

수면하 수중의 주위 유동장 및 쇄파의 실험적 해석에 관한 연구

최 경 신/선박검사기술협회 기술심사부

(지번호에서 계속)

4. 실험결과 및 토의

파형 예측결과는 <그림 13>~<그림 15>와 같으며, 수중의 후류에서의 수두손실에 관한 실험 결과는 <그림 16>~<그림 17>과 같다. PIV를 이용한 유동장 해석결과는 <그림 18>~<그림 36>에 나타나 있다. 대부분의 실험은 유속이 $Fr = 0.567$ 에서 수행되었으나, Fr 수와 Re 수에 따른 영향을 보기 위하여 $Fr = 1.0$, $Re = 99200$ 에서도 수행하였다.

4.1. 파형 예측결과

먼저 유속이 $Fr = 0.567$ (<그림 13>)일때의 결과를 보면 쇄파가 발생하는 지점(그림에 *표시)은 두번째 파가 시작하여 파정에 이르는 중간지점으로 여기서 파 경사각이 최대가 된다. 파형의 변화순서는 다음과 같다. 우선, 정상파의 발생 → 정상파의 증폭(파고(h)는 증가하나 파장은 증가하지 않는다. 이는 수치해석법에 의해 파형을 계산한 값과 일치하는 현상이다) → 쇄파의 초기발생(여기서 쇄파의 초기발생지점은 자유표면에 잔물결이 생기는 시점으로 파 경사각은 대략 14° , 쇄파의 초기발생이후 물 수심이 감소함에 따라 수중의 후방에서의 파형의 형

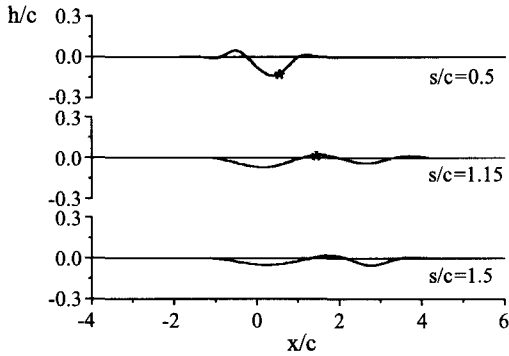
태가 파정의 파고가 점점 증가하면서 앞쪽으로 진행되는 형태로 변화한다) → 쇄파의 증가와 정상파의 감소 → 쇄파의 증가로 인한 정상파의 소멸로 진행되는 파형의 변화를 예측하였다.

쇄파가 충분히 발생하면 파고는 감소함을 볼 수 있었으며, 수면이 낮아지면서 쇄파가 발생하면 쇄파저항이 점차 증가하고 전상 비점성 Potential 조파저항이 감소하여 쇄파저항 대 조파저항의 비가 감소한다는 사실을 확인(Duncan(3))할 수 있었다.

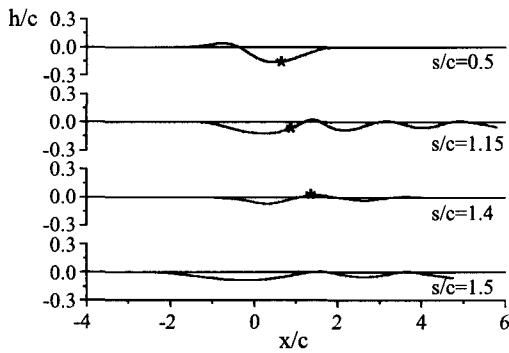
한편, $Fr = 1.0$ (<그림 14>)인 경우에는 $Fr = 0.567$ 에서와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 받음각이 5° 일때는 쇄파가 발생하지 않았으며 그외의 받음각에서는 쇄파발생 물수심이 $Fr = 0.567$ 일때와 비교해볼 때 좀더 깊어짐을 알 수 있었다. 최대 파경사각은 물수심의 감소에 따라 서서히 증가하다가 약 14° 부근에서 쇄파가 발생하였는데 이는 Duncan이 발표한 17° 보다 작은 값을 나타내는데 이는 회류수조에서의 Free-Stream Turbulence와 상류표면의 영향으로 비정상 상태를 나타내기 때문으로 사료된다.

날개의 받음각(α) 변화에 따른 파형의 결과를 보면 받음각 증가에 따라 다양한 파형패턴을 나타내고 있으며 첫번째 파의 골(Trough)이 깊어짐을 볼 수 있다. 쇄파가 발생한 이후의 파는 파고가 현저히 감소하고 있으며 받음각이 증가함에 따라 이러한 경향은 더욱 두드러져 보인다.

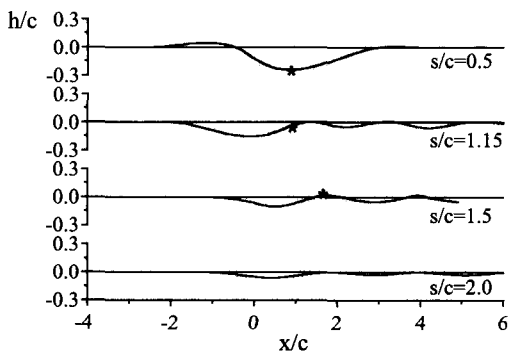
다. 이는 쇄파발생이 파도에너지를 난류에너지로 변환하는 메커니즘을 가지고 있기 때문에 쇄파발생이 심할수록 정상파의 파고는 낮아진다는 과거의 연구결과들과 일치하는 결과이다.



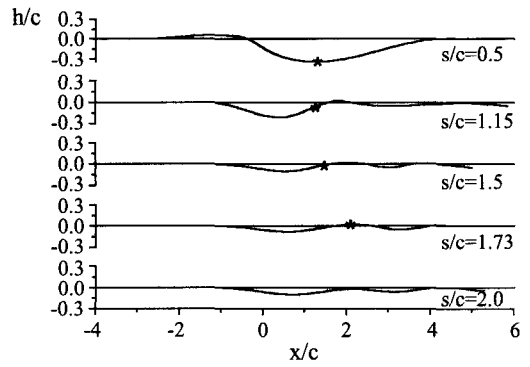
(a) Angle of Attack = 5 deg. (Fr = 0.567)



(b) Angle of Attack = 10 deg. (Fr = 0.567)

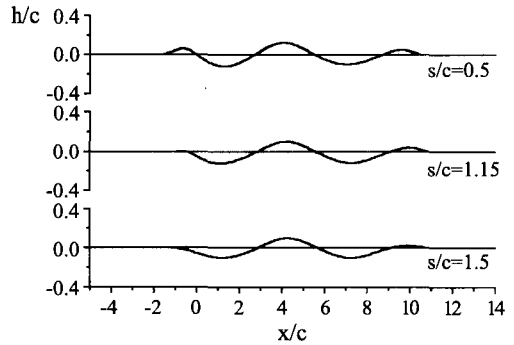


(c) Angle of Attack = 15 deg. (Fr = 0.567)

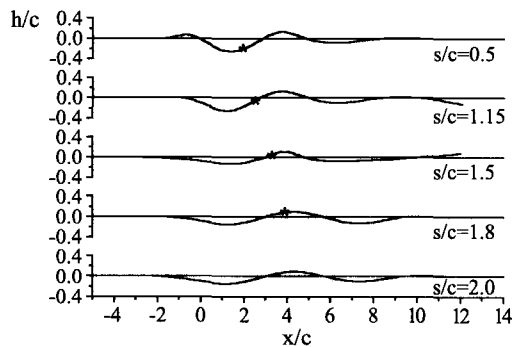


(d) Angle of Attack = 20 deg. (Fr = 0.567)

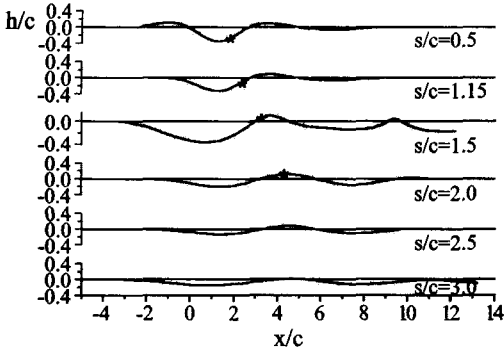
〈그림 13〉 Wave Profile at Various Angle of Attack (Fr = 0.567)



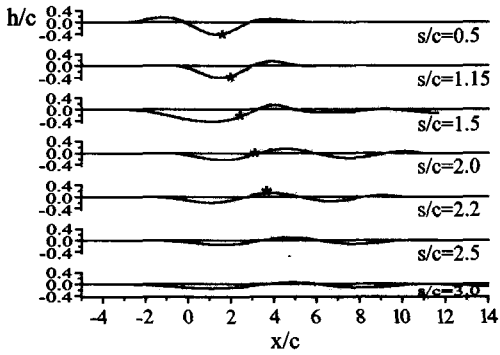
(a) Angle of Attack = 5 deg. (Fr = 1.0)



(b) Angle of Attack = 10 deg. (Fr = 1.0)

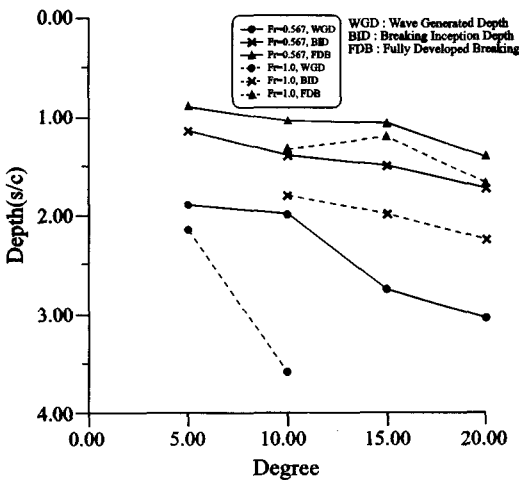


(c) Angle of Attack = 15 deg. (Fr = 1.0)



(d) Angle of Attack = 20 deg. (Fr = 1.0)

〈그림 14〉 Wave Profiles at Various Angle of Attack (Fr = 1.0)

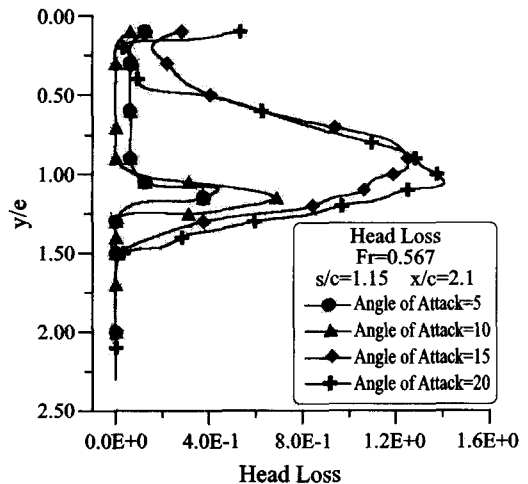


〈그림 15〉 Wave Characteristics

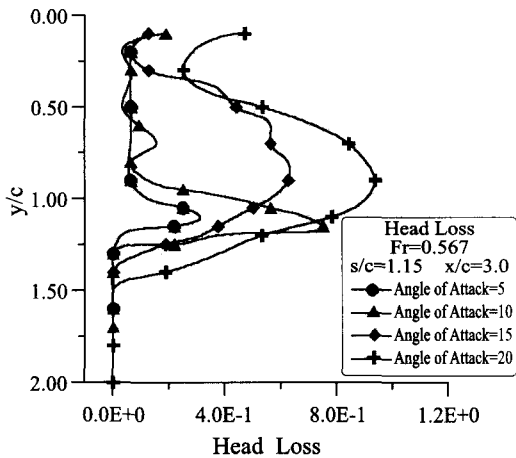
〈그림 15〉에는 받음각이 변함에 따라 파형 발생, 초기쇄파 및 완전쇄파가 발생하는 몰수심이 표시되어 있다. 세 경우 모두 받음각이 증가할수록 발생수심이 증가함을 볼 수 있으나 받음각 15도에서의 쇄파발생 몰수심이 상대적으로 얇은 점이 눈에 띄며 특히 $Fr = 1.0$ 일때의 완전쇄파 몰수심이 타 받음각과 비교해서 얇음도 관찰할 수 있었다.

4.2 반류 계측결과

수중의 후류에서의 쇄파영역내부의 전수두손실(Δh) 및 속도결손 계측의 예는 〈그림 16〉~〈그림 17〉에 주어져 있다. 받음각 5도와 10도에서 수중의 후류에서의 반류영역이 비교적 좁게 나타난 반면 받음각 15도와 10도에서 반류영역이 급격히 증가된 것을 볼 수 있는데 이는 받음각 15도에서 이미 날개상면에서 유동박리가 발생되었음을 의미한다. 〈그림 16〉에서 보듯이 모든 받음각에 대하여 쇄파가 발생하였기 때문에 자유표면 근처의 수두손실이 급격하게 증가된 것을 알 수 있으며 이로부터 받음각이 증가할수록 쇄파에 의한 난류에너지로의 에너지 변환이 커짐을 확인할 수 있다. 더구나 20도에

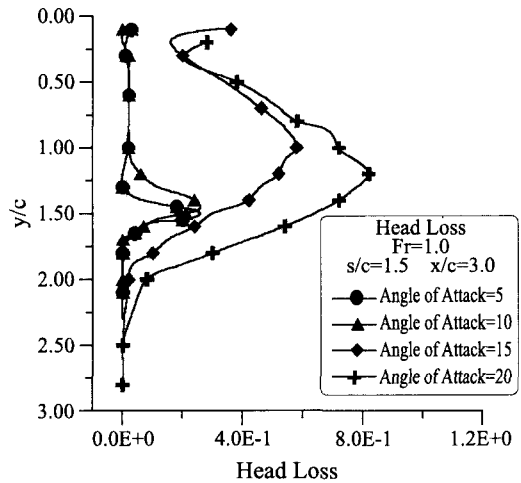


(a) At $x/c = 2.1$ ($s/c = 1.15$)



(b) At $x/c=3.0$ ($s/c=1.15$)

〈그림 16〉 Head Loss Distributions at Various Angle of Attack ($Fr=0.567$)



(b) At $x/c=3.0$ ($s/c=1.5$)

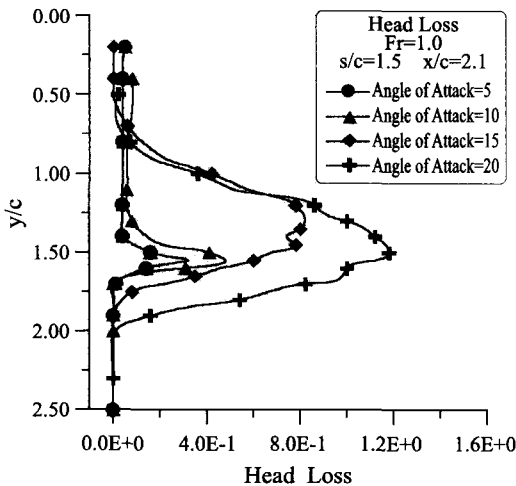
〈그림 17〉 Head Loss Distributions at Various Angle of Attack ($Fr=1.0$)

서는 수중의 후류의 반류영역과 자유표면 근처에서 보이는 쇄파(Breaker)에 의한 반류영역이 이미 어느정도 상호작용을 일으키고 있음을 볼 수 있다. 참고로 쇄파저항은 측정된 수두손실을 한 단면에 대하여 적분함으로써 얻어지기 때문에 그림에 보이는 수두손실범위가 넓을수록 쇄파저항은 증가한다.

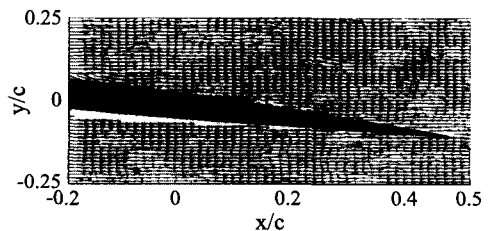
4.3. PIV 계측결과

본 논문에서 각 받음각에 따른 순간 및 평균 유동장 계측을 위하여 PIV System을 사용하였으며 미소구간의 계측을 위하여 AOM같은 보완장비를 사용하였다. AOM의 Exposure time은 1000pulse, 16666pulse이며 시간간격 Δt 는 계측하는 유동장의 크기에 따라 2500pulse, 5400pulse와 16667pulse를 설정하였다.

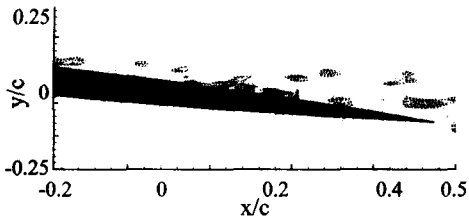
〈그림 18〉는 받음각 5도에서 계측영역 7cm를 촬영한 것이다. AOM의 Exposure time은 1000pulse이며 Δt 는 2500pulse로 촬영하였다. 순간유속분포에서의 수중익주위의 속도결손이 명확하지 않았지만 순간와도분포



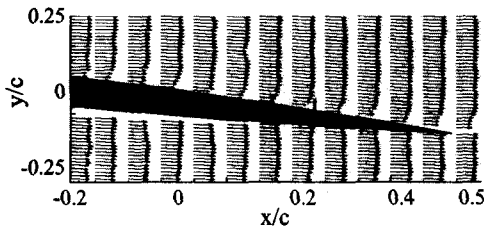
(a) At $x/c=2.1$ ($s/c=1.5$)



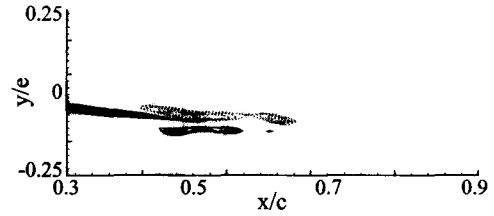
(a) Instantaneous Velocity Field



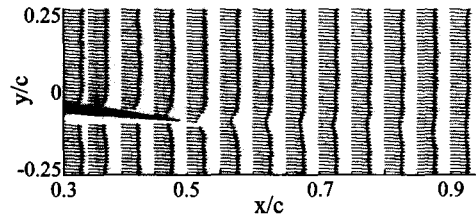
(b) Instantaneous Vorticity Field



(c) Time - Averaged Velocity



(b) Instantaneous Vorticity Field



(c) Time - Averaged Velocity

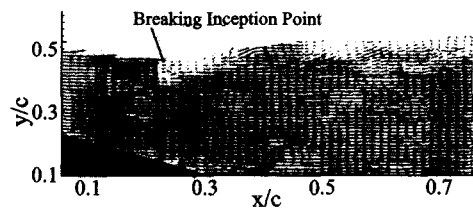
〈그림 19〉 Wake of Angle of Attack = 5 deg.
(Fr = 0.567, s/c = ∞)

〈그림 18〉 Boundary Layer of Angle of Attack = 5 deg. (Fr = 0.567, s/c = ∞)

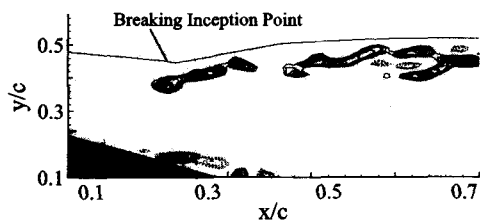
와 시간평균속도분포에서는 날개상면에서의 어느정도의 속도결손이 나타났다. 이는 본 실험에 사용한 수중익 모형이 작으므로 경계층의 크기도 작은 점이 있겠지만 본 논문에 사용한 PIV System의 한계가 아닐까 사료된다.

〈그림 19〉는 받음각이 5도 일 때 수중익 후류로 계측영역은 7cm이며 Exposure time은 1000pulse이며 Δt 는 2500pulse이다. 순간속도분포에서 수중익 끝단에서의 속도결손이 미약하게나마 나타났으며 순간와도 분포와 시간평균속도분포에서도 속도결손 부

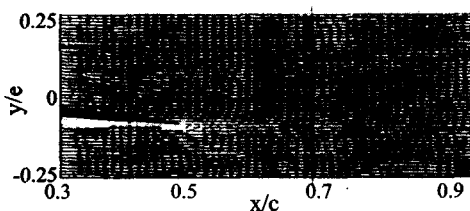
분이 나타나 있다. 하지만 Wake가 너무 빨리 소멸되는 점으로 미루어 볼 때 이 또한 본 실험에 사용한 모형과 System의 한계가 아닐까 사료된다.



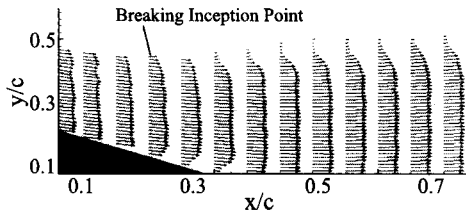
(a) Instantaneous Velocity Field



(b) Instantaneous Vorticity Field



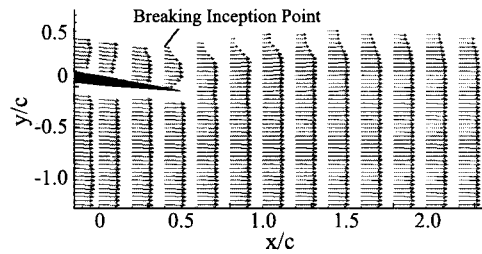
(a) Instantaneous Velocity Field



(c) Time - Averaged Velocity

〈그림 20〉 Breaking-Region of Angle of Attack = 5 deg. ($Fr = 0.567$, $s/c = 0.5$)

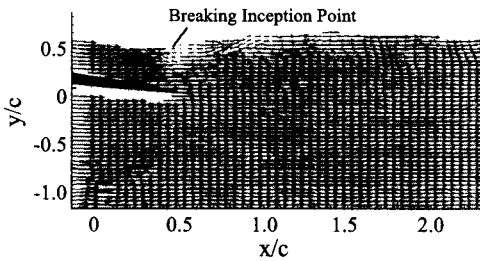
〈그림 20〉은 받음각 5도의 물수심(s/c)이 0.5일 때의 쇄파영역을 계측한 것이다. Exposure time은 1000pulse이며 Δt 는 2500pulse이다. 모든 그림에서 쇄파에 의한 쇄파영역에서의 속도결손이 잘 나타났으며 순간와도분포에서 보듯이 쇄파영역에서 발생한 강한 와류가 후류로 진행되는 것도 볼 수 있으며 시간평균유속분포에서 쇄파영역에서의 속도결손이 명확히 나타나 있다.



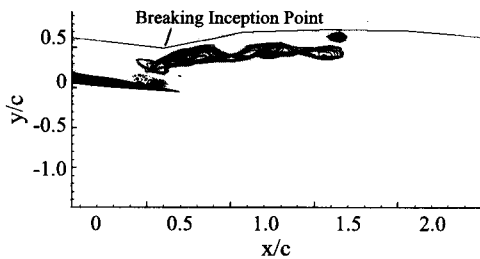
(c) Time - Averaged Velocity

〈그림 21〉 Global View of Angle of Attack=5 deg. ($Fr = 0.567$, $s/c = 0.5$)

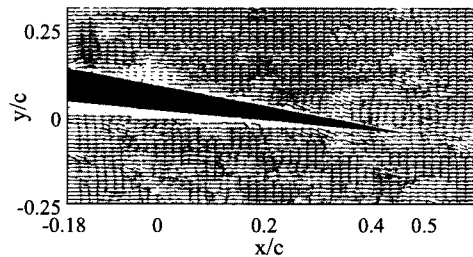
〈그림 21〉은 받음각이 5도, 물수심이 0.5일 때 계측영역을 30cm로 하여 계측한 그림이다. 〈그림 25〉과 비교해볼 때 Resolution이 많이 떨어져서 〈그림 25〉보다 명확하지는 않지만 모든 그림에서 쇄파발생영역에서의 속도결손이 잘 나타나 있다. 쇄파영역에서 쇄파에 의해 발생한 와류가 후류로 흘러가는 모습도 잘 나타나 있다.



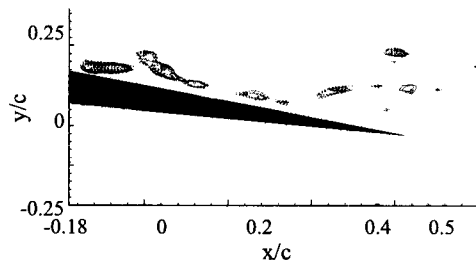
(a) Instantaneous Velocity Field



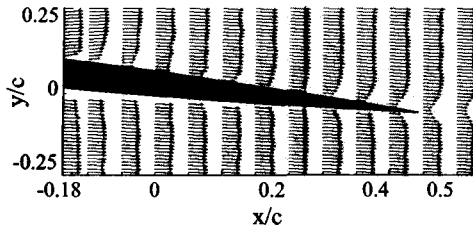
(b) Instantaneous Vorticity Field



(a) Instantaneous Velocity Field



(b) Instantaneous Vorticity Field

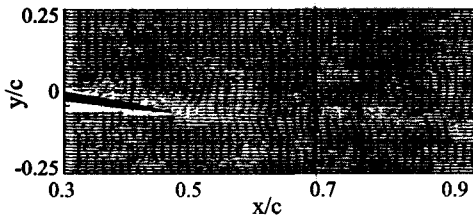


(c) Time - Averaged Velocity

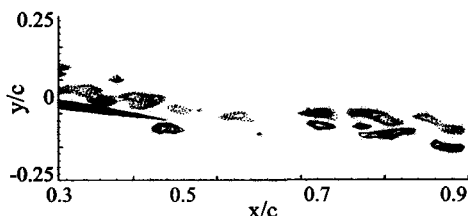
〈그림 22〉 Boundary Layer of Angle of Attack = 10 deg. ($Fr = 0.567, s/c = \infty$)

〈그림 22〉은 받음각 10도, 무한수심에서 계측영역을 7cm로 하여 계측한 그림이다. 받음각 5도에 비하여 어느정도 경계층부근에서의 속도 결손을 볼 수 있으며 유동박리의 징후가 미약하게나마 나타나고 있다. 와도분포와 시간평균 속도분포에서도 경계층부근과 반류부근의 속도결손을 볼 수 있다.

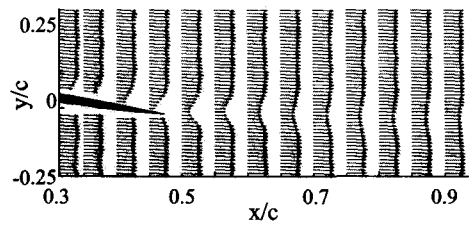
〈그림 23〉은 받음각 10도, 무한수심에서 수중의 후류의 반류영역을 계측한 그림이다. 모든 그림에서 반류영역에서의 속도손실이 잘 나타나 있으며 순간와도분포 그림에서 보듯이 반류 중심선(Wake Centerline)을 따라 양과 음의 와도가 존재함을 볼 수 있다.



(a) Instantaneous Velocity Field

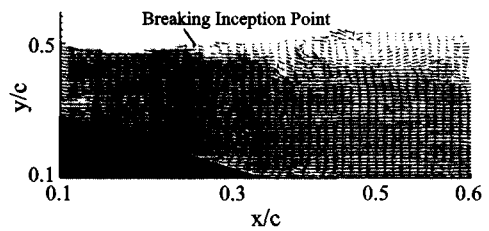


(b) Instantaneous Vorticity Field

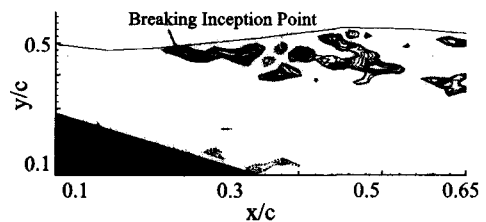


(c) Time - Averaged Velocity

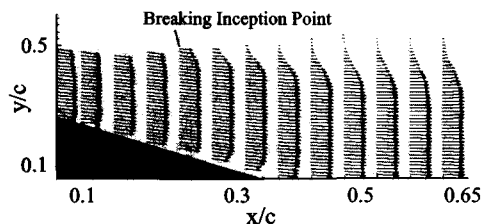
〈그림 23〉 Wake of Angle of Attack = 10 deg. ($Fr = 0.567, s/c = \infty$)



(a) Instantaneous Velocity Field



(b) Instantaneous Vorticity Field

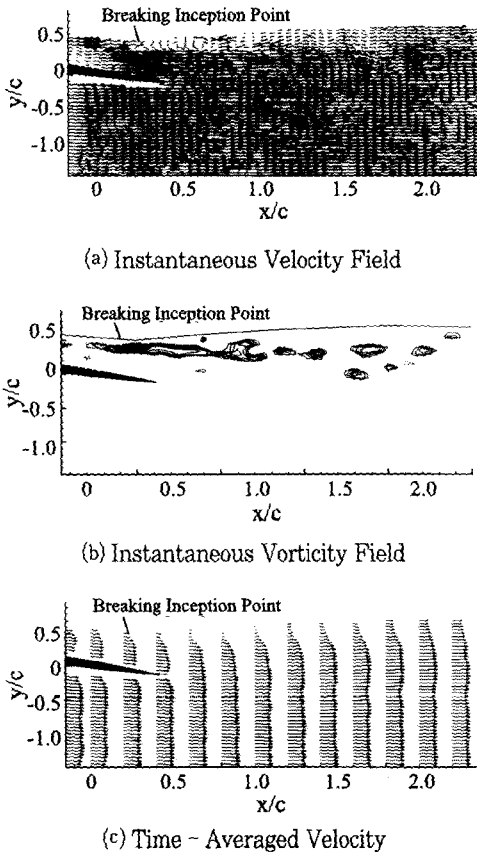


(c) Time - Averaged Velocity

〈그림 24〉 Breaking - Region of Angle of Attack = 10 deg. ($fr = 0.567, s/c = 0.5$)

〈그림 24〉은 받음각 10도, 물수심 0.5일 때

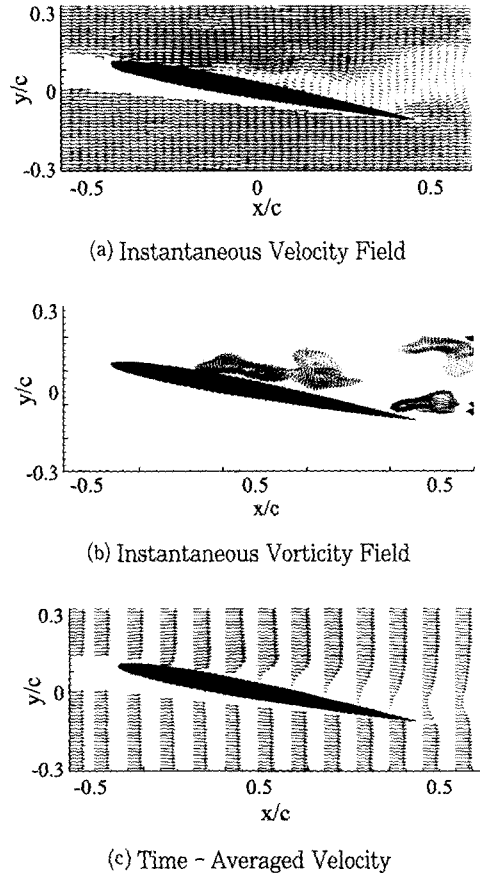
의 쇄파영역을 계측한 그림이다. 모든 그림에서 쇄파의 발생으로 인한 속도결손과 강한 와도를 볼 수 있으며 시간평균속도분포에서 흐름의 역류가 어느정도 보인다.



〈그림 25〉 Global View of Angle of Attack = 10 deg. ($Fr = 0.567, s/c = 0.5$)

〈그림 25〉은 받음각 10도, 물수심 0.5에서 계측영역을 30cm로 하여 계측한 그림이다. 〈그림 29〉와 비교해서 Resolution이 많이 떨어지지만 쇄파발생영역에서의 속도결손 및 강한 와도를 볼 수 있다. 또한 쇄파의 발생으로 인해 자유수면근처의 계측영역 전반에 걸쳐 속도결손도 볼 수 있다. 아직까지는 날개상면에서의 유동박리가 발생하지 않아서 수중익의 반류와 쇄파의 발생에 의한 쇄파영역의 반류가 서로 상호

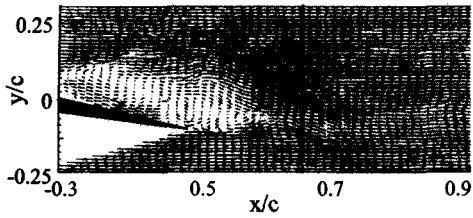
작용을 일으키는 지는 명확히 알 수 없다.



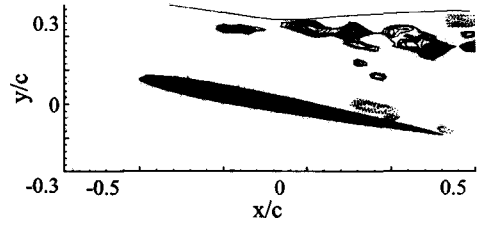
〈그림 26〉 Boundary Layer of Angle of Attack = 15 deg. ($Fr = 0.567, s/c = \infty$)

〈그림 26〉은 받음각 15도, 물수심이 무한수심일 때 수중익주위 경계층을 계측한 그림이다. 받음각 5도와 10도에 비해 날개상면에서의 강한 유동박리가 발생하여 큰 와류들이 수중익 표면으로부터 떨어져 나가는 것을 확연히 볼 수 있으며 큰 와류들에 의한 와도분포도 확연히 볼 수 있다.

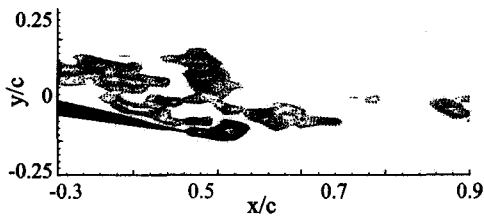
〈그림 27〉은 받음각 15도, 물수심 무한수심에서 수중익 후류의 반류 영역을 계측한 그림이다. 〈그림 31〉에서 보았듯이 날개상면으로부터의 강한 유동박리가 발생함을 볼 수 있으며 날개



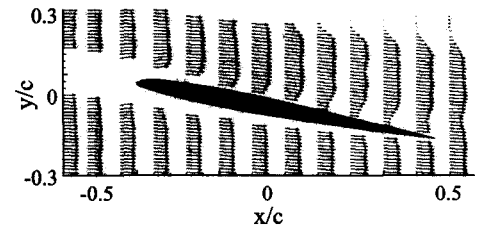
(a) Instantaneous Velocity Field



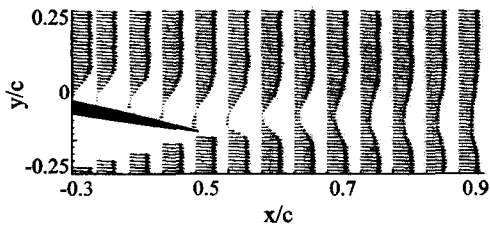
(b) Instantaneous Vorticity Field



(b) Instantaneous Vorticity Field



(c) Time - Averaged Velocity

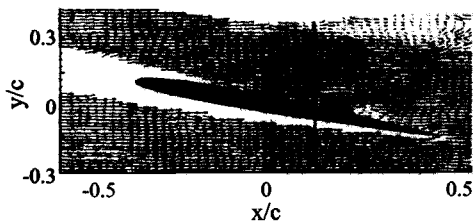


(c) Time - Averaged Velocity

〈그림 28〉 Boundary Layer of Angle of Attack = 15 deg. ($Fr = 0.567, s/c = 0.6$)

〈그림 27〉 Wake of Angle of Attack = 15 deg. ($Fr = 0.567, s/c = \infty$)

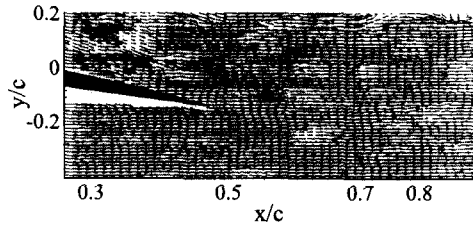
상면에서 유동박리에 의한 흐름의 역류도 볼 수 있다. 와도분포도 확연히 볼 수 있다.



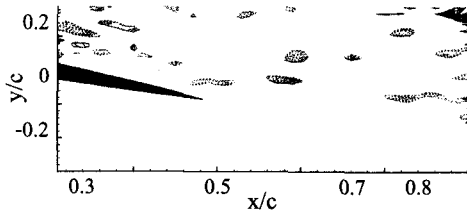
(a) Instantaneous Velocity Field

〈그림 28〉은 받음각 15도, 물수심 0.6일 때의 수중의 주위 경계층을 계측한 그림이다. 〈그림 26〉과 비교하여 볼 때 날개상면에서의 강했던 유동박리가 거의 발생하지 않았다. 육안관찰 결과 물수심이 낮아질수록 유동박리의 세기는 약화되었으며 물수심이 0.7부근에서는 유동박리현상을 거의 육안으로 관찰할 수 없었다. 이는 쇄파의 발생이 날개상면에서의 압력분포에 간섭하여 유동박리의 발생을 억제하는 것이 아닐까 사료된다. 또한 모든 그림에서 쇄파의 발생으로 인한 자유수면근처의 속도결손을 볼 수 있으며 와도분포는 쇄파발생영역에서 강한 와도가 떨어져 나가는 것을 볼 수 있는 반면 날개상면에서의 유동박리 현상의 감소로 인하여 날개상면에서의 와도는 미약하게 감지 되었다.

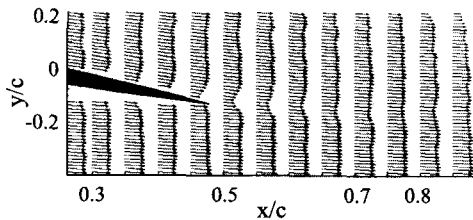
〈그림 29〉는 받음각 15도, 물수심 0.6일 때 수중의 후류 반류영역을 계측한 그림이다. 무한수심과 비교해 볼 때 날개상면에서의 유동박리의 감소로 인해 날개상면으로부터 떨어져 나오는 와류를 감지할 수 없으며 쇄파의 발생에 의



(a) Instantaneous Velocity Field



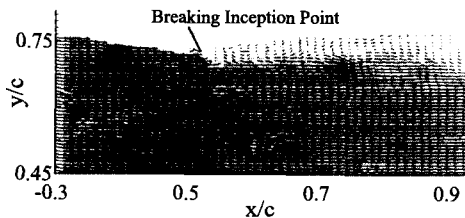
(b) Instantaneous Vorticity Field



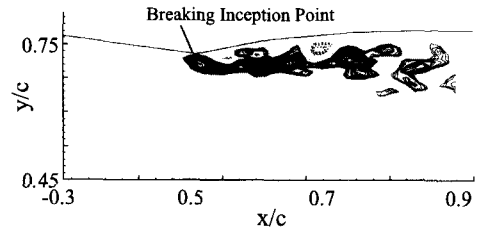
(c) Time - Averaged Velocity

<그림 29> Wake of Angle of Attack = 15 deg.
(Fr = 0.567, s/c = 0.6)

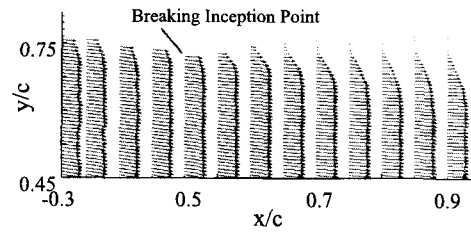
한 쇄파영역의 확대에 의하여 계측범위 상단에서 쇄파영역의 속도결손이 어느정도 감지되었다.



(a) Instantaneous Velocity Field



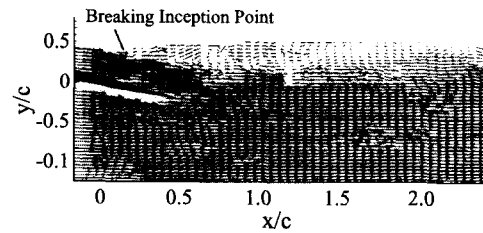
(b) Instantaneous Vorticity Field



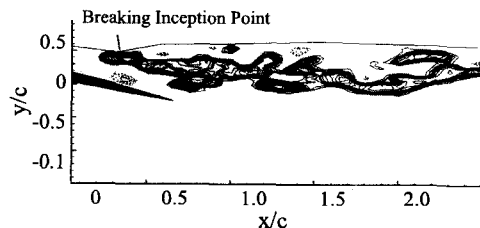
(c) Time - Averaged Velocity

<그림 30> Breaking-Region of Angle of Attack = 15 deg. (Fr = 0.567, s/c = 0.5)

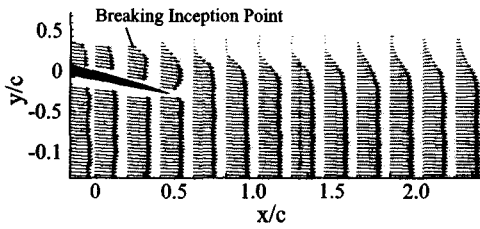
<그림 30>은 받음각 15도, 물수심 0.5일 때 쇄파발생영역을 계측한 그림이다. 모든 그림에서 쇄파의 발생으로 인한 유속결손 및 와류의 발생으로 인한 와도분포를 확연히 볼 수 있다.



(a) Instantaneous Velocity Field



(b) Instantaneous Vorticity Field

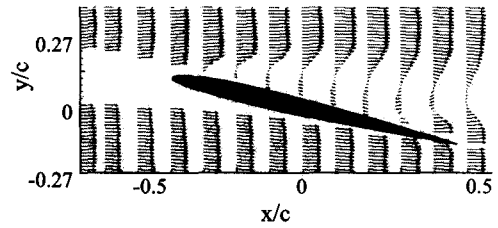


(c) Time - Averaged Velocity

〈그림 31〉 Global View of Angle of Attack = 15 deg. (Fr = 0.567, s/c = 0.5)

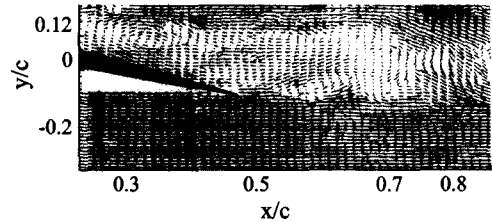
〈그림 31〉은 받음각 15도, 물수심 0.5일 때 수중의 주위 전반적인 유동장을 계측한 그림이다. 쇄파영역이 크게 확대되었으며 유동장 전면에 쇄파에 의한 자유수면 근처의 속도결손과 와도분포 및 날개상면에서의 유동박리의 소멸을 볼 수 있다.

〈그림 32〉는 받음각 20도, 물수심 무한수심에서 수중의 주위 경계층을 계측한 그림이다. 받음각 15도와 비교해서 볼 때 유동박리가 발생하는 지점이 훨씬 앞쪽으로 변화하였으며 시간평균속도분포에서도 흐름의 역류를 확연히 볼 수 있으며 와류 또한 훨씬 강함을 볼 수 있다.

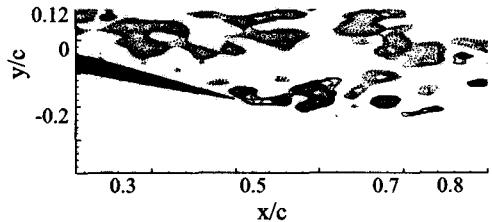


(c) Time - Averaged Velocity

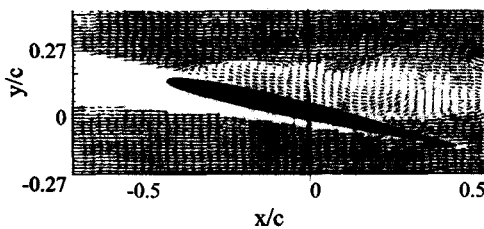
〈그림 32〉 Boundary Layer of Angle of Attack = 20 deg. (Fr = 0.567, s/c = ∞)



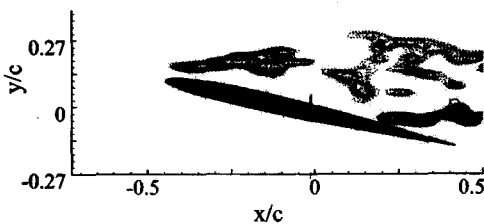
(a) Instantaneous Velocity Field



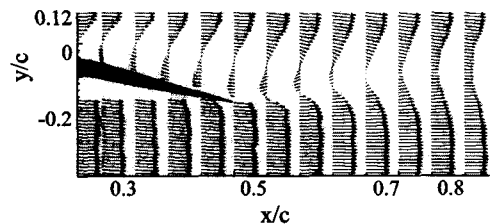
(b) Instantaneous Vorticity Field



(a) Instantaneous Velocity Field



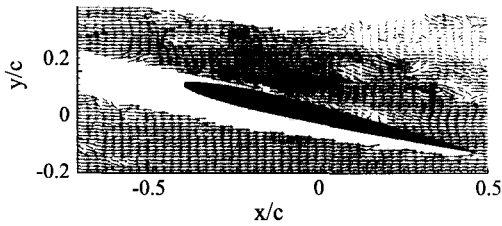
(b) Instantaneous Vorticity Field



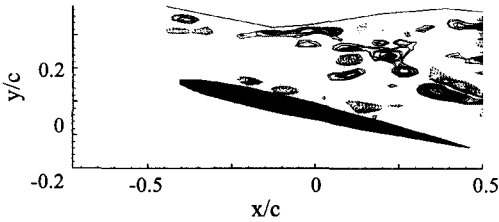
(c) Time - Averaged Velocity

〈그림 33〉 Wake of Angle of Attack = 20 deg. (Fr = 0.567, s/c = ∞)

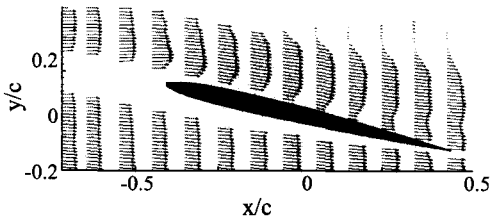
〈그림 33〉은 받음각 20도, 몰수심이 무한수심에서 수중의 후류 반류영역을 계측한 그림이다. 받음각 15도에 비해 훨씬 강한 유동박리에 의해 반류영역에서의 속도결손과 날개상면에서의 강한 와류 및 시간평균속도분포에서의 흐름의 역류를 확연히 볼 수 있다.



(a) Instantaneous Velocity Field



(b) Instantaneous Vorticity Field

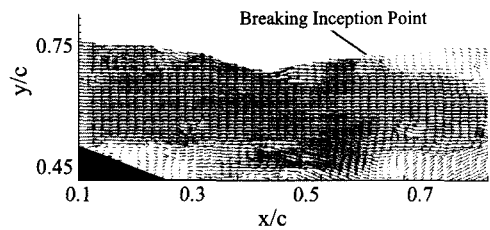


(c) Time - Averaged Velocity

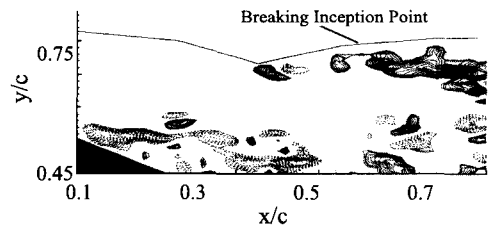
〈그림 34〉 Boundary Layer of Angle of Attack = 20 deg. ($Fr = 0.567$, $s/c = 0.55$)

〈그림 34〉는 받음각 20도, 몰수심 0.55일 때 수중의 주위 경계층을 계측한 그림이다. 받음각 15도와 마찬가지로 그림에서 볼 수 있듯이 몰수심이 작아지자 날개상면에서의 유동박리가

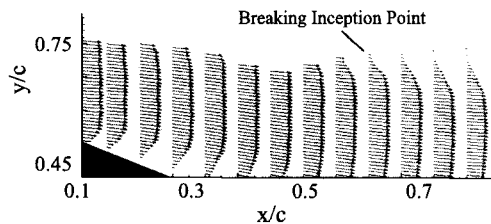
점차 소멸되었으며 쇄파의 발생에 의한 쇄파영역이 후류방향으로 사선을 그리며 확대되는 것을 볼 수 있다. 이로 인해 몰수심이 충분히 감소하면 쇄파영역에서 발생한 강한 와류가 자유수면으로부터 아래쪽을 향하여 발달하며 이로 인하여 날개상면에서의 유동박리를 억제하는 것으로 사료된다.



(a) Instantaneous Velocity Field



(b) Instantaneous Vorticity Field

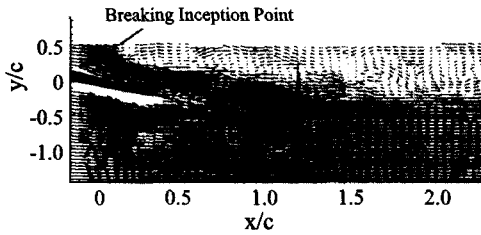


(c) Time - Averaged Velocity

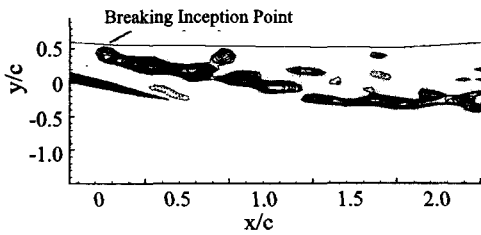
〈그림 35〉 Breaking - Region of Angle of Attack = 20 deg. ($Fr = 0.567$, $s/c = 0.75$)

〈그림 35〉는 받음각 20도, 몰수심 0.75일 때 쇄파발생영역을 계측한 그림이다. 아직까지 날개상면에서 유동박리가 발생하고 있지만 강도

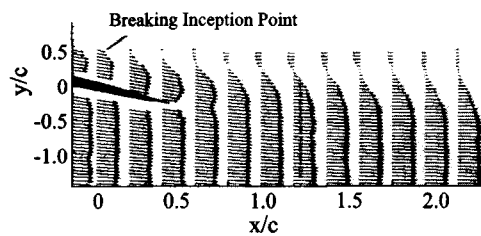
는 많이 감쇄됨을 볼 수 있으며 쇄파로부터 떨어져 나오는 와류와 날개상면에서 떨어져 나오는 와류가 상호작용을 일으키며 후류로 흘러갈 것으로 사료된다.



(a) Instantaneous Velocity Field



(b) Instantaneous Vorticity Field



(c) Time - Averaged Velocity

〈그림 36〉 Global View of Angle of Attack = 20 deg. ($Fr = 0.567$, $s/c = 0.5$)

〈그림 36〉은 받음각 20도, 물수심 0.5일 때 수중의 주위 전반적인 유동장을 계측한 그림이다. 날개상면에서의 유동박리는 거의 소멸되었으며 쇄파로부터 발생한 강력한 와도가 수면으로부터 아래쪽을 향하여 발달하며 후류로 흘러감을 볼 수 있으며 강한 쇄파에 의해 자유수면은

처 쇄파영역에서의 흐름의 역류도 볼 수 있다.

5. 결론 및 제언

쇄파현상을 이해하기 위한 방법으로 쇄파발생 이후의 유동장에 대하여 다양한 물리적인 값들을 계측하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 수중의 물수심 변화에 따른 자유수면에서의 파형의 변화를 관찰한 결과 자유수면에서 파형이 관측된 이후 물수체의 물수심을 감소시키면, 자유수면에서는 파형의 파장은 일정하나 파고는 증가하는 형태로 정상파가 증폭된다. 그러다 일반적으로 파경사각이 약 14° 에서 쇄파가 발생하기 시작하는데 이는 Duncan의 실험값인 17° 와 조금은 큰 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 생각해 보면 파경사각 14° 에서 쇄파가 발생하는 현상을 충분히 이해할 수 있었다.
- 받음각에 의존하는 쇄파저항을 명확히 하기 위하여 받음각에 따른 파형과 쇄파발생조건을 조사하였다.
- 쇄파가 발생한 이후의 파는 파고가 현저히 감소하였으며 받음각이 증가함에 따라 이러한 경향은 더욱 두드러져 보였다. 이는 쇄파발생이 파도에너지를 난류에너지로 변환하는 메카니즘을 가지고 있기 때문에 쇄파발생이 심할수록 정상파의 파고는 낮아진다는 과거의 연구결과들과 일치하며 물수심이 더욱 더 감소하면 수중의 후류에서의 더 이상의 정상파는 관측할 수 없었다.

- 쇄파영역 내부의 수두손실 및 속도결손을 계측하였으며 받음각 5°와 10°에서의 반류영역이 비교적 좁게 나타난 반면 받음각 15°와 20°에서 반류영역이 급격히 증가된 것을 볼 수 있는데 이는 받음각 15°에서 이미 날개상면에서 유동박기가 발생되었음을 의미하며 자유수면 근처의 쇄파의 발생에 의한 수두손실 또한 계측되었다. 이로 인해 받음각이 증가할수록 쇄파에 의한 난류에너지로의 에너지변환이 커짐을 확인할 수 있었으며 쇄파에서의 유동장과 쇄파영향영역이 이전의 연구에서와 같이 물체의 반류와 비슷함을 확인하였다.
- 회류수조에서의 수면하 수중익에 발생하는 쇄파현상연구에 PIV 해석기법을 적용하였으며 순간속도와 와도분포를 정성적으로 구하는데 PIV기법이 유효함을 확인하였다.
- 큰 받음각에서 쇄파에 의한 와도분포와 수중익으로부터 떨어져 나가는 와도분포를 확연히 볼 수 있었으며 쇄파가 끊임없이 발생할 때 쇄파발생 근접지점에서의 크고 센 와류가 발생하여 후류로 진행됨을 확인하였으며 좀더 후류에서 자유표면과 물체의 반류사이의 어느정도 상호작용하는 경향이 있을 것으로 사료된다.
- 큰 받음각의 날개상면에서 발생한 유동박리가 물수심이 감소할수록 감소하다가 소멸되는 것을 볼 수 있었으며 쇄파영역은 아래쪽을 향하여 발달함을 관찰 하였다. 이로 인하여 쇄파의 발생 및 발달이 수중익 날개상면의 압력분포에 영향을 주어 날개상면에서의 유동박리를 억제하는 것으로 사료된다.
- PIV기법을 사용하여 순간속도와 와도분포를 정성적으로 구하는데는 만족할 만한 결과를 얻었지만 본 논문에 사용한 수중익모형의 크기와 회류수조에서의 PIV System

의 한계 때문에 수중익 주위 경계층과 반류영역의 정량적계측은 완전히 달성하지 못하였으며 모형이 알미늄으로 제작되어 LASER 빛이 모형전체를 관통하지 못하고 그림자를 만들어 날개하면에서의 속도분포 또한 계측하지 못하였다. 추후 모형의 투명화와 크기의 대형화를 이룬다면 이번에 얻은 결과보다 보다 만족한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

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] Shin, M.S. & Mori, K.H., "On turbulent characteristics and numerical simulation of 2-dimensional sub-breaking waves", J. Soc. Naval Archi. of Japan (SNAJ), Vol. 165, pp. 1-7, 1989.
- [5] 신명수 등, "비대선수 주위의 sub-breaking wave 탐지기법", 대한조선학회 논문집, Vol.29, No.3, 1992.
- [6] Raymond Cointe, Marshall P. Tulin, "A Theory of Steady Breakers", J. Fluid Mech., Vol. 276, pp. 1-20, 1994.
- [7] 이승준, "수면파의 쇄파모형에 관한 Review", 충남대학교 산업기술연구소 논문집 제10권 제1호, 1995.6

-
- [8] 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.
- [9] J. C. Lin and D. Rockwell, "Evolution of a quasi - steady breaking wave", *J. Fluid Mech.*, Vol. 302, pp. 29-44, 1995
- [10] White, F.M., "Viscous Fluid Flow", 2nd ed., McGraw Hill, 1991.
- [11] 이영호, 최장운, "An Introduction to PIV(Principle & Application)", Flow Information Lab. Korea Maritime Univ. & Image Information Technology Co, 1998. 2.
- [12] 현범수, 신용천, "물수실린더의 수심변화에 따른 파형변화 및 쇄파발생에 관한 연구 (I)", '96 추계조선학회 학술대회 논문집, 서울대학교, 1996. 11.
- [13] Hyun, B.S. and Shin, Y.H. (1997), "On Some Characteristics of Breaking Waves Generated by a submerged Circular Cylinder", *Proc. of the 7th Int'l Symp. on Offshore & Polar Eng.* ISOPE, Honolulu, Hawaii, USA, May 25-30, 1997
- [14] Hyun, B.S., Y.H. Shin & K.S. Choi (1998), "Visualization of Vortical Flow Around Breaking Waves Generated by Submerged Cylinder Using PIV", *Proc. of 3rd ICHD*, Lotte Hotel, Seoul, Oct 12-15, 1998