쇄파가 발생하는 2차원 실린더 주위 점성유동장의 유동해석에 관한 연구

신 용 헌* · 현 범 수**

Study on the Flow in Viscous Flow Field around Breaking & Non-Breaking Waves Generated by a Submerged Cylinder

Yong-Hon Shin · Beom-Soo Hyun

Abstract

An experimental study has been carried out at circulating water channel to investigate the non-breaking and breaking waves generated by a submerged circular cylinder steadily moving under the free surface. Free surface profiles observed at various submerged depth and velocity of cylinder were complemented by the measurements of the pressure distribution on cylinder surface as well as the head losses, velocity distribution, turbulence intensity distribution and velocity distribution using PIV(Particle Image Velocimetry) technique occurring at the wakes of cylinder and breaker, and their mutual correlation was investigated. It was found that the process of wave breaking proceeded with the following sequence; the generation of steady non breaking wave, its growth, appearance of breaker and consequent decrease of steady wave, and finally predominance of turbulent breaker, as the submergence depth was deceasing. The inception wave-breaking occurs at the inclination angle of 12 degree approximately. The effects of submerged depth on pressure distribution were characterized by the increase of static pressure and the delay of separation point on upper side of cylinder as its depth was decreasing. The measured head loss distribution showed the increase of head loss at breaking wave region and even the merging of the wakes of breaker and body at shallow

* 한국해양대학교 조선공학과 대학원 석사과정 선박유체 전공

** 한국해양대학교 조선공학과 교수

submergence. It was found that the head loss profile is a excellent indicator of the strength and region of breaker. The measured turbulent intensities showed the dramatic increase of turbulence level near the breaker, implying the faster decay of turbulence than that of head losses shown. The detailed structures of the vertical flow is obtained from the velocity field measured by PIV technique. The vorticity distribution behind the breaker and cylinder well demonstrate the vortices shedded from the cylinder as well as those originated from the breaker. It has been obvious that the vortices from breaker greatly affect the whole wake field at the ratio of submergence depth and cylinder diameter(S/D) is 1.0.

1. 서 언(Introduction)

1.1 연구배경

물 위나 물 속을 움직이는 물체가 받는 저항은 기본적으로 점성에 의한 마찰저항, 물체가 움직이면서 자유표면에 생성되는 파에 의한 조파저항, 자유표면의 파가 깨지면서 생성되는 쇄파저항 그리고 이외에 여러 가지의 저항성분이 있을 것이다. 선박의 관점에서 마찰저항과 조파저항의 성분에 대한 연구는 과거 오랜 시간에 걸쳐 연구가 되어왔다. 그러다 보니 이제는 거의 한계에 가까운 수준에 이르게 되었다. 그러한 시점에서 다른 저항성분으로 관심을 돌리게 되었는데, 그 새로운 관심의 대상이 된 저항성분이 바로 쇄파저항(Wave Breaking Resistance)이였다

쇄파저항이란 선박이나 해양구조물과 같이 수상에 떠 있는 물체나 수중익을 설치한 고속선이 움직이게 되면 자유표면에는 파가 형성되고, 그 파도가 어떤 한계상황을 넘어서게 되면 쇄파(Wave Breaking)가 발생하게 되는데, 쇄파가 발생하게 되면 물체의 저항은 증가하게 된다. 이 때 증가한 만큼의 저항을 쇄파저항이라 말한다. 근래에 들어 쇄파현상의 해석을 통한 쇄파저항에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있다

1.2 과거 연구내용 고찰

물체의 저항성분 중 쇄파저항에 대한 연구를 시작한 사람은 Baba(1969년)[1]였다. Baba는 쇄파의 영향은 쇄파발생이 전수두손실의 증가, 즉 Reynolds 수에 지배되는 점성저항의 증가를 유발한다는 내용의 논문을 발표하면서 쇄파저항에 대한 관심을 불러일으켰다

Collection

그 이후 쇄파현상에 대한 본격적인 연구는 1981년에 Duncan[2]에 의하여 이루어졌는데, Duncan은 일정 받음각을 갖고 일정 속도로 움직이는 충분히 깊이 잠긴 2차원 날개 뒤에서의 파의 형태, 수직 속도분포, 전수두손실를 계측한 값들을 통하여 볼 때 다음 2가지 형태의 항력(Drag)이 날개에 작용한다는 것을 밝혔다. 하나는 때때로 날개 뒤에서 발생하는 파의 첫 번째 파정의 앞에 생성되는 난류쇄파영역의 형태로, 하나는 정상적인 파의 형태로 작용한다는 것이다. 그리고 초기쇄파(Breaking Inception) 때에는 유입유동의 상태에 따라 파정부근에서 쇄파현상이 간헐적으로 나타남을 밝혔다. 또한 쇄파가 일어나는 한계 Froude 수와 물수체의 물수심간의 관계를 도출하였다. 그리고 쇄파에 의한 운동량 결손(즉, 저항증가)은 쇄파영역의 크기와 파경사각에 비례함을 밝혔으며, 파경사각이 17° 이나 그 이상이 되면 정상쇄파(Steady Breaking)가 발생한다는 것과 반류(Wake) 계측결과를 통해 쇄파가 발생하면 이론적으로 쇄파가 발생하지 않을 때보다 항력이 3배나 더 크게 나타나는 현상 등을 발견하였다

1994년에는 Raymond & Marshall[4]에 의하여 Duncan의 실험적 연구와 연결한 정상쇄파체에 대한 이론적인 연구가 수행되었다. 그들은 Foil을 뒤따르는 파형의 첫 번째 파형의 앞쪽면 위에 가만히 올라타고 있는 정체와류(Stagnant Eddy)로 구성되어진 쇄파의 물리적인 모형을 받들어 연구하였다. 이 와류는 와류와 하부유동(Underlying Flow)으로 분리하는 전단영역(Shear Zone)의 난류응력에 의해 떠 받쳐지는데, 이 응력은 자유표면 바로 밑을 따르는 난류에 의해 생성된다는 것을 밝혔다. 또한 쇄파와류(Breaking Eddy)는 쇄파가 발생할 때 기포를 포함하게 되는데, 여기서 공기포함 정도는 쇄파현상의 해석에 중요한 변수로 작용한다는 것을 알아내었다

그리고 와류쇄파체(Eddy Breaker)의 모형은 전단영역에서 난류 전단응력의 독립적인 계측을 이용하여 구할 수 있으며, 또한 이 모형은 와류 아래의 경계유선(Dividing Streamline) 위에서의 정수압력의 작용이 쇄파가 사라진 상태에서 존재하는 크게 상쇄된 형태의 잉여파(Residual Trailing Wave)를 생성한다는 것을 보여주었다. 그러므로 Hydrofoil의 저항은 명백히 잉여파의 운동량과 쇄파 발생지점 후방에서의 운동량(쇄파에 의한 저항)의 합이 되는 것을 알아내었다

그리고 쇄파가 존재하는 상태에서의 일정한 속도로 움직이는 Hydrofoil에 대한 전체 운동량, 또는 저항은 파경사(Wave Steepness)의 특정값과 최소 상응함을 보여준다는 내용의 연구 결과를 발표하였다

1997년에는 쇄파현상의 연구에 새로운 접근 방법으로 Sheridan[5]에 의하여 유동가시화 기법(PIV : Particle Image Velocimetry)이 사용되어졌다. Sheridan은 그의 논문에서 PIV 기법을 이용한 2차원 유동장에서의 순간속도와 와도 계측결과를 통한 자유표면과 와도 및 난류응력간의 관계 규명하기 위한 연구 결과를 발표하였다

Collection

1.3 연구방향

기존의 연구 중 자유쇄파를 제외하면, 강제쇄파의 경우에는 주로 수중익에 대한 연구가 주를 이루고 있으며 몰수 실린더에 대한 연구는 수중익의 경우에 비하면 매우 빈약한 정보만이 존재하고 있다. 그 이유는 여러 가지가 있겠으나 우선 수중익 문제가 실제 응용가치가 더 크며, 또한 Potential 해석방법으로는 실린더 문제를 푸는 것이 공학적으로 가치가 적기 때문인 것 같다. 그러나 실린더 주위 유동문제는 유체역학에서 가장 대표적인 성격을 지니고 있기 때문에 이에 대한 자료의 축적은 향후 본 문제에 관한 연구개발에 초석이 될 수 있을 것이다

본 논문의 주제는 쇄파의 물리적 특성파악과 아울러 몰수체의 반류와 자유표면과의 상호작용에 관한 기본적인 이해를 바탕으로 쇄파에 의한 유동장의 변화, 저항의 증가 등을 연구하여 궁극적으로 쇄파에 의하여 야기되는 와도 및 난류특성을 밝히는데 기본적인 자료를 제공하고자 하는 것이다. 여기서는 실린더의 몰수심과 Froude 수를 바꿔가면서 파형과 물체표면 압력분포를 계측하고, 쇄파발생 시 자유표면 부근에서 발생하는 수두손실, 난류강도, 속도분포 그리고 PIV를 이용한 자유표면과 물체 후류에서의 와도분포를 계측하여 쇄파에 의한 저항증가 영향을 조사하고자 한다

2. 모형, 실험장치 및 실험조건(Model, Facility & Experiments Condition)

2.1. 모형

본 논문에서 사용한 좌표계 및 실험전경은 Fig. 1과 같다

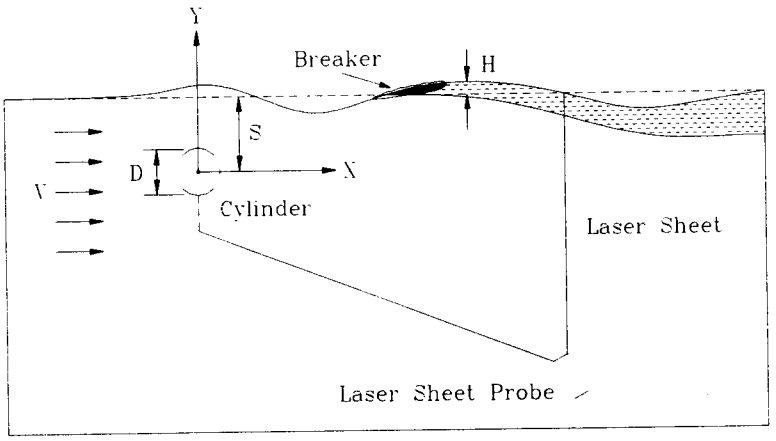


Fig. 1 Coordinate & Schematics of Experiment

dCollection

본 논문에서 속도 등 각종 물리량을 계측하기 위하여 사용된 모형은 직경 7㎝, 길이 1m(1.5m까지 확장 가능)인 원형 Cylinder를 사용하였다. 원형 실린더에 압력계측을 위하여 수조의 관측창으로부터 30cm 떨어진 곳에 원주방향 10° 간격으로 36개의 4㎜ 압력 Tap을 설치하여 실린더 표면에서의 압력을 계측하는데 사용하였다

2.2. 실험장치

본 논문의 실험은 한국해양대학교 이공대학 선형회류수조 실험실에 설치 되어있는 회류수조(Circulating Water Channel)에서 수행하였다. 회류수조의 전체 크기는 길이 12.5m, 폭 2.2m, 높이 5.2m이며, 본 실험이 행해진 관측부의 크기는 길이 5.0m, 폭 1.8m, 높이 1.2m이다. 수조의 발생유속은 0.1m/sec ~ 2.0m/sec까지 이다

수면에서의 Wave Profile을 얻기 위하여 회류수조의 관측창에 간격 5㎜의 격자가 그려진 OHP Film을 사용하여 유속과 물수심의 변화에 따른 Wave의 파정, 파저, 정수면과 만나는 점 등의 좌표를 얻어내어 Wave Profile을 구하였다. 실린더 후방에서의 전수두손실(Total Head Loss) 및 유속계측을 위하여 6㎜, 6Hole의 Pitot Tube를 사용하였다

난류강도의 계측은 Hot-Film Anemometer(열선유속계, TSI IHW100)를 사용하였다.

PIV 계측을 위해서 추적입자로는 비중이 1.1인 Vinyl Chloride Polymer를 사용하였으며, 조명장치로 6W Ar-Ion Laser, Fiber Optic Cable & Cylindrical Lens를 사용하였는데, 최적의 Laser Sheet를 형성하기 위해서는 수면 상부에서 조사하는 것이 좋으나, Breaking이 발생하면 Breaker에 의한 Laser의 산란으로 인한 그림자가 생성되어 Laser Sheet를 구성하데 문제가 발생하여, Laser를 수면 상부에서 조사하는 것이 아닌, Laser를 Faber Optic Cable과 수밀 처리한 원형 실린더를 이용하여 Laser Probe를 물속에 설치, Laser를 조사, Laser Sheet를 구성하였다. Laser Probe 물 속에 고정하기 위하여 Traverse를 물 속에 설치하였다

촬영장치로는 8㎜ Cam Corder(1/60sec)를 사용하였으며, 영상획득장치(Image Grabber)로는 DT3155를 사용하였다. 그리고 본 논문에서 PIV해석을 통한 속도 벡터 검출을 위해서는 'Cactus' 97'을 사용하였으며, 와도분포 계산을 위해서 초기에는 선형이론을 통한 와도분포를 계산하였으나, 본 논문의 목적과는 잘 맞지 않아 'Exponential Cubic Spline Program'을 사용하여 계산하였다

3. 실험결과 및 토의(Result & Discussions)

3.1. 파형 계측결과

Fr = 1.0(Fig. 2)에서의 물수심의 변화에 따른 파형의 변화를 관찰하여 보면, 파형의

dCollection

변화 순서는 다음과 같다. 우선, 정상파의 발생(S/D = 5.0) → 정상파의 증폭(파고(H)는 증가하나 파장은 증가하지 않는다. 이는 수치해석법에 의해 파형을 계산한 값과 일치하는 현상이다) → 쇄파의 초기 발생(S/D < 3.57, 쇄파 초기발생의 파.경사각은 대략 12°, 쇄파의 초기발생이후 몰수심이 감소함에 따라 실린더 후방에서의 파형의 형태가 파정의 파고가 점점 증가하면서 앞쪽으로 진행하는 형태로 변화한다) → 쇄파의 증가와 정상파의 감소 → 쇄파의 증가(S/D < 2.14)로 진행하는 파형의 변화를 계측하였다

쇄파가 충분히 발생하면 파고는 감소함을 볼 수 있었으며, 수면이 얕아지면서 쇄파가 발생하면 쇄파저항이 점차 증가하고 정상 비점성 Potential 조파저항이 감소하여 쇄파저항 대 조파저항의 비가 감소한다는 사실을 확인(Duncan[3])할 수 있었다. 그리고 하나 특이한 점은 S/D = 1.0의 Breaking 형태가 개수로 유동에서 나타나는 수력도약(Hydraulic Jump)과 유사한 형태의 쇄파가 발생하였다

3.2. 물체표면압력 계측결과

실린더 표면에서의 압력 계측결과(Fig. 3)를 보면 원주방향으로 60° 이후에는 거의 일정한 압력계수 값을 보이며, 몰수심에 따라 C_P = -1.0 ~ -1.2 정도로 얻어 졌다. 실린더 상부에서의 압력은 S/D < 3.57이면 상승하기 시작하여 거의 일정한 형태를 보여주는 하부에서의 압력분포 값과 차이를 나타내기 시작한다. 실린더 상부에서의 유동박리점의 위치는 압력의 상승에 따라 후반부로 이동되어 수심에 따라 70 ~ 90° 까지 하류로 이동한다. 이는 수표면에서의 유속이 증가하여 상면의 박리점 근처에서의 경계층 내부의 운동량 결손을 보충해 주게되어 박리가 지연되기 때문이다. 그러다 S/D =1.0 정도가 되면 박리점이 110°까지 이동하게 된다. 상부와는 틀리게 하부에서의 유동박리점은 대략 60° ~ 70° 사이에서 형성되어 진다. 이는 하부에서의 압력분포는 몰수심의 변화에 별로 영향을 받지 않음을 나타낸다. 상반부에서의 압력이 하반부보다 높다는 것은 음의 양력이 발생함을 의미한다

3.3. 반류 계측결과

쇄파가 발생(S/D = 2.86)하면 수표면 가까운 곳에서는 수두손실이 계측된다. 그리고 실린더의 먼 후방(X/D = 17.14)에서는 쇄파에 의한 수두손실과 물체에 의한 Wake가 서로 합쳐진(Merging) 모습을 볼 수 있는데, 이 정도가 되면 쇄파에 의한 Wake의 영향으로 정상파가 사라져 감을 볼 수 있으며, 물체에 의해 발생된 Wake 또한 비대칭성

Collection

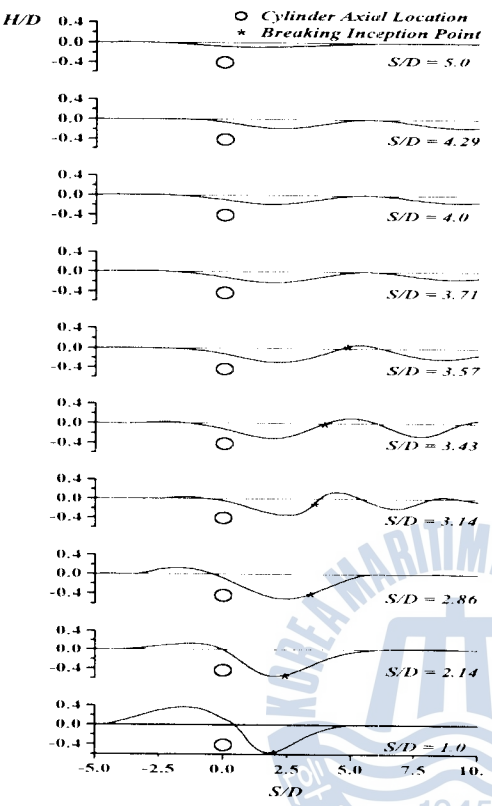


Fig. 2 Wave Profile at Various Submergence Depth(Fr = 1.0)

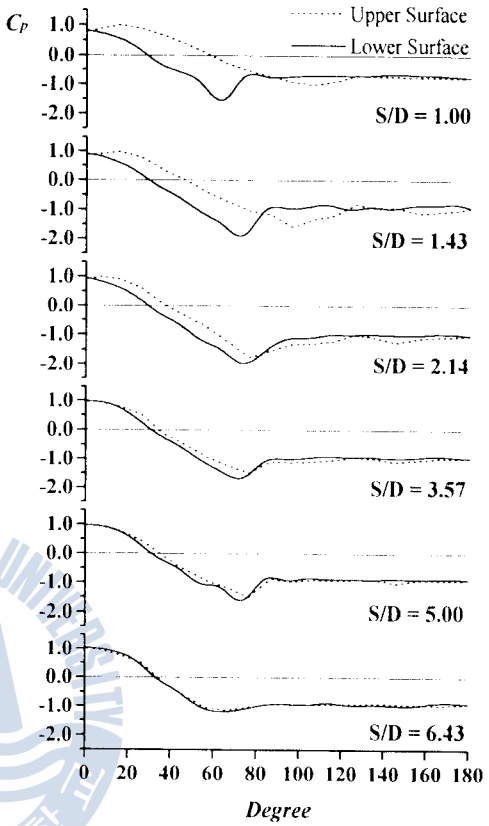


Fig. 3 Cp on Upper & Lower Surface (Fr = 1.0)

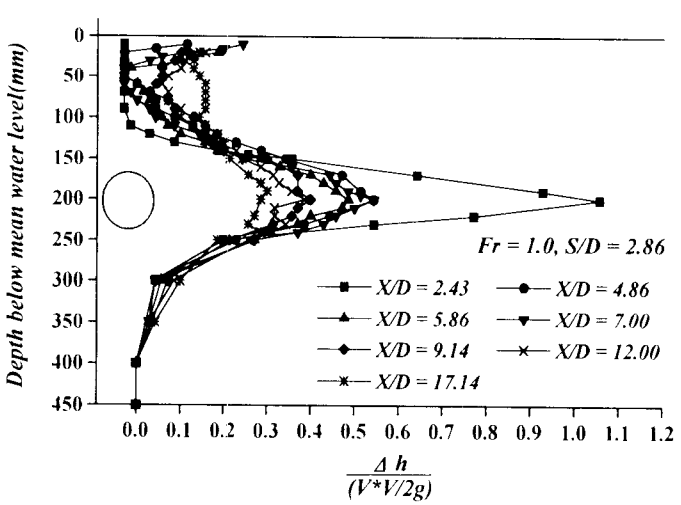


Fig. 4 Head Loss Distribution Behind Cylinder at Various Axial Location(Fr = 1.0, S/D = 2.86)

dCollection

을 보이게 된다. 수표면 부근을 보면 하류로 갈수록 쇄파에 의한 수두손실의 범위가 수표면으로부터 깊이 방향으로 점차 확대되는 것과 더불어 수두손실값 자체의 크기도 줄어드는 경향을 확인할 수 있다. 위의 결과들을 검토해 볼 때 쇄파에 의한 수두손실의 계측은 쇄파의 강도와 영역을 파악하는데 매우 유용하다

3.4. 속도분포 계측결과

선형 Stokes Wave에 의한 유속분포는 수표면에 접근할수록 점차로 증가하게 되나, 쇄파가 영향을 미치는 일정구간 내에서는 경계층 유동(Mixing Layer)과 같은 유속결손이 나타난다

쇄파가 발생하면(S/D = 2.86) 수면근처에서 속도결손을 명확히 볼 수 있다. 수표면에서의 유속감소는 점성의 영향(난류의 영향)에 의한 것으로 보인다. 쇄파 발생지점(X/D = 4.5)의 전방인 X/D = 2.43과는 달리 X/D = 4.86 이후에서의 쇄파경계층내 속도분포는 일반적인 경계층(혹은 Wake) 유속분포와 유사한 경향을 보이고 있으며, Wake 폭과 Wake Centerline Velocity의 변화를 파악하기엔 실험 결과가 다소 거칠게 얻어 졌다. 또한 쇄파 내부의 유동은 물체에 의해 생성되는 Wake와 아주 흡사한 점성유동을 보이며, 쇄파가 발생하는 지점을 "Breaker"라는 명칭으로 물체화 하는 것의 근거가 됨을 알 수 있다. 그러나 쇄파 영역이 워낙 국부적이고 그 내부에서 기포의 과도한 포함 등으로 인하여 Pitot 관이 수표면 가까이 접근하지 못하는 문제점이 있었기 때문에 속도분포로부터 Wake 특성을 더 자세히 파악하기에는 한계가 있었다

3.5. 난류강도 계측결과

쇄파가 발생하는 지점(S/D = 2.86, X/D = 4.86)에서 난류강도는 매우 큰 값을 보여준다. 이는 쇄파지점(Breaking Inception Point)에서의 강력한 난류생성, 즉 파에너지로부터 난류에너지로의 활발한 에너지 이동을 의미한다.

쇄파발생지점(X/D = 3.43)과 바로 하류지점(X/D = 4.86)에서는 상당히 큰 난류강도가 계측되나, 약간 먼 지점(X/D = 9.14)에서는 난류강도가 Wake계측에서의 경향보다 작은 경향으로 계측되는 것으로 보아 Breaker에 의해 생성된 난류에너지의 소멸이 비교적 빨리 이루어지지 않나 생각된다. 수두손실 분포에서와는 달리 쇄파 발생지점에서 충분히 하류로 가면서 비교적 빨리 소멸되는 것으로 보아 강제쇄파 현상은 명백히 점성의 영향이 매우 크게 나타남을 알 수 있었다

dCollection

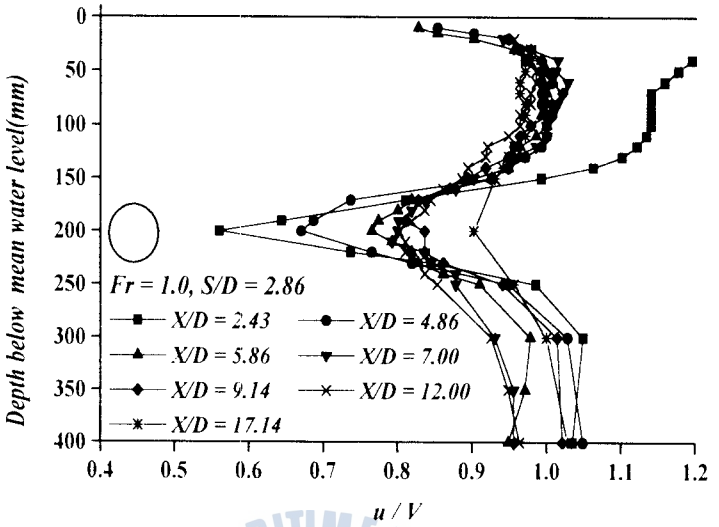


Fig. 5 Horizontal Velocity Distribution Behind Cylinder at Various Axial Location(Fr = 1.0, S/D = 2.86)

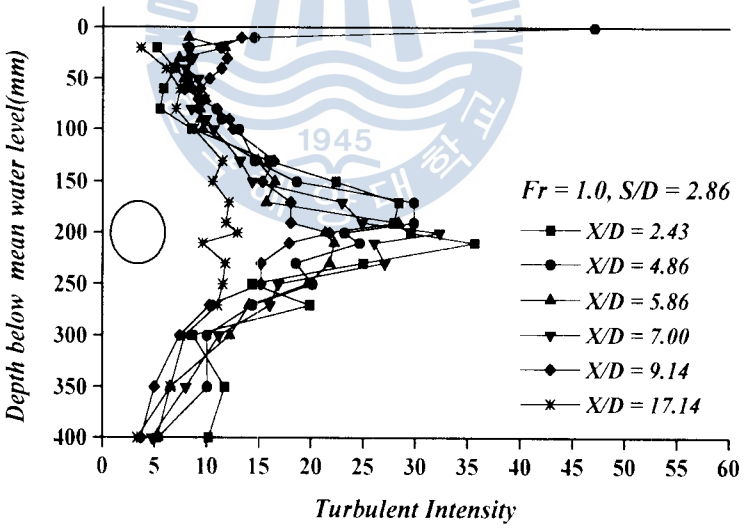


Fig. 6 Turbulent Intensities Behind Cylinder at Various Axial Location(Fr = 1.0, S/D = 2.86)

3.6. PIV 계측결과

PIV 검증을 위하여 Re = 32900(Fr = 0.567, V = 0.47m/s)에 대하여 균일유동의 속도계측 실험을 하였다. 그 결과 PIV로 계측한 유속의 평균은 0.455m/s로 Pitot Tube

dCollection

계측을 통해 설정한 유속보다 3% 작은 유속을 나타냈다. 이는 회류수조 계측부의 수표면 유속이 설정 유속보다 작게 나오는 점, Freestream Turbulence의 존재 및 Pitot Tube의 계측 값이 대부분의 다른 유속계에 비하여 1 ~ 2% 정도 큰 값을 주는 사실에 비추어 볼 때 비교적 정확한 값으로 판단된다

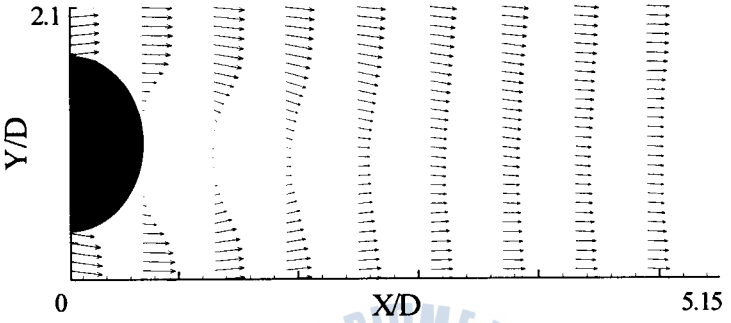


Fig. 7 Mean Velocity(Fr = 0.567, S/D = 2.5)

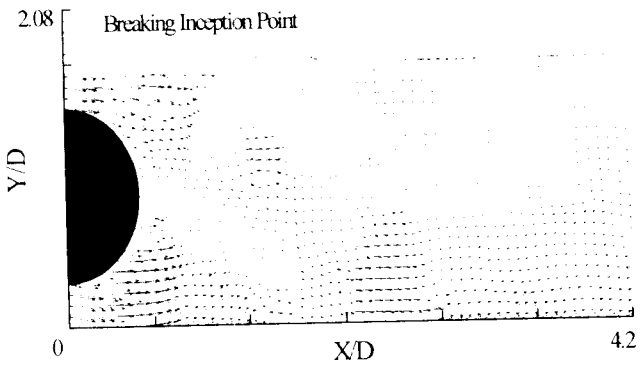
위의 그림은 PIV 계측의 정확도를 검증하기 위하여 무한수심(S/D = 2.5)에서 실린더 주위유동을 시간평균한 그림으로 실린더 주위의 유동이 좌우대칭을 이루는 것을 확인할 수 있다

몰수심이 충분히 작으면(S/D = 0.86) 쇄파영역에서 발생한 강한 Vortex가 실린더로부터 Shedding되는 Vortex와 강한 상호작용을 일으킴을 명확히 볼 수 있으며, Breaker로부터 발생한 강력한 와도가 수면으로부터 아래쪽을 향하여 발달하고 있고, 이로 인하여 실린더 상부에서 생긴 Vortex가 위축되면서 아래로 변형되면서 Vortex의 형상이 상하비대칭성을 이루는 것을 볼 수 있다. 또한 쇄파발생 이후 유속이 매우 낮아지는 Dead Zone이 크게 확대되어 나아감을 확인할 수 있다. 몰수심이 충분히 더 작아지면(S/D = 0.86) 강한 쇄파로 인하여 하류에 형성된 Dead Zone은 자유 표면을 제외하고는 와도가 '0'이 됨을 알 수 있다

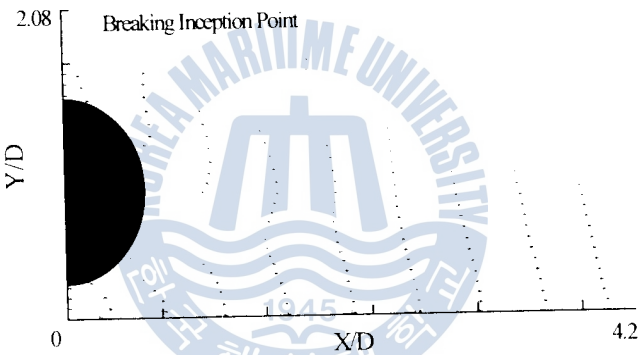
4. 결언 및 제언(Conclusion & Suggestion)

• 실린더의 몰수심 변화에 따른 자유표면에서의 파형의 변화를 관찰한 결과 자유표면에서 파형이 관측된 이후 몰수체의 몰수심을 감소시키면, 자유표면에서는 파형의 파장은 일정하나 파고는 증가하는 형태로 정상파가 증폭된다. 그러다 일반적으로 파경사각 12°에서 쇄파가 발생하기 시작하는데 이 값은 Duncan의 실험결과인 17°와 조금은 큰

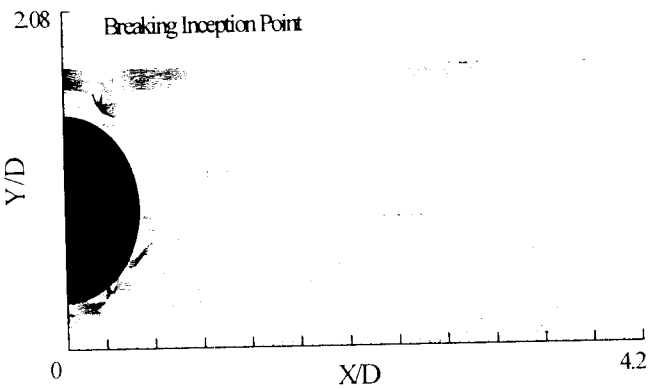
Collection



a) Instantaneous Velocity Field



b) Mean Velocity



c) Instantaneous Vorticity Field

Fig. 8 Flow Field at S/D = 0.86(Fr = 0.567)

dCollection

차이를 보인다. 그러나 초기교란이 가해지면 17° 보다 작은 파경사각에서도 쇄파가 발생할 수 있다는 Duncan의 실험결과와 회류수조의 특성상 유입유동의 자유표면에서 초기교란이 가해진 것과 같은 불안한 상태를 나타내는 현상을 생각해보면 파경사각 12°에서 쇄파가 발생하는 현상을 충분히 이해할 수 있었다

• 쇄파발생 이후의 자유표면 파형을 보면, 몰수심이 감소함에 따라 실린더 후방에서의 자유표면 파형이 파장, 파고 모두다 감소하는 현상을 볼 수 있었다. 그리고 몰수심이 충분히 더 감소하면(Fr = 1.0, S/D = 2.86) 실린더 후방에서는 Sine Wave 형태의 파형을 더 이상 관측할 수 없었다. 이러한 현상으로 미루어 볼 때 쇄파발생이 정상파의 감소현상을 유발한다는 것을 알 수 있었다

• 실린더의 몰수심의 변화에 따른 실린더 표면에서의 압력분포가 실린더의 몰수심이 감소함에 따라 실린더 표면 상부에서는 C_P 값이 전반적으로 증가하는 것을 볼 수 있으며, 실린더 하부에서는 C_P의 최저 값이 점점 감소하는 경향을 보여준다. 그리고 실린더 상부에서의 유동박리점은 후방으로 밀려나는 것을 볼 수 있었다

• 실린더 후방에서 수두손실과 난류강도를 계측하면, 쇄파가 발생하지 않았을 때는 실린더 후방에서만 수두손실과 난류강도가 계측되다, 실린더의 몰수심이 충분히 감소하여 자유표면에서 쇄파가 발생하면 자유표면에서 쇄파가 발생하는 점(Breaking Inception Point) 후방에서도 실린더 후방에서와 마찬가지로 수두손실과 난류강도가 계측되었다. 이는 쇄파발생이 저항의 증가를 가져온다는 사실을 알 수 있게 하였다

• 회류수조에서의 유동가시화(PIV) 기법을 사용한 쇄파현상의 연구를 시도하여 만족할 정도의 성공을 거두었다. 회류수조에서 PIV 검증을 위하여 Uniform Flow를 생성한 후 유속을 계측한 결과가 Pitot Tube로 계측한 유속 값보다 대략 3% 정도의 차이를 가지는 것으로 PIV의 속도검출의 정확성을 확인하였으며, 또한 실린더를 무한수심에 잠근 후 실린더에서 떨어져 나가는 Vortex Street을 확인하고자 하였으나 현재 보유하고 있는 PIV 장비로는 완벽하지는 않지만 어느 정도 타당한 형태의 Vortex Street 확인할 수 있었다

• 쇄파가 미약하게 발생할 때(S/D = 1.88)에도 자유표면근처에 와도분포가 존재함을 어느 정도 감지할 수 있었으며, 쇄파와 실린더의 상호작용은 S/D = 1.44부터 감지되기 시작하여 몰수심이 얕아질수록 상호작용이 크게 발생함을 볼 수 있었다. 그러다 S/D = 0.86에서는 쇄파로 인한 Vortex가 실린더로부터 유기 되는 와류를 압도하여 실린더 후방의 전반적인 와도분포를 심하게 변형시키는 것을 볼 수 있었으며, 쇄파발생 지점 후방으로 속도가 '0'에 가까운 Dead Zone이 형성되는 것을 볼 수 있었다

Collection

• Hot-Film을 이용한 난류강도 계측의 부정확성으로 인해 자세한 해석이 수행되지 못한 아쉬움이 있었으며, 추후 보다 안정적인 실험기법의 확보로 쇄파영역에서의 난류의 생성 및 전개과정을 연구할 필요가 있다고 생각된다

• PIV 기법을 사용한 와도분포 해석기법은 매우 유용한 방법임을 확인하였고, 추후 보다 다양한 경우에 대한 해석을 통하여 쇄파현상해석에 기여할 수 있다는 확신을 가질 수 있었으며, 상기의 결과들을 토대로 하여 수중익선의 Hydrofoil과 유사한 형태인 NACA0012 Hydrofoil에 대한 쇄파현상을 연구하고자 한다

참 고 문 헌

[1] Baba, E., "A new component of viscous resistance", J. Soc. Naval Archi. Japan, Vol.125, 1969.

[2] Duncan, J. H, "An experimental investigation of breaking waves produced by a towed hydrofoil", Proc. R. Soc. Lond A377, 331-348, 1981.

[3] Duncan, J. H, "The breaking and non breaking wave resistance of a two dimensional hydrofoil", J. Fluid Mech., Vol. 126, pp. 507-520, 1983.

[4] Raymond Cointe, Marshall P. Tulin, "A Theory of Steady Breakers", J. Fluid Mech., Vol. 276, pp. 1-20. 1994.

[5] Sheridan, J, J. C. Lin and D. Rockwell, "Flow Past a Cylinder Close to a Free Surface", J. Fluid Mech., Vol. 330, pp. 1-30, 1997.

[6] White, F.M., "Viscous Fluid Flow", 2nd ed., McGraw Hill, 1991.

[7] 현범수, 신용현, "물수실린더의 수심변화에 따른 파형변화 및 쇄파발생에 관한 연구 (I)", '96 추계조선학회 학술대회 논문집, 서울대학교, 1996. 11.

[8] 현범수, 신용현, "물수체에 의하여 생성되는 쇄파주위 점성유동의 고찰", '97 춘계조선학회 학술대회 논문집, 해군사관학교, 1997. 4. 25. 26.

[9] 현범수, 신용현, 최경신, 이영호, "PIV를 이용한 2차원 실린더 주위 유동해석", '98 춘계조선학회 학술대회 논문집, 현대중공업, 1998. 4. 23.-24.

[10] 이영호, 최상운, "An Introduction to PIV(Principle & Application)", Flow Information Lab. Korea Maritime Univ. & Image Information Technology Co, 1998. 2.

dCollection

Collection