

# 이중 원심력 집진장치를 이용한 분진-가스 동시 처리

## Simultaneous Control of Dust and Gases Using a Double Centrifugal Device

장 정 희 · 이 주 현<sup>1)</sup> · 조 영 민\*

경희대학교 환경학 및 환경공학과, 환경연구센터, <sup>1)</sup>대구대학교 환경공학과

(2008년 4월 22일 접수, 2008년 6월 24일 채택)

Jung-Hee Jang, Ju-Heon Lee<sup>1)</sup> and Young-Min Jo\*

Department of Environmental Science & Engineering, Kyunghee University, Gyeonggido, Korea

<sup>1)</sup>Department of Environmental Engineering, Daegu University, Gyeongsangbukdo, Korea

(Received 22 April 2008, accepted 24 June 2008)

### Abstract

A large volume of work has been attempted to improve the separation efficiency of cyclone by establishing new design and optimum operation. An auxiliary device called Post Cyclone (PoC) has been introduced and tested in an earlier work (In order to reduce the emission of fine dust from the reverse flow cyclones). This work applies the PoC to remove the dust and gaseous elements using a centrifugal effect remained in the discharging flow over the cyclone. As a result of the experiment, the efficiency was found best at the high gas concentration and low inlet velocity.

**Key words** : Cyclone, Dust collection, Activated carbon, VOC, Adsorption

### 1. 서 론

원심력을 이용하는 사이클론은 1800년대 후반에 도입된 이래 다양한 생산 공정 및 처리공정상에서 발생하여 대기 중으로 배출되는 분진을 포집하기 위하여 널리 사용되어 왔다. 그 후 사이클론은 다양한 시행착오와 연구를 거쳐 1951년 Stairmand에 의해 고효율과 대용량 표준 설계사양이 발표되어 지금까지 적용되고 있다. 이러한 사이클론은 형상이나 구조

변화, 보조장치 부착 등을 통하여 입자처리 효율을 극대화하는 노력들이 지속되어 왔다 (Chen *et al.*, 2001; Izoa and leith, 1989). 특히 근래에 들어서 컴퓨터의 발달과 그에 수반하는 전산모사기법이 크게 발달하여 사이클론에 대한 연구에 많이 활용되고 있는 추세이다 (Jo *et al.*, 2000; Koch and Licht, 1997). 사이클론은 유체가 좁은 공간에서 3차원적 운동을 하게끔 설계되어 있으므로 그 연구가치가 매우 높고, 여전히 많은 연구자들에게 있어서 이론과 실험적인 관심을 끌고 있다.

사이클론의 구조와 형상을 일부 변형하여 궁극적으로 입자의 포집효율을 향상시키되, 특히 10  $\mu\text{m}$  이

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-201-2485, E-mail : ymjo@khu.ac.kr

하의 미세입자 분리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 기계적인 장치의 설계 및 수정에 앞서서 컴퓨터를 이용한 수치해석을 실시함으로써 설계의 오류를 최소화하고, 시행착오를 줄이는 노력이 경주되고 있다. 이에 따라 싸이클론 집진기술의 다양한 연구가 꾸준히 진행되고 있고, 그 일환으로 최근에 추가되는 비용이 거의 없이 기존의 싸이클론으로부터 배출되는 미세입자를 제거할 수 있는 Post Cyclone (PoC)이라는 보조장치가 개발되었다(Plomp *et al.*, 1996).

PoC는 i) 간단한 디자인, ii) 낮은 제작비용과 유지비용, iii) 낮은 압력강하, iv) 생성된 분진의 재회수가 가능하다는 장점이 있다. 더욱이 PoC는 기존의 싸이클론에 어떠한 변형 없이도 설치가 가능하다. PoC는 주 싸이클론 유출부인 선회류 출구(vortex finder)를 통하여 외부로 유출되는 유체 중에 잔존하는 나선형 흐름특성을 활용하여 주 싸이클론으로부터 분리되지 않고, 유출되는 미세분진의 일부를 분리할 수 있는 장치이다.

본 연구에서는 이러한 싸이클론 보조장치를 이용하여 유해가스나 악취성 물질을 활성탄 흡착제를 이용하여 제거하는 실험을 수행하였다. 실험연구에 앞서 3차원 전산 수치해석 기법을 이용하여 본 연구에서 적용하고자 하는 싸이클론 규격에 준하여 장치내에서의 유체흐름을 관찰하여 결과해석에 활용하였다.

## 2. 장치 및 방법

### 2.1 장치 및 시료

시험용 보조 장치는 두 개의 원통형 컬럼을 싸이클론의 선회류 출구 상부에 수직으로 설치함으로써 구성하였다. 실험에 사용된 싸이클론은 고효율 Stairmand식 표준 설계 조건(몸통직경: 6 cm)에 준하여 제작하였다(Stairmand, 1951). 상부에 설치된 PoC는 두 개의 원통(내경: 3.2 cm, 9.5 cm)으로 이루어져 있으며, 환형의 중앙 공간은 내실(inner chamber), 바깥쪽 공간은 외실(outer chamber)이라고 명명하였다(조영민, 1999). 내측벽과 외측벽 사이의 직경과 높이 차이에 의해 환형(環形)의 틈이 형성되고, 이 환형의 틈(ⓐ)을 통해 지류와 분리된 분진 및 입자상 흡착

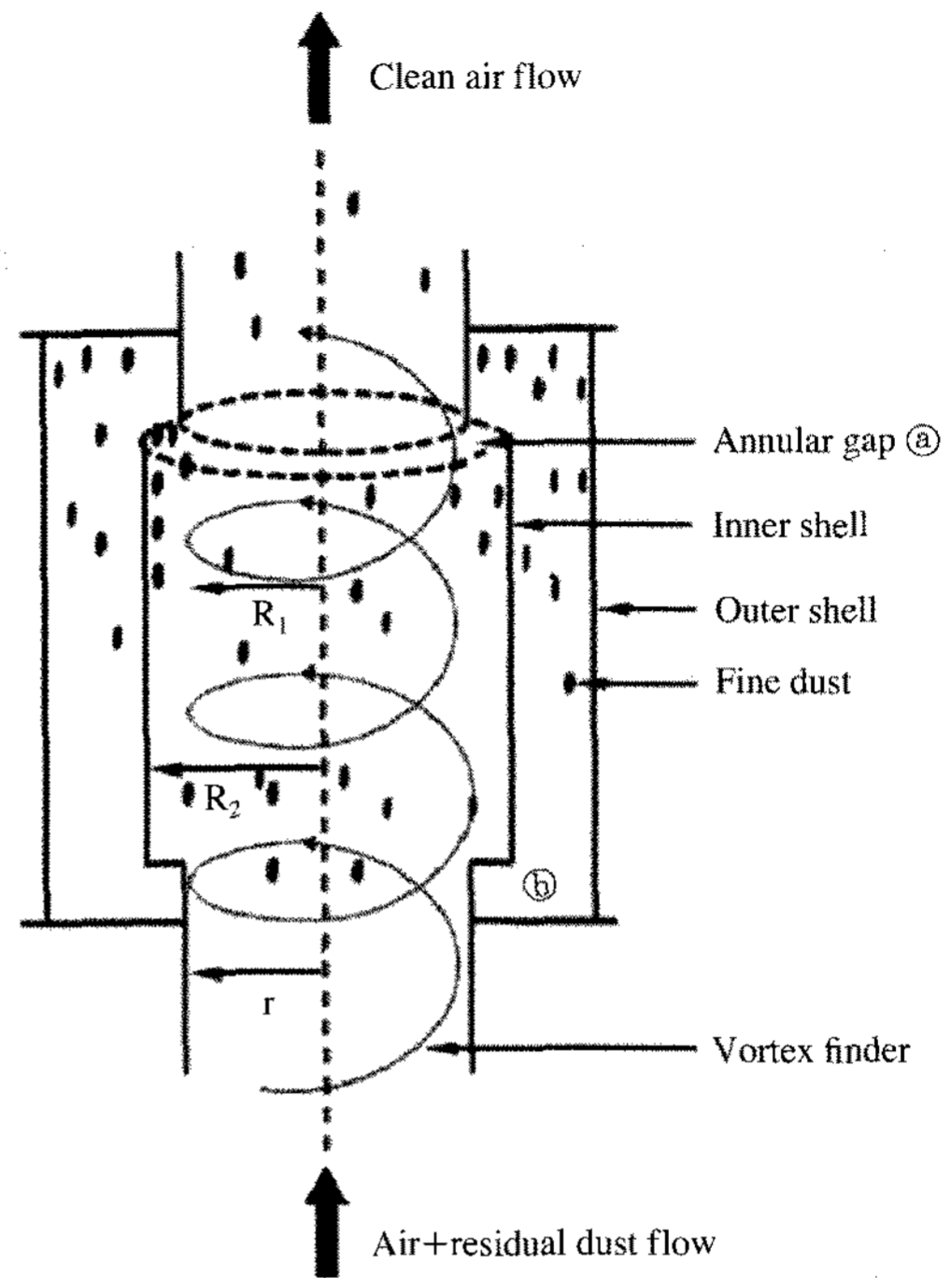


Fig. 1. Schematic diagram of PoC.

제가 외실(ⓑ)에 집진된다(그림 1). 흡착제는 주 싸이클론의 선회류 출구의 주입관을 통하여 공급하였다.

분진시료는 보령 화력발전소에서 배출되는 석탄회를 사용하였고, 진공건조기(vacuum oven)에 2시간 동안 보관함으로써 수분에 의한 시험결과의 오차를 줄이고자 하였다. 주 싸이클론의 hopper와 PoC에 포집된 분진은 레이저 회절법(laser diffraction method)의 원리를 이용한 입도분석기(Malvern, Master sizer-S)를 사용하여 크기를 측정하였다. 측정된 결과 분진은 0.05~100 μm까지 분포되어 있었으며, 시험용 가스로는 도료의 용제로 사용되는 시너(thinner)의 주 성분중 하나인 톨루엔 가스를 선정하였다. 공업용 활성탄(가야활성탄공업)을 사용하여 톨루엔의 흡착효과를 관찰하였으며, 활성탄 입자는 70% 이상이 20 μm 이하의 크기로 구성되어 있었으며, 입자의 평균 크기는 약 17 μm이다.

### 2.2 실험방법

그림 2에 나타난 것과 같이 공기흐름은 시험장치

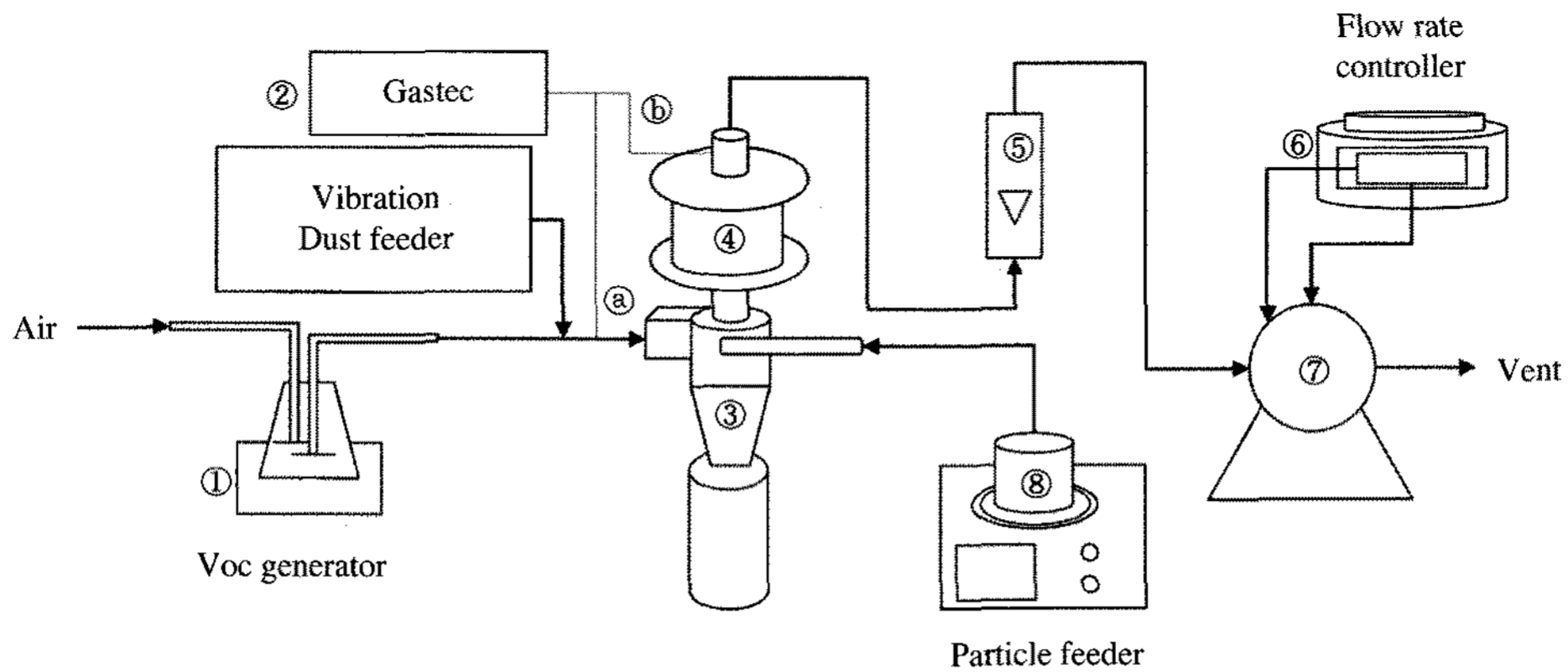


Fig. 2. Schematic diagram of experimental set-up.

의 최종 배출구 쪽에 설치한 역방향 송풍기(7)로 시험장치 전체의 공기 흐름을 유도하였다. 사이클론(3)으로 유입되는 유량은 미세분진 집진장치 후단에 설치한 유량계(5)로 측정하였으며, 200 lpm (9.8 m/s)에서 400 lpm (19.5 m/s)의 범위 내에서 조절하였다. 실험에 사용한 사이클론은 투명 아크릴 재질로 제작하여 장치내부에서의 분진흐름을 육안으로 확인할 수 있었다. 입자시료를 주입하는 particle feeder(8)는 공기의 유량 및 진동수를 디지털로 조절하여 안정적으로 장치내로 공급해 주는 역할을 한다(HCT, Powder generator 4860). 시험에 사용되는 활성탄의 기초성능을 평가하기 위하여 가스분석 장비인 GC/FID (Shimadzu, GC-2010)를 이용하여 톨루엔의 흡착능을 확인하였다. 시험용 반응기는 직경 3 cm, 높이 16 cm로 준비하였으며, 톨루엔 농도를 200~300 ppm으로 조절하였고, 1~2 lpm의 유량으로 공급하면서 관찰하였다. 본 연구에서 사용한 활성탄의 비표면적은 855 m<sup>2</sup>/g이고, 겉보기 비중은 0.44이다.

한편 분진과 동시에 발생하여 기·고 사이클론에 유입되는 톨루엔의 실시간 농도는 양쪽 끝이 가늘게 되어 있는 관으로 기체 채취용 펌프를 장치하여 피검 성분 기체의 농도를 구하는 분석정밀도가 비교적 좋으며 소형인 5~690 ppm 범위의 톨루엔용 검지관 (Gastec, No. 122)을 이용하여 주 사이클론의 유입구 (a)와 PoC 유출구 (b)에서 측정비교하였다.

2.3 전산 유체역학을 통한 유체흐름 고찰

컴퓨터를 이용한 전산모사를 통하여 사이클론과

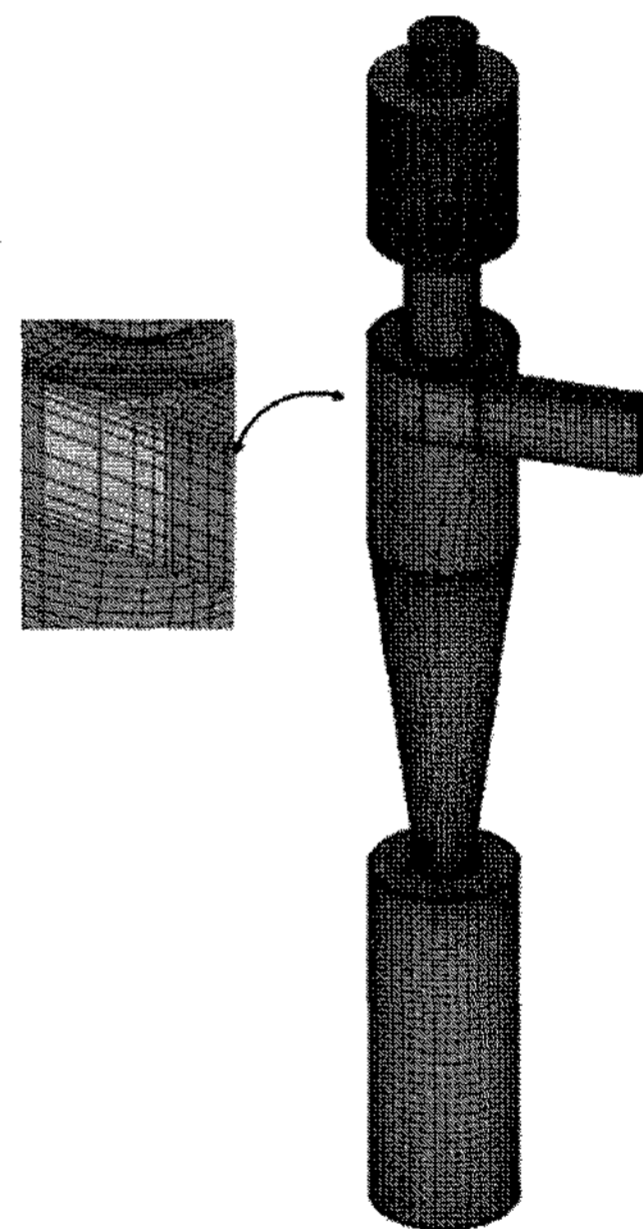


Fig. 3. Schematic and grid diagram of test PoC system.

PoC 내부에서의 유체흐름형태와 각각의 체류시간을 관찰하였다. 본 연구에서는 사이클론 난류의 비등방성 성질을 효과적으로 해석할 수 있는 Reynolds stress model (RSM)을 사용하였다. 기체와 입자의 운동량 교환이 입자 거동에 미치는 영향을 고려하는 Lagrangian 운동 방정식을 적용하였다. 계산은 상용 CFD코드인 FLUENT 6.2를 사용하였다. 주 사이클론의 내부로 유입되는 공기의 입구속도가 9.8, 14.7 m/s, 19.5

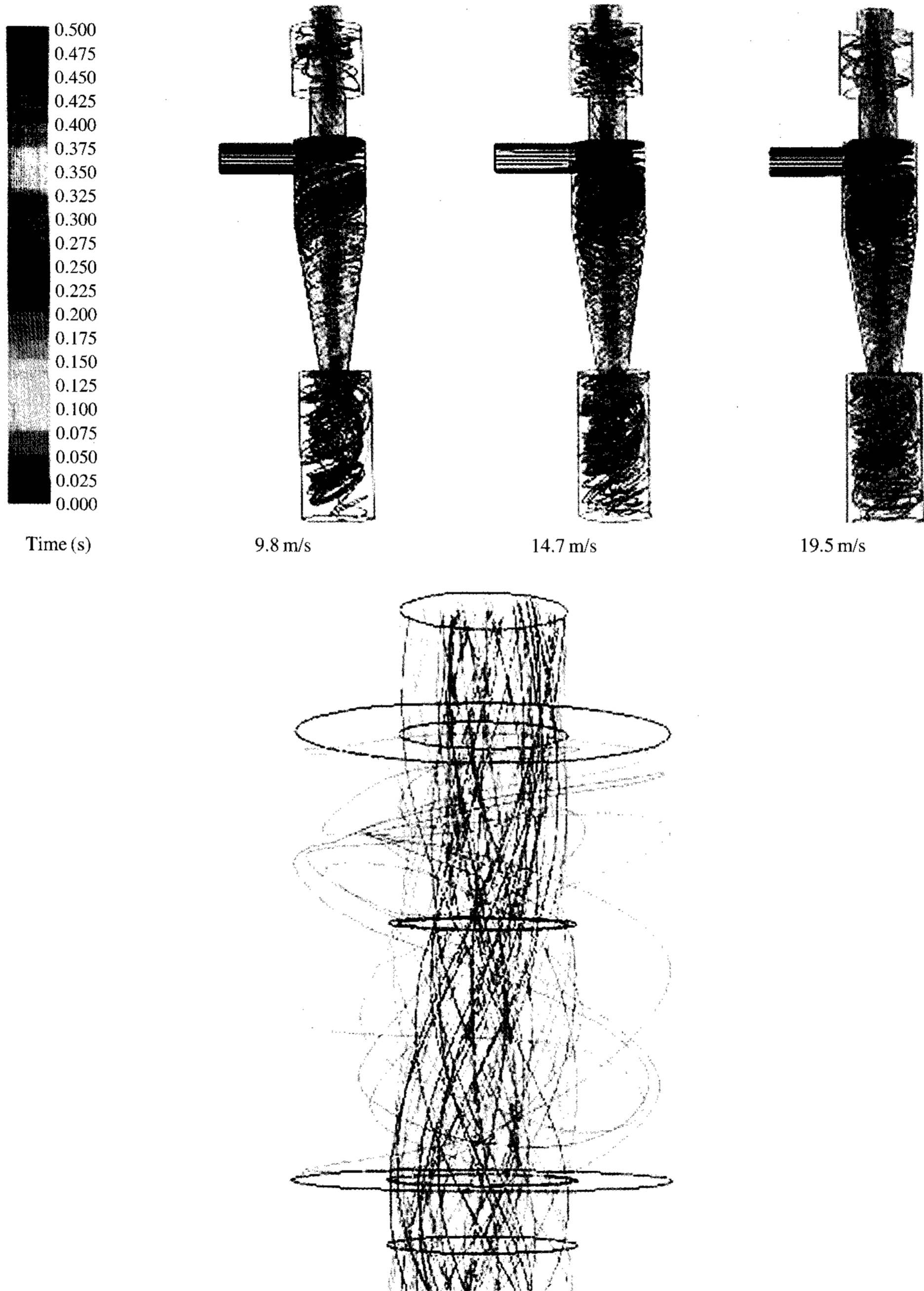


Fig. 4. Flow pattern and residence time in cyclone.

m/s인 경우에 대하여 유동형태를 관찰하고, 각 위치에서의 접선속도를 계산하였다.

그림 3은 연구대상 PoC의 격자 시스템을 개략적

으로 도시한 것이다. 모형도 실험장치 규격에 준하여 작성하였다. 수치계산을 위하여 격자는 주 싸이클론의 유입부와 몸체가 맞닿은 부분은 격자의 비틀림이

심하므로 wedge격자를 사용하였으며, 나머지 모든 영역에서는 정렬격자를 사용하였다(용정권 등, 2008).

### 3. 결과 및 고찰

연구는 우선 시험장치와 동일한 규격의 사이클론과 PoC를 선정하여 유체흐름을 이론적으로 파악하였다. 또한 미세분진의 포집효율을 계산하여 사이클론 집진장치의 기본 성능을 확인한 후, 활성탄 흡착제를 투입해가며 가스 흐름으로부터 톨루엔을 흡착 분리하는 실험을 실시하였다.

#### 3.1 전산모사를 통한 유동해석

그림 4는 순수한 공기가 상온, 상압에서 흐르는 상태를 기준으로 9.8, 14.7, 19.5 m/s의 유입속도에 대하여 유체의 흐름형태와 체류시간을 관찰한 결과이다. 유체가 사이클론의 유출부를 통과하여 PoC를 거쳐 외부로 유출될 때까지 여전히 상당량의 선회류효과가 남아있음을 알 수 있다. 또한 사이클론 상부에 있는 환형 틈을 통하여 PoC 외실로 흐르는 일부 유체 흐름을 확인할 수 있었다. 일반적으로 Stairmand 고효율 표준 사이클론에서 유체는 6~7회 선회하는 것으로 알려져 있지만(Cooper *et al.*, 2002), PoC 내부에서 유체는 약 1.7회 정도 선회하는 모습을 확인할 수 있었다. 또한 PoC 내부를 통과하는 평균 시간은 주 사이클론의 유입속도가 9.8 m/s일 때, 약 0.5초, 19.5 m/s일 때에는 약 0.2초인 것으로 나타났다. 유입속도가 증가함에 따라 공간 체류시간은 감소하지만 사이클론내에서 유체의 선회 횟수는 일정한 것을 확인할 수 있었으며, 유입속도가 증가할수록 강한 선회류가 발생한다는 것을 알 수 있었다. 즉 강한 선회류장은 높은 접선속도 분포를 유도하며, 원심력에 의한 입자의 분리효율을 향상시킬 것으로 기대된다.

한편 PoC를 이용한 입자상 물질의 분리는 기본적으로 순방향 사이클론(Uni-flow cyclone)접선 속도장 내에서 미세 입자들이 원심력에 의해 바깥쪽으로 향하는 원리에 의하여 이루어진다. 즉 접선속도의 세기에 따라 입자들에게 가해지는 원심력의 크기가 결정되고, 이 원심력의 크기에 의하여 입자상 물질의 분리효율이 결정되는 것이다.

유체의 접선속도는 유입되는 유체가 충분히 발달

되기 시작하는 지점인 주 사이클론의 몸체 원통부에서 가장 높았으며, 기존의 연구보고를 살펴보면 주 사이클론으로부터 유출되어 PoC로 상승하는 유체에도 70% 이상의 선회류 효과가 잔존한다(Plomp *et al.*, 1996). 이러한 원심력 효과는 PoC를 빠져나가는 지점으로 이동하면서 접선속도가 급격히 낮아진다. 주 사이클론 내에서 접선속도는 유체의 유입속도와 비례적인 관계에 있으며, PoC 역시 유입속도가 증가할수록 접선속도가 크게 나타났다. 본 연구에서 계산한 수치해석 결과에서도 접선속도 값을 기준으로 볼 때 유입유속에 따라 차이가 있었지만 최대 85% (9.8 m/s)에서 71% (19.5 m/s)까지 원심력 효과가 잔존하고 있었다.

PoC는 선회류를 통해 형성되는 원심력장을 이용하여 입자를 추가 집진하는 장치이므로 유체가 충분히 체류하여 최대로 입자를 분리할 수 있는 최적 높이를 설정할 필요가 있다. 본 연구에서는 이전 연구에 준하여 PoC 높이를 15 cm로 하였으며, 이는 주 사이클론의 규격을 토대로 CFD 계산과 사전연구를 통하여 선정된 것이다(조영민, 1999). 따라서 이러한 전산 모사기법을 통하여 얻어진 정보로부터 사이클론 유출부에 주입하는 흡착제 입자는 강한 선회류 흐름에 실려지고 PoC 내부에 조성되는 원심력장에서 유체로부터 분리된 후, 외실에서 회수될 수 있도록 설계하였다.

#### 3.2 유입속도 변화에 대한 입자분리효과

일반적으로 접선유입식 사이클론의 집진효율에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 유체의 유입속도로 알려져 있다. 유체가 빠르게 진입할수록 장치 내부에서의 선회류가 크게 증가하고, 결국 유체의 접선속도(tangential velocity)가 증가함으로써 고체입자의 접선방향에 대한 운동량이 증가하게 된다.

유체의 주 흐름으로부터 입자는 이탈하게 되고 장치내벽에 부딪히면서 원심력을 잃고 벽면을 따라 중력에 의해 하부로 강하하여 궁극적으로 유체로부터 분리된다. 한편 사이클론으로 유입되는 유체속도가 클수록 PoC내의 유체의 접선속도가 증가한다는 사실은 수치해석을 통해서도 이미 밝혀졌다(Ray *et al.*, 1997).

그림 5는 사이클론과 PoC에서 포집되는 분진의 크기를 관찰한 것으로서 하부의 주 사이클론 내에서

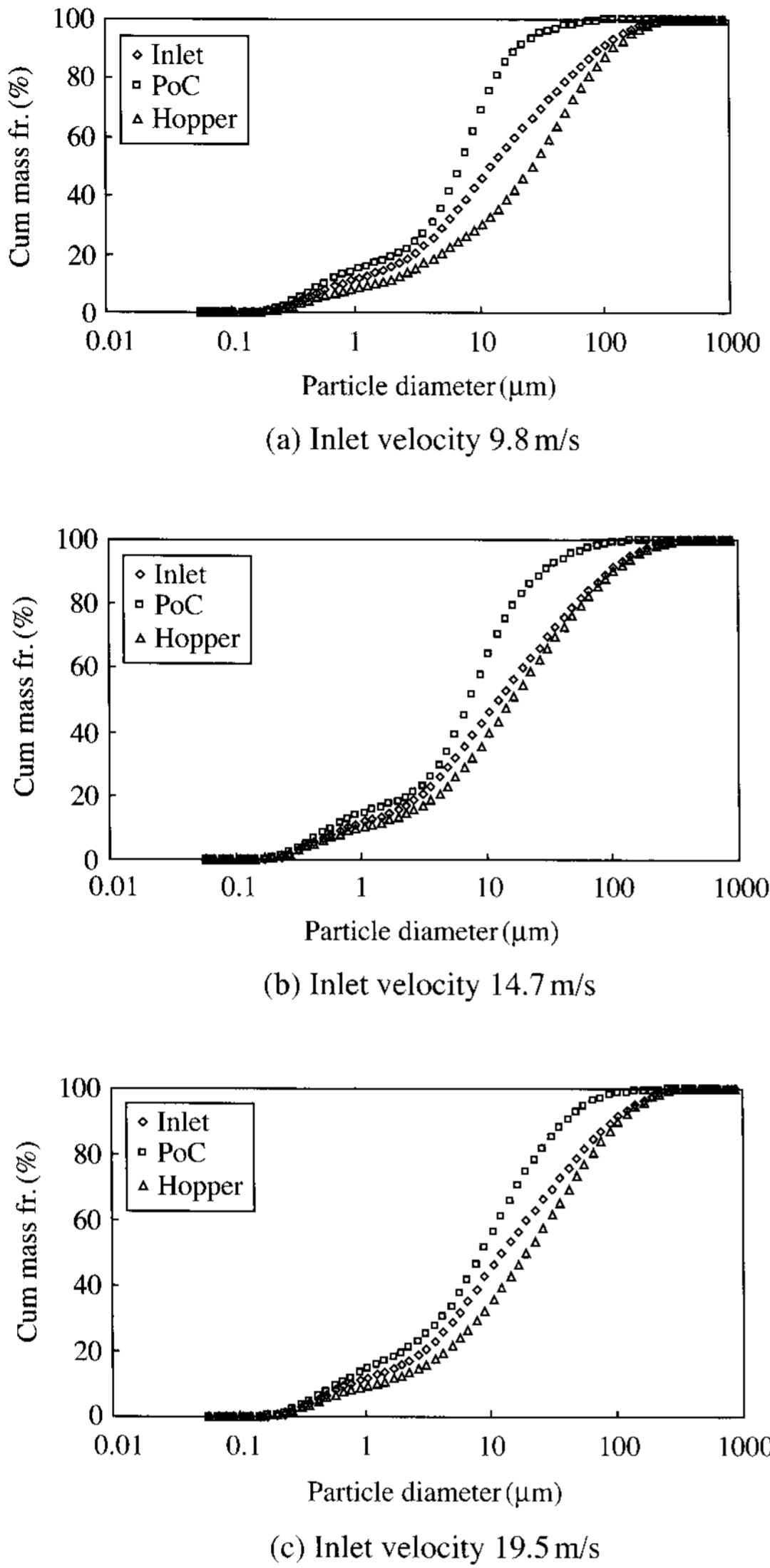


Fig. 5. Particle size distribution at each point with inlet velocity.

분리되지 않은 2~5 μm 범위의 미세분진입자들이 PoC를 거치면서 추가적으로 포집되는 경향을 확인할 수 있다. 유입속도에 따라 장치의 각 위치에서 포집되는 입자의 크기가 조금씩 차이가 났으며, 원심력 집진장치에서 일반적으로 나타나듯이 유속증가에 따른 관성력 증가로 포집되는 입자의 크기는 감소하였다. 유속이 높을수록 하부사이클론의 포집효율이 증가하고, 포집입자의 평균 입경이 감소하였다. 따라서

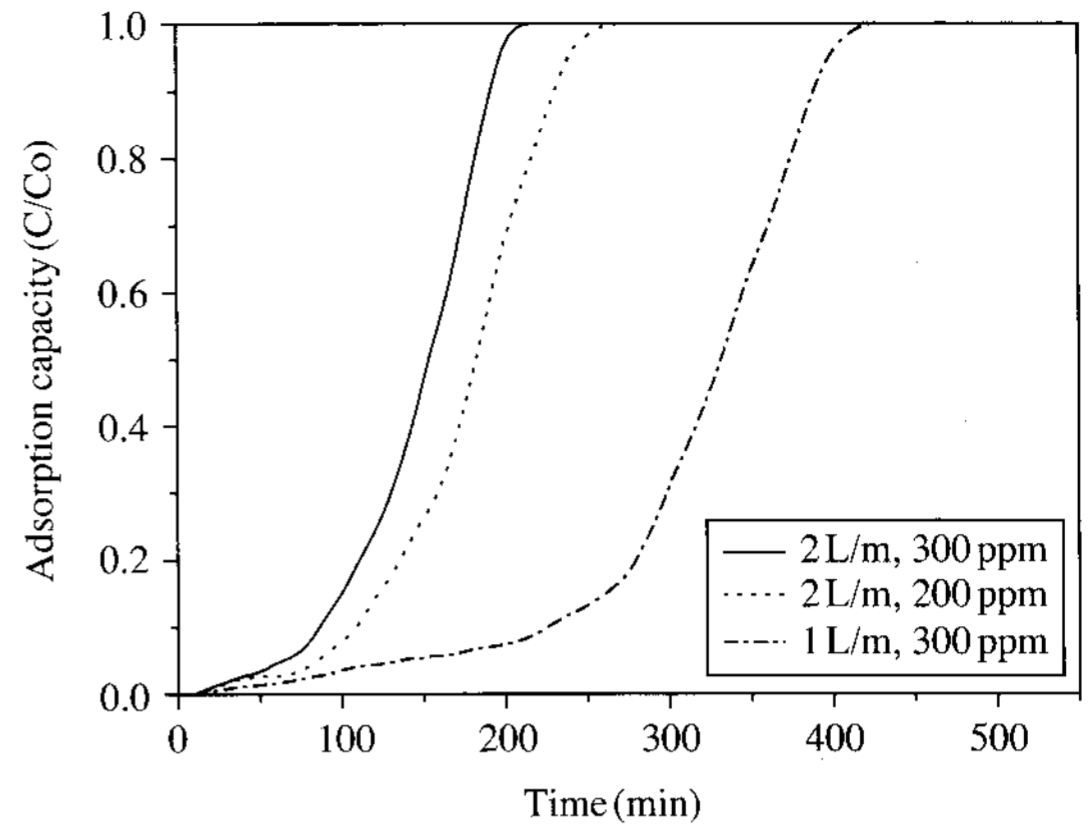


Fig. 6. Adsorption capacity of AC in terms of flow rate and inlet concentration (Co: inlet conc., C: outlet conc.).

PoC로 유입되는 입자의 절대량이 감소하고 크기 또한 보다 작은 입자들로 구성된다. PoC 또한 관성력의 원리에 의해 입자를 분리하므로 높은 유속에서 강한 원심력장이 조성되고, 이에 따른 입자 포집효율도 증가될 것으로 사료된다.

### 3.3 활성탄의 흡착능 평가

실험에 사용한 흡착제는 공업용 활성탄으로서 현장 적용성을 염두에 두고 적용하였기 때문에 실험실용 시약급 시료에 비하여 순도가 낮은 바, 총괄 흡착효율이 낮게 나타날 것으로 사료된다.

유량 및 유입농도에 따른 톨루엔 흡착량 변화를 그림 6에 나타냈다. 흡착제의 단위 부피당 흡착 몰수는 본 실험의 조건에 대하여 1 L/min의 유량으로 300 ppm이 공급될 때 식(1)을 통하여 계산해 본 결과 최대 2.7 g/cm<sup>3</sup>까지 얻을 수 있었다(김한수 등, 2001).

$$q = \frac{1}{W} C_0 Q \left( t_r - \frac{1}{C_0} \int_0^{t_r} C_i dt \right) \quad (1)$$

여기서, t는 시간(min), q는 평형 흡착량(mg/g), C<sub>0</sub>는 흡착층 입구에서의 톨루엔 농도(ppm), C<sub>i</sub>는 임의 시간에서의 흡착층 출구에서의 톨루엔 농도(ppm), tW는 흡착제 충전량(g), t<sub>r</sub>는 흡착제가 더 이상 흡착하지 않고 포화에 도달하는 시간(min), Q는 유입되는

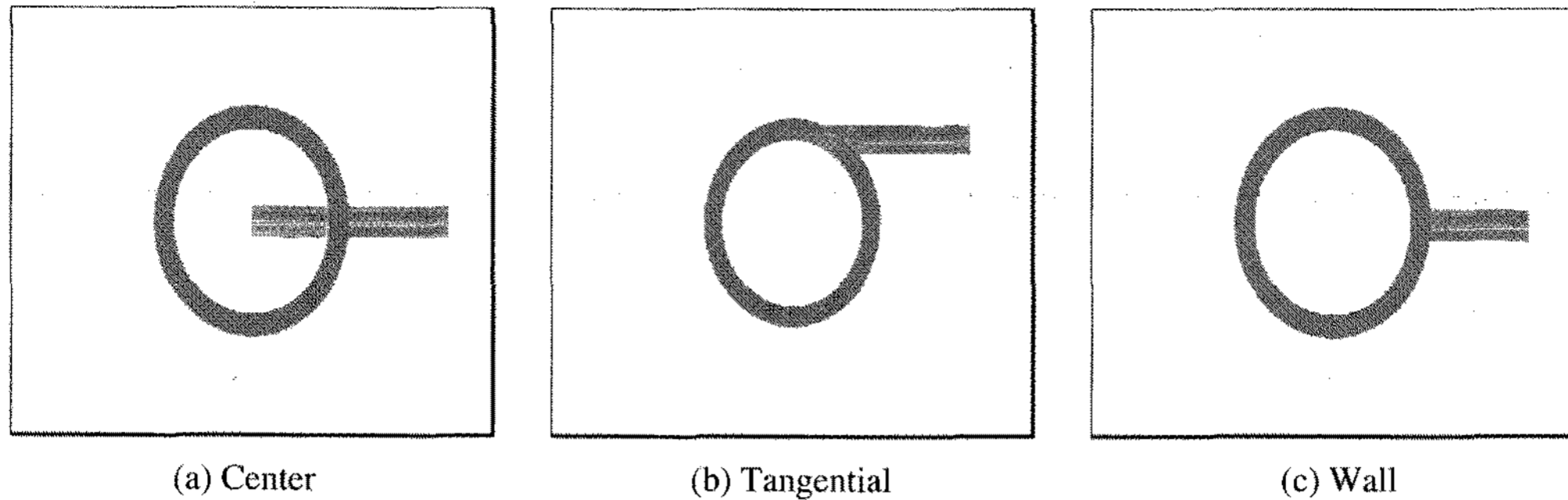


Fig. 7. Particle feed position at the vortex finder.

톨루엔 가스 유량을 나타낸다. 톨루엔 가스의 농도는 질소가스로 표준가스(500 ppm)를 희석하여 조절하면서 시험하여 실험하였지만, 본 연구에서 추구하는 분진과의 동시처리 공정과 같은 실제현장에 있어서는 미세분진이 활성탄 흡착제의 세공을 폐색시키기도 하고, 공기 중에 함유된 수분을 비롯한 증기상 물질들이 동시에 흡착되어 톨루엔의 상대적인 흡착능을 감소할 가능성이 있다.

### 3. 4 PoC에서의 흡착제 회수

본 연구에서는 내경 5 mm인 스테인레스 관을 주 사이클론 유출부(vortex finder)에 삽입하여 입자상 흡착제를 공급하였다. 주입관을 삽입하는 위치는 그림 2에 도시한 것과 같이 주 사이클론의 벽면을 통과하여 유출부 하단에 주입관을 연결하였으며, 그림 7에 도시한 바와 같이 중심부(center), 접선부(tangential), 벽면(wall)의 세 가지 연결 방법을 선정하여 가스 흡착효과와 주입된 흡착제의 회수율을 관찰하였다. 주 사이클론으로부터 상승하는 선회류에 의해 입자 주입부에 음압이 형성됨으로써 흡착제는 장치 내부로 자연 흡인될 수 있도록 구성하였다. 공급된 흡착제 입자는 주 사이클론 상부의 PoC로 상승하며 원심력에 의해 주 유체흐름으로부터 분리되어 PoC 외실에 모아지게 되는 바 회수되는 양을 확인하여 비교하였다.

그림 8은 각 위치에서 주입되는 흡착제의 양 대비 PoC에서 회수되는 양을 비교한 결과이다. 사이클론 유출부의 중심부(center)와 벽면(wall)으로 주입했을 때는 비슷한 회수율을 보였지만, 접선 방향으로 주입한 경우가 다른 두 가지에 비하여 상대적으로 약

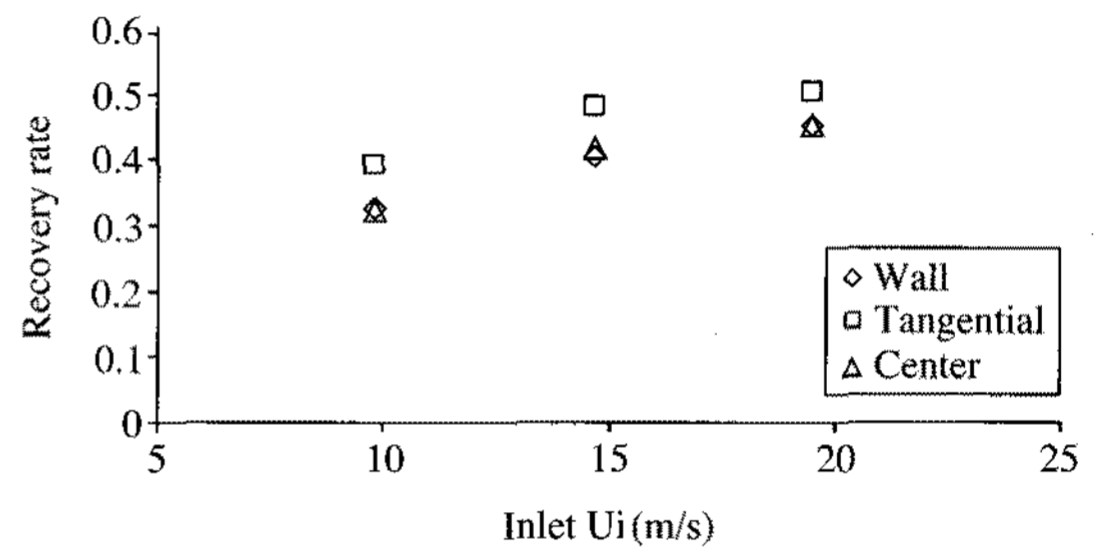
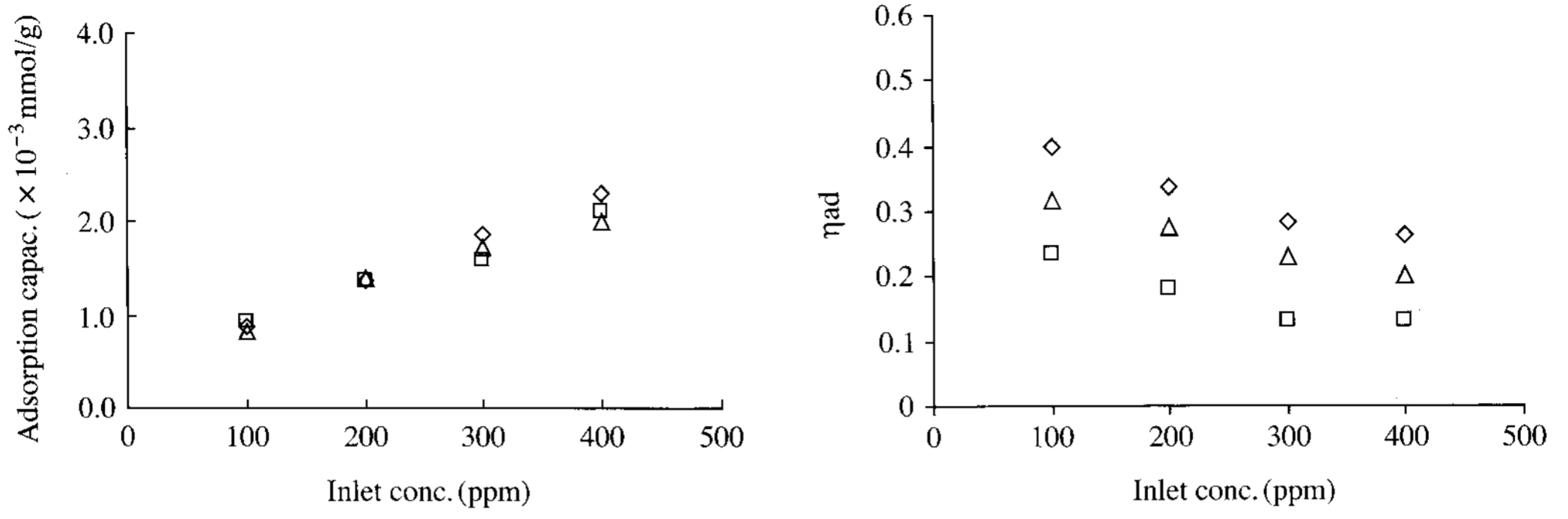


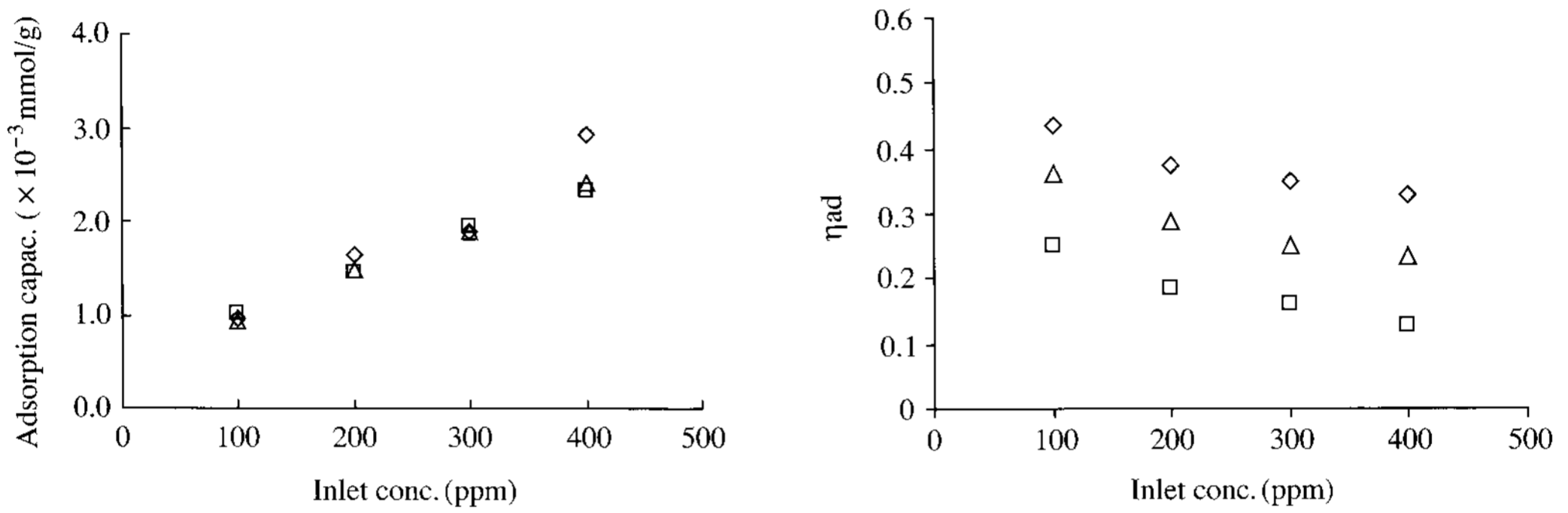
Fig. 8. Recovery rate of the feed sorbent in PoC.

10% 정도씩의 높은 회수율을 나타냈다. 유출부의 중심과 가운데 벽면에서 주입할 경우 나선형 선회류에 합류하지 못한 채 내측면에서 되튀거나 분산되는 현상이 나타난다. 반면에 접선 방향에서의 공급은 사이클론 유출부내부에서 생성된 강한 선회류의 유로에 직접 유입되기 때문에 흡착제 입자는 난류성 선회류를 따라 흐르게 된다. 따라서 사이클론 유출부에서 PoC에 잔존하는 원심력에 의해 상부 PoC 내에서 분리될 수 있는 확률이 증가한다.

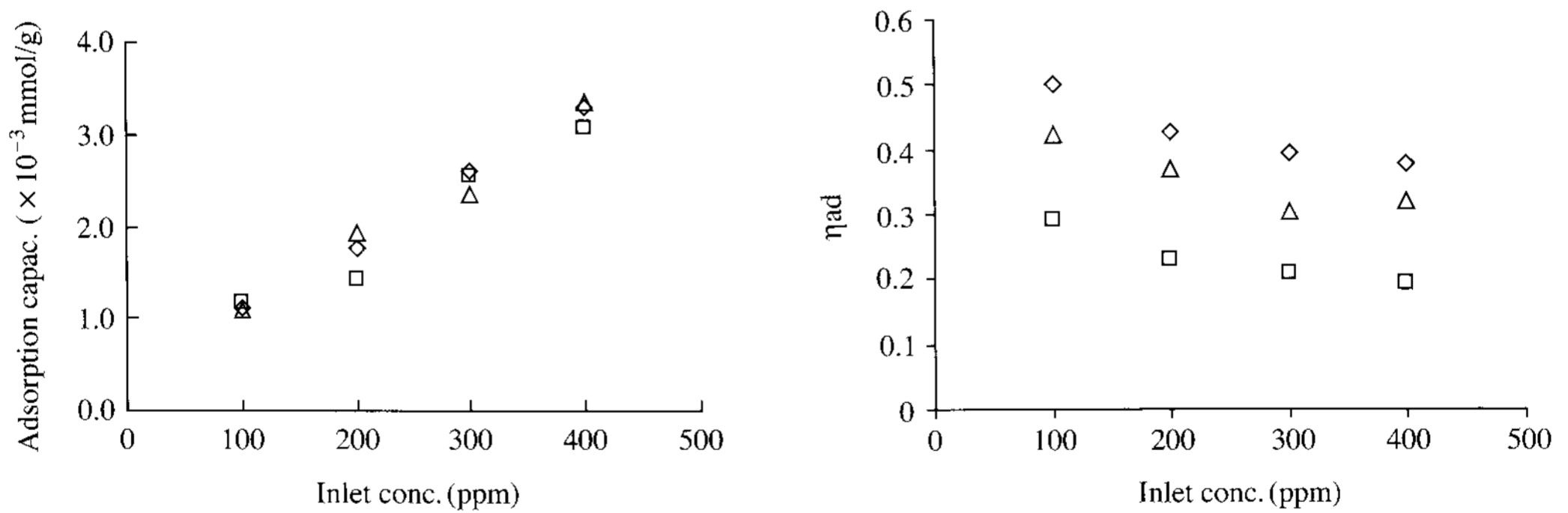
한편, 유체의 유속이 증가함에 따라 포집효율도 증가하는 모습을 나타내고 있다. 이것은 유속이 증가함에 따라 주 사이클론 유출부의 선회류도 강해지기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 전체적인 입자 회수율은 40~55%에 머무르고 있다. 관성력을 이용하는 장치에서 입자의 크기와 비중이 분리효율에 큰 영향을 끼치는데 본 연구에서 사용하는 활성탄 입자는 상대적으로 미세한 크기와 낮은 비중으로 인하여 원심력 장에서의 분리회수가 낮은 것으로 사료된다. 따라서 회수율을 향상시키기 위하여 PoC의 구조와 크



(a) Inlet velocity 9.8 m/s



(b) Inlet velocity 14.7 m/s



(c) Inlet velocity 19.5 m/s

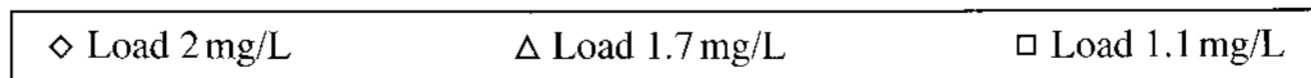


Fig. 9. Efficiency of toluene adsorption with inlet velocity.

기, 입자주입시 가속효과 추가와 같은 보완 연구가 계속될 필요가 있다.

### 3.5 가스 흡착 시험

주 사이클론의 유출부를 통하여 공급하는 흡착 활성탄 입자의 공급량은 그림 2의 (8) '입자공급장치'



의 회전력을 조절하여 비산되는 입자량을 변화시킴으로써 조절하였다(1.1, 1.7, 2.0 mg/L).

그림 9는 흡착효율 및 흡착능을 공급가스 농도, 흡착제 공급량, 유체의 유입속도에 따라 관찰한 결과이다. 흡착성능은 그림 2의 ㉓와 ㉔지점에서의 농도를 측정하고 식(2)에 대입하여 계산하였다.

$$q = \frac{Q(C_0 - C_i)}{m_d} \quad (2)$$

여기서,  $q$ 는 평형 흡착량(mg/g),  $C_0$ 는 주 사이클론 입구에서의 톨루엔 농도(ppm),  $C_i$ 는 PoC 출구에서의 톨루엔 농도(ppm),  $m_d$ 는 흡착제 주입량(g),  $Q$ 는 유입되는 톨루엔 가스 유량을 나타낸다.

실험결과에서 볼 수 있듯이 톨루엔의 농도가 높을수록 흡착효율은 낮게 나타나며, 흡착제 단위 질량당 흡착되는 가스의 몰수를 의미하는 흡착능은 꾸준히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 동일한 유속에 있어서 같은 양의 흡착제가 공급될 경우, 가스 제거율은 가스의 농도에 반비례하는 결과가 도출되었다.

또한 동일한 흡착제 주입량에 대하여 같은 농도의 톨루엔을 주입하였을 경우에는 주 사이클론으로 유입되는 속도를 9.8, 14.7, 19.5 m/s로 변경시켜가며 측정해본 결과 9.8 m/s일 때보다 19.5 m/s일 때 높은 톨루엔 흡착효율을 확인할 수 있었다. 즉 동일한 조건에서는 보다 강한 난류 흐름이 조성될 때 가스상 톨루엔과 입자상 활성탄 흡착제의 혼합효과가 향상된다. 그러나 동시에 상대적인 체류시간이 감소하므로 실질적인 접촉확률 및 흡착반응 시간은 0.032초에서 0.016초로 감소한다. 따라서 강력한 선회류에 의한 난류 혼합이 절대적으로 흡착효율 증가의 결과를 나타내지 못하고 있다. 같은 양의 흡착제가 공급되는 경우, 가스상 톨루엔의 절대량이 증가하면 정해진 흡착시간 동안 활성탄이 흡착하는 가스의 절대량은 증가하지만 상대적인 효율이 감소한다는 의미이다. 그러므로 제한된 체류시간에 대하여 적절한 흡착제의 주입량을 설정하는 최적의 운전조건을 관찰할 필요가 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 기·고 분리용 사이클론에 간단한 부가

장치를 부착하여 입자상 오염물질과 가스상 오염물질을 동시에 제어하는 시스템을 개발하기 위한 목적으로 실시하였다. CFD 계산 결과 주 사이클론의 유출부에도 약 70% 이상 선회류 효과가 남아 있으므로, 유출부에 입자상 물질을 주입하면 상부의 잔존하는 원심력장에서 일정량 이상을 재 회수할 수 있을 것으로 기대하였다.

연구결과 보조장치(PoC)는 주 사이클론의 유출부에 주입한 활성탄 고체입자를 주입 위치에 따라 40%에서 55%까지 회수되는 것으로 나타났다. 이러한 입자회수 효과를 이용하여 입자상 흡착제를 주 사이클론 유출부에 주입하여 악취성 가스인 톨루엔을 흡착하는 실험을 실시하였는 바, 유입농도와 흡착제 주입량, 유속 등에 따라 50~80%의 톨루엔 흡착제거 효율을 구하였다. 따라서 흡착제 입자와 악취성 유체의 접촉효율을 극대화할 수 있는 조건을 파악하여 현장 운전에서 적용하면 악취물질과 입자상 분진을 사전에 동시 제어할 수 있는 공정으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 신개념 장치의 분리 메커니즘을 검증하고자 하였는 바, 본 장치에 적합한 고비중의 흡착제를 활용할 경우 흡착제 재 활용율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 논문은 경북지역 환경기술개발센터(07-3-40-43-12)의 지원으로 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 김한수, 박영성, 민병무(2001) 고정 흡착층에서 벤젠의 흡착 특성, 대한환경공학학회지, 23(12), 1979-1988.
- 용정권, 김창녕, 조영민(2008) 사이클론 내 유동특성 및 미세입자 집진효율에 대한 수치해석적 연구, 설비공학논문집, 20(2), 144-153.
- 조영민(1999) PoC 부착 사이클론의 미세분진 유출 제어에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 15(2), 201-210.
- Chen, C.J., F. Leonardo, and S. Wang(2001) Cost-benefit analysis of electrocyclone and cyclone, Resources Conservation & Recycling, 31, 285-292.

- Cooper, C.D. and F.C. Alley (2002) Air pollution control: a design approach 3, Waveland Press, 113-155.
- Izoa, D.L. and D. Leith (1989) Effect of cyclone dimensions on gas flow pattern and collection efficiency, aerosol science, Technology, 10, 491.
- Jo, Y.M., C. Tien, and M.B. Ray (2000) Development of a post cyclone to improve the efficiency of reverse flow cyclones, Powder Technology, 113, 97-108.
- Koch, W.H. and W. Licht (1997) New design approach Boosts cyclone type particle collectors-A new theoretical approach, AIChE Symp. Series, 68(126), 196-206.
- Plomp, A., M.I.L. Beuner, and A. Hoffmann (1996) Post cyclone, an approach to a better efficiency of dust cyclones, Journal of Aerosol Science, 27, 631-S632.
- Ray, M.B., P.E. Luning, and A.C. Hoffman (1997) Post cyclone: an innovative way to reduce the emission of fines from industrial cyclones, Ind. Eng. Chem. Res., 36, 2766-2744.
- Stairmand, C.J. (1951) The design and performance of cyclone separators, Trans. Instn. Chem. Engrs., 29, 356-364.