한국에너지공학회(2000년도)
춘계 학술발표회 논문집 P153~157

환경오염 저감을 위한 HCR 내부 유동특성에 관한 연구

정 진 도, 황 승 민*
호서대학교, 호서대학교 환경공학과*

A Study on the Flow Characteristics in HCR of Environmental Load Reduction

Jin-Do Chung, Seung-Min Hwang
Hoseo University, Dept. Environment Eng. of Hoseo University

1. 서 론

현재 국내에서 널리 사용하고 있는 포기조 등 기존 폐수처리 장치는 소요면적이 매우 넓고, 고농도 폐수와 독성이 함유된 폐수가 유입될 경우 미생물이 사멸하기 때문에 이들에 대한 처리가 어렵다. 또한 악취가 발생하는 등 유지관리가 어려우며, 외부 온도 변화에 많은 영향을 받는 등의 단점이 있다.

이러한 단점들을 보완하기 위하여 폐수처리에 관한 많은 연구가 각국에서 수행되고 있으며, 그 중 최근에 Vogelpohl[1), 2)] 등에 의해 개발된 고농도 폐수처리 장치인 HCR(High Compact performance Reactor)은 시스템의 실용화에 성공하여, 현재까지 유럽을 비롯한 전 세계에 걸쳐 여러 폐수처리 분야에 적용되어 효과적으로 운용되고 있다.

고농도 폐수처리 장치인 HCR은 폐수 유입시 폐수를 분사시켜 가능한한 미립화 시킴으로써 기질과 주위 박테리아 사이의 산소 전달 및 물질전달을 촉진시켜 고농도나 난분해성, 유독성 폐수처리가 가능하며, 환경장치 설치에서 문제가 되고 있는 처리 장치의 단순화, 건설비, 소요부지 및 운영비의 최소화를 해결할 수 있는 최신 설계기법이다.

그러나, 국내의 경우 이러한 외국의 우수한 장치를 그대로 도입함으로써, 국내 환경기준과 환경오염물의 성분 등 국내의 실정과 맞지 않아 비싼 기술료 등을 낭비하거나, 장치를 그대로 방치하는 경우가 종종 발생한다.

따라서 본 연구에서는 HCR 장치의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 요소인 노즐부분에 외부 혼합식 two-phase nozzle을 장착하여 PIV를 적용, HCR 장치내 유동특성을 고찰하였으며, 국내 실정에 맞는 기초 설계자료를 얻는데 목적을 두었다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에 사용된 PIV는 속도계측을 위한 정량적 가시화 기법(quantitative visualization technique)의 한 종류로서 열·유체 유동장에 유체와 동일 비중의 추적입자(particle)를 투입하여 이들을 가시화용 광원과 카메라로 가시화한 영상을 화상처리 해석함으로써 유동장 전체에 걸쳐서 동 시각의 속도분포를 정량적으로 알아내는 기술이다.

Fig. 1은 유동장의 속도분포를 PIV 시스템으로 계측하기 위한 기본적인 구성도를 나타낸 것이다. 본 시스템은 크게 광원장치와 영상입력 및 저장장치 그리고 영상처리장치로 나눌

수 있다. 본 실험에서는 광원으로 300mW 출력의 연속광을 갖는 Ar- Ion Laser를 사용하였다. 그러나 레이저는 선 광원으로 주사되기 때문에 레이저 자체만으로는 측정 대상의 조명으로 부적합하며, 2차원의 경우에는 두께 1~3mm 전후의 sheet light가 필요하다. 따라서 레이저 선 광원을 2차원 광원으로 바꾸어 주기 위해 원통형 렌즈(cylindrical lens)를 이용하여 계측 영역에 두께 3mm의 sheet light를 단면으로 형성하였다. 영상입력은 II(image intensifier) 카메라로 유동장을 실시간 측정한 후 가정용 8mm 캠코더에 기록하였고, 저장된 유동장은 다시 재생 과정을 거쳐 영상처리 장치에 입력하였다.

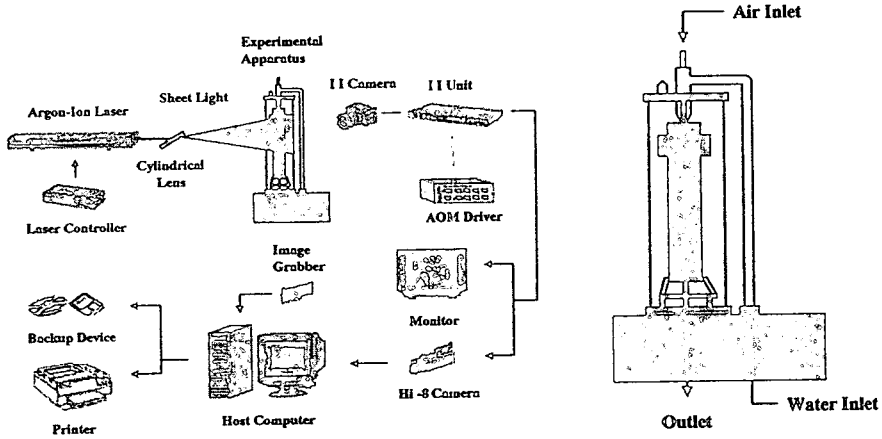


Fig. 1. Schematic arrangement of PIV system and diagram of experimental apparatus

Fig. 1은 고농도 폐수처리 장치인 HCR을 lab. scale로 자체 제작하여 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도와 사진이다. 이 장치는 전체부피가 2.5ℓ인 원형관이며, 유동 특성을 관찰하기 위해 두께가 3mm인 아크릴로 제작하였다. 이 원형관의 중앙부에는 내관이 위치해 있으며, 내관 상단에는 two-phase nozzle이 장착되어 있다. 이 nozzle은 외부 혼합식으로 순환펌프에 의해 작동수가 옆의 작은 관을 통해 원형관으로 유입되면서, 이 때 유입되어지는 작동수의 압력에 의해 분사 장치로 공기가 유입되어, 작동수와 공기가 혼합된 상태에서 내관으로 분사되어지며, 내관 하단을 통과한 혼상류는 외관을 통해 상승된 후 다시 내관으로 순환하게 된다.

이러한 과정을 연속적으로 이루기 위해 부피가 5ℓ인 용기를 사용하여 순환용 펌프와 연결시켰고, 유입·출 부분에 유량계를 설치하여 유량을 측정하였다. PIV 측정시 빛의 굴절률을 고려하기 위해 두께 5mm인 투명 아크릴로 물탱크를 제작하였다. 작동 유체로는 상온의 수도수(14℃)를 사용하였다.

계측영역은 원형관 상단부를 기준으로 하여 축방향으로 서로 다른 유동특성을 보이고 있는 50mm~115mm(area A), 200mm~265mm(area B), 그리고 415mm~480mm(area C)인 세 지점을 설정하였다. 고농도 폐수처리 장치인 HCR은 폐수 분사시 가능한한 액적들을 미립화시킴으로서 단위 면적당 표면적을 증가시켜 기질과 주위 박테리아 사이의 산소 전달 및 물질전달을 촉진시켜야하며, 빠른 속도로 순환되어야 한다. 하지만 이러한 조건에서는 외관에서 순환하는 액적들에 의해 내관에서 유동하고 있는 액적들의 속도 측정이 곤란하였다. 따라서 유량비(Q_1/Q_2, Q_1 : 유입유량, Q_2 : 유출유량)를 무차원수로 구하여 유량비 변화에 따른

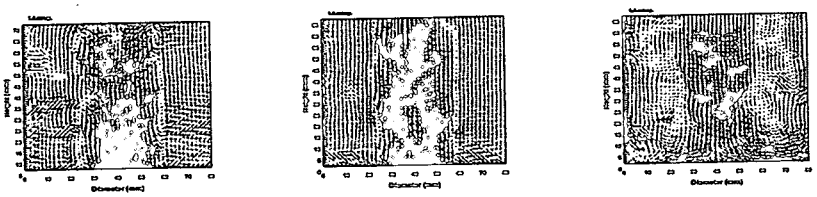
유동특성을 관찰하였다. 본 연구에서 측정한 유량비는 최적조건과 유사한 유동을 보이는 0.94와 0.96을 선택하였다.

그리고 또한 노즐 팁의 위치 변화에 따른 유동 특성에 관하여 관찰하였다. 이는 노즐 팁의 위치에 따라 혼상류가 분사되는 지점이 다르기 때문에 내관에서 형성되는 분사각에 의해 HCR 내 유동 특성에 많은 영향을 미치기 때문이다. 따라서 노즐 팁이 노즐과 일치하는 경우와 노즐 팁이 노즐에서부터 10mm 내려와 있는 경우 두 조건을 선택하여 유동특성을 고찰하였다.

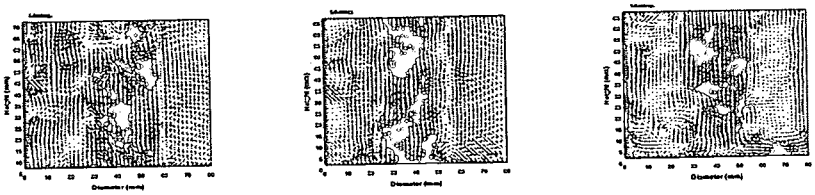
3. 실험 결과 및 고찰

가. 노즐 텁(nozzle tip) 위치에 따른 유동 특성

Fig. 2는 순간 속도벡터를 나타낸 것이다. 외부혼합형 노즐에 의해 작동수와 공기가 혼합하여 혼상류 형태로 노즐에서 분사되어지면서 유체입자들은 내관을 빠른 속도로 통과하고 있으며, 외관에서는 내관 하단을 통과한 유체입자들이 다시 상승하면서 내관으로 순환하는 유동현상을 보이고 있다. 중간부에서는 두 경우 모두 노즐에 의해 분사된 유체입자들이 내관에서는 빠르게 유동하고 있으며, 외관에서는 느린 속도로 상승하고 있음을 알 수 있다. 특히 외관에서는 유체입자들이 하단 충돌판에 부딪히면서 생성된 에디(eddy)들이 중간지점에서부터 감쇠 하면서, 전체적으로 속도분포는 유사하게 나타나고 있으며, 퍼텐셜 유동(potential flow) 영역이 확대되고 있다. 하단부에 대한 순간 속도벡터는 분사된 유체입자들이 하단 충돌판에 부딪히면서 외관 양방향으로 퍼져나가는 흐름을 보이고 있다. 이 때 하단 충돌판과 하단부에서의 속도 구배에 의해 에디가 생성되며, 이러한 에디 운동이 작은 에디를 발생시키면서 C영역에서의 유동은 회전유동(rotational flow) 영역이 확대되는 현상을 보이고 있다.



(a) Flow ratio : 0.94, Nozzle tip agreement



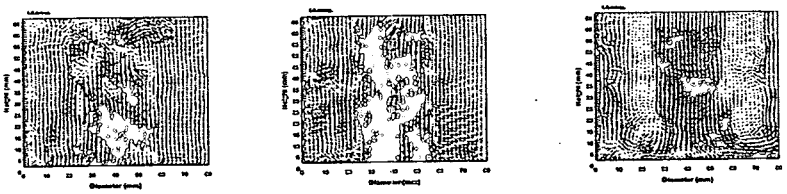
(b) Flow ratio : 0.94, Nozzle tip outer

Fig. 2. Instantaneous velocity vectors distribution

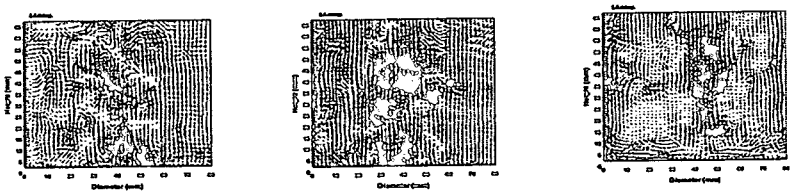
노즐 팁 변화에 따른 유동특성을 좀 더 세심하게 관찰하기 위하여 시간평균 속도 성분을 속도 선도로써 나타내었을 때 (a)의 경우 분사되는 지점이 (b)의 경우보다 10mm 윗 지점에 위치하기 때문에 내관에서 분사각(spray angle)이 더 넓게 형성되고 있다. 이러한 현상은 중간부에서도 나타나며, (a)의 경우 분사각이 내관 전체에 형성되었으나 (b)의 경우 완전한 분사각을 이루지 못 하고 있다.

나. 유량비(flow ratio) 변화에 따른 유동특성

Fig.3은 유량비가 0.96일 때의 순간 및 시간평균 속도벡터 분포를 나타낸 것이다. 유량비가 0.94인 경우와 비교했을 때 벡터들의 분포가 불규칙하게 나타나고 있다. 이와같은 현상은 유입되는 작동수의 속도가 0.94일 때 보다 더 빠르기 때문에 서로 다른 속도로 유동하고 있는 유체입자들이 혼합되면서 편류현상이 발생하는 것으로 사료된다. 편류현상의 형성으로 인해 유체입자들의 올바른 재순환이 이루어지지 않기 때문에 내관 상단부에서의 속도선도는 낮게 나타나고 있다. 이처럼 강한 선회도(swirl)를 유지하고 빠른 재순환 영역을 형성시키기 위하여 유입유량을 높이다보면 내관 상단부에서 편류현상(drift phenomenon)이 생겨 기포의 발생과 산소와의 혼합도가 떨어지는 등의 현상이 발생할 수 있다고 사료된다.



(a) Flow ratio : 0.96, Nozzle tip agreement



(b) Flow ratio : 0.96, Nozzle tip outer

Fig. 3. Instantaneous velocity vectors distribution

4. 결 론

고농도 폐수처리 장치인 HCR에 PIV를 적용하여 노즐 팁 위치 변화와 유량비 변화에 따른 유동특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PIV로 유동장을 계측한 결과 계측 영역별로 상이한 유동을 관찰하였다. 외부 혼합식 two-phase nozzle에 의해 공기와 작동수가 혼합하여 혼상류 형태로 분사되어지면서 내관을 빠른 속도로 통과하며, 하단부에서는 충돌판에 액적들이 부딪히면서 에디(eddy)가 형성되고, 이 액적들은 외관을 통해 상승한 후 다시 내관으로 유입되는 재순환 흐름을

보였다.

2. 시간평균 속도벡터의 경우 유동장 전반적인 흐름을 파악할 수 있었으며, 내관을 중심으로 하여 거의 좌우 대칭인 유동형태를 유지하였다.

3. 유동 특성을 좀 더 가시화하기 위해 시간평균 속도 성분을 속도선도로 나타내었을 때 노즐 팁 위치 변화에 따라서 분사되는 각의 차이를 파악할 수 있었으며, 결과적으로 노즐 팁이 노즐과 일치할 경우 적절한 분사각이 이루어짐을 알 수 있었다. 유량비 변화에 따라서는 유량비가 0.96일 때, 상단부에서 편류현상이 발생하며 이러한 현상은 유동장의 흐름을 불규칙적으로 변화시켜 액적들의 유동속도를 저하시키게 된다.

4. 운동 에너지 분포의 경우 순간 속도벡터 분포에서 본바와 같이 축방향으로 내관의 중앙부에서 크게 나타나고 있으며, 반경방향으로 운동 에너지는 점차 작게 나타났다.

5. 난류 강도 분포는 노즐 팁이 노즐로부터 10mm 내려와 있는 경우와 유량비가 0.96일 때 내관 벽면에서의 전단력 또는 마찰력으로 인한 저항과 속도구배에 의해 생성된 에디들에 의해 크게 나타났다.

6. 전체적으로 종합해 볼 때 본 연구에서 PIV를 적용하여 고농도 폐수장치인 HCR의 유동특성을 고찰해 본 결과 노즐과 노즐 팁이 일치할 때, 그리고 유입 유량과 유출 유량의 비가 0.94일 때 전반적으로 유동이 가장 빠르고 규칙적으로 나타남을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 정진도, 황승민, "고농도 환경처리용 HCR 및 노즐개발", 호서대학교 산학협동 연구보고서, 1997. 7
2. 정진도, 황승민, 이영호, "PIV에 의한 HCR의 유동특성에 관한 연구", 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문집(Ⅱ), pp. 243~244, 1999
3. 도덕희, " PIV(입자 영상 속도계) 계측 기술", 기계저널, 제38권, 제10호, pp. 36~41, 1998
4. 최장운, 조대환, 이영호, "PIV에 있어서 입자추적 기법의 개선". 대한기계학회지 추계학술대회 논문집, 제2권, pp. 360, 1993
5. Ardrian R. J., "Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics", Ann. Rev. Fluid Mech., Vol. 23, pp. 261~304, 1991
6. 이영호, 최장운, 서민식, "멀티미디어 대응 상용 PIV의 국산화 개발에 관한 연구", 한국과학재단 산학협력 연구보고서, 1995
7. Y. H. Lee, J. W. Choi, "An Introduction to PIV(Particle Image Velocimetry) -Principle & Application-", Flow Informations Lab., Korea Maritime Univ. & Image Information Technology Co., Ltd., 1999
8. CACTUS '97, (주)아이아이티, 1997
9. 서민식, "CFD 및 PIV에 의한 이중원관 제트의 유동특성에 관한 연구", 한국해양대학교 석사학위논문, 1998
10. http://pivlab.kmaritime.ac.kr/