

PIV실험을 통한 급확대 축소 개방채널에 설치된 배플 주위의 유동장특성 이철재†

(원고접수일 : 2011년 2월 21일, 원고수정일 : 2011년 3월 14일, 심사완료일 : 2011년 5월 31일)

Characteristics of Flow Field around Baffle Located Sudden Expansion and Contraction Open Channel using PIV Measurements

Cheol Jae Lee†

요 약 : 급확대 축소 채널에 설치된 배플 주위의 유동장을 PIV기법으로 측정하고, 배플의 높이 변화에 따른 영향을 평가하였다. 유입유속과 배플 높이는 배플 후방의 재순환흐름에 크기와 유동패턴 및 배플의 상부를 지나는 수력점프 영역의 크기에 상호 영향을 준다. 레이놀즈수 $Re=4 \times 10^3$ 의 경우 유입유속의 증가에도 유속이 낮아지는 배플의 임계높이는 $h/H=1.6$ 전후로 추정된다.

주제어 : 벽면제트, 급확대 축소부, 채널유동, 입자영상유속계, 배플

Abstract: The flow field around baffle located sudden expansion and contraction channel was measured by PIV method and the effect according to height change of baffle built in the flow field was evaluated. The inlet flow velocity and the baffle height influence mutually to the size and flow pattern of the recycle flow of the back of the baffle and the size of the area of the water power jump passing the upper part of the baffle. In case of Reynolds number $Re=4 \times 10^3$, the critical value of baffle height is estimated around $h/H=1.6$ and there was a decreasing tendency as the inlet flow velocity was increased.

Key words: Wall jet, Sudden Expansion and Contraction part, Channel Flow, Particle image velocimetry, Baffle

1. 서 론

입자영상유속계를 이용한 측정은 1980년대 후반부터 영상처리 및 컴퓨터 기술의 발달로 관련 장비의 개발과 전유동장을 동시에 측정하려는 연구자들에 의해서 활발히 연구되기 시작하였다[1-2]. 국내에서 관련 연구는 1990년대 초반부터 이에 관련된 연구들이 발표되기 시작하였으며 주로 성능개선에 관한 연구들이 주류를 이루었다[3]. 또한 레이저 산업의 발달에 따른 높은 출력의 광원을 이용할 수 있음에 따라 회류수조 내부에 설치된 물체주위의 유동장의 측정이나 대형풍동에서 입자영상유속계를 이용한 속도장의 측정이 가능해 졌다. 그리고 입자영상유속계를 적용하는 측정기술의 발달과 다양한 응용기법이 개발됨으로서 오염물질의 측정이

나 온도장을 포함한 여러 물리량을 동시에 측정하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[4-6]. 입자영상유속계는 유동장의 훼손이 없는 상태에서 동시다점으로 전유동장을 측정할 수 있는 다른 측정기법과 차별되는 장점을 갖고 있으므로 여러 유동현상이 동시에 나타나는 복합유동장이나 비정상유동을 측정하는데 적합하다.

급확대 축소부는 유동의 단면적이 일정하게 유지되기보다 여러 목적에 따라 유로의 형상이 변화할 수밖에 없는 산업현장에서 접하게 되는 유동장으로 공학적으로 매우 중요하다. 이 유동장은 다양한 유동현상이 동시에 중첩되어 나타나게 되는 복합유동장이며 지금까지 주로 원형관로 등에 적용하기 위한 연구가 주류를 이루고 있다[7-8]. 그러나 개수

† 교신저자(동명대학교 자동차공학과, E-mail:lcj@tu.ac.kr, Tel: 051-629-1625)

로 유동이나 채널유동의 경우 유체의 혼합 등의 특별한 목적을 달성하기위해 급확대 축소부가 형성되게 되므로 내부에 배플 등의 부가물이 있는 경우가 대부분이다. 개방채널에서 급확대부의 경우 내부로 분출되는 벽면제트유동은 전단층과 경계층이 함께 존재하며 난류장을 형성하는 전형적인 유동모델이며 유동장은 수면의 높이, 입구게이트의 높이 및 입구유속 등이 매우 중요한 변수가 된다[9-12]. 배플이 있는 경우 이를 입구조건으로 하는 유동장은 벽면제트 유동의 범주에 급격한 기하학적 변화로 인한 유선 곡률효과가 있으므로 입구에서 박리 및 재부착이 형성되는 등 복잡한 난류장을 형성하게 된다. 이러한 복잡한 난류장의 유동현상을 규명하는데 있어서 입자영상유속계는 전 유동장의 속도계측을 동시에 할 수 있으므로 매우 효과적이다.

이 연구에서는 급확대 축소부에 배플이 설치된 개방 채널 내부유동장을 대상으로 PIV기법을 적용하여 전 유동장의 속도분포를 계측하고 내부 유동특성을 고찰하였다. 특히 배플 높이의 변화가 후방의 재순환흐름에 미치는 영향을 평가하여 관련 분야의 연구자들에게 기초자료의 제공을 목적으로 한다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 실험장치구성이다. 실험에 채택된 배플의 높이는 1.2H, 1.4H, 1.6H 및 1.8H의 네 가지 경우이다. 실험결과를 무차원화 함에 있어 유입부의 높이(H)를 대표 길이로 하였으며 계측영역은 유입영역(Region "A")과 배플주위영역(Region "B")로 구분하여 고찰하였다. PIV계측을 위한 실험 장치는 크게 레이저(광원)장치, 영상획득 관련 장치 및 데이터처리장치의 세 가지로 구분된다. 레이저 관련 장치는 광원(아르곤이온레이저, 5W)과 평면 광을 유동장에 조사하는 광케이블 및 원통형 렌즈로 구성된다. 아르곤이온레이저는 수냉식으로 이동이 어려운 경우 다이오드레이저를 사용하였다. 그리고 영상 획득 장치로는 기록용 고속카메라(FASTCAM-X, 1280 × 1024 pixel)를 사용하였고 별도로 데이터를 저장하는 보조기억장치를 이용하였다. 속도계측을 하기 위한 데이터처리 시스템은 상용 PIV계측소프트웨어인 CACTUS 3.1을 이용하였다.

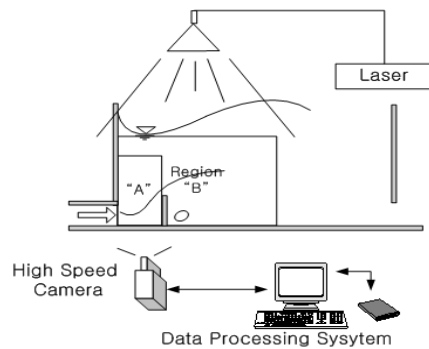


Figure 1: Experiment Setup

급확대 축소부의 실험 유동장의 규격은 높이와 폭 그리고 길이가 250mm×290mm×1,000mm이다. 유동장은 수동 내에 고정하여 실험하였으며, 벽면제트의 유입조건이 가능하도록 입구높이를 25mm로 고정하고 이를 대표높이로 결과데이터의 무차원화에 이용하였다. 배플은 유입영역과 채널 영역의 경계를 구분하게 되므로 실험 유동장의 벽면을 엔드밀로 정밀 가공하여 홈을 만들어 교체가 가능하도록 하였다. 배플의 위치는 벽면제트의 유입구로부터 1.5H이며 배플의 두께는 0.08H이다. 계측영역의 좌표는 유입부로부터 1.5H의 위치를 기준점($x/H=0$)으로 하여 설정하였다.

실험에 사용된 입자는 PVC(poly vinyl chloride)이다. 추종성이 우수한 입자만을 선별하기 위해 우선적으로 100 μ m에서 150 μ m의 규격 망을 이용하여 직경별로 구분하고 임시수조에 부유시켜 침강성이 큰 입자와 표면에 떠있는 입자를 제거하고 수중에 부유하는 입자만을 이용하였다. 가시화 실험은 선별된 입자를 유동장에 고루 분포하고 약 2mm 두께를 갖는 시트라이트를 계측영역에 조사하여 수행하였다. 가시화 실험에서 벽면으로부터 반사된 광원과 자유표면에서 산란된 그림자는 계측영상에 잡음성분으로 작용하게 되며 계측오차를 초래하게 된다. 실험에서는 벽면은 흑색의 무광 시트지를 붙이고 자유표면은 0.1mm의 셀룰로오스 지를 표면에 부유시켜 연동되어 움직이게 함으로서 이러한 문제점을 개선하였다. PIV계측에 활용한 영상은 충분히 발달된 유동장에 대해 2,000프레임의 영상을 획득하여 유동장의 속도를 계측하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 입구유속변화에 따른 영향

그림 2는 배플의 높이가 $h/H=1.6$ 일 경우 계측 영역 "A"의 수직속도분포를 유입속도의 변화에 따라 나타낸 결과이다. 레이놀즈수 $Re=4.8 \times 10^3$ 까지는 배플 전방의 등속도 분포특성이 유사하게 나타나고 있다. 또한 배플 전방에 수직속도성분이 0.05m/s 인 지점을 등고선으로 연결한 결과를 보면 레이놀즈수가 증가할수록 그 영역이 타원 형상에서 삼각형상으로 변화하며 커지고 배플과의 간격도 좁아지는 것을 알 수 있다. 이것은 유입유속이 증가함에 따라 유선곡률이 변화하기 때문이며 배플전방의 압력분포와도 밀접한 연관이 있다.

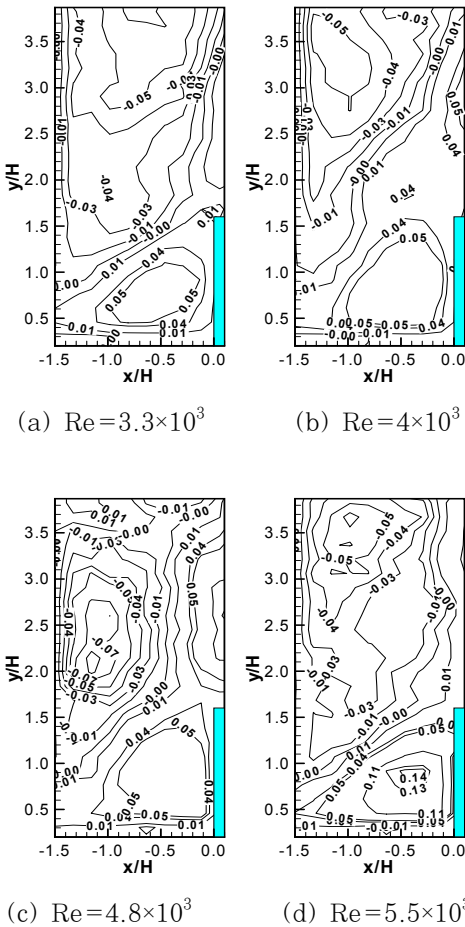
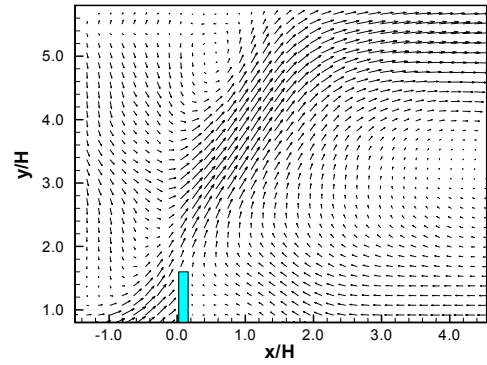
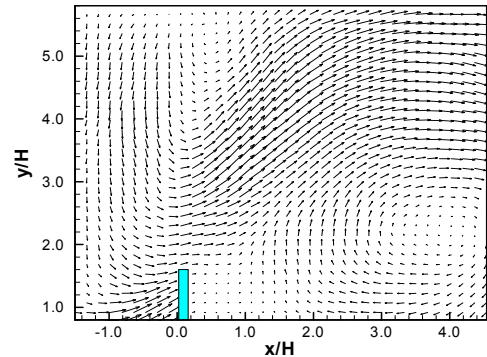


Figure 2: Equi-velocity distribution at measuring region "A", ($h/H=1.6$)

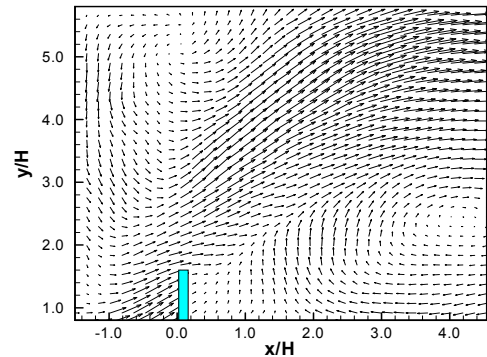
그림 3은 배플의 높이가 $h/H=1.6$ 일 경우 계측 영역 "B"의 전체 속도분포를 레이놀즈수의 증가에 따라 나타낸 것이다. 사진 1에서 전체적인 유동형태를 보면 배플의 후방에 큰 규모의 재순환 흐름이 나타나 있고 $Re=4 \times 10^3$ 까지는 배플상부 $y/H = 5.0$ 부근에 유입류에 의한 2차 와류가 형성되고 있다.



(a) $Re=2.5 \times 10^3$



(b) $Re=3.3 \times 10^3$



(c) $Re=4 \times 10^3$

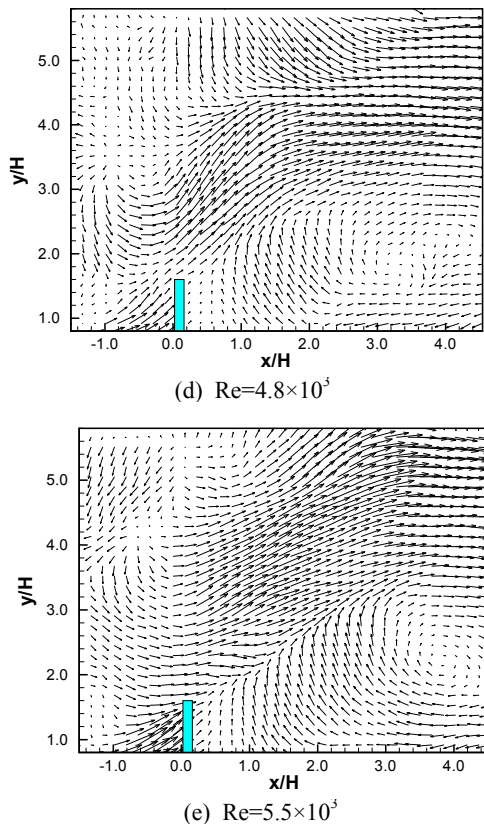


Figure 3: Velocity vector distributions at measuring region "B", ($h/H=1.6$)

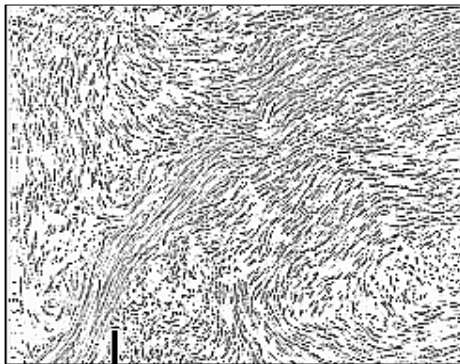


Photo 1: Image of Flow field, ($h/H=1.6$)

이 이상의 레이놀즈수의 경우 배플상부의 수력점프(Hydraulic Jump)에 의한 영향이 커짐에 따라 스펜방향으로의 3차원 유동현상이 증가하고 있다. 계측 결과 배플의 높이가 $h/H=1.6$ 일 경우

$Re=4.8 \times 10^5$ 전후가 이러한 현상의 임계레이놀즈수로 추정된다. 그림 3(c)과 그림 3(e)의 경우를 비교해 보면 재순환 유동과 유입류의 경계에서 나타나는 유동형태가 서로 다른 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 3(e)의 경우 전단혼합영역이 비교적 뚜렷하게 나타나는 것은 유입류의 운동에너지가 상대적으로 강하기 때문이며 이보다 레이놀즈수가 증가할 경우 유량도 함께 증가하게 되므로 수위가 상승하게 된다.

3.2 배플의 높이 변화에 따른 영향

그림 4는 배플의 높이 변화에 따른 영향을 평가하기 위해 레이놀즈수 $Re=4 \times 10^3$ 의 경우에 대하여 $h/H=1.2$ 에서부터 0.2간격으로 증가시켜 $h/H=1.8$ 까지 4가지 경우의 결과이다. 실험에서는 유입부 높이에 대한 수위의 비(H_w/H)를 자유표면의 영향으로 일정하게 유지하기는 어려우나 $H_w/H=6.5 \pm 0.5$ 전후로 유지하였다. 설명의 편의를 위해 유입 대표길이를 기준으로 무차원 길이 1.0의 증가에 따라 보조선을 두고 0.06m/sec에서부터 0.01m/sec의 간격으로 등속도선을 속도벡터분포와 함께 나타내었다. 배플 상부, $y/H=3.5$ 근방의 속도분포를 보면 배플의 높이가 증가함에 따라 비례적으로 증가하고 있으나 $y/H=2.0$ 근방의 경우 0.1m/sec의 등속도영역이 증가하다가 $h/H=1.6$ 이상에서 오히려 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 $x/H=-1.0$ 의 위치에서도 관찰되며 배플높이가 내부유동에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그림 5는 이러한 현상을 보다 체계적으로 검토하기 위해 $y/H=2.0$ 의 위치에서 $x/H=-1.0$ 에서 $x/H=4.0$ 까지 수평속도 및 수직속도성분을 추출하여 나타낸 것이다. 전체적인 경향은 $h/H=1.6$ 을 기준으로 경향이 변화하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 유입각의 변화에서도 동일하게 나타난다. 그림 6은 배플높이 변화에 따른 유입각을 나타낸 것이다. 배플의 높이가 증가할수록 유입각이 증가하다가 $h/H=1.6$ 을 경계로 오히려 감소하는 결과를 나타내고 있다.

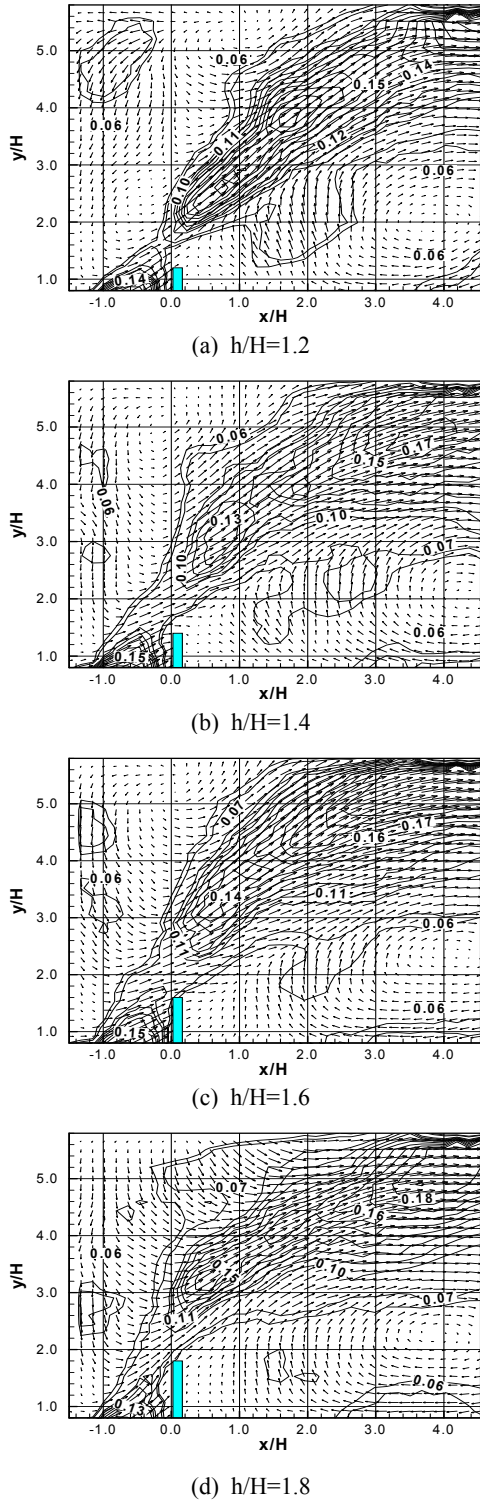


Figure 4: Equi - velocity distribution at $Re=4 \times 10^3$

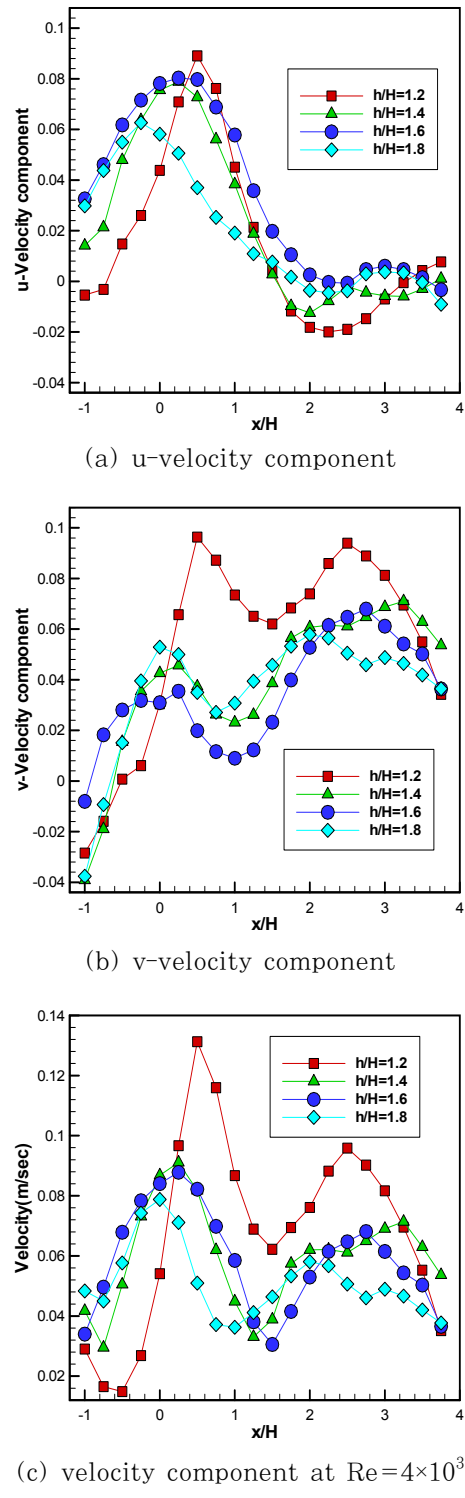


Figure 5: Comparison velocity component at $y/H=2$

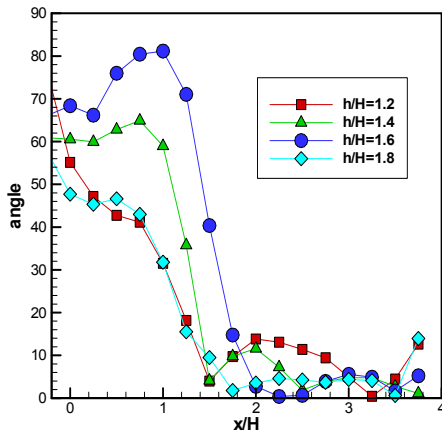


Figure 6: Comparison inlet angle at $Re=4 \times 10^3$

4. 결 론

이 연구에서는 급확대 축소부에 배플이 설치된 개방 채널 내부유동장을 대상으로 PIV기법을 적용하여 유동특성을 고찰하였다. 급확대 수축 개방채널에 설치된 배플의 높이는 수축부 전방의 재순환흐름에 크기와 유동패턴에 큰 영향을 주며, 수력점프 현상에도 영향을 미침을 알 수 있었다. 레이놀즈수 $Re=4 \times 10^3$ 의 경우 유입유속이 증가에도 유속이 낮아지고 유입각이 감소하는 배플의 입계높이는 $h/H=1.6$ 전후 었다.

참고문헌

- [1] L.Hesslink, "Digital Image Processing in Flow Visualization", Annu. Rev. Fluid Mech. pp.421-485, 1988.
- [2] J.Massons, J.Gavalda, F.Diaz, Image processing of Cylinder Wake Generation, Phys. Fluids A vol. 1, no. 8, pp. 1415-1423, 1989.
- [3] 이영호, 김춘식, 최장운, PIV의 성능개선에 관한 연구, 한국마린엔지니어링학회지, 제18권 제3호, pp. 284-292, 1994.
- [4] 최상범, 조대환, 최주열, PIV를 이용한 단순 물체 후류의 유동특성에 관한 연구, 한국마린엔지니어링학회지, 제35권 제1호, pp. 89-95, 2011.
- [5] Young-Ha Koh, Sang-Kyoo Park, Hei-Cheon Yang and Yong-Ho Lee, A Study on flow characteristics of polluted air in rectangular tunnel models using a PIV System, J. Korean Society Marine Engineering, vol. 34, no. 6, pp. 825-832, 2010.
- [6] Dae-Seok Bae, Long-Ji Cai and Eunpil Kim, An Experimental investigation of unsteady mixed convection in a horizontal channel with cavity using Thermo-Sensitive liquid crystals, J. Korean Society Marine Engineering, vol. 33, no. 7, pp. 987-993, 2009.
- [7] 고영하, 원형단면 노즐의 급확대 축소부를 통한 유동손실에 대한 연구, 한국마린엔지니어링학회지, 제24권, 제6호, pp. 761-767, 2000.
- [8] 김차환, 임종한, 이종원, 급확대-급축소관의 종횡비 변화에 따른 유동특성에 관한 연구, 한국항공우주학회지, 제20권 제1호, pp. 14-26, 1992.
- [9] 설광원, 다단 후래시 증발실험 장치의 설계제작 및 이의 성능 시험에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위 논문, pp. 1-26, 1986.
- [10] 방병렬, 설광원, 이상용, "평면벽면분류의 유입경계조건을 가지는 개수로 유동 및 배플의 영향에 관한 실험적 연구", 대한기계학회논문집, pp. 1399-146, 1988.
- [11] W. X. Jin and S. C. Low, Investigation of single phase flow patterns in a model flash evaporation chamber using PIV measurement and numerical simulation, Desalination, vol. 150, no. 10, pp. 51-63, 2002.
- [12] A.D.Khawaji, I.K.Kutubkhanah and J.M. Wie, "Advances in seawater desalination technologies"m Original Research Article Desalination, vol. 221, pp. 47-69, 2008.

저자 소개**이철재(李哲載)**

1995년 동아대학교 대학원 졸업(공학박사), 현재 동명대학교 자동차공학과 교수