

몰수실린더에 의하여 생성되는 쇄파주위 점성유동의 고찰 (제1부 : 파형 및 압력분포)

현범수*, 신용현**

On the Viscous Flow Around Breaking Waves Generated by a Submerged Cylinder (Part 1 : Wave Pattern and Surface Pressure)

by

B.S. Hyun* and Y.H. Shin**

요 약

수면하에서 정속으로 움직이는 원형실린더에 의하여 생성되는 정상파 및 쇄파에 대한 실험적 연구를 회류수조에서 수행하였다. 실린더의 몰수깊이에 따른 자유표면 형상, 물체표면 압력분포를 측정하였고 물체후류에서의 속도, 전수두손실 분포와 난류강도를 측정하였다. 총3부로 나누어 발표할 본 연구의 제1부는 실험장치와 몰수깊이에 따른 파형과 압력분포 변화를 소개하고 있다. 이 내용은 전통적인 선박유체역학 분야 종사자들에게 유익한 실험자료를 제공하는데 목적이 있다. 뒤 이어 발표될 제2부는 쇄파주위 점성유동장의 특성을 속도결손과 난류응력의 관점에서 해석하게 되며, 제3부는 PIV를 이용한 쇄파주위 순간 유동장의 정량적 가시화를 통한 실린더와 쇄파간의 상호작용을 해석하고자 한다.

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 and pressure distributions on cylinder surface were measured at various submerged depths of cylinder. They were complemented by the measurements of velocities, head losses and turbulence intensities in the wakes of body and "breaker". Part 1 of this three-part paper describes the experimental arrangement and the patterns of wave profile and pressure distribution at various depths of submergence. These databank contributions are of special interest in traditional ship hydrodynamics.

접수일자 : 1999년 8월 20일, 재접수일자 : 2000년 1월 21일

*정회원, 한국해양대학교 조선해양공학부

**학생회원, 한국해양대학교 조선공학과 대학원

In Part 2, special focuses are made to elucidate the viscous and turbulent aspects of flow field. Finally Part 3 will deal with the visualization of instantaneous vortical flow to study the mutual interaction between vorticies shedded from the free-surface and the cylinder using a Particle Image Velocimetry.

1. 서 언

선박이나 해양구조물과 같이 수상에 떠있는 물체나 수면하 일정깊이에 잠겨있는 물체가 이동할 때, 혹은 유체가 이러한 물체주위로 흐를 때 물체 주위 수표면에는 파가 형성된다. 이러한 자유표면 유동은 물수깊이, Froude수 및 Reynolds수의 변화에 따라 여러 종류의 수면파를 유발하는데 그 중 어떤 임계치를 넘어서는 경우에 발생하는 쇄파 현상은 유체역학적으로 메카니즘이 완전히 규명되지 않은 난제중의 하나이다. 이승준[1]은 수면파의 쇄파모형에 관한 고찰을 통하여 물수체 주위에서 발생하는 강제쇄파는 수중의 뒤쪽에 생성되는 분출형 쇄파 (spilling breaker)가 가장 일반적인 형태이며, 이는 해저면의 기울기가 매우 작은 천수파영역에서 발생하는 쇄파와 현상학적으로 매우 유사한 양상을 보인다고 지적하였다. 분출형쇄파란 주로 파의 파정에서 수포의 분출이 국부적으로 발생하게 되는데, 일단 쇄파가 발생하면 물체는 쇄파에 기인하는 저항을 추가로 받게 되므로 운동량결손과 에너지 손실이 주요한 관심의 대상이 된다. 즉, 물체가 수면가까이 위치해 있을때 물체에 의한 수면부근의 유동장교란이 과도하여 극한적인 형태의 파형으로서도 물체에 의해 주어지는 운동에너지를 감당할 수 없으므로, 쇄파에 의해 그 에너지의 일부를 난류에너지로 방출하게 된다.

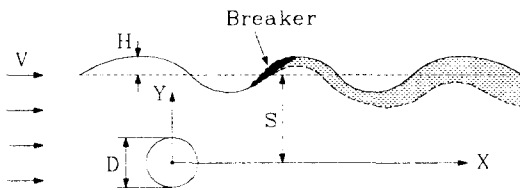


Fig. 1 Coordinate and schematics of experiment

Fig. 1은 물수체에 의하여 생성되는 쇄파영역 (breaker)과 그 하류에 형성되는 쇄파영향권을 보여주고 있다. 여기서 파도의 중반부에 검게 칠해져 있는 것은 쇄파가 발생할 때의 쇄파발생지역을, 그 후반부의 열게 칠해져 있는 부분은 쇄파에 의한 영향이 남아있는 영역을 예로 보여주고 있다. Duncan[2]의 날개단면에 대한 실험결과 등에 의하면, 쇄파영역에서의 유동은 물체에 의하여 생성되는 점성영향권, 즉 반류(wake)의 전개과정과 유사하며, 그 내부의 유속분포는 반류 내부의 유속분포와 유사한 것으로 알려져 있다. 여러 다른 실험결과들도 쇄파주위 유동이 물체주위에 형성되는 난류경계층유동과 유사한 유동형태를 보인다고 보고되고 있다.[3],[4] 즉, 쇄파영역 내부에서 평균유속의 수심방향분포는 경계층과 닮은 속도분포를 보여주고 있으며 Reynolds 응력도 난류경계층에서 처럼 수면하 일정깊이에서 최대치를 보이는 등 비선형파의 형태는 압력과 난류성분의 상호관계에 의하여 결정되어 진다고 알려져 있다.

자유표면유동에 관한 실험적인 연구는 Parkin et al.[5]의 benchmark 실험을 비롯하여 다수의 연구결과가 발표되었으나, 쇄파에 의한 영향을 본격적으로 연구한 학자로는 Duncan [2]을 꼽지 않을 수 없다. 그는 2차원 NACA0012 단면에 대하여 파고와 유속, 전수두 (total head loss)를 측정하여 쇄파에 의한 저항의 증가를 추정하는 이론을 발표하였다. 여기서 쇄파의 영향은 쇄파발생이 전수두의 증가, 즉 Reynolds수에 지배되는 점성저항의 증가를 유발한다는 Baba [6]의 이론을 근거로 하고 있다. 그 결과 쇄파가 일어나는 한계 Froude 수와 물수체의 물수깊이 간의 관계를 도출하였고, 쇄파에 의한 운동량 결손, 즉 저항증가는 쇄파영역의 크기와 파경사각에 비례함을 밝혔다. 비선형 파이론을 사용하여 쇄파가 일어나

지 않는 한도 내에서의 최대 가능 조파저항치를 구할 수 있는데, 쇄파에 의한 저항증가는 이 최대 조파저항치의 약 3.1배까지 달하는 것으로 조사되었다. 또한 쇄파의 발생은 파경사각이 $17 \pm 1^\circ$ 에서 시작하며, 쇄파 자체가 매우 불안정한 유동현상이기 때문에 작은 교란에 의해서도 불안정성의 증폭이 가능하므로 쇄파발생조건도 쉽게 변할 수 있다고 지적하였다.

자유표면과 난류유동과의 관계를 규명하기 위한 "1995 ONR Workshop on Free-Surface Turbulent Flows" 모임은 쇄파연구에 새로운 전기를 제공하였다. 총 45편의 연구주제가 발표된 이 모임결과를 요약하면 쇄파문제를 지배하는 무차원수는 Froude 수, 물수체의 대표길이로 무차원화 된 물수깊이 외에도 Reynolds 수, 난류의 영향도 중요한 파라미터로 취급해야 한다는 것이다. 그중 상당수의 발표는 쇄파를 비롯한 자유표면 난류유동에 대한 실험적인 접근에 관한 것으로서 최근에 각광받고 있는 PIV (Particle Image Velocimetry)를 사용한 2차원 유동장에서의 순간속도와 와도의 계측들이 특이할 만한 사항이었다. 연구의 목적은 물론 자유표면과 와도 및 난류용력 간의 관계 규명이었다.

이와같은 쇄파 관련 연구는 불행히도 유동자체의 물리적인 이해의 결핍으로 말미암아 그 실용성 여부가 현재까지는 확실치 못하며, 쇄파 메카니즘의 이해부족으로 자유표면처리를 위한 Reynolds Scaling의 시도가 아직은 대단히 어려운 실정에 있다. 국내에서도 비선형 조파현상 [7]과 초기쇄파 [8], 그리고 선수부유동 [9]에 대하여 소수의 연구결과가 발표된 바 있으나 쇄파현상 자체를 심도있게 다룬 논문은 아직 눈에 띄지 않는다. 더구나 위에 소개된 기존의 연구들 중 강제쇄파 문제의 경우 주로 수중익에 대한 연구가 주를 이루고 있으며 물수실린더에 대한 연구는 매우 빈약한 정보만이 존재하고 있다. 그러나 물수실린더 주위 유동문제는 물체형상의 단순함에도 불구하고 물수체와 쇄파에서 생성되어 전개되는 와류의 복잡한 상호작용 문제를 내포하고 있기 때문에 유체역학의 대표적인 benchmark의 성격을 지니고 있다.

때문에 이에 대한 자료의 축적은 쇄파현상의 이해뿐만이 아니라 와류들간의 상호작용, 와류와 자유수면과의 상호작용 등 많은 유체역학분야의 연구 개발에 초석이 될 수 있을 것이다.

본 연구주제는 쇄파의 물리적 특성파악과 아울러 물수체의 반류와 자유표면과의 상호작용에 관한 연구를 통하여 물수깊이에 따른 파형과 물체주위의 압력의 변화를 조사하고 쇄파에 의하여 야기되는 와도 및 난류특성을 밝히는데 기본적인 자료를 제공하고자 하는 것이다. 본 보에서는 그 첫 단계로서 실린더의 물수깊이와 Froude수를 바꿔가면서 파형과 실린더표면 압력분포를 계측한 결과를 발표한다. 추후 본 문제에 대한 이론적 해석을 수행할 연구자들을 위하여 나름대로 상세한 자료를 제공하고자 한다. 이 결과는 포텐셜 해석으로 물수실린더에 의한 파형과 압력분포를 해석할 때 비교자료로 유용할 것이며, 경우에 따라서는 계측된 물수체 표면압력을 이론해석 할 때 경계조건으로 하여 물수체에 의한 파형을 구할 때에도 사용이 가능할 것이다. 본 보에 이어서 게재하게 될 제2부에는 쇄파 발생시 자유표면 부근에서 발생하는 수두손실을 계측하여 쇄파에 의한 저항증가 영향과 더불어 쇄파에 의하여 파의 위치에너지와 운동에너지가 난류에너지로 변환되는 메카니즘을 조사하고자 한다. 끝으로 제3부에서는 PIV를 이용한 쇄파주위 순간유동장의 속도와 와도분포를 조사하여 물수체의 물수깊이에 따른 물수체와 자유표면 간의 상호작용을 가시화 하고자 한다.

2. 실험장치, 계측방법 및 실험조건

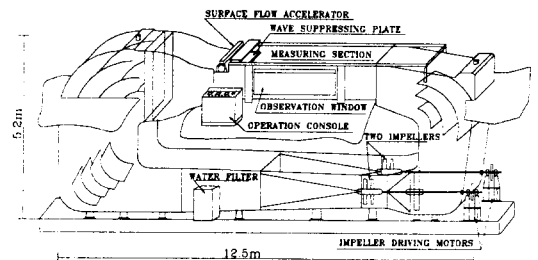


Fig. 2 Circulating water channel

본 연구는 한국해양대학교 회류수조에서 수행하였다. (Fig. 2 참조) 계측부의 길이 × 폭 × 높이는 각각 5m × 1.8m × 1.2m이며 최대출력 22 kW AC의 직경 0.8m 짜리 임펠러 2대에 의하여 구동된다. 계측부의 최대평균유속은 2m/s이며, 각 단면에서의 평균유속은 회류수조 계측부 전방에 위치한 표면가속기를 적절히 사용할 경우 2-3% 이내의 유속균일도를 보인다. 임펠러 회전수는 Prandtl 관으로 얻어진 계측부 평균유속으로 캘리브레이션되며, 표면가속기 회전수도 동일한 방법으로 보정된다.

실험모형은 아크릴로 제작된 2차원 원형실린더로서 직경 (D)이 7cm이고 길이는 1m이나, 2차원효과를 높이기 위하여 필요시 길이를 1.5m 까지 증가시킬 수 있도록 하였다. 실린더의 한쪽 끝은 수조의 측벽에 밀착시켰으며 반대편 끝에는 얇은 평판을 부착하여 각종 부가장치에 의하여 유기되는 파가 계측위치로 전파되는 것을 방지하였다. 물체표면 압력계측을 위하여 압력탭을 실린더 원주방향으로 10°간격으로 배치하여 총 36 위치에서 정압력을 계측하였다. 압력탭은 국내에서 상용으로 생산되는 외경 4 mm인 스테인레스 관을 사용하였다. 자유표면 파형은 계측부 측벽에서의 육안관찰과 비디오 촬영결과를 바탕으로 구하였는데, 가능한 한 측벽의 영향이 덜 미치는 위치에서의 파고를 얻도록 노력하였다.

실험은 2개의 Froude수 ($Fr=0.567, 1.0$)에서 수행하였는데, 이에 해당하는 유속 (V)은 각각 0.47m/s, 0.83m/s이며 $Fr=V/\sqrt{gD}$ 로 정의하였다. 한편 이에 해당되는 Reynolds수 ($Re=VD/\nu$)는 각각 $3.3 \times 10^4, 5.8 \times 10^4$ 이다. 각 Fr 수에서 몰수깊이(Submergence Depth, S)를 $S/D = 1.0 \sim 6.43$ ($S = 7 \sim 45\text{cm}$)로 바꾸어 가면서 몰수깊이에 따른 파형, 실린더 표면압력을 계측하였는데, 파형은 관측창이 제공되는 한 넓은 범위 (실린더 후방으로 $X/D \approx 30$ 지점까지)에 걸쳐서 관찰하였다.

3. 결과해석 및 고찰

3.1 파형 계측결과

파형계측 결과중 먼저 $Fr=1$ 인 경우를 조사해보면 Fig.3 과 같다.

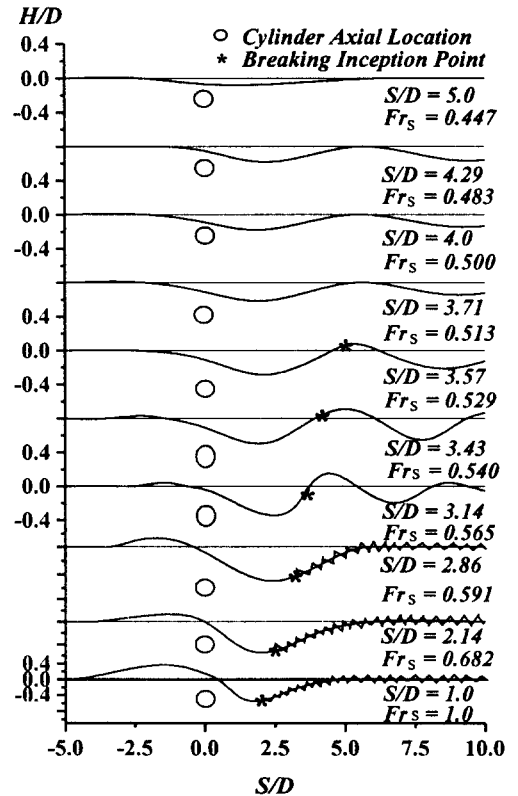


Fig. 3 Wave profiles at various submergence depths ($Fr=1$)

몰수심이 충분히 깊을 때 육안으로 관찰되지 않는 파가 몰수심이 얇아지면서 $S/D=5$ 에서 파형이 관찰되기 시작해서 점차로 정상파의 파고가 증가하다가 $S/D=3.57 \sim 3.14$ 정도가 되면 쇄파발생이 육안으로 관찰 가능해 진다. 초기발생 쇄파는 파경사각이 큰 지점에서 Reynolds ridge와 유사한 잔 물결들이 나타남으로 시작된다. 이러한 잔물결로 대표되는 불안정성이 증폭되면서 쇄파가 성장하는데, 매우 불안정하고 간헐적인 유동현상으로서 실험시의 작은 교란에 민감하게 반응하였

다. 따라서 쇄파가 발생하는 몰수깊이나 쇄파발생 지점의 파경사각도 실험상태의 미소한 교란에 따라 크게 변화하였다. 이는 회류수조에서의 배경난류강도와 상류의 표면유동 가속기로부터 발생하는 파도 등에 의하여 자유표면이 교란되기 때문인 것으로 여겨지며, 따라서 회류수조에서의 계측결과를 해석할때 세심한 주의가 필요함을 의미한다. 본 실험에서 쇄파 초기발생시의 파경사각은 평균 유동의 관점에서 볼 때 약 12° 정도로서 Duncan[2]의 결과인 17°보다 낮게 얻어졌으나, 불안정성을 감안한 순간유동의 관점에서 볼때에는 이보다 큰 파경사각에 해당될 것이다.

쇄파가 관찰되기 시작한 이후에도 어느 정도 쇄파와 정상파가 함께 공존하다가 $S/D = 2.14$ 근방까지 몰수깊이가 알아지면 정상파는 사라지고 완전히 쇄파에 의한 수면의 교란만이 관찰된다. 즉, 쇄파가 발생하면서 부터 파고는 감소하는 경향을 보이며 그대신 쇄파에 의한 난류의 영향이 수표면을 뒤덮어 버려서 그 이후에는 정상파가 전혀 관찰되지 않았다. 이는 Duncan [2]이 지적하였듯이 몰수깊이가 알아지면서 쇄파저항이 점차 증가하고 정상 비점성 포텐셜 조파저항이 감소하여 조파저항 대 쇄파저항의 비가 감소하게 된다는 사실과 일치하는 당연한 결과이다. 특히 Fig. 3에는 더 이상 나타내지 않았으나, 몰수깊이가 더욱 알아지는 경우에는 파가 실린더를 타고 넘어가기 때문에 실린더 상부의 파고는 증가하는 것처럼 보이며, 실린더 후부에서 강력한 쇄파 (이승준 [1]에서 지적된 전복형 쇄파와 유사한)가 발생하면서 댐의 하류에서 관찰되는 수력점프와 흡사한 현상이 관찰되었다.

쇄파가 발생하는 지점은 두 번째 파가 시작하여 파정에 이르는 중간지점 근처로서 여기서 파경사각이 최대가 된다. 이 지점에서 몰수깊이 변화에 따른 최대 파경사각의 변화를 Fig.4에 보였다. 여기에는 각 몰수깊이별 최대 파경사각과 쇄파발생 지점의 파경사각이 나타나 있다. 최대 파경사각은 몰수깊이의 감소에 따라 서서히 증가하다가 약 12° 정도에서 쇄파가 시작되며, 쇄파가 발생한 이후에도 좀 더 증가하는 경향을 보이다가 몰수깊이

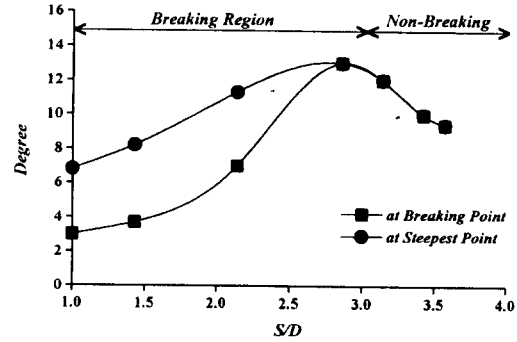


Fig. 4 Wave slope versus depth of submergence

가 더욱 알아져서 쇄파가 전체 유동장을 완전히 지배하게 되면서 감소하는 경향을 보이는데 이는 Duncan의 실험에서 쇄파저항의 증가가 조파저항의 감소로 이어진다는 사실과 부합되는 결과이다.

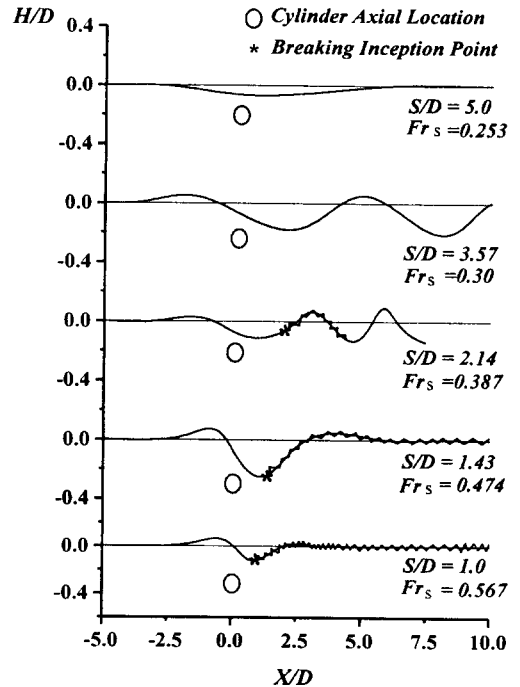


Fig. 5 Wave profiles at various submergence depths ($Fr=0.567$)

쇄파발생지점의 파경사각은 쇄파가 발생조건까지는 최대 경사각과 일치하나 물수깊이의 감소에 따라 쇄파영역이 증가하면서 부터는 급격히 감소하는 경향을 보이는데, 이는 쇄파발생지점이 파저(wave trough) 쪽으로 이동하기 때문이다.

한편 $Fr=0.567$ 의 경우도 Fig. 5에서 보는 것과 같이 $Fr=1$ 인 경우와 전체적으로 유사한 결과를 보여주었다. 쇄파발생 물수깊이는 약 $S/D=2.8$ 로서 $Fr=1$ 에 비하여 다소 늦게 쇄파가 발생함을 볼 수 있었는데 이로부터 쇄파발생은 물수깊이와 Froude수에 따라서 변화함을 알 수 있었다. 그림의 각 S/D 아래에 표시한 Fr_S 는 물수깊이로 무차원화된 Froude수 ($= V/\sqrt{gS}$)로서 파형과 Fr_S 간의 상관관계를 보고자 기술하였으나 $Fr=0.567$ 과 1.0 두 조건만을 가지고는 어떠한 상호연관성을 발견하지는 못하였다.

3.2 물체표면압력 계측결과

다음으로 물수심의 변화에 따른 압력분포 변화를 보면, $Fr=1$ 인 경우 Fig. 6에서 보는 바와 같

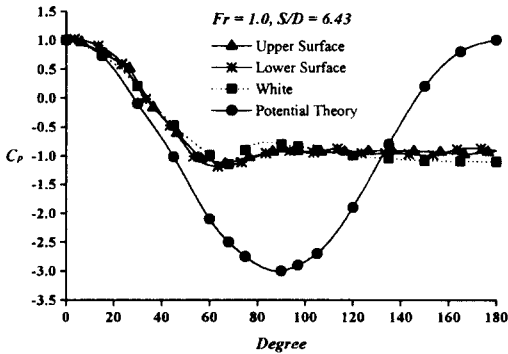


Fig. 6 Surface pressure distribution at infinite depth($Fr = 1, S/D = 6.43$)

이 $S/D=6.43$ 에서 무한수심에서의 결과에 해당하는 압력분포, 즉, 물체 상부와 하부에서의 압력 분포($C_p = \frac{p-p_0}{(1/2)\rho V^2}$)가 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 참고로 무한수심에서의 포텐셜 압력과

White[10]에 소개된 $Re=1.86 \times 10^5$ 에서의 계측된 압력분포를 함께 도시하였는데, 본 실험결과와 거의 유사하게 얻어졌음을 볼때 실험결과와 신빙성은 어느 정도 증명되었다고 판단된다. 포텐셜 계산결과와는 물론 현격하게 틀리는데 원주방향으로 약 60° 정도까지만 어느 정도 비슷한 결과를 줄 뿐이다.

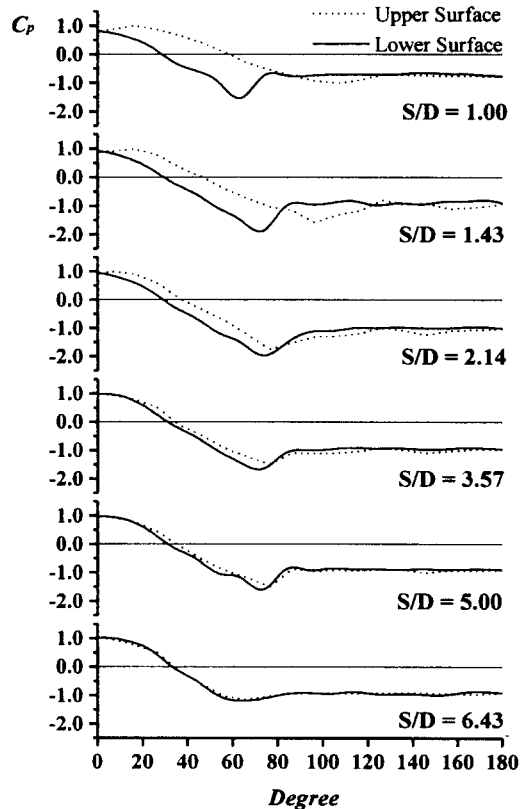


Fig. 7 C_p on upper & lower surfaces ($Fr = 1$)

Fig. 7은 원주표면 상의 압력을 보이고 있는데, 원주방향으로 약 80° 이후에는 거의 일정한 압력 계수 값을 보이며 물수깊이에 따라 $C_p = -1 \sim -1.2$ 정도로 얻어졌다. 물수깊이가 얇아지면 $S/D=3.57$ 에서 보는 것 처럼 상하면의 압력에 차이를 보이기 시작한다. 상반부의 압력은 점차 상승하며, 유동박리점의 위치 (압력

이 일정하게 얻어지기 시작하는 점)는 후반부로 이동되어 수심에 따라 85 ~ 110° 까지 하류로 이동한다. 이는 하반부의 유동박리점이 70 ~ 85° 정도에서 큰 변화가 없는 것과 대조적인 결과로서 하반부의 압력분포는 몰수깊이의 변화에 대하여 별로 민감하지 않았다. 여기서 상반부의 압력이 하부보다 높다는 것은 실린더에 음의 양력이 발생함을 의미한다. 참고로 하반부의 유동박리점 위치로부터 본 유동은 층류경계층 유동임을 다시금 확인할 수 있다. 상반부에서 유동박리점이 하류로 지연되는 이유는, 몰수체가 수면 근처로 올라올수록 수표면에서의 유속이 증가 (즉, 운동에너지가 상승)하여 상면의 박리점 근처에서 경계층 내부의 운동량 결손을 보충해 주게 되어서 박리가 지연되기 때문인 것으로 판단된다. 수심이 S/D=1로

극단적으로 낮아지면 실린더 상부를 물이 빠른 표면유속을 가지고 타고 넘는 형상이 되어 상부에서의 유동박리는 125° 정도까지 지연되는데, 이는 실린더 후방의 전복형쇄파가 관찰되는 파저 (trough) 위치에 거의 근접한다는 사실에서 그 단서를 찾을 수 있다.

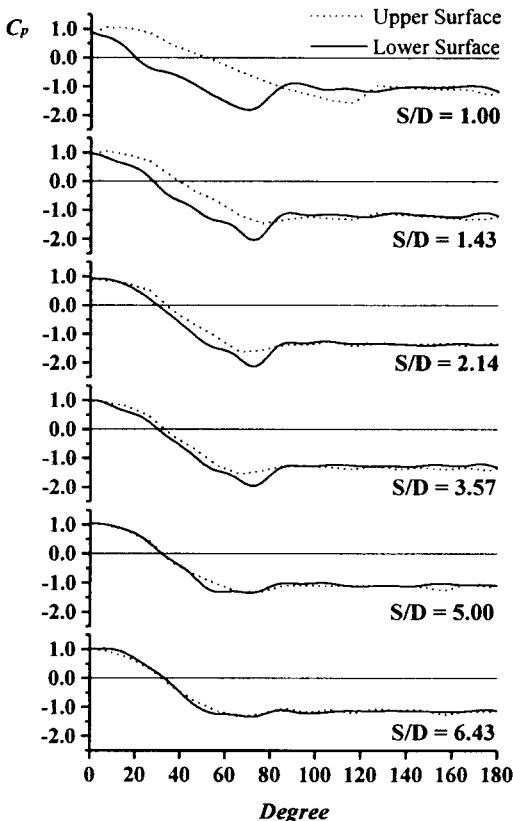
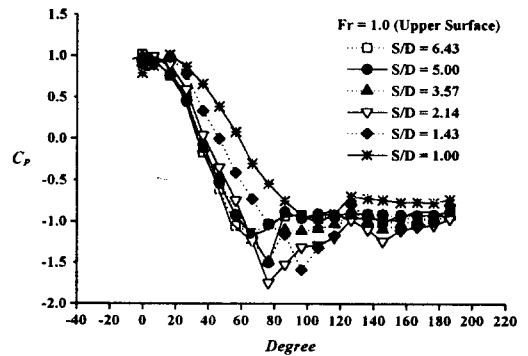
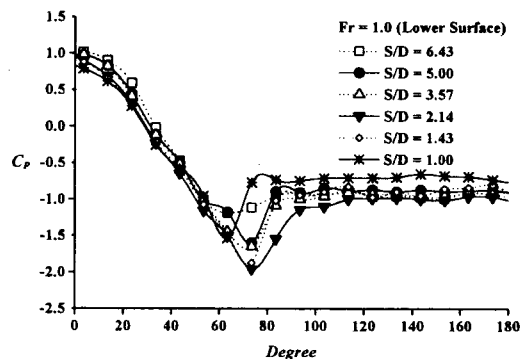


Fig. 8 C_p on upper & lower surfaces ($Fr = 0.567$)



(a) Upper surface



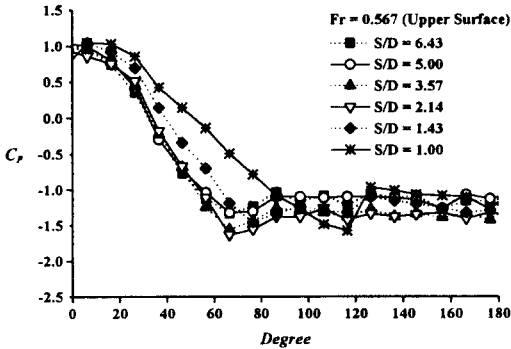
(b) Lower surface

Fig. 9 C_p at various submergence depths ($Fr = 1$)

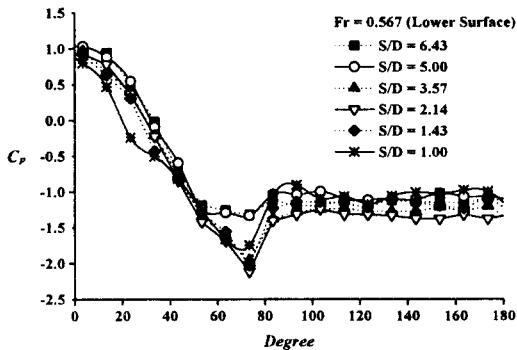
$Fr=0.567$ 인 Fig. 8의 경우도 위와 유사한 결과로서 S/D=6.43에서 원주각 80° 이후에는 일정한 압력분포를 보이고 있는데, 그 절대값은 $Fr=1.0$ 인 경우에 비하여 $C_p = -1.2 \sim -1.35$ 정도로 좀 더 낮게 예측되었다. 한편 Fig. 9와 Fig. 10에서는 위에 보인 결과를 상반

부와 하반부를 별도로 하여 각각의 몰수심 변화에 따른 압력분포의 영향을 좀 더 자세히 보여줄 목적으로 별도로 제공하였다.

발생이 시작되는 몰수깊이나 쇄파발생이 시작되는 몰수깊이 등의 기준을 결정하는데 압력분포를 직접적인 잣대로 사용하기엔 다소 무리가 있다 하겠다.



(a) Upper surface



(b) Lower surface

Fig. 10 C_p at various submergence depths ($Fr = 0.567$)

이상에서 살펴본 실린더표면 압력분포와 Fig. 3과 Fig. 5의 파형 간에는 분명 연관관계가 존재하고 있다. 포텐셜 해석으로 파형을 구하고자 할 때 실린더 표면에서 계측된 실제압력을 바탕으로 경계조건을 개선하여 사용한다면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이라는 개념도 이에 해당된다. 더욱이 실린더 표면압력을 알 경우 상부의 파형을 짐작할 수 있다는 것은 어느 의미에서 상식적인 사항이라 할 수도 있다. 그러나 파가 육안으로 관찰되지 않는 깊은 몰수깊이에서부터 정상파

4. 결론 및 제언

수면하에서 정속으로 움직이는 원형실린더에 의하여 생성되는 정상파 및 쇄파에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 연구는 몰수체에 의하여 생성되는 자유 표면파, 특히 쇄파현상에 대한 전반적인 기초자료의 확보와 쇄파에 대한 관찰에 목적을 두고 실시되었다. 총3부로 나누어 발표할 본 연구의 제1부는 회류수조에서 수행한 일련의 실험에 대한 실험 장치의 소개와 몰수깊이 및 유속에 따른 파형과 압력분포 변화를 소개하고 있다. 이 내용은 전통적인 선박유체역학 분야 종사자들에게 유익한 실험자료를 제공할 것이다.

(2) 몰수심에 따른 파형은 충분히 깊은 몰수심에서 부터 알아질수록 정상파의 발생 → 정상파의 증폭 → 쇄파의 초기발생 → 쇄파의 증가와 정상파의 감소 → 쇄파의 증가로 이어지는 변화과정을 보여주었다. 쇄파의 발생은 정상파의 상대적 감소를 유발하여 쇄파가 매우 강해지면 정상파는 더 이상 존재하지 않았다. 쇄파가 발생하는 지점의 파경사각은 약 12도 정도로 얻어졌다.

(3) 몰수심에 따른 표면압력분포의 변화를 계측하여 databank화 하였다. 물체 상부에서의 압력분포는 몰수심이 알아질수록 증가하며, 물체 상부의 운동량증가로 인하여 유동박리가 지연되면서 유동박리점이 후반부로 이동하는 경향을 잘 보여주었다. 물체 하부의 압력은 상대적으로 자유표면의 존재에 그다지 민감하지 않았다. 이로부터 실린더에는 음의 양력이 발생함을 알 수 있었다.

(4) 뒤이어 발표될 제2부는 쇠파주위 점성유동장의 특성을 속도결손과 난류용력의 관점에서 해석하게 되며, 제3부는 PIV를 이용한 쇠파주위 순간 유동장의 정량적 가시화를 통한 실린더와 쇠파간의 상호작용을 해석하여 전체 결과를 보완하고자 한다.

후 기

실험과정을 거쳐 많은 도움을 준 한국해양대학교 조선해양공학부의 안영규, 최경신 제군을 비롯한 회류수조실의 학생들에게 고마움을 표한다.

끝으로 본 연구는 한국과학재단의 연구비지원으로 1996년부터 3년간 수행한 특정기초연구사업(과제번호 : 96-0200-14-01-3)의 연구결과임을 밝히며, 동 재단에 심심한 감사를 표한다.

참 고 문 헌

- [1] 이승준, "수면파의 쇠파모형에 관한 Review", 충남대학교 산업기술연구소 논문집 제10권 제1호, 1995.6
- [2] Duncan, J.H., "The Breaking and Non-Breaking Wave Resistance of a Two-Dimensional Hydrofoil", J. Fluid Mech., Vol. 126, pp. 507-520, 1983.
- [3] Shin, M.S. & Mori, K.H., "On Turbulent Characteristics and Numerical Simulation of 2-Dimensional Sub-Breaking Waves", J. Soc. Naval Arch. of Japan (SNAJ), Vol. 165, pp. 1-7, 1989.
- [4] Wu, J.Z., "Interfacial Vorticity Dynamics and Its Relevance to Free-Surface Turbulence", 1995 ONR Workshop on Free-Surface Turbulent Flows, CALTECH, Feb. 27 - Mar. 1, 1995.
- [5] Parkin, B.R., B. Perry & T.Y. Wu, "Pressure Distribution on a Hydrofoil Running Near the Water Surface", J. Applied Physics, Vol. 27, No. 3, pp. 232-240, 1956.
- [6] Baba, E., "A New Component of Viscous Resistance", J. Soc. Naval Arch. Japan, Vol.125, 1969.
- [7] 이흥기, 배광준, "수중익에 의한 비선형 조파현상의 수치해석", 대한조선학회 논문집 제30권 제3호, 1993.
- [8] 신명수, 이영길, 김은찬, 양승일, "비대선수 주위의 Sub-Breaking Wave 탐지기법", 대한조선학회 논문집 제29권 제3호, 1992.
- [9] 정우철, Y. Doi & K. Mori, "선수부 자유 표면 부근의 와 유동과 난류 특성에 관한 수치적 연구", 대한조선학회 논문집 제35권 제1호, 1998.
- [10] White, F.M., "Viscous Fluid Flow", 2nd ed., McGraw Hill, 1991.