon thickness of the media layer



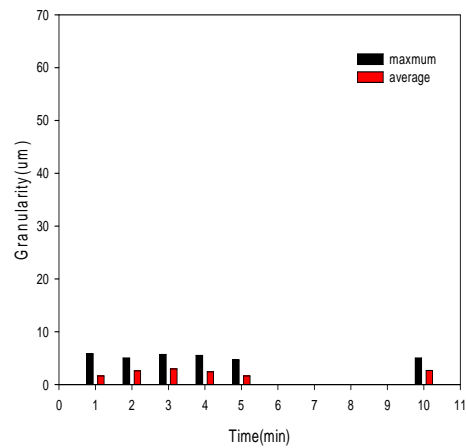
media layer thickness 0.5cm



media layer thickness 1cm

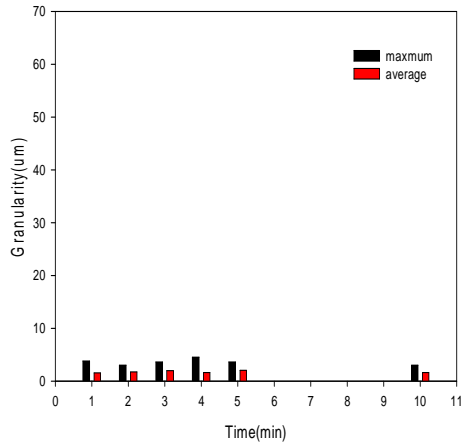


media layer thickness 1.5cm

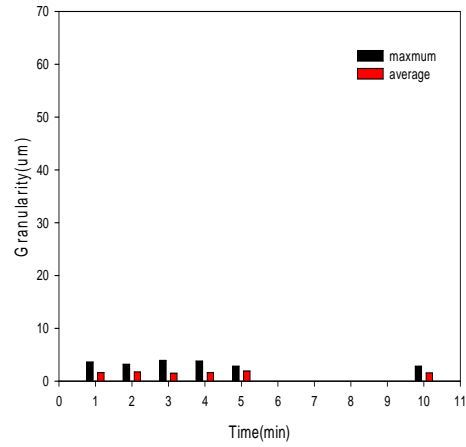


media layer thickness 2cm

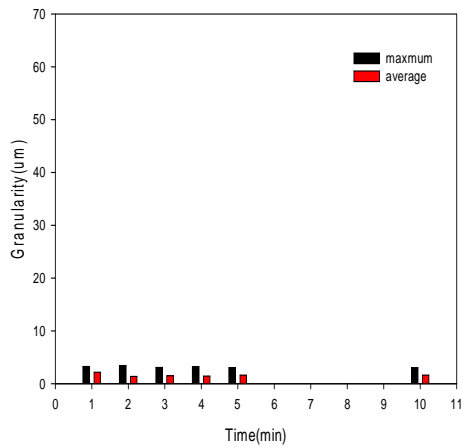
Fig. 4.28 Granularity of sand  $150\mu\text{m}$  depending upon thickness of the media layer



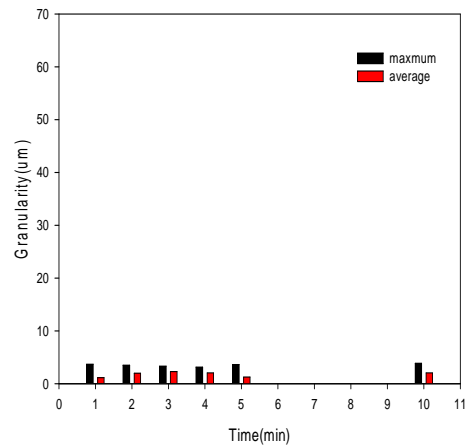
media layer thickness 0.5cm



media layer thickness 1cm



media layer thickness 1.5cm



media layer thickness 2cm

Fig. 4.29 Granularity of sand  $90\mu\text{m}$  depending upon thickness of the media layer

#### 4.4.4 규조토 메디아에서에서의 입도 및 탁도

규조토 여과수의 탁도 분석결과는 Fig. 4.30에 나타나있다. 규조토의 크기가  $90\mu\text{m}$ 일 때는 여과층과 시간에 관계없이 0.2NTU로 농도를 나타냈으며,  $300\mu\text{m}$ 일 때는 0.2~0.3NTU의 탁도 변화를 나타내었다. 규조토의 물리적 성상을 분석하였을 때 세척 탁도가 다른 메디아에 비해 높았으나 여과수의 탁도에는 별 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

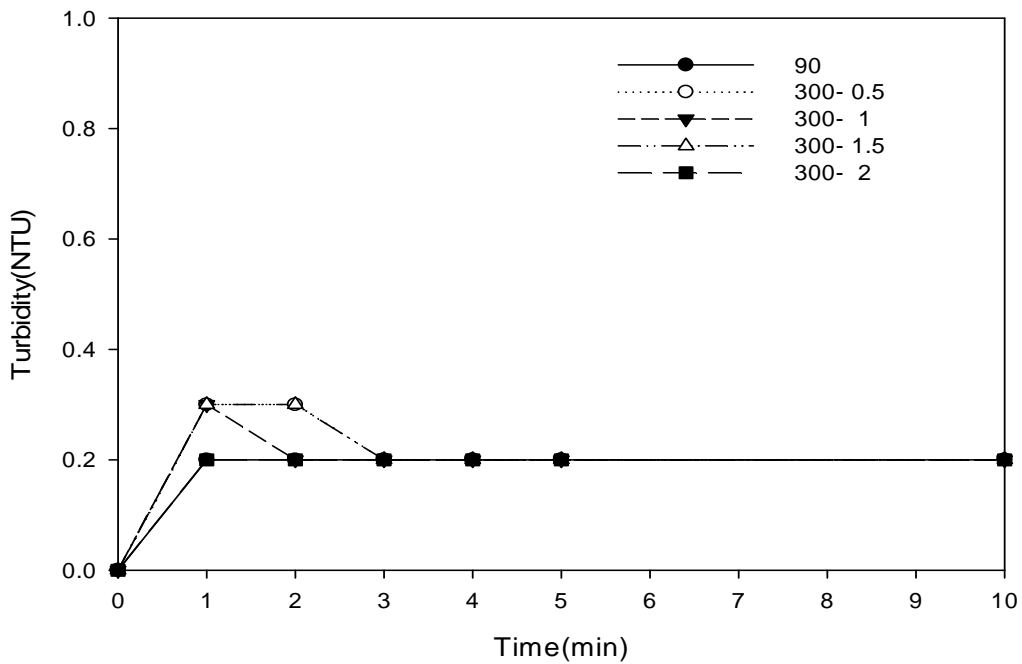
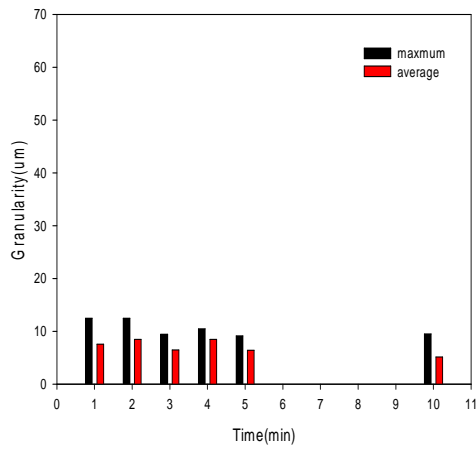


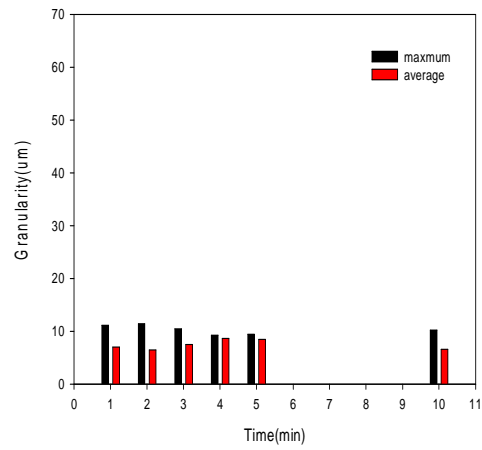
Fig. 4.30 Change of turbidity of the diatomaceous earth over time

규조토의 입도분석결과 Fig. 4.31~32에 나타내었다. 300 $\mu\text{m}$  크기의 규조토는 대체적으로 최대입자의 크기가 11 $\mu\text{m}$  평균입자의 크기가 7 $\mu\text{m}$ 로 분석되었으며, 90 $\mu\text{m}$ 는 최대입자크기가 4 $\mu\text{m}$  평균입자크기가 2 $\mu\text{m}$ 로 나타났다.

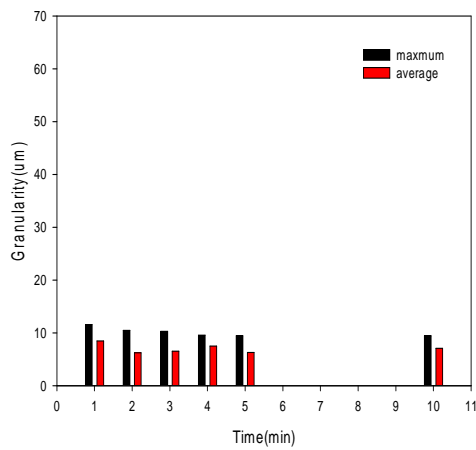
메디아별로 탁도 분석 결과를 종합하여 살펴보면, 여과시간이 탁도에 미치는 영향이 아주 미미함을 알 수 있는데, 이는 실험에 사용된 메디아의 크기가 매우 작아 여과수와의 접촉시간에 상관없이 입자성물질의 제거가 빠르게 진행되는 것으로 판단된다. 네 가지 메디아별 여과수의 입도분석결과를 종합하여 보면, 크기가 비슷한 메디아는 비슷한 크기의 입자를 여과한 것으로 나타났다. 특히 실험에 사용된 규조토, 모래, 코크스는 그 크기와 공극율이 비슷하여 더욱 비슷한 결과를 나타낸 것으로 판단되는데 이는 메디아의 크기가 여과의 처리성능에 많은 영향을 미치는 인자라는 것을 확인 할 수 있었다. 특히 여과수 내의 최대여과입자크기를 10 $\mu\text{m}$  이하로 운전하려면 메디아의 크기가 200 $\mu\text{m}$ 이하를 사용해야 그 기준을 만족시킬 수 있음을 알 수 있었다.



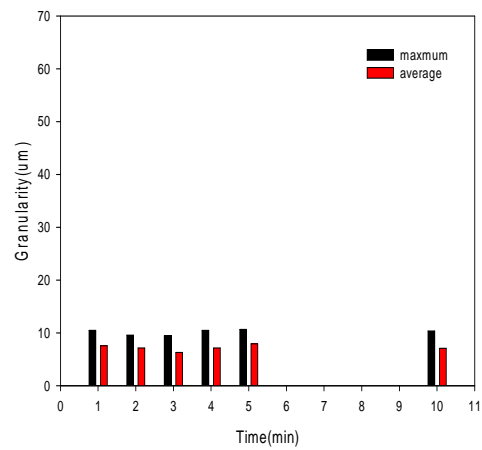
media layer thickness 0.5cm



media layer thickness 1cm



media layer thickness 1.5cm



media layer thickness 2cm

Fig. 4.31 Granularity of diatomaceous earth  $300\mu\text{m}$  depending upon thickness of the media layer

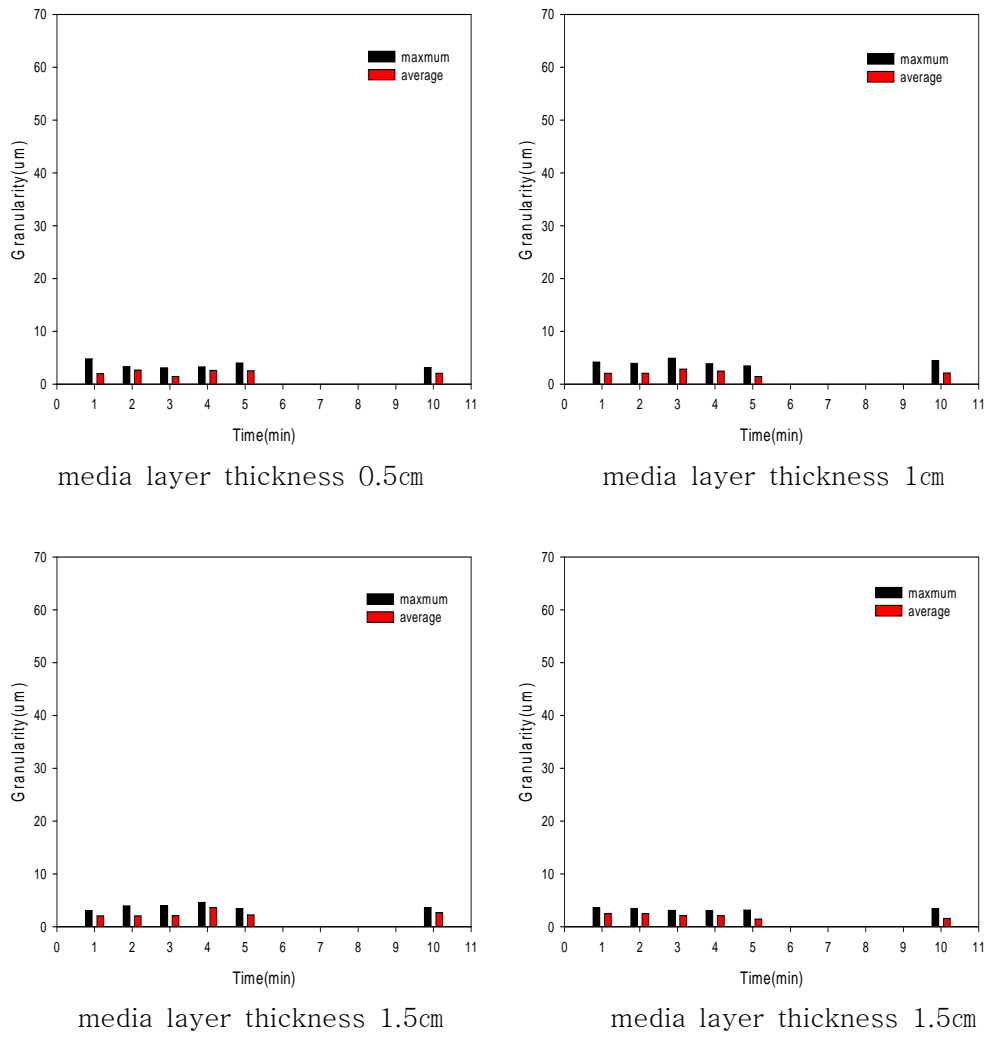


Fig. 4.32 Granularity of diatomaceous earth  $90\mu\text{m}$  depending upon thickness of the media layer



## 5. 종합 결론

본 논문에서는 차세대자기역세형메디아필터개발을 위한 영향인자를 구현하기 위하여 모래, 규조토, 코크스, 안트라사이트를 실험재료로 일련의 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 메디아의 최적재질은 여재에 흡착된 오염물질의 분리가 용이하며 메디아의 재생이 가능한 모래가 선정되었으며 가장 효율적인 입경은 150  $\mu\text{m}$ 로 판명되었다.
2. 모든 영향인자를 고려한 종합실험에서 의해 적정 진공압력은 380mmHg로 결정되었고 그때의 여과층 두께는 150 $\mu\text{m}$ 모래의 경우 8mm로 나타났다.

## 참고문헌

- [1] 고상모, 송민섭, 홍석정, 고 기능성 수질 정화 여과재로서의 장석질 모래 활용 연구, 한국광물학회지 제 16권 제 4호, pp283-293, (2003).
- [2] 곽종운, 물리·화학적 수처리 원리와 응용, 지샘, (1998).
- [3] 김자겸, 안중호, 이정택, 최근호, 급속여과공정에서의 효율적인 역세척방법 연구, F7-F9, (1999).
- [4] 김진근, 여과공정에서 입자물질의 탈착, 대한환경공학회 2006 춘계 학술연구발표회 논문집, pp275-279, (2006).
- [5] 도화석, M정수장 모래여과지 역세척 주기결정에 관여하는 인자 특성연구, 한국물환경학회.대한상하수도학회, pp797-800, (2005).
- [6] 유재영, 구조토와 그 응용, 한국광물학회지 제 13권 제 1호, pp39-50, (2000).
- [7] 이정택, 안중호, 최근호, 정수처리를 위한 여과지의 역세척에 관한 연구, 대한상하수도공학 13호 3권, pp 62~72, (1999).

- [8] 임성삼,송영민,김도형, 고분자 용액의 여과 특성, Korean Chem. eng.Res, Vol.42, No.3, June, pp304-310, (2004).
- [9] 임정훈,김효관,이정준,문태섭,정민기,우혜진,김창원, 충전밀도와 여과 속도가 섬유사 여과기의 처리성능에 미치는 영향, 대한환경공학회 제 28권 2호, pp 216~222, (2006).
- [10] 정철우, 송희중, 배상대, 원수의 물리화학적 특성에 따른 막분리 공정의 전처리 공정 적용성 평가, 대한환경공학회 논문, pp 613~619, (2006).
- [11] 조영일, 김광력, 박돈희, 박영규, 박홍석, 이수구, 정연규, 최재완, 환경공학, 신평문화사, pp155~161, (1998)
- [12] 최승일, 이형숙, 역세척 방법에 따른 세척효과의 비교, J. of KESS Vol. 18 NO.12, pp 1521~1534, (1996).
- [13] 최재선, 육근형, 국제해사기구(IMO)의 해양환경 오염규제 대응방안 연구, 한국해양수산개발원, (2004).
- [14] 한국상하수도협회, 수도용 모래여과 시험방법(KWWA F 100), (1989).

- [15] 한국상하수도협회, 상수도시설기준, pp 352-353, 환경부, 서울, (2004).
- [16] Korean Register of Shipping, BWM 협약 현황, (2007).
- [17] Ahmad, R., Amirtharajah, A., Al-Shawwa, A., hUCK, P., Effects of backwashing on biological filters. *Filtration*, 62-73, (1998).
- [18] ANZECC, Maritime Accident and Pollution, Impact on the Marine Environment from Shipping Operation, March, (1995).
- [19] A. Zouboulis, G. Traskas, P. Samaras , Comparison of single and dual media filtration in a full-scale drinking water treatment plant, *Desalination* 213 334-342, (2007).
- [20] Bergheim, A., Cripps, S.J., Liltved, H., A system for the treatment of sludge from land-based fish-farms. *Aquatic Living Resources* 11, 279-287, (1998).
- [21] Carlton, Introduced species in U.S. Coastal Water, (2001).
- [22] Cleasby, J. L, et ai, Backwashing ingranular filter, *J, of awwa*, 69, 115~125, (1977).

[23] C. Steicke, V. Jegayheesan, C. Zeng , Mechanical mode floating medium filters for recirculating systems in aquaculture for higher solids retention and lower freshwater usage, *Bioresource Technology* 98 3375-3383, (2007).

[24] Global Ballast Water Management Programme, *Ballast Water News*, April-June, (2000).