

원형실린더의 벽면효과에 관한 연구

배봉갑* · 오우준** · 최민선*** · † 조대환*** · 이경우***

*(주)코레코, **목포해양대학교 대학원, ***목포해양대학교 교수

요약 : 선박에서 주로 채택되는 열교환기는 쉘튜브형과 판형열교환기로 분류된다. 이 연구에서는 소형쉘튜브형 열교환기의 설계에서 중요한 요소인 냉각튜브와 벽면과의 간격에 따른 유동특성을 입자영상유속계를 이용하여 계측하였다. 연구 결과 벽면과의 거리변화에 따른 임계간격비는 0.25전후로 추정되었으며 벽면효과에 따른 정량적 데이터를 확보하였다.

핵심용어 : 원형실린더, 벽면효과, 냉각튜브, 입자영상유속계, 임계간격비

1. 서론

선박용 열교환기는 구조적으로 안정되고 보수가 비교적 쉬운 쉘과 튜브로 구성된 열교환기가 주류를 이루고 있다. 이와 관련된 기술 개발은 재료 관련 기술 발전에 따라 튜브의 직경을 늘어나고 열전달 특성이 개선된 만큼 튜브 개수를 줄여 열교환기를 구성하는 부품들의 최소화하는 등 제조원가와 관련된 공정 개선의 차원에서 이루어지고 있다. 이러한 기술이 설계에 적용되기 위해서는 열교환기의 간격, 벽면과 튜브사이 및 튜브의 배열에 대한 비정상 유동 특성에 대한 해석이 매우 중요하다. 특히 튜브뱅크와 열교환기 내부 벽면 사이의 상호 간섭에 의한 유체의 작용력에 대한 정량적인 자료와 정보는 관련분야의 중요한 기초자료가 된다.

Suzuki 등(2000)은 PIV 계측방법을 통하여 관군내의 유동장 해석을 행하였고 노(2009) 등은 원통 다관식 열교환기를 대상으로 관군 주위의 유동장 특성을 PIV를 이용하여 파악하였다. 레이놀즈 수 $Re=4.0 \times 10^5$, 피치비 $P/D=2.0$ 로 고정 시킨 상태에서 관군 주위의 속도벡터, 속도분포 등 와도선 및 각 원주 후류속의 스트로할 수(Strouhal number)와 관군 후방의 평균 속도분포를 측정하고 정렬배열에 비해 엇갈림배열의 속도분포가 평균적으로 훨씬 작게 나타났음을 보고 하였다. 그러나 현재까지의 연구 및 조사는 소수의 제한적인 이론적 연구 외에는 주로 대형 열교환기의 열전달 성능향상을 위한 실험적 연구가 대부분을 차지하고 있다.

이 연구에서는 선박에서 사용되는 공기조화기의 난방용 열교환기 뿐만 아니라 소형 열교환기의 튜브 배열에서 가장 많이 채택되고 있는 정방형 배열을 갖는 열교환기를 대상으로 횡유동에 의한 벽면과 튜브상호간의 간섭에 따른 비정상유동 특성을 PIV실험에 의해 고찰하였다. 연구 결과는 선박용 소형 쉘튜브형 열교환기와 공기조화기의 기초설계에 유용한 설계 자료로 활용될 것으로 예상 한다.

2. PIV 계측

실험에 사용한 소형회류수조의 전체길이는 1,200 mm이고 시험부의 유입단면은 가로(W), 세로(h) 300 mm이다. 유입유속은 0.15m/sec의 자유류 속도를 가지며 난류강도는 1.5% 이내로 유지되었다.

Fig. 1은 유동장의 계측단면을 개략적으로 보이고 있다. 자유표면의 영향을 받지 않는 구간의 높이는 최소 8D, 후류의 영역은 40D 이상이 되도록 하였다. 원형실린더는 표면이 매끄러운 아크릴재질이며 직경(D) 20mm, 축 방향의 길이(L) 300mm이다. 벽면의 영향을 고려하여 영향을 받지 않도록 실린더의 형상비(aspect ratio, l/d)는 15, 차폐비(blockage ratio, D/W)는 6.7%이다. 실험에 적용된 원형실린더의 좌표축은 평행하게 설치되어있는 실린더에서 y축 방향의 중앙부를 원점으로 하여 주유동의 방향을 x, 실린더 길이방향을 z, 주유동의 수직 방향이 y축 이다. 계측 영역은 원점을 기준 하여 y축 방향 3.5D, x축 방향으로 6.5D이다. 유동가시화는 레이저광을 유동장의 전 영역에 조사하고 직경 100 μ m 정도의 PVC(poly vinyl chloride, $CH_2CH(Cl)$) 백색 구형입자를 유동장에 분포시킨 뒤 충분히 발달된 유동장의 영상을 기록하였다.

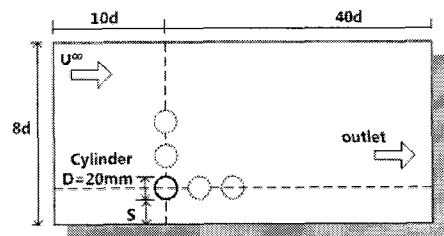


Fig. 1 Domain of flow field

PIV계측에서 채택한 방식은 계조치 상호상관법이며 속도벡터는 PIV 전용소프트웨어로 후처리를 하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 간격비, $S/D=0.2$ 에서 $S/D=0.3$ 까지 유선도로서

* 정희원, bgbae@mmu.ac.kr 061)240-7200

** 정희원, wuonoh@mmu.ac.kr 061)240-7300

*** 정희원, cmscms@mmu.ac.kr 061)240-7217

† 교신저자 ***(정희원), dhcho@mmu.ac.kr 061)240-7217

*** 종신회원, kwlee@mmu.ac.kr 061)240-7307

$Re=3 \times 10^3$ 의 경우이며 PIV계측 결과이다. 일정류 중에 벽면 가까이에서 고정된 원주에 대해 벽면과 원주사이의 간격에 따라 흐름패턴이 어떻게 변화하는지 유동장 가시화 실험으로 파악하고 PIV기법으로 속도를 계산 하였다.

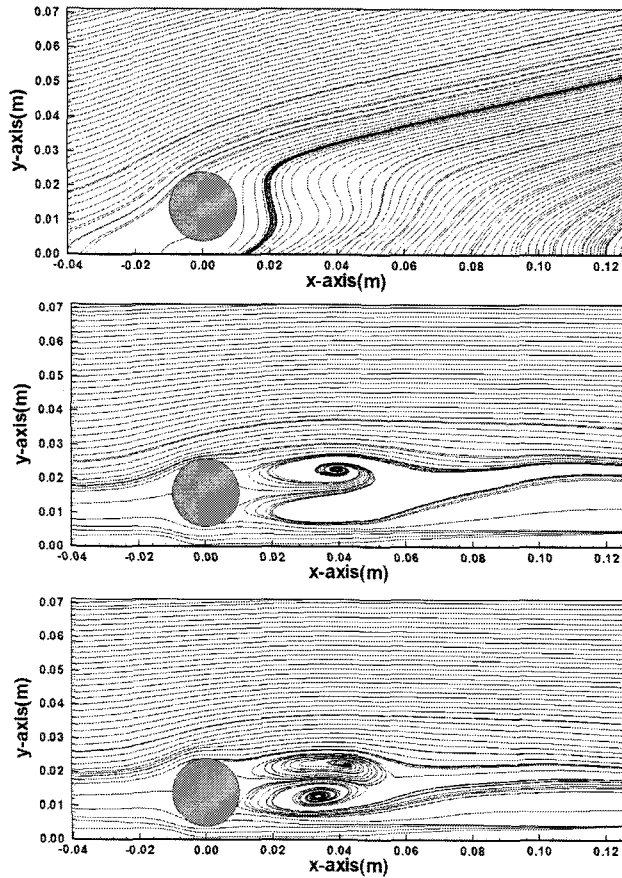


Fig. 2 Streamlines at $Re=3 \times 10^3$ by PIV

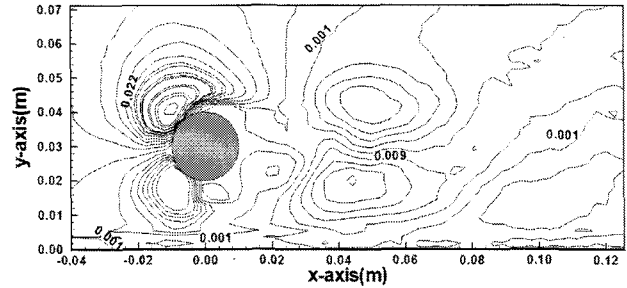
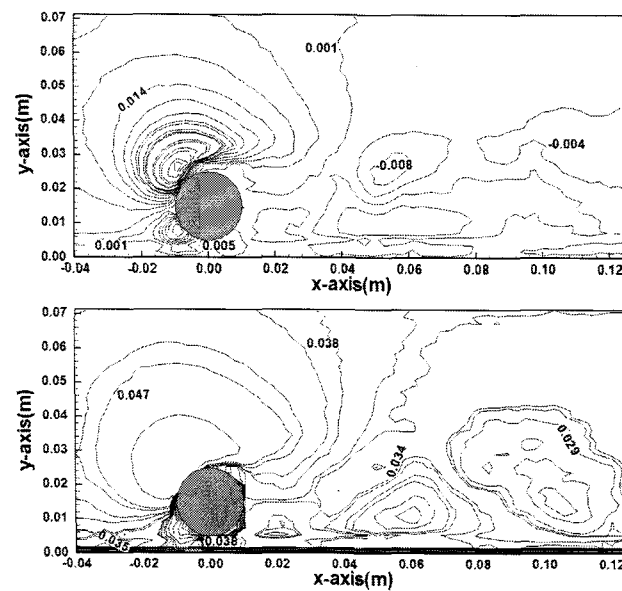


Fig. 3 Equi-v velocity component at $Re=3 \times 10^3$ by PIV

원주에 있어서 양력발생은 일정 전단류 중에 놓여 있을 때 주류속도구배가 원주주위의 압력분포를 비대칭으로 만들기 때문에 양력이 발생하며 이는 벽면 등 경계면 가까이 놓여 있을 때 발생하는 지면효과와 유사한 현상이다. 실험은 원주의 벽면과의 거리를 $S/D=0.05$ 부터 0.05만큼 증가시키며 수행 하였으며 그림에는 나타나 있지 않으나 유선도와 속도 분포를 확인 한 결과 $S/D=0.2$ 까지는 Fig. 2(a)와 유사한 경향을 보이고 Fig. 2(c) $S/D=0.3$ 이후의 경향도 Fig. 2(c)와 대체로 유사하게 나타났다. Fig. 2(b)는 $S/D=0.25$ 의 결과로 원주의 후류에 비대칭의 와류가 나타나기 시작하고 있다. 이러한 현상은 Fig 3의 수직 등속도 분포에서 보다 명확하게 확인 되며 이 부근이 임계간격비로 추정된다.

4. 결 론

이 연구에서는 선박용 소형 열교환기의 튜브 배열에서 가장 많이 채택되고 있는 정방형 배열을 갖는 열교환기를 대상으로 횡유동에 대한 튜브의 벽면효과를 PIV실험에 의해 고찰한 결과 $S/D=0.25$ 의 전후로 원주의 후류에 비대칭의 와류가 나타나기 시작했으며 $S/D=1.5$ 전후에서 칼만와류가 재현되었다. 따라서 임계간격비는 $S/D=0.25$ 전후로 추정된다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참 고 문 헌

- [1] T. Suzuki, Y. Ochiai, T. Oda and K. Hosotani, "A challenge to Pattern Recognition in Complex Flows (An Application of Proper Orthogonal Decomposition method to Flows passing a Cross a Tube Bank)", 9th. International Symposium on Flow visualization, pp. 1-10, 2000.
- [2] 노기덕, 박지태, 변용수, "PIV를 이용한 정렬 및 엇갈림 배열을 가진 관군을 지나는 유동장의 가시화", 한국마린엔지니어링학회지 제33권 제1호, pp. 44~51, 2009.