



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학석사 학위논문

망지의 유체역학적 계수에 관한 연구



2009년 2월

부경대학교 대학원

수산물리학과

송 대 호

이학석사 학위논문

망지의 유체역학적 계수에 관한 연구



부경대학교 대학원

수산물리학과

송 대 호

송대호의 이학석사 학위논문을 인준함.

2008년 12월 19일



주 심 수 산 학 박 사 권 병 국 ㉠

위 원 공 학 박 사 강 일 권 ㉠

위 원 수 산 학 박 사 이 춘 우 ㉠

목 차

Abstract

서 론	1
재료 및 방법	3
1. 실험 재료	3
2. 실험 장치 및 방법	5
2.1 실험 장치	5
2.2 실험 방법	8
결과 및 고찰	11
1. mesh-grouping 비율에 따른 망지의 유체역학적 계수	11
2. 레이놀즈 수를 고려한 유체역학적 계수	19
3. 영각과 레이놀즈 수를 고려한 유체역학적 계수	23
요 약	27
감사의 글	28
참고문헌	29

Study on the hydrodynamic coefficients of the nettings

Dae-Ho, SONG

*Department of Fisheries Physics, Graduate school
Pukyong National University*

Abstract

In this study, the hydrodynamic coefficients were measured using various nettings to analyze the change of drag coefficients and lift coefficients as a basic study for deriving hydrodynamic coefficients. The data on hydrodynamic force obtained from the flume tank tests were used to compare and analyze the hydrodynamic coefficients based on Reynolds number. Standardized hydrodynamic coefficients were then assumed during the analysis procedures.

The hydrodynamic coefficients were measured using the 9 kinds of nettings in which had the same total projected area with different diameters and mesh-grouping ratio. These different netting systems were subjected to various attack angles and flow speeds.

The results of hydrodynamic coefficients of nettings were as follows ;

1. The drag coefficients of nettings increased when the higher attack angles applied, and decreased with the increased flow speed and netting

twine diameter.

2. The lift coefficients of nettings showed the increased values until the attack angle 30 degree, but decreased for the attack angle over 40 degree.

3. The hydrodynamic coefficients of netting decreased as the Reynolds number increased, and reach at slightly states in the highest numbers.

4. The hydrodynamic coefficients were derived from a functional formula considering attack angles and Reynolds number, and presented in the three dimensional space.



서론

어구와 양식시설은 망지와 로프가 주된 구성 재료로서 유연 구조물로 간주할 수 있다. 이런 유연 구조물은 외력이 작용하면 모양이 변하고 유체역학적 계수들도 달라지므로 구조물의 거동 계산시 가변적인 계수 적용이 필요하다. 특히 항력 및 양력계수는 구조물에 작용하는 힘의 크기와 모양을 결정하는 중요한 파라미터이다. 수중에서 어구 거동과 형상을 분석하기 위한 연구는 단순한 모형실험을 시작으로 하여 최근에는 컴퓨터를 기반으로 한 수치해석기법을 이용한 연구 분야로 확대되어 여러 가지 수치계산기법이 제시되고 있다. 이러한 수치계산 방법에는 계산의 효율성을 위해서 수십 또는 수백 개의 그물코를 가상의 수학적인 그물코로 근사하는 mesh-grouping 방법이 널리 이용되고 있다.

망지의 유체역학적 계수에 관한 선행 연구로는 Mine(1972)는 한발의 길이와 직경과의 관계에 의해 무결절망지의 계수를 구하였고, Fridman(1986)은 그물발의 직경과 길이의 비가 1대 0.022이고, 성형비가 0.6일때, 입사각에 따른 유체역학적 계수를 제시하였다. Aarsens et al.(1990)은 유연 구조물의 내력과 그 형상 예측 방법을 처음으로 제시하고, 한발의 길이와 직경과의 관계뿐만 아니라 그물에 유체의 입사각을 고려하여 유체력 계수를 제안하였고, Therte(1993)은 어구 모델링을 위한 3차원 수치 모델을 제안하고, 일정 속도에서 트롤에 걸리는 장력과 그 형상을 계산하였다. Bessonneau와 Marichal(1998)은 수중에서 유연한 그물에 작용하는 힘을 조사하기 위하여 강체의 원통형 막대 요소를 사용하여 해석하였으며, Wan et al.(2002)은 수중 어구의 장력과 형상 변화를 시뮬레이션 할 수 있는 비

선형 유한 요소법을 개발하였다. Lee et al.(2002, 2005, 2008)는 질량스프링 모델을 이용하여 트롤 및 선망, 가두리 등의 운동을 시뮬레이션 하였다. Takagi et al.(2002)는 어구의 3차원 운동을 예측할 수 있는 형상 배열 및 하중 분석 시스템을 개발하였으며, Tsukrov et al.(2003) 유한요소법을 사용한 계산 방법과 이론적 모델을 제시하고, 과거의 연구와 비교하였으며, 또한, 이를 가두리 시스템의 운동 해석에 적용하였다.

이상과 같이 어구와 가두리의 거동 해석에 대한 연구가 여러 학자들에 의해 진행되어 왔으나, 구조물에 작용하는 외력의 계산에 가장 중요한 요소인 유체력 계수에 대해서는 아직 표준화된 계수가 제시되지 않고 있다.

본 연구에서는 표준화된 유체역학적 계수를 얻기 위해서 다양한 망지들의 유체력 계수들을 측정하여 비교·분석하였다. 즉, 그물코의 크기와 말의 굵기는 다르지만 동일한 투영면적을 갖는 망지를 이용하여 회류수조에서 영각 및 유속에 따른 항력계수와 양력계수를 측정하여, 망지들의 성형을 및 mesh-grouping 비율에 따른 망지들의 양력 및 항력 계수들을 비교·분석하였다. 또한 유체의 흐름을 설명하는데 중요한 역할을 하는 레이놀즈 수를 고려한 유체역학적 계수들을 비교·분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에서는 다양한 망지들의 유체역학적 계수를 비교·분석하기 위하여 서로 관련성 있는 9가지 망지를 사용하였다. 실험에 사용된 망지는 그 물발의 길이와 직경은 다르지만 기본적으로 동일한 투영면적(Total Projected Area, TPA)을 가지는 Nylon 망지를 사용하였으며, 사용된 망지는 먼저 가로 성형율을 기준으로 60%, 70%, 80% 의 망지를 수편 제작하고, 이 망지를 성형율별 기준 망지로 설정하였다. 또한 기준 망지별 mesh-grouping 비율이 다른 망지를 추가 제작하였다. mesh-grouping 비율은 기준 망지의 발 길이를 기준으로 각각 3배, 5배가 되도록 6종류를 추가 제작하여 총 9종류를 사용하였으며, 각 망지의 규격은 Table 1과 같다. 이렇게 제작된 망지들은 Fig. 1과 같이 스테인레스 재질의 사각 프레임(600mm×600mm)에 고정하여 실험하였다.

Table 1. Net materials used in the experiment

		(Twine diameter unit: <i>mm</i>)		
Type		A	B	C
Mesh-grouping ratio(times)		1	3	5
Hanging ratio	70%	1.22	3.60	5.90
	60%	1.45	4.35	7.25
	80%	1.45	4.35	7.25
Length of Bar(<i>mm</i>)		30	90	150

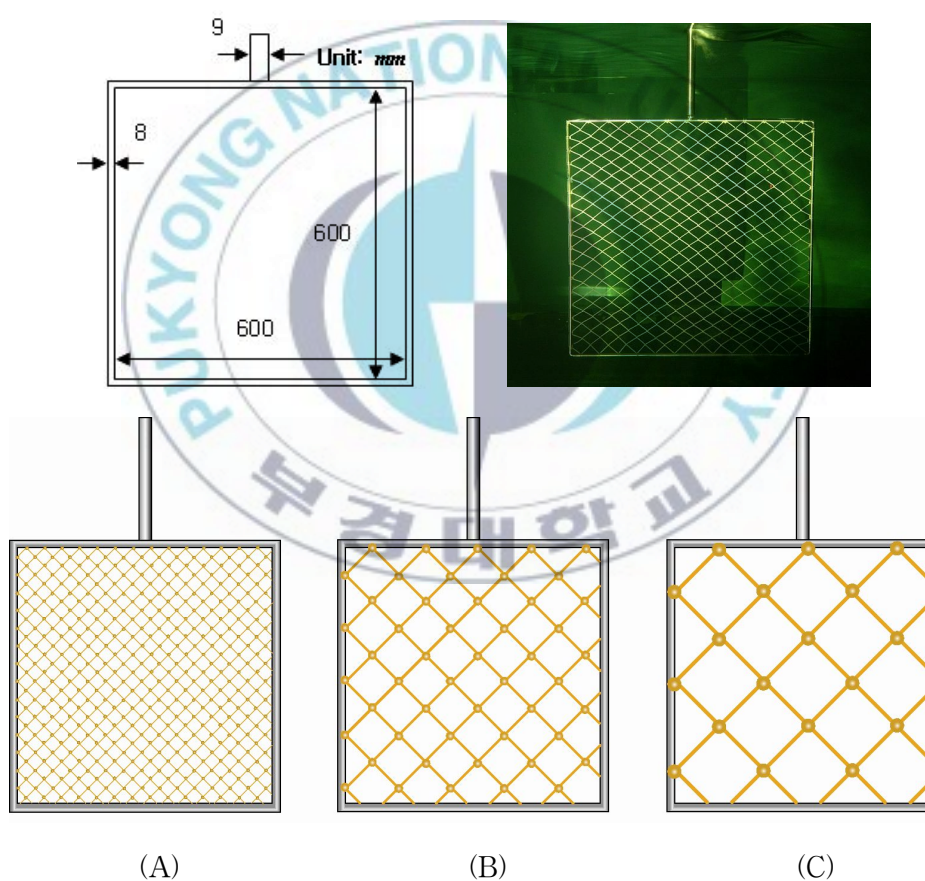


Fig. 1. The schematic view of the frame and mesh-grouping nets.

(A) Standard (B) 3-times (C) 5-times

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

실험은 국립수산물품질관리원에 설치된 수직순환형 회류수조(관측부 길이 : 8.0m, 폭 : 2.8m, 수심 : 1.4m)에서 행하였으며, 실험 장치 및 계측 시스템의 구성은 Fig. 2와 Fig. 3과 같다.

망지에 걸리는 저항은 물의 흐름에 의해 모형에 작용하는 XY분력을 측정하는 육분력계(Denshikogyo Co., DL-61025)를 사용하여 측정하였고, 축을 회전시키는 각도 제어기, 실험 유속을 측정하는 프로펠러형 유속계(Kenek Co., VO-101A)를 사용하였다. 또한 육분력계에서 나오는 아날로그 신호는 증폭기(Kenek Co., VO-203A)와 A/D변환기(NI Co., PCI-6034E)를 통해 컴퓨터에 저장되고 Labview(NI, Ver.8.2)를 이용하여 디스플레이 하였다.

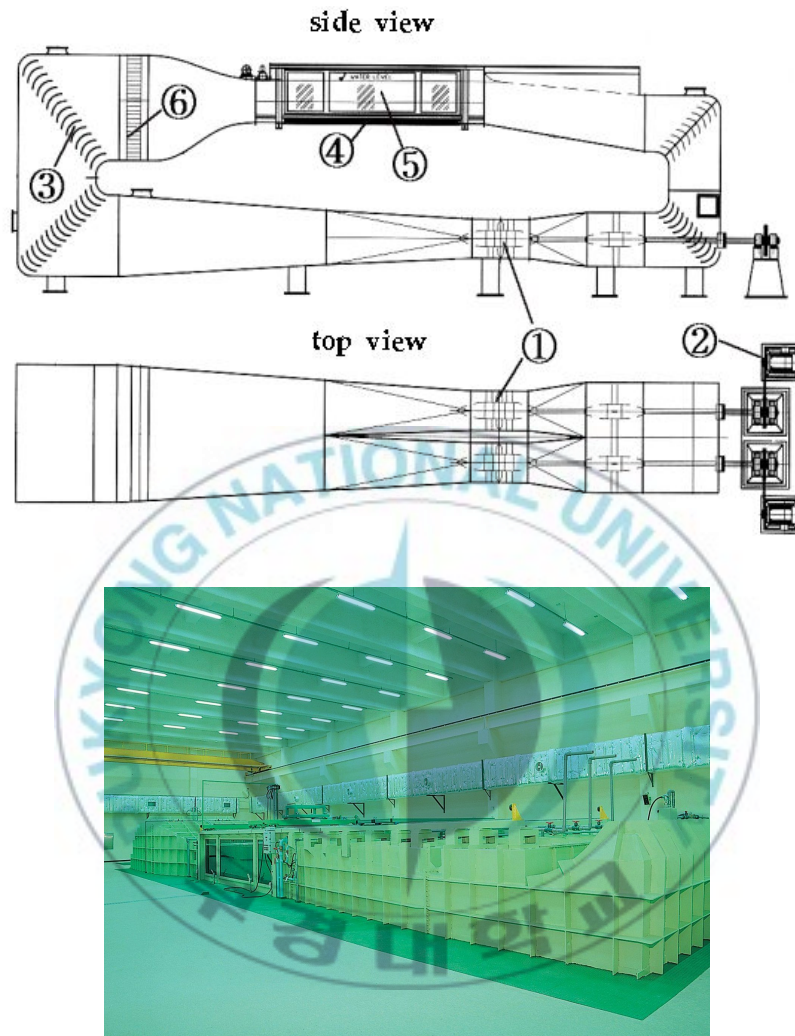


Fig. 2. Schematic drawing of the vertical circulating water channel.

- ① impeller ② AC motor ③ guide vane
- ④ under observation panel ⑤ side observation panel
- ⑥ honeycomb

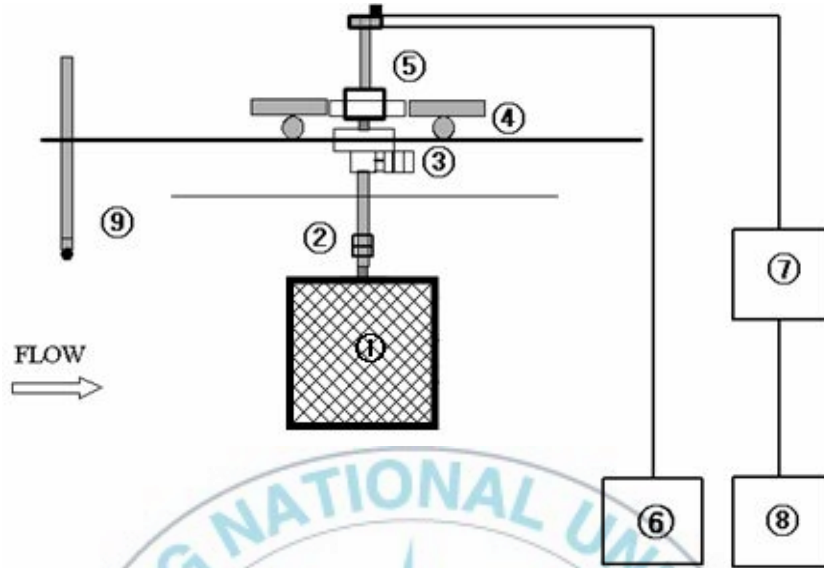


Fig. 3. Experimental set-up for the efficiency model test of the frame.

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| ① : frame | ② : connector |
| ③ : angle controller | ④ : moving traverse |
| ⑤ : six component load cell | ⑥ : angle control box |
| ⑦ : signal conditioning | ⑧ : DAQ device, Labview |
| ⑨ : current meter | |

2.2 실험 방법

본 연구에 사용된 유속은 $0.3m/s \sim 0.8m/s$ 범위에서 $0.1m/s$ 간격으로 변화시켜 망지에 걸리는 저항을 측정하였고, 또한 각각의 유속에 대하여 $0^\circ \sim 90^\circ$ 범위에서 10° 간격으로 영각을 변화시키면서 망지에 작용하는 유체력을 측정하였다. 모든 실험의 조건에서 200Hz의 주파수를 20초간 측정하여 그 평균값을 변환하여 사용하였다. 다음은 각 방향의 유체력에 대한 변환식을 나타내고 있다.

$$F_x = f_x \cos \theta + f_y \sin \theta \quad (1)$$

$$F_y = f_y \cos \theta - f_x \sin \theta \quad (2)$$

여기서, F_x 와 F_y 는 항력과 양력으로 단위는 kg 이며, f_x 와 f_y 는 계측된 값으로 단위는 $voltage$, θ 는 실험 영각이다.

그리고 이 값을 수직성분과 수평성분으로 나누어 항력계수와 양력계수를 도출하였다. 즉, 수중에서 망지에 작용하는 유체역학적 힘은 수직성분인 항력과 수평성분인 양력의 합이다.

$$R = F_x + F_y \quad (3)$$

여기서, F_x 와 F_y 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_x = \frac{1}{2} C_D \rho S V^2 \quad (4)$$

$$F_y = \frac{1}{2} C_L \rho S V^2 \quad (5)$$

여기서, C_D , C_L 은 각각 항력계수와 양력계수이다.
따라서 항력계수와 양력계수는 다음과 같이 도출된다.

$$C_D = \frac{2F_x}{\rho S V^2} \quad (6)$$

$$C_L = \frac{2F_y}{\rho S V^2} \quad (7)$$

여기서 S 는 망지의 투영면적, ρ 는 물의 밀도이며, V 는 유속이다.

본 연구에서 측정한 것은 유연체인 망지의 유체력이다. 그러므로 각 망지들의 실험 결과에서는 망지를 부착하지 않은 프레임만의 값을 측정한 후, 망지를 부착하여 측정한 결과값에서 그 값을 빼제해 줌으로써 순수 망지만의 값을 도출하였다. 또한 측정된 유체력을 이용하여 레이놀즈 수를 고려한 유체역학적 계수를 도출하였다. 레이놀즈수는 점성력에 대한 유체 관성력의 비를 나타내는 것으로 유체 흐름의 설명에 있어 중요한 역할을 한다. 그 식은 다음과 같다.

$$R_e = \frac{DV}{\nu} \quad (6)$$

$$V = \frac{R_e \nu}{D} \quad (7)$$

$$C_D = \frac{2F_x D^2}{\rho S R_e^2 \nu^2} \quad (8)$$

$$C_L = \frac{2F_y D^2}{\rho S R_e^2 \nu^2} \quad (9)$$

여기서, D 는 대상 물체의 대표치수로 본 연구에서는 망사의 직경을 나타내며, V 는 유속, ν 는 동점성 계수로써, 본 연구에서는 상온의 물 20°C 에서의 값 $0.0102\text{cm}^2/\text{s}$ 을 사용하였다. 식 (6)에서 각 유속별 레이놀즈 수를 구하고, 식 (7)과 같이 변형하여 식 (4)와 (5)에 대입하면 식 (8)과 (9)를 통해 유체역학적 계수를 추정할 수 있다.

본 연구에서는 수조 실험을 통해 측정된 유체력을 식 (8)과 (9)에 대입하여 레이놀즈 수를 고려한 항력계수와 양력계수를 도출하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서는 9가지 종류의 망지를 이용하여 회류수조에서 영각 및 유속에 따른 항력계수와 양력계수를 도출하였다. 그리고 도출한 계수들을 mesh-grouping 비율 및 성형율에 따라 각각 비교·분석하였으며, 또한 측정된 유체력을 바탕으로 레이놀즈 수를 고려한 유체역학적 계수를 도출하여 비교·분석하였다.

1. mesh-grouping 비율에 따른 망지의 유체역학적 계수

본 연구에서 mesh-grouping 비율은 발의 길이를 기준으로 하여 기준 망지에 대하여 각각 3배, 5배인 망지를 이용하였다. Fig. 4는 성형율이 60%인 망지의 mesh-grouping 별 유체역학적 계수를 영각과 유속에 따라 나타내며, 각 그림의 윗부분에는 실험의 유속을 나타내고 있다.

이 그림에서 보는 바와 같이 mesh-grouping 비율에 따라 값의 차이는 있으나 유사한 경향을 보였다.

항력계수의 경우, 기준 망지의 값은 0.12~1.27, 3배 망지의 값은 0.11~1.18, 5배 망지의 값은 0.11~1.04 범위의 값을 나타내었으며, 전반적으로 mesh-grouping 비율이 증가할수록 항력계수의 값은 약간 감소하는 경향을 보였다. 특히 전 망지에서 영각이 0° 에서 10° 변화시 가장 큰 변화를 보였으며, 영각이 증가함에 따라 계수값 역시 증가하는 경향을 보였다. 또한 유속이 증가할수록 작아지는 경향을 보였다.

반면 양력계수의 경우 영각 30° 와 40° 를 경계로 증가하다 감소하는 경향을 보였으며, 각 값들의 차이는 조금씩 있으나, 대체적으로 0.01~0.23 범

위의 값으로 거의 유사한 경향을 보였다.



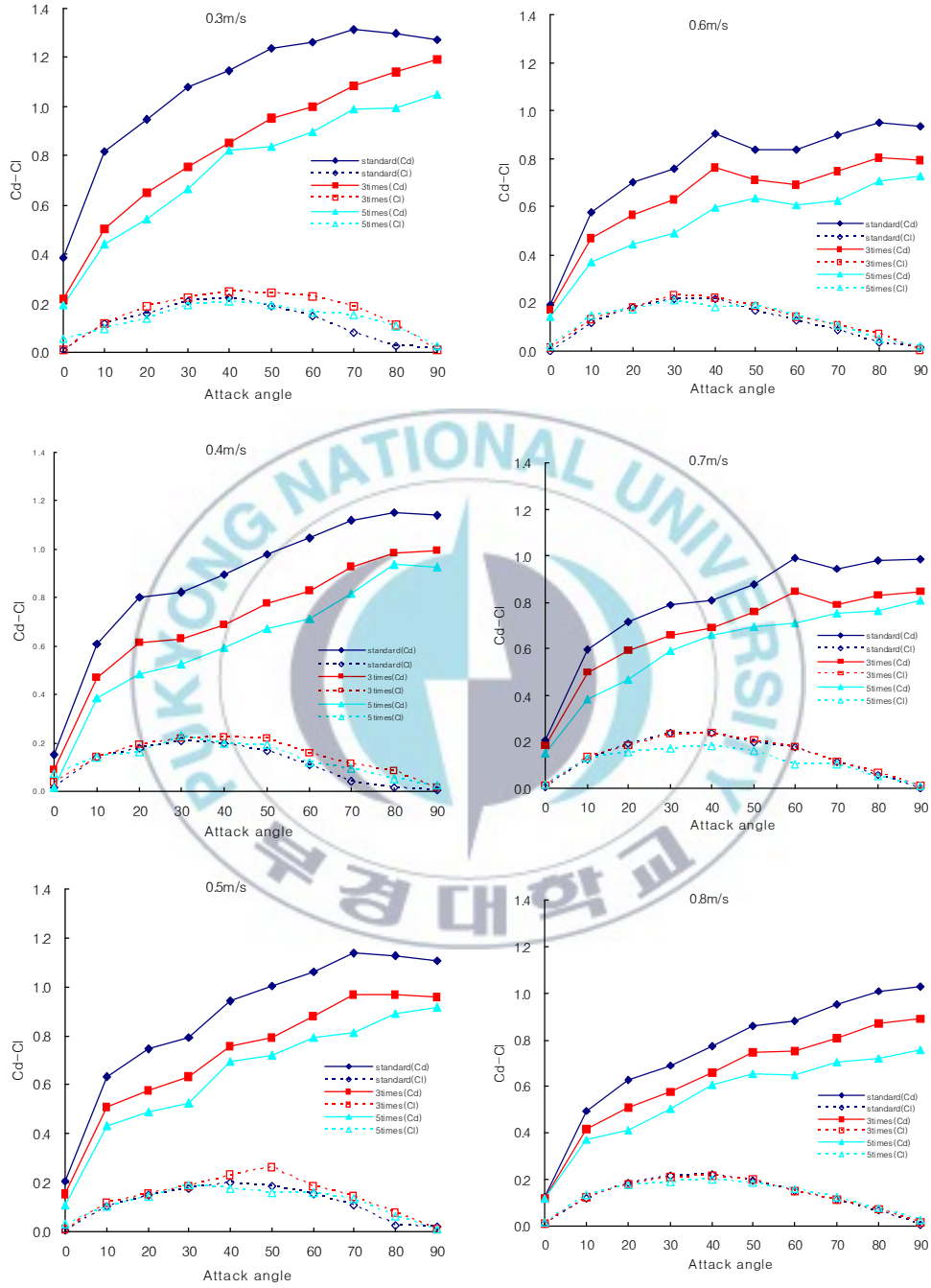


Fig. 4. Hydrodynamic coefficients by mesh-grouping ratio.
(Hanging ratio 60%)

Fig. 5는 성형율이 70%인 망지의 mesh-grouping 별 유체역학적 계수를 영각과 유속에 따라 나타내며, 각 그림의 윗부분에는 실험의 유속을 나타내고 있다.

이 그림에서 보는 바와 같이 mesh-grouping 비율에 따라 값의 차이는 있으나 유사한 경향을 보였다.

항력계수의 경우, 기준 망지의 값은 0.08~1.16, 3배 망지의 값은 0.02~1.07, 5배 망지의 값은 0.03~1.01 범위의 값을 나타내었으며, 성형율이 60%인 망지와 같이 영각이 0°에서 10° 변화시 가장 큰 변화를 보였으며, 영각이 커질수록 차츰 증가하는 경향을 보였고, 유속이 증가할수록 작아지는 경향을 보였다. 또한 기본 망지의 경우 가장 큰 값을 보였으며, mesh-grouping 비율이 증가 할수록 영각 20°와 30°를 기점으로 그 전에는 5배 망지가 크게 나타났으나 그 이후로는 3배 망지가 크게 났다. 전체적으로는 60%인 망지와 유사하게 mesh-grouping 비율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 또한 유속이 증가할수록 작아지는 경향을 보였다.

반면 양력계수의 경우 대부분 영각 40°를 경계로 증가하다 감소하는 경향을 보였으며, 각 값들의 차이는 조금씩 있으나, 대체적으로 0.00~0.29 범위의 값으로 거의 유사한 경향을 보였다.

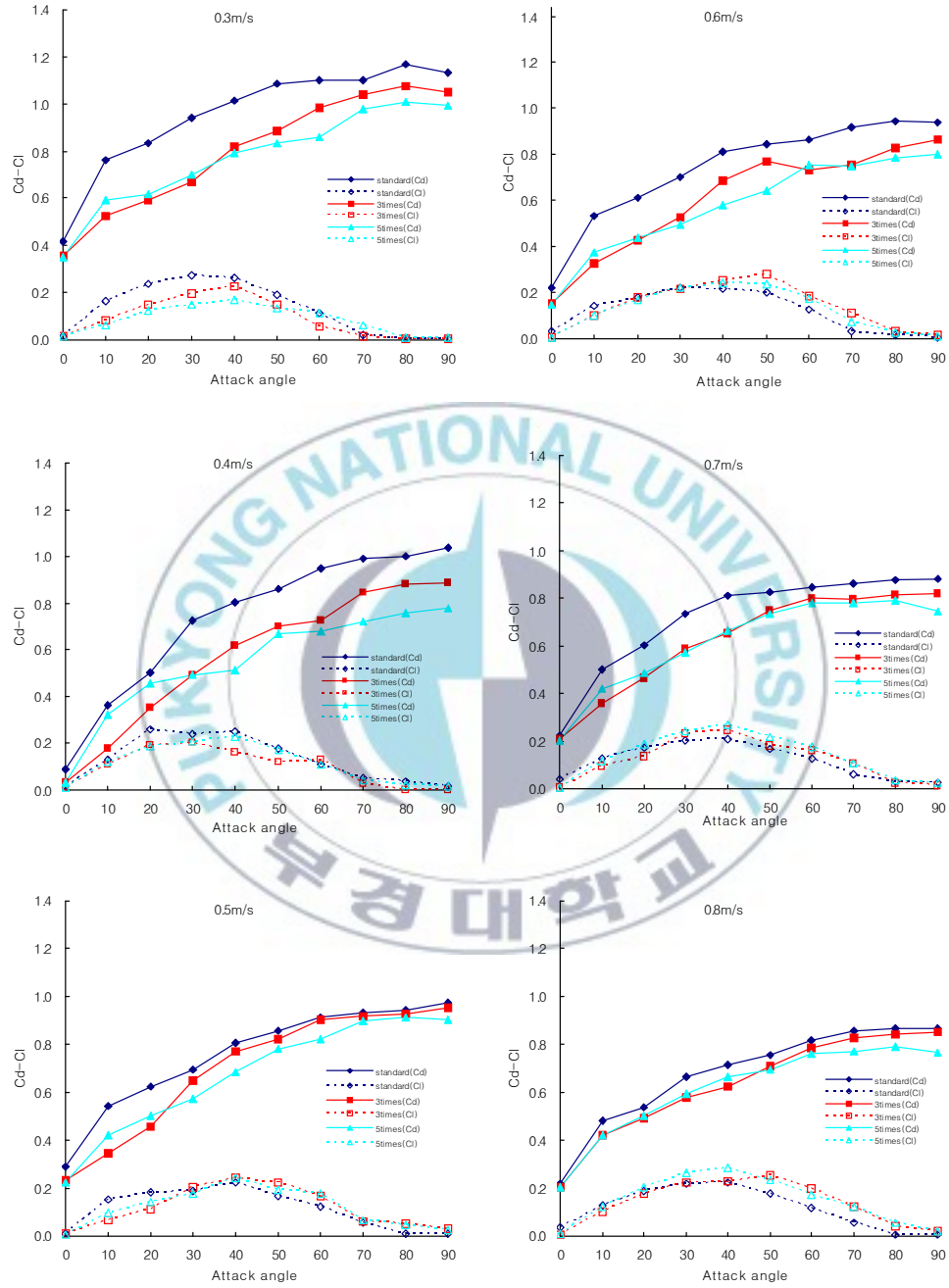


Fig. 5. Hydrodynamic coefficients by mesh-grouping ratio.
(Hanging ratio 70%)

Fig. 6은 성형율이 80%인 망지의 mesh-grouping 별 유체역학적 계수를 영각과 유속에 따라 나타내며, 각 그림의 윗부분에는 실험의 유속을 나타내고 있다.

이 그림에서 보는 바와 같이 mesh-grouping 비율에 따라 값의 차이는 있으나 유사한 경향을 보였다.

항력계수의 경우, 기준 망지의 값은 0.05~1.35, 3배 망지의 값은 0.08~1.23, 5배 망지의 값은 0.01~0.81 범위의 값을 나타내었으며, 성형율이 60%와 70%의 망지와 같이 영각이 0°에서 10° 변화시 가장 큰 변화를 보였다. 또한 영각이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 유속이 증가할수록 작아지는 경향을 보였고, mesh-grouping 비율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 다른 성형율의 망지에 비해 5배인 망지의 값이 상대적으로 적게 나타났으며, 영각이 증가할수록 그 비율에 따른 값의 차이는 커지는 경향을 보였다.

반면 양력계수의 경우 대부분 영각 40°를 경계로 증가하다 감소하는 경향을 보였으며, mesh-grouping 비율이 증가함에 따라 값은 감소하는 경향을 보였다. 또한 성형율 60%와 70% 망지에 비해 비교적 큰 값을 보였으며, 전체적으로 0.00~0.37 범위의 값을 보였다.

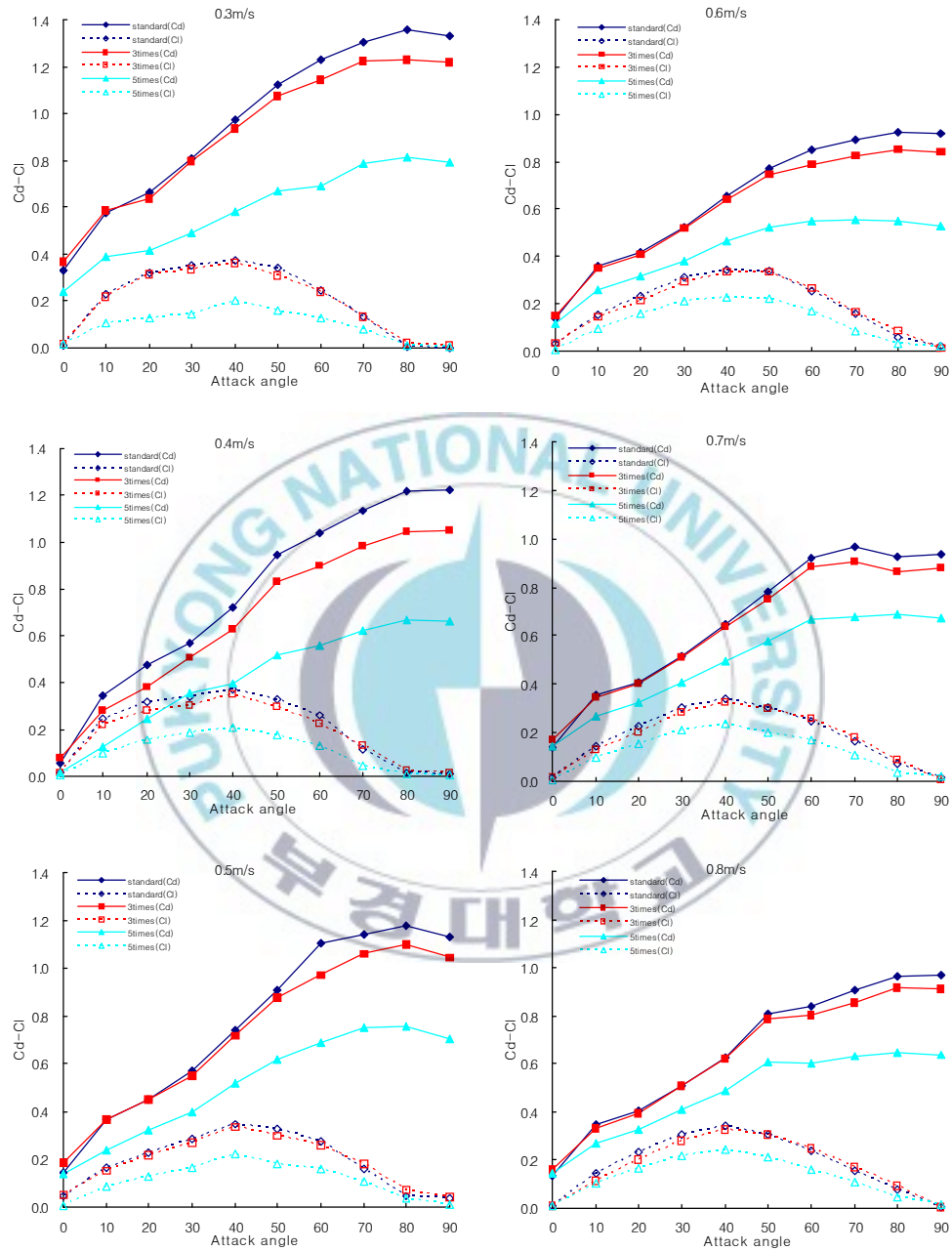


Fig. 6. Hydrodynamic coefficients by mesh-grouping ratio.
(Hanging ratio 80%)

mesh-grouping 비율과 성형율이 다른 3종류의 망지에 대한 유체력 계수를 비교해 보면, 항력계수는 영각의 영향을 가장 크게 받아서 영각이 증가될수록 항력계수도 증가하였다. 같은 영각에서는 망사의 굵기가 굵어질수록, 유속이 빨라질수록 유체력 계수가 감소하였다. 그런데 유속과 그물실의 굵기는 레이놀즈 수와 관계되므로 이것은 레이놀즈 수에 의한 유체력 계수의 표준화가 가능함을 시사한다.

양력계수는 영각 30°까지는 영각의 증가에 따라 커졌으며, 40° 이후로 감소하였다. 성형율 60%와 70% 망지의 경우 양력계수의 값에는 큰 차이가 없으나, 성형율 80%인 망지의 경우 전반적으로 크게 나타났다. 이는 성형율이 증가할수록 그물발에 대한 유체의 입사각이 줄어들게 되므로 양력의 영향을 더 많이 받기 때문으로 판단된다.



2. 레이놀즈 수를 고려한 유체역학적 계수

여기서는 레이놀즈 수를 고려하여 mesh-grouping 비율 및 성형율에 따른 유체역학적 계수들을 분석하였다. Fig. 7와 Fig. 8은 각각의 성형율별 망지들의 레이놀즈 수에 따른 유체역학적 계수를 영각별로 나타내고 있다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 레이놀즈 수가 증가할수록 망지별 영각에 따른 항력 계수는 감소하는 경향을 보였고, 동일한 레이놀즈 수에서는 영각이 증가할수록 항력계수 값은 증가하였다.

또한 성형율에 따른 유체력 계수 차이는 크지 않았으나, 이것은 본 실험에서 조사된 성형율의 범위가 60%~80%로 비교적 좁은 범위에서 실험되었기 때문으로 판단된다. 향후 보다 넓은 범위의 성형율에 대한 실험이 필요하다. 또한 공극율과 여과율을 고려한 실험이 수반되어 레이놀즈 수에 따른 양력 및 항력계수가 정의된다면 보다 정확한 값을 산출할 수 있을 것이다.

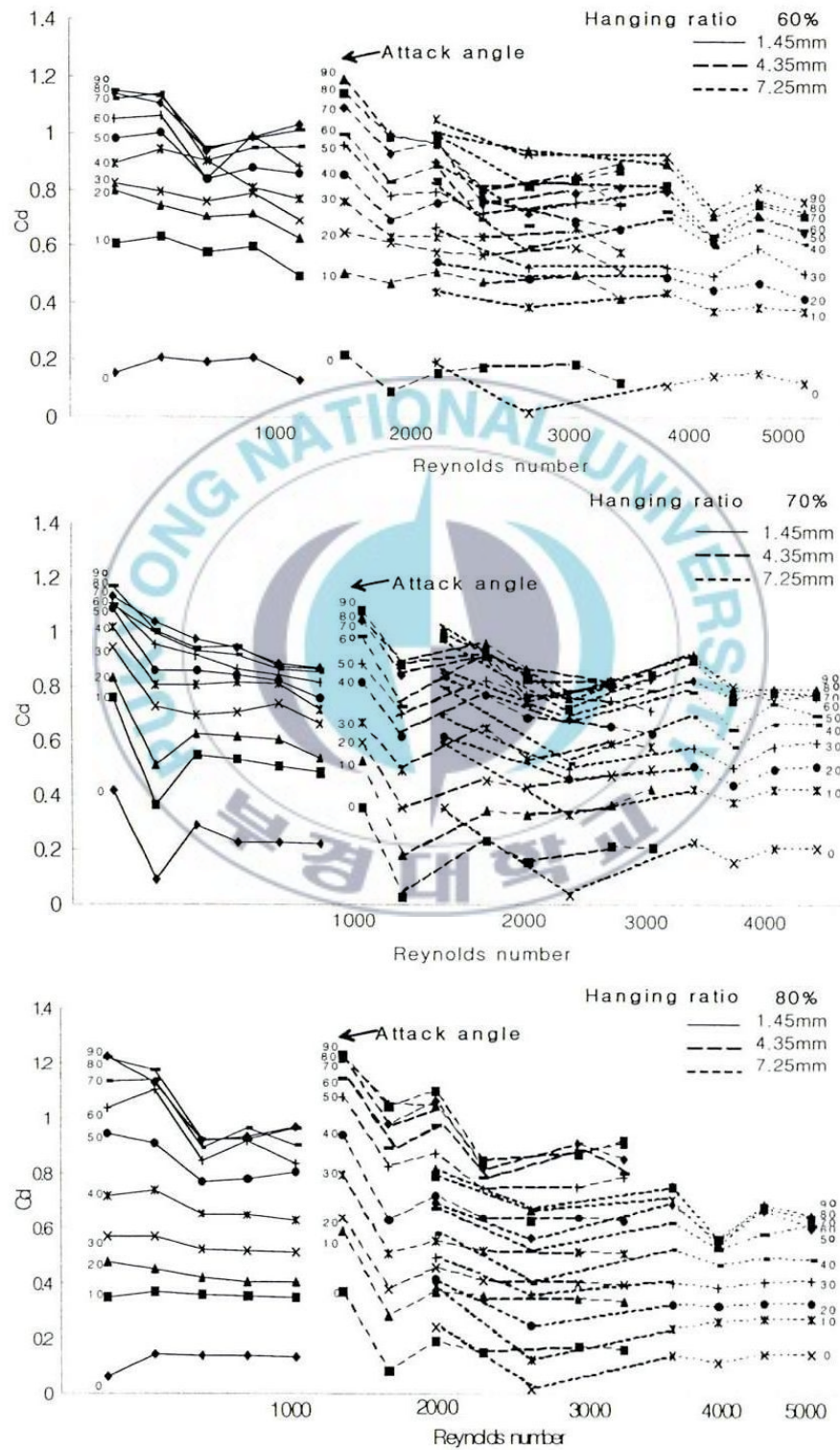


Fig. 7. The drag coefficient for the nettings by Reynolds numbers.

Fig. 8에는 레이놀즈 수를 고려한 양력계수를 나타내었다. 양력계수는 레이놀즈 수에 따른 변화 경향이 뚜렷이 나타나지 않았고, 영각에 따른 영향이 가장 크게 나타났다. 또한 성형율에 따른 변화는 뚜렷하지 않았다.



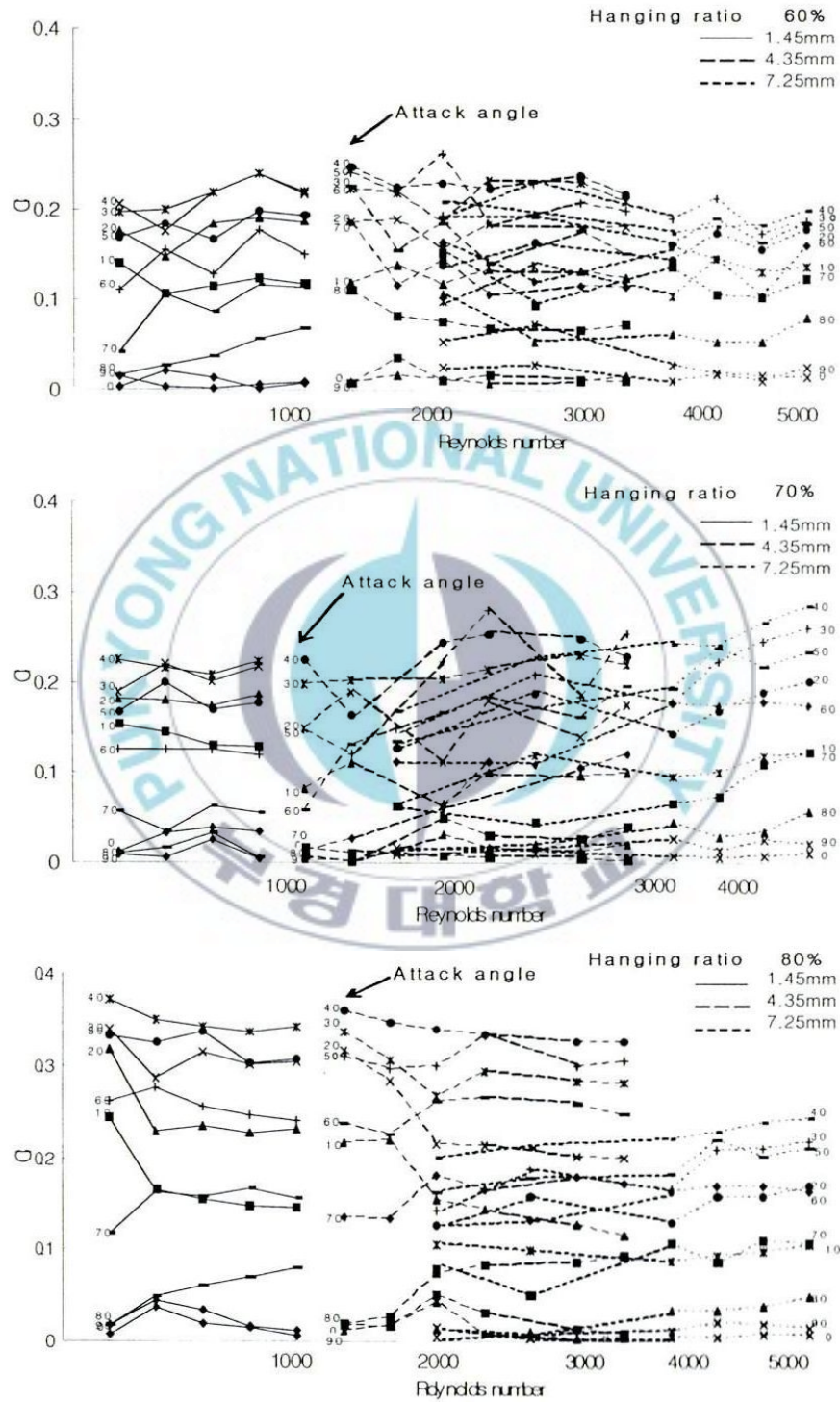


Fig. 8. The lift coefficient for the nettings by Reynolds numbers.

3. 영각과 레이놀즈 수를 고려한 유체역학적 계수

본 연구를 통해 망지의 유체력 계수에 영향을 미치는 요소는 유체의 흐름을 설명하는데 중요한 역할을 하는 레이놀즈 수와 영각임을 알 수 있었으며, 3차원 그림으로 나타내면 Fig. 9, 10, 11과 같다. 본 연구에서 조사된 범위는 유속 $0.8m/s$ 이하에서 일반적으로 사용되는 망지에 대한 실험이므로, 정치망, 가두리, 선망 및 자망과 같이 비교적 작은 속도로 움직이는 망지에 대해서는 정확한 유체력 계산값을 제공해 줄 수 있다. 그러나 중층 트롤과 같이 $4knots$ 이상에서 예망하는 어구의 유체력 계산에서는 유체력이 과대하게 계산될 소지가 있다. 향후 본 연구에서 사용된 망지 이외에 좀 더 다양한 재질의 망지 뿐 아니라 로프에 대해서 보다 넓은 범위의 레이놀즈 수에 대한 실험이 수행되어 유체역학적 계수들에 대한 정확한 분석이 이루어지게 되면, 고속으로 운동하는 어구의 거동과 형상을 보다 정확하게 계산할 수 있을 것이다.

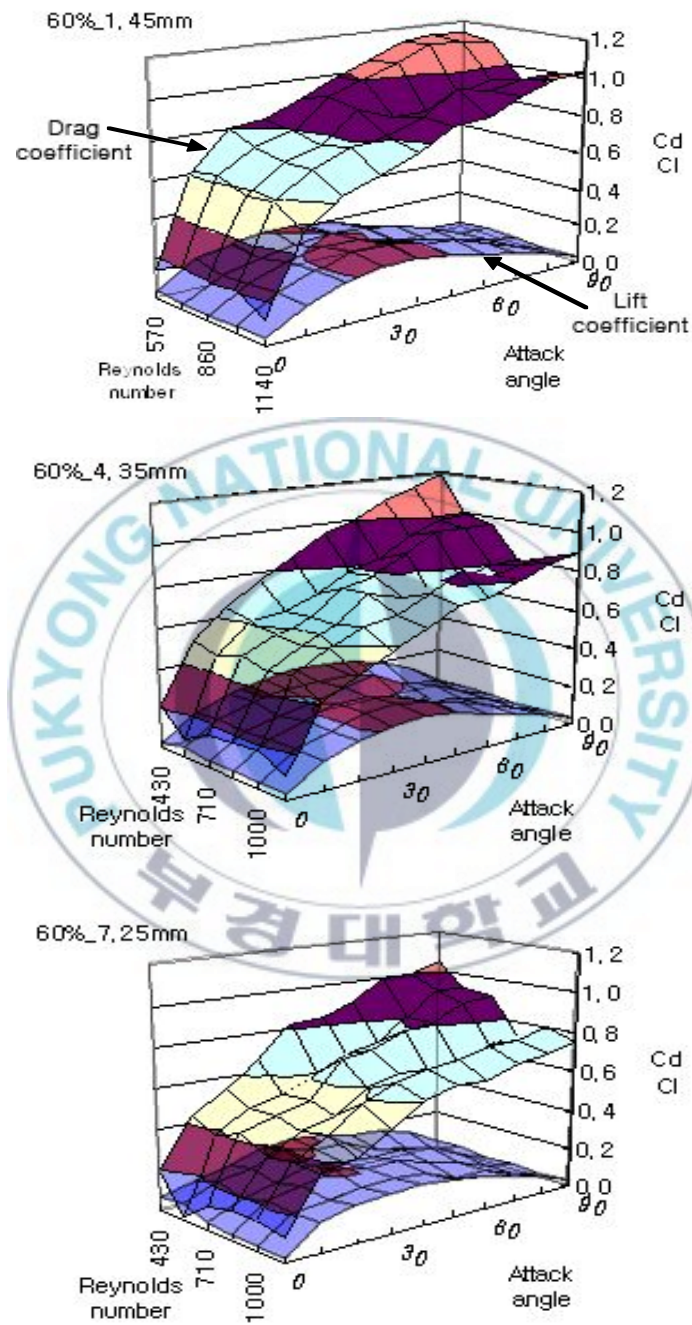


Fig. 9. The 3D chart of hydrodynamic coefficients by Reynolds number and attack angle(Hanging ratio 60%).

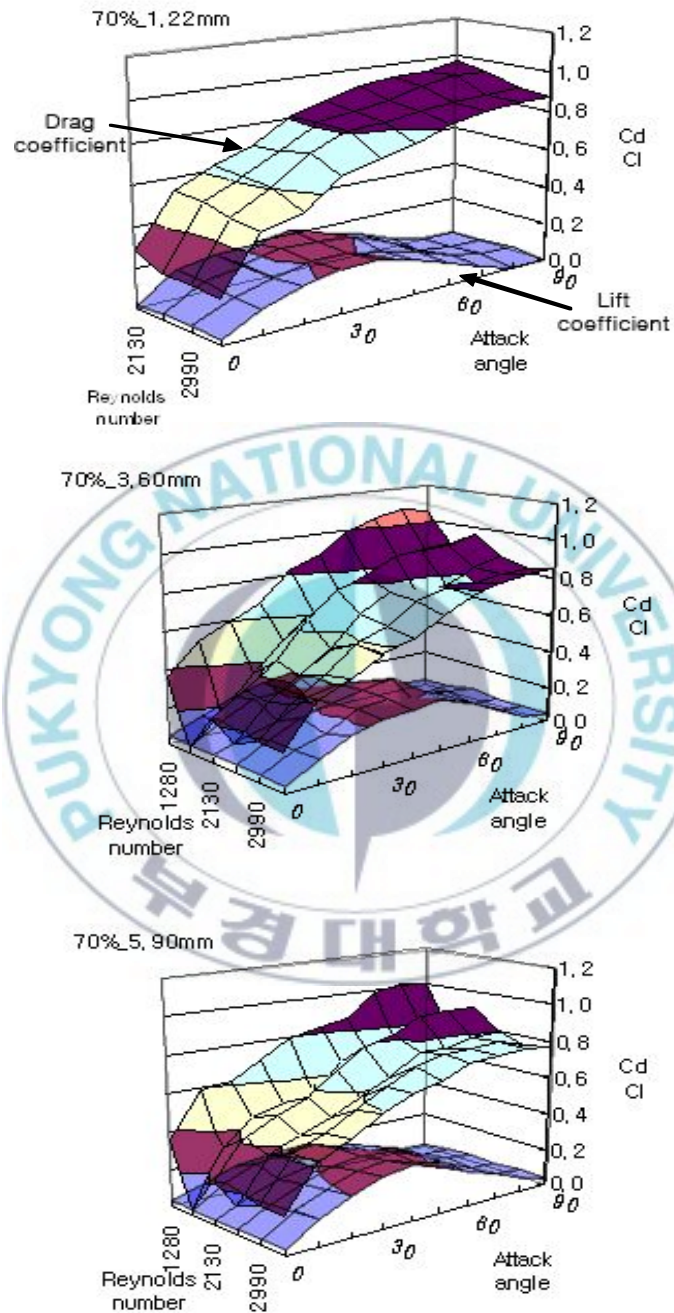


Fig. 10. The 3D chart of hydrodynamic coefficients by Reynolds number and attack angle(Hanging ratio 70%).

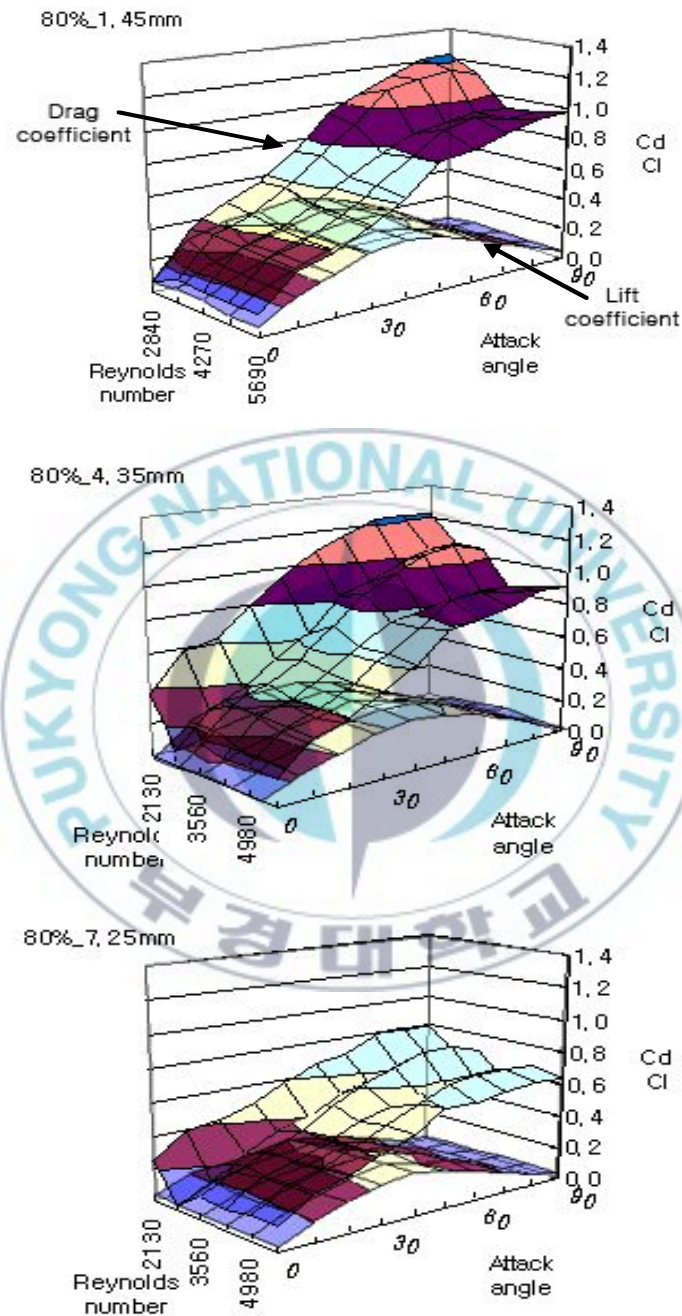


Fig. 11. The 3D chart of hydrodynamic coefficients by Reynolds number and attack angle(Hanging ratio 80%).

요 약

본 연구는 유체역학적 계수를 얻기 위한 기초적인 연구로써 다양한 망지들의 유체역학적 계수들을 측정함과 동시에 실험을 통해 측정된 유체력을 이용하여 레이놀즈 수를 고려한 저항계수들을 비교·분석하여 보다 표준화된 유체역학적 계수 추정을 시도하였다.

실험에 사용된 망지들은 그물발의 길이와 직경은 다르지만 동일한 투영면적을 가지며, 성형율에 따른 mesh-grouping 비율이 다른 9가지 종류의 망지를 수편 제작하여 회류수조에서 영각 및 유속에 따른 유체역학적 계수들을 측정하였다.

망지의 유체역학적 계수에 관한 결과는 다음과 같다.

1. 망지의 항력계수는 영각이 증가함에 따라 증가하였고, 유속과 망사의 직경이 커질수록 감소하였다.
2. 망지의 양력계수는 영각 30°까지는 영각의 증가에 따라 커졌고, 영각 40°를 넘어서면서 감소하였다.
3. 망지의 저항계수는 레이놀즈 수가 증가함에 따라 감소하면서 비교적 일정한 값을 나타내었다.
4. 결국 망지의 저항계수는 영각과 레이놀즈 수의 함수로 나타낼 수 있었고, 3차원 그래프로 표현되었다.

감사의 글

공부를 시작하면서 이 한편의 논문을 완성하기까지 학문에 대한 동기부여와 바른 학업자세를 가르쳐 주시고 세심한 지도를 해주신 이춘우 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 또한 바쁘신 중에도 불구하고 실험에 대한 조언을 해주시고, 미흡한 논문을 세심하게 살펴주신 권병국 교수님, 강일권 교수님께도 감사드립니다.

지금의 연구실과 인연을 맺게 된 후 항상 용기와 격려, 조언을 주신 차봉진, 김현영, 원성재, 윤홍근 선배님, 바쁜 와중에도 논문을 완성하기까지 옆에서 지켜봐주시고 조언을 아끼지 않으셨던 이명우, 이건호 선배님, 뒤늦게 시작한 연구실 생활과 실험에 많은 도움을 준 최무열, 동생이자 선배인 이미경에게 감사하다는 말을 전하고 싶습니다. 또한 석사 과정 동안 같이 생활하며 상부상조했던 수산물리학과 선·후배님들께 고마운 마음을 전합니다. 수조 실험을 준비하는 동안 한결같은 마음으로 옆에서 도와준 이인현, 윤상권, 이보형 후배님께도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

마지막으로 모자란 저를 끝까지 믿어주시고 격려해 주시며, 지원해 주신 사랑하는 저희 가족들에게 정말 고맙고, 감사하다는 말 전하고 싶습니다.

참고문헌

- Aarsnes, J.V. and Rudi, H., Loland, G., Current forces on cage, net deflection. In: Engineering for Offshore Fish Farming. Thomas Telford, London, 1990, 137-152.
- Bessonneau, J.S. and Marichal, D., Study of the dynamics of submerged supple nets (application to trawls). Ocean Engineering, 25(1), 1988, 563-583.
- Igor T., Oleg E., David F., M. R. Swift and Barbaros C., Finite element modeling of net panels using a consistent net element. Ocean Engineering, 30, 2003, 251-270.
- T. Imai, Basic studies on the plane net set into the flowing water-IV: Comparative study of hydro-dynamical resistance on knotted and knotless nettings. Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ., 1979, 1276-1282.
- M. Tauti, The force acting on the plane net in motion through the water. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 3(1), 1934, 1-14.
- M. Tauti, A relation between experiments on model and on full scale of fishing net. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 3(4), 1934, 171-77.
- Y. Miyazaki, Basic investigations on the resistance of fishing nets-(V): The resistance of ropes placed obliquely to the stream. Journal of the Tokyo University of Fisheries, 50(2), 1964, 111-123.
- Fridman, Calculation for fishing gear designs. FAO Fishing Manuals, 1986, 185-212

- Mine P.H., Fish and Shellfish Farming in coastal water, Fishing News(books), London.
- Lee et al., Dynamic simulation of a midwater trawl system's behavior. Fisheries science, 68, 2002, 1865-1868.
- Lee et al., Dynamic Analysis and Control Technology in a Fishing Gear System. Fisheries science., 68, 2002. 1835-1840.
- Lee et al., Dynamic simulation of a fish cage system subjected to currents and waves. Ocean Engineering., 35, 2008. 1521-1532.
- 고관서, 김대안(1987), 어구학, 357-404
- 김현영(2000), 회류수조를 이용한 자루그물의 가상질량 추정. 부경대학교 대학원 수산물리학과 석사학위 논문
- 김현영(2005), 선망어구의 동적 시뮬레이션. 부경대학교 대학원 수산물리학과 박사학위 논문
- 이미경(2004), 조류의 영향을 받는 가두리의 거동해석, 부경대학교 대학원 수산물리학과 석사학위 논문
- 차봉진(2003), 트롤시스템의 동역학적 특성에 관한 수치모델링. 부경대학교 대학원 수산물리학과 박사학위 논문