

해양공학수조 조류특성에 관한 실험적 연구

양찬규*, 최학선**, 홍석원**

An Experimental Study on the Characteristics of Current in the Ocean Engineering Basin

Chan Kyu Yang*, Hark Sun Choi** and Seok Won Hong**

요 약

한국해양연구소 선박해양공학분소 해양공학수조의 조류발생장치 특성평가를 위한 조류계측 실험을 수행하였다. 유입구로부터 흐름방향으로 10m, 20m, 25m, 30m 떨어진 곳에 위치한 평면을 연직 및 폭방향에 대해 등간격으로 분할하여 각각의 할점에서 흐름방향 유속의 시간에 따른 변화를 계측하여 유동의 난류특성을 조사하였다. 각 지점에서 계측된 유속의 시간데이터를 이용해 스펙트럼을 구하여 변동성분의 주파수 특성을 살펴봄으로써 회전수에 따른 주파수 특성차를 알아냈다. 계측된 결과를 시간평균하여, 시간평균된 유속의 수평 및 수직 균일성을 조사하였다. 특히, 유입구 쪽의 유도깃이 설치되기 전의 계측결과와 수직 균일성 측면에서 비교하여 봄으로써 유도깃이 조류분포에 미치는 영향에 대해 논의하였다. 계측된 결과를 회귀분석하여 임펠러의 회전수와 평균유속과의 관계를 도출하였다.

Abstract

This paper deals with the experimental study on the characteristics of current in the ocean engineering basin of KRISO. The unsteady characteristics of the flow is examined by analyzing time histories of streamwise velocity at some points. The major frequency of the fluctuating velocity was found by the spectral analysis of the measured data. The vertical and spanwise distributions of time averaged velocities were also examined. Especially, vertical distributions of the streamwise velocities with guide vanes are compared with those without guide vanes and it confirms the efficiency of the guide vane to improve the uniformity of the vertical profile of streamwise velocity. Finally, the measured data are regressed to give the relation between revolutions per minute(r.p.m.) and mean velocity.

접수일자: 2000년 7월 10일, 승인일자: 2000년 10월 31일

*정회원 한국해양연구소 선박해양공학분소(ckyang@kriso.re.kr)

**정회원 한국해양연구소 선박해양공학분소

1. 서 언

최근 실험수조의 활용은 선박의 저항, 추진, 운동성 예측 및 해양구조물의 환경외력 산정, 운동 특성 산정이라는 종래의 틀에 국한하지 않고, 수조를 이용한 계류문제나 TLP거동 해석, 조류-파 상호작용에 의한 파랑변형 해석 등 다양한 문제의 접근이 시도되고 있다. 따라서 기존의 장수조 개념에서 탈피한 새로운 개념의 수조가 건설되어 활용되어 왔다.

그 한 예가 광폭수조로서 길이와 폭의 비가 장수조에 비해 1에 가까운 수조를 말하며, 파도는 물론 조류, 바람과 같은 해양의 주요 환경외력을 발생시킬 수 있는 시설을 갖추고 있는 것이 대부분이다. 한국해양연구소 선박해양공학분소의 해양공학수조는 길이 56m, 폭 30m, 최대수심 4.5m의 광폭수조로서 파도, 조류, 바람을 동시에 발생할 수 있는 시설을 갖추고 있다.

이 중, 조류발생장치는 Fig.1에 보여지고 있는 바와 같이 동쪽에서 서쪽으로 흐름을 발생시켜 서쪽의 출구를 빠져나간 유체는 남쪽과 북쪽의 수평형 수로를 통해 동쪽의 유입구쪽으로 회류하게 된다. 설명의 편의를 위해 좌표계를 정하면 Fig.1과 같이, x-축은 유입구의 최전단을 원점으로 하여 서쪽으로 향하고, y-축은 폭 중심을 원점으로 남쪽으로 향한다. 또한, z-축은 자유표면을 원점으로 하여 상방향으로 향하게 된다.

수조내 유동의 안정성을 향상시키기 위해 흡입식(suction type)을 사용하였기 때문에, 임펠러는 유출구에서 가까운 수로부에 위치하였다. 유출구를 빠져나간 유체가 유입구까지 회류하는 과정에서 90도 굽은 곡관부를 수로쪽에서 4회 만나게 되고, 유입구 바로 직전 수조 바닥면과 약 32도 각도로 수조내로 분사되게 된다. 따라서 유선이 급격히 변하는 부위에 유도깃(guide vane)을 설치하여 스펠방향 와류(spanwise vorticity)의 생성을 억제함은 물론 흐름방향 와류(streamwise vorticity)를 억제하여 유동을 안정적으로 만들고 균일화할 필요가 있다.

속도분포의 균일화 및 안정화에 관한 연구는 캐

비테이션 터널이나 단면이 그리 크지 않는 회류수조에 대한 것이 대부분이고, 해양공학수조와 같이 폭이 넓고, 길이가 폭에 비해 그리 길지 않는 수조의 조류에 대한 자료(1)는 그리 많지 않다.

본 수조의 수로 부분의 유도깃은 수조의 설계과정에서 실험(2)과 수치계산(3)을 거쳐 설계되어 설치되었고, 유입구 부분의 유도깃도 실험과 수치계산을 통하여 설계·설치되었다(4).

수로부분의 유도깃은 수조내 유동의 수평속도분포를 균일화하는 역할을 하고, 유입구의 유도깃은 수조내 수평 속도분포를 균일화하도록 설계되었다.

본 연구에서는 Fig.1에 표시된 바와 같이 $x=20m, 25m, 30m$ 위치에서 $-10m < y < 8m$ 사이를 2m의 등간격으로 나누어 각 분할점에서 수직위치를 변화시켜가며 흐름방향 유속을 측정하여 유속의 수직분포와 수평분포를 살펴보았다. 단 $x=10m$ 에서는 $-10m, -5m, 0m, 5m, 8m$ 에서 측정하였다. 특히, 유입구 부분의 유도깃이 없을 때의 속도분포와 비교함으로써 유도깃이 수직속도분포의 균일화에 끼치는 영향을 확인하였다.

임펠러의 회전속도를 변화시켜 회전속도에 대한 평균유속의 관계식을 유도하였다. 또한 임펠러의 회전속도에 따라 변동속도의 주파수 성분을 분석하여, 차후 변동성분을 억제하는 보완연구의 기초 자료를 얻을 수 있었다.

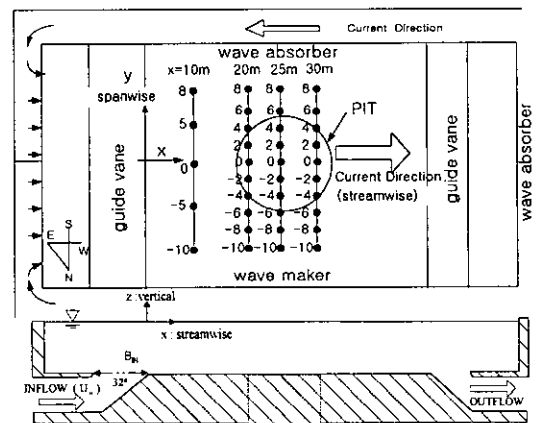


Fig.1 A sketch of ocean engineering basin and measured points

2. 계측장치 및 계측방법

전자기(Electro-Magnetic) 유속계를 사용하였고, 앰프로부터 나온 압력변화 신호를 PCL812 A/D 변환기를 이용하여 컴퓨터에서 디지털화하여 자료를 얻었다. 자료취득 속도는 20Hz로 하였으며, 취득개수는 8192개로 약 6분 50초 정도 연속된 자료를 각 위치에서 얻을 수 있었다. 취득개수가 너무 작게 되면 유동의 장주기 변동성분을 찾아낼 수 없기 때문에 이에 유의하여 선정하였다.

수심은 3.4m로 고정하였고, 임펠러의 회전수는 300rpm과 530rpm 두가지로 바뀌가며 실험하였다. 계측위치는 Fig.1에 보인 바와 같이 유입부의 앞단으로부터 10m, 20m, 25m, 30m 떨어진 곳에 흐름방향에 수직으로 놓인 직선상에서 수조의 폭방향 중심을 0으로 놓았을 때 -10m에서 +8m 사이에 등간격으로 배분하였다. 우선 10m 떨어진 위치에서는 5m 등간격으로 나누었고, 그 외의 위치에서는 2m 등간격으로 나누었다. 연직방향으로는 수면을 0으로 놓고, 상방향을 양으로 하였을 때, -0.15m로부터 -2.25m까지를 0.3m 등간격으로 나누어 8개의 점에서 계측하였다.

따라서 매 회전수 마다 280개의 위치에서 계측을 해야 하므로, 위치를 바꾸는 일이 자동화되지

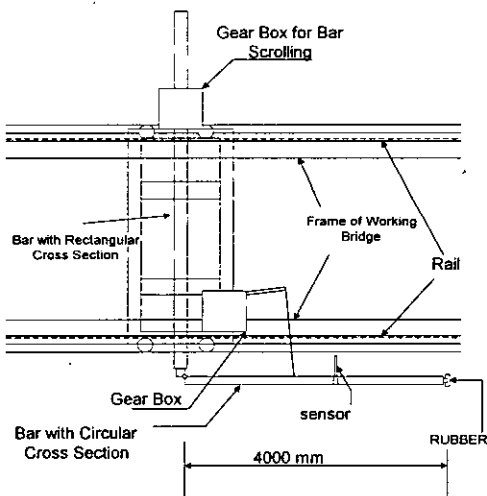


Fig.2 The currentmeter attachment system

않으면 상당히 많은 시간이 소요되게 된다. 이러한 어려움을 줄이기 위해서 Fig.2와 같은 속도계 취부장치를 별도로 고안·제작하였다. 본 장치를 이용하여 센서의 x-방향, y-방향 그리고 z-방향 위치를 정확하고 쉽게 지정할 수 있다. Fig.2에서는 원형 단면을 갖는 봉이 90도 꺾여 있는 상태이고, 이 것이 아래로 젖혀져 사각단면을 갖는 봉과 일직선이 된 상태에서 내려져 끝 부분이 바닥에 닿게 된다. 그 때, 끝 부분에는 고무와 봉 사이에 스프링이 있어서 스프링이 압축되면서 봉에 충분한 압축력을 작용하게 된다. 흐름중에서도 절대로 동요나 진동이 없으므로 쓸데없는 잡음을 제거할 수 있다.

3. 계측결과

3.1 유도깃의 설치

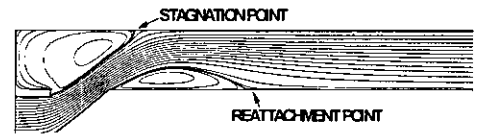


Fig.3 Simulated streamline pattern on a longitudinal vertical section

계측결과를 살펴보기 앞서, 유입구의 유도깃이 없는 상태에서 수조의 수직-종단면에 대한 유선분포를 살펴보면 Fig.3과 같다. 본 계산결과는 RANS(Reynolds Averaged Navier Stokes) 방정식을 경계고정좌표계의 엇갈리지 않는 격자계

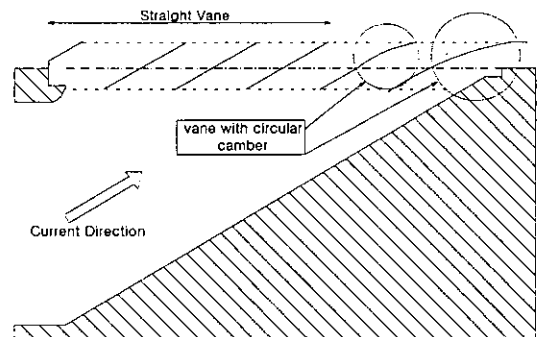


Fig.4 The configuration of guide vanes

(non-staggered grid system)상에서 유한체적법을 이용하여 이산화하여 구한 해이다[3]. 난류의 확산에는 표준 $k-\epsilon$ 모델을 적용하였다[3].

유입구로부터 분사된 유동은 자유표면에서 정체점(stagnation point)를 기점으로 하여 앞으로 퍼져나가게 되어 뒤쪽에는 큰 와류를 형성하게 된다. 수조 바닥면에서는 급작스런 형상변화에 의한 박리로 인해 와류가 형성된다. 이 와류가 조류의 비정상성을 야기하고, 흐름방향 속도의 수직분포에서 불균일성을 야기하기 때문에 이를 없애줄 목적으로 Fig.4와 같이 뒤쪽의 4개의 직선 유도깃에 이어 앞쪽의 2개는 원형 캠버를 갖는 유도깃을 부착하였다[5].

3.2 예비실험

예비실험에서는 계측점의 위치가 본 실험과는 다르지만, 수조 중앙부에서 수면 밑 0.15m와 0.75m 위치에서 임펠러가 구동된 후 수조내 유동이 시간에 따라 어떻게 변화하여 정상상태에 도달하는지에 대해 알아보았다.

자료취득 주파수는 5Hz이고, 개수는 8192개로 총 27분 정도 계측하였다. 그 결과 300rpm 인 경우의 예를 들어보면, Fig.5와 같이 시간에 따른 속도변화 자료를 얻을 수 있었다. 원형 심볼은 계측된 자료를 10개 마다 하나씩 표시한 것이고, 점선은 20초 평균값이며 실선은 100초 평균

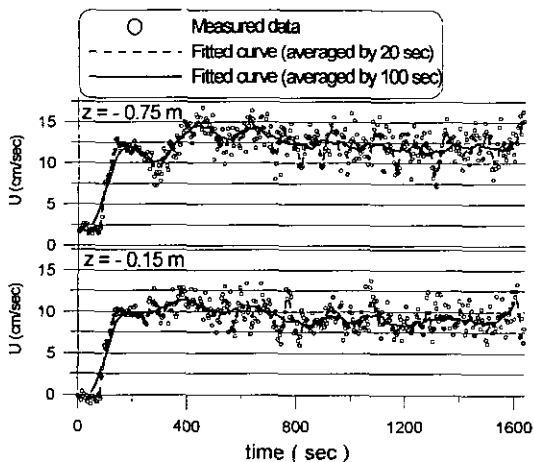


Fig.5 A time history of streamwise velocity from the calm water

값이다.

속도가 0에서부터 시작하여 임펠러를 구동시킨 후 약 7분 간은 속도가 급격히 빨라졌다 다시 서서히 느려지는 구간이 보이고, 다시 변동하다가 14분 지난 후 부터는 정상상태에 도달하게 됨을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 530 rpm. 에서도 같았고, 단지 정상상태에 도달하는 시간이 짧아졌다.

3.3 유속의 시간변화

유동이 정상상태에 도달한 후 취득주파수를 20Hz로 하고, 취득 개수를 8192개로 하여 앞서 말한 공간상의 280개 위치에서 시간에 대한 유속 자료를 임펠러 회전속도 300 rpm.과 530 rpm.에서 취득하였다. 그 중 $x=20m, y=-6m, z=-0.75m$ 에서의 200초 간의 유속신호에 대한 예를 Fig.6에 도시하였다. 뒷쪽이 300rpm일 때이고, 아랫쪽이 530rpm일 때이다. 원형 심볼은 계측된 자료를 10개 마다 표시한 것이고, 실선은 5초 평균한 유속이며, 점선은 20초 평균한 유속이다.

300rpm일 때, 5초 평균한 유속의 시간변화를 보면 주기 약 100초와 20초 사이의 변동성분이 보이는 반면, 530rpm에서는 50초로부터 10초 사이의 변동 주파수가 산재하여 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 다른 계측점의 자료에서도 동일하게 나타났다.

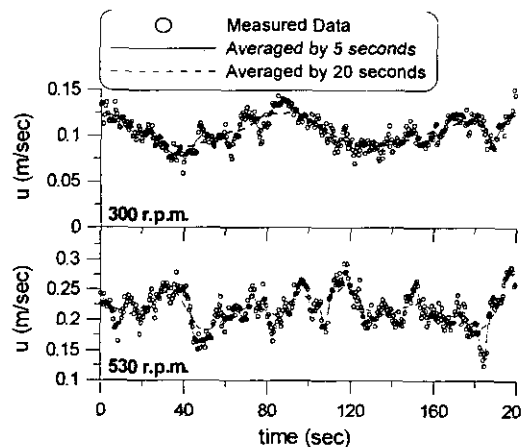


Fig.6 Time histories of velocity signal

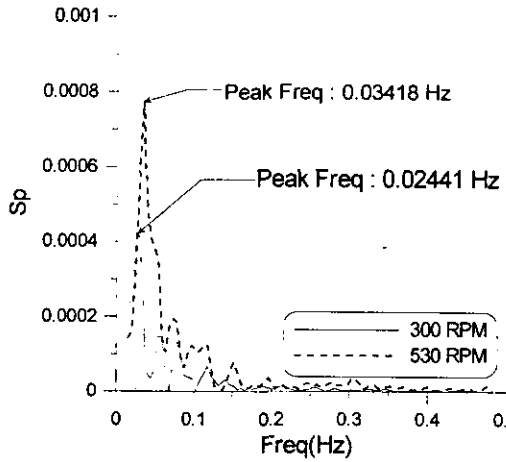


Fig.7 Power spectrum of the time signal

주변동성분의 주파수를 살펴보기 위해 Fig.6의 시간 신호에 FFT를 취하여 주파수영역에서 에너지를 살펴보면 Fig.7과 같다. 실선은 300 rpm의 경우고, 점선은 530rpm의 경우다. 300 rpm일 때는 0.02441 Hz에서 최대 극치를 보이고, 530 rpm 일때는 0.03418Hz에서 최대의 극치를 보인다. 이는 주기로 환산하면 각각 41초와 29초로서, 임펠러의 회전수가 높아질수록 변동성분의 주기가 작아지는 것을 확인할 수 있다. 그 다음의 극치또한 530rpm이 보다 높은 주파수 영역에서 나타나게 된다.

3.4 유속의 공간분포

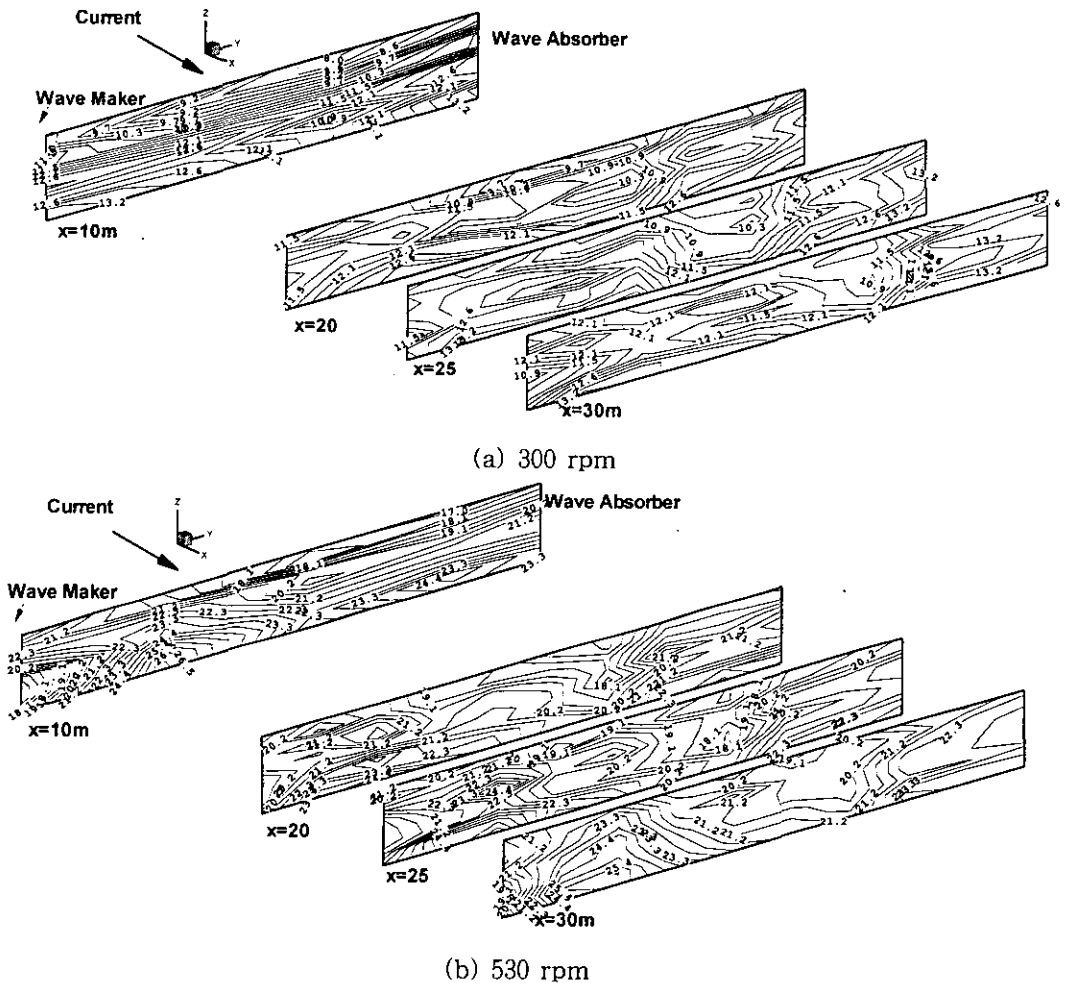


Fig.8 3-Dimensional distribution of streamwise velocities

유동이 정상상태에 도달한 후 취득주파수를 20Hz로 하고, 취득 개수를 8192개로 하여 앞서 말한 공간상의 280개 위치에서 각각 유속의 시간에 따른 자료를 획득한 다음, 획득시간에 대해 시간평균하여 유속의 시간평균 값을 구하였다. 그 결과 $x=10m, 20m, 25m, 30m$ 위치의 단면에 대한 흐름방향 속도의 공간분포를 Fig.8에 보이고 있다. (a)는 300rpm이고 (b)는 530rpm이다. (a)와 (b) 모두 $x=10m$ 지점에서는 자유표면 근처의 유속이 작고 유속의 변화가 심하여 등고선이 조밀하게 분포하는 반면 하류부로 진행할수록 자유표면근처의 속도가 증가하면서 전반적으로 균일화되는 것을 볼 수 있다.

Fig.9에서는 $y=0$ 인 면, 즉 수조의 종방향 중심면의 $x=10m, 20m, 25m, 30m$ 에서 흐름방향 속도의 연직분포를 도시하여 보았다. 정사각형 심볼은 유도깃이 설치되기 이전에 측정한 속도(5)를 표시한 것이고, 원형 심볼은 유도깃이 설치된 후에 속도를 표시한 것이다. 속도의 연직분포는 전반적으로 상류부에서는 자유표면이 작고 밀으로 내려갈수록 커지다가 다시 작아지지만, 하류부로 진행할수록 균일화되는 경향을 띠게 된다. 유도깃이 없는 경우의 자료는 중심면의 $x=20m, 25m, 30m$ 위치에 대한 것 밖에 없으므로 $x=10m$ 위

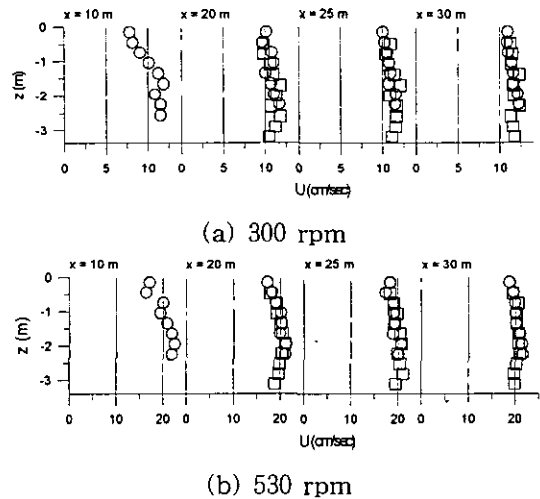


Fig.9 Vertical velocity profiles of streamwise velocity at the center plane (□: without guide vane, ○:with guide vane)

치에서의 비교는 불가능하지만, 비슷한 경향을 보일 것으로 예상된다. 단 유도깃이 없으므로, 바닥에서의 속도는 박리로 인해 보다 작을 것으로 생각된다. 이는 모형실험 및 수치계산을 통해 밝혀진 바가 있다(4).

Fig.9로써는 균일도의 차이를 정량적으로 알 수 없으므로, Fig.10에 다음 식과 같이 속도의 연직분포에 대한 표준편차를 이용해 그 균일도를 비교하여 보았다.

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{L_{tot}} \sum_{k=1}^n (U_k - U_{mean})^2 \Delta z_k} \quad (1)$$

여기서

n : the number of data,

U_k : streamwise velocity at each points,

$$U_{mean} = \frac{1}{L_{tot}} \sum_{k=1}^n U_k \Delta z_k$$

Δz_k : the interval of the measuring points,

$$L_{tot} = \sum_{k=1}^n \Delta z_k$$

점선으로 연결된 것은 유도깃이 없을 때이고, 실선으로 연결된 것은 유도깃이 있을 때이다. 또

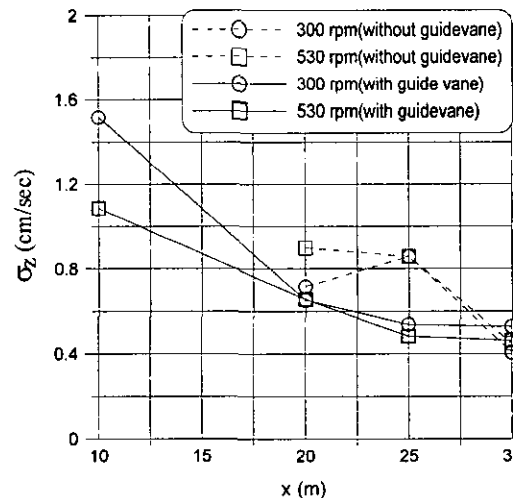


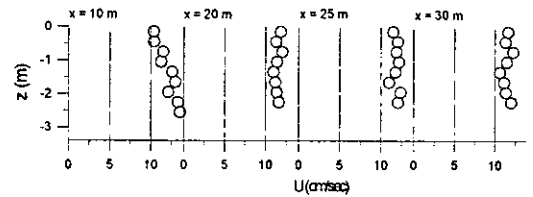
Fig.10 Comparison of the uniformity at the center plane by standard deviation

한 원형심볼은 300rpm, 정사각심볼은 530 rpm 일 때이다. 유도깃이 있을 때, 수조 중심면에서 530r.p.m.의 균일도가 300r.p.m.에 비해 좋다. 이것은 유도깃이 높은 유속에서도 유입구 부근의 흐름을 정화하여 균일성을 향상시키기 때문으로 해석된다. 또한, 유도깃이 있을 때가 없을 때보다 하류로 진행하면서 균일화되는 거리가 짧다. 즉, 유도깃이 없는 경우는 $x=20m$ 지점부터 0.6cm/sec정도의 표준편차를 가지므로, 표준편차가 5% 이하이지만, 유도깃이 있는 경우는 $x=30m$ 지점에 이르러서야 0.6cm/sec 이하로 작아진다. 이로써 유도깃이 속도의 연직분포의 균일화에 기여했고, 보다 넓은 범위에서 균일한 속도분포를 확보할 수 있음을 알 수 있다.

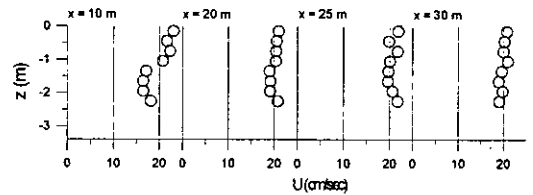
지금까지는 수조의 중심면에서 유도깃의 효과에 대해 살펴보았는데, 수조의 좌우측 면 즉, $y=-10m$ 와 $y=8m$ 인 평면상에서 유속이 어떠한 분포를 갖는지를 자세히 살펴보겠다. 우선 Fig.11은 $y=-10m$ 위치에 있는 평면에서 $x=10m, 20m, 25m, 30m$ 지점의 연직방향 분포이다. 유도깃 설치전의 자료가 없기 때문에 유도깃이 설치된 후의 특성만 논의하기로 하겠다. 중심면에서와 마찬가지로 상류에서 불균일했던 유속분포가 하류로 진행하면서 균일화된다. 조파판은 수조 벽면에 대해 3m 나와 있고, 수면 밑으로 $z=-1.2m$ 까지 존재하며 그 밑으로는 벽이다. 따라서, $z=-1.2m$ 에서 수조폭이 3m 감소하는 효과를 가져온다. $y=-10m$ 위치는 조파판으로부터 충분히(약 5m) 떨어진 위치에 있기 때문에 그 영향을 많이 받지 않는다. 하지만, $z=-1.2m$ 부근에서 속도가 갑자기 변화하는 것이 530 rpm에서 특히 잘 나타나고, 300rpm에서도 보여지고 있다. 그 이외의 구간에서는 비교적 균일한 유속분포를 보이고 있다.

Fig.12는 $y=8m$ 즉 소파판에서 가까운 면에서 속도분포를 도시한 것이다. 소파판은 $z=-0.55m$ 부터 0.7m 간격으로 바닥면에 10도의 기울기로 설치되어 있으므로, 이 영향을 받을 것으로 짐작된다. 하지만 하류로 진행하면서 균일도가 향상되는 일반적인 경향에는 반하지 않는다.

속도의 연직분포는 수조 중-중심면이나 좌우에서나 모두 초기의 불균일한 유속분포가 하류로 진행하면서 상당히 복구되어 $x=20m$ 구간부터는 균일해 지는 것을 확인할 수 있었다. 유속의 폭방향 분포는 어떻게 나타날 것인가를 알아보기 위해 수심평균된 유속의 폭방향 분포를 Fig.13과 같이 도시하여 보았다.

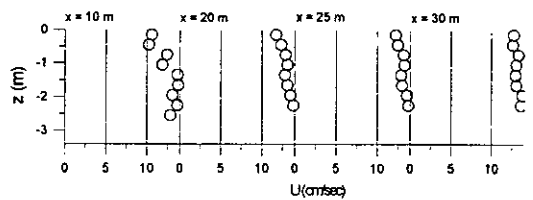


(a) 300 rpm

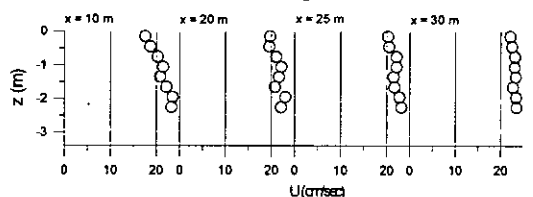


(b) 530 rpm

Fig.11 Vertical velocity profiles of streamwise velocity at $y = -10m$



(a) 300 rpm

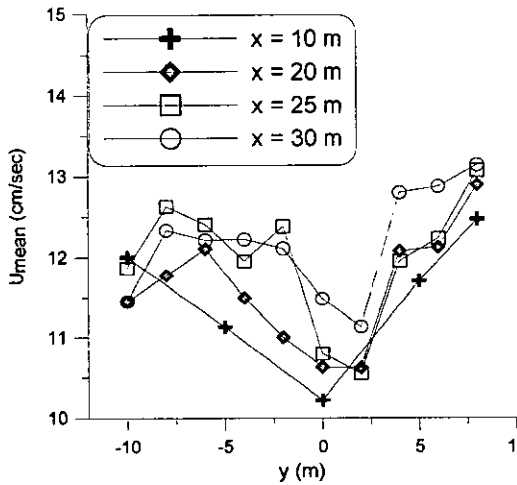


(b) 530 rpm

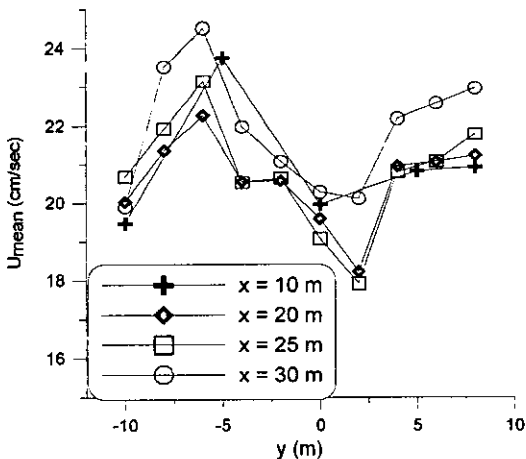
Fig.12 Vertical velocity profiles of streamwise velocity at $y = 8m$

십자 심볼은 $x=10\text{m}$ 위치, 마름모 심볼은 $x=20\text{m}$, 사각형과 원형은 각각 $x=25\text{m}$, $x=30\text{m}$ 위치의 수심평균 속도이다. 300rpm과 530rpm 모두 $y=2\text{m}$ 위치에서 제일 속도가 작고, 소파기 쪽 및 조파기 쪽으로 갈수록 속도가 커지는 것을 볼 수 있다. 특히 소파기 쪽, 즉 y 가 양의 값을 갖는 부분에서는 하류로 진행할수록 속도가 증가하여 $x=10\text{m}$ 일 때와 $x=30\text{m}$ 일 때의 차이가 약 10%정도 벌어짐을 볼 수 있다. 이것은 소파기가 유체의 흐름을 억제하여 소파기 내부의

유량감소를 유발하고, 이 것으로 인해 소파기 외부의 유량이 증가하므로 나타나게 된 결과라 할 수 있다. 흐름방향 유속의 폭방향 분포는 하류로 진행할수록 부분적으로 균일한 구간은 보이지만 유입구 부근의 속도 구배가 유지되고 있다.

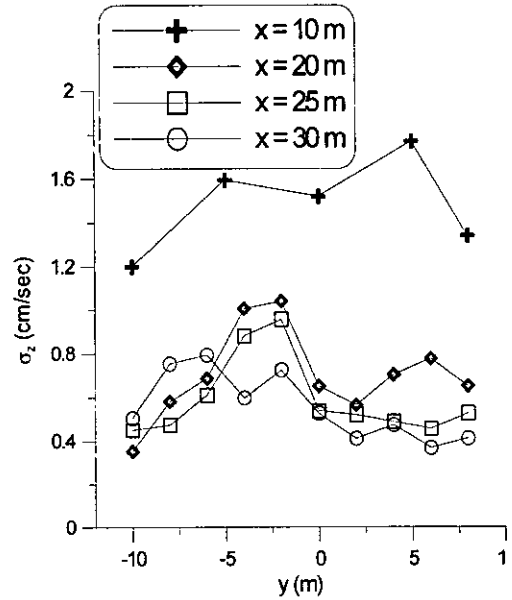


(a) 300 rpm

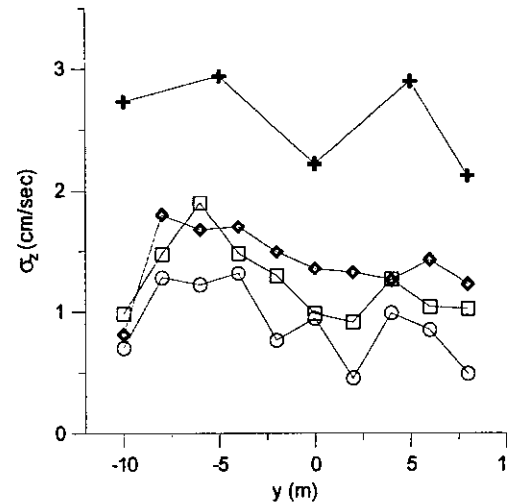


(b) 530 rpm

Fig.13 Spanwise distribution of depth average velocities



(a) 300 rpm



(b) 530 rpm

Fig.14 Spanwise distribution of standard deviation of vertical profile of the streamwise velocity

Fig.4에서는 유속의 수직분포에 대한 표준편차를 폭방향 좌표축을 횡축으로 하여 그려보았다. 심볼에 대한 x-방향 위치는 Fig.13과 일치한다. 우선 $x=10m$ 위치에서 10%이상의 표준편차로서 불균일하던 수직분포가 $x=20m$ 이후에는 전 구간에서 균일화되어 8% 이하로 감소됨을 알 수 있고, 특히 수조 중심으로부터 소파판 방향으로서는 다른 곳에 비해 균일한 수직분포를 얻을 수 있다. 이 부분에서의 표준편차는 약 5% 이하로 상당히 넓은 영역에 걸쳐 연직방향으로 균일한 속도장이 형성되게 된다.

마지막으로 수조의 운용에 있어서 기본자료로 사용하기 위해 계측된 유속의 임펠러 회전수 각각에 대한 평균값을 Fig.15에 그려보았다. 본 연구에서는 300rpm과 530rpm 만을 계측하였지만 이전에 계측된 결과(5)도 함께 포함시켰다. 본 자료를 선형 함수로 회귀분석한 결과 Fig.15와 같이 임펠러의 회전수와 평균유속 사이의 일차함수를 얻을 수 있었고, 그 함수식은 다음과 같다.

$$U_{mean} = A \times R.P.M. + B \quad (2)$$

여기서

$$A = 0.03704951918,$$

$$B = 0.507650725.$$

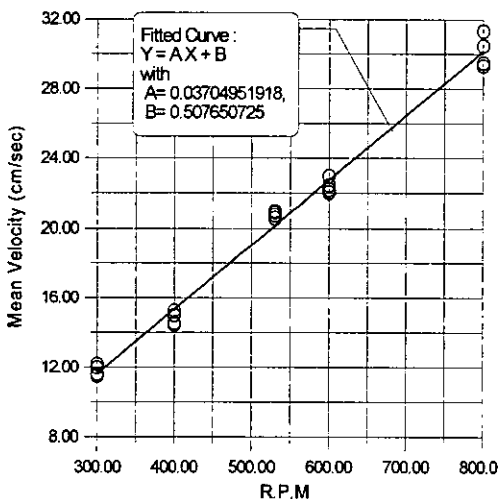


Fig.15 Linear fitting curve to derive the relationship between R.P.M. and mean velocity at 3.4 m water depth

3. 결 론

해양공학수조의 조류분포의 특성을 파악하기 위해, 수심 3.4m에서 $x=10m$, 20m, 25m, 30m 평면에서 흐름방향 속도를 계측하여, 연직방향, 흐름방향 및 폭방향의 속도분포특성에 대해 살펴 보았다. 그 결과 다음과 같은 중요한 결론에 도달 하였다.

예비실험을 통해 정지상태에서 임펠러를 구동한 후 한 지점에서 속도의 시간에 대한 신호를 계측한 결과, 300rpm에서는 약 14분 후에 정상상태에 도달하고 530rpm에서는 보다 빠른 시간에 정상상태에 도달함을 확인하였다.

속도의 시간에 대한 신호를 분석해 보면 평균유속에 대한 변동성분이 존재하고 이 변동성분은 임펠러의 회전수, 즉 유속에 따라 서로 다른 특성을 보이게 된다.

유입구 부근에서는 수면과 수조바닥면이 유속이 작고 중심부가 유속이 빠른 유속분포를 보이지만 하류로 진행할수록 수면 부근의 유속이 증가하여 연직방향 유속분포가 균일화된다. 특히 수조 중심으로부터 소파기 방향으로서는 연직분포의 표준편차가 평균유속에 비해 5%이하를 나타내는 균일성이 상당히 양호한 구간이 나타났다.

폭방향 분포는 $y=2m$ 부근에서 최소를 보이고, 소파판 및 조파판으로 갈수록 커지다 다시 감소하게 되는데, 하류로 진행할수록 부분적으로 균일한 구간은 보이지만 유입구 부근의 속도 구배가 유지되고 있다. 따라서 유입구부근에서 폭방향의 유량을 조절할 수 있는 장치를 설치하여 폭방향으로는 균일한 유동장을 유입구에서부터 형성시켜 주어야 할 것이다.

계측된 자료를 통하여 임펠러의 회전수와 평균유속에 대한 직선식을 도출하였다.

후 기

본 연구는 한국해양연구소의 기관고유사업인 "해양공학수조를 활용한 모형시험기법 개발"의 연구 중 일부임을 밝힌다.

참 고 문 헌

- [1] Naoyoshi Matsumoto, Gu Wenxian, Kuniaki Shoji, "On the Characteristics of Current Produced in the Ship Maneuvering Research Basin," 선박운항성능 실험수조 15년의 발자취-동경상선대학해양공학연구실, pp.154-175, 1997.
- [2] 현범수 외, "해양공학수조 조류발생장치에 관한 기초연구," 연구보고서, 한국기계연구소, 1991.
- [3] 양찬규, 홍석원, "해양공학수조 조류발생시 유출구의 유동균일화에 대한 연구," 대한조선학회 추계학술발표 논문집, pp.298-302, 1996.
- [4] C.K.Yang, S.W.Hong, H.S.Choi, "Control of Current in Ocean Engineering Basin," Proc. of Real Sea '98, pp.215-225, 1998.
- [5] 최학선 등, "해양공학수조를 활용한 모형시험 기법 개발-해양환경재현장치 운용기술 개발," 제 2 차년도 연구보고서, 선박해양공학연구센터, 1998.



양찬규



최학선



홍석원