

회류수조를 이용한 자루그물의 가상질량 추정

김현영 · 이춘우 · 이주희 · 김용해*

부경대학교 · *경상대학교

(2000년 2월 10일 접수)

Estimation of the Virtual Mass of Conical Nets using Circulating Water Channel

Hyun-Young Kim, Chun-Woo Lee, Ju-Hee Lee and Yong-Hae Kim*

Pukyong National University, *Gyeongsang National University

(Received February 10, 2000)

Abstract

The virtual mass of net is an important parameter in the analysis and control of net movement in the water. This experiment was performed with the purpose of getting a relation on the quantity of netting and virtual mass of trawl nets using the circulating water channel that can control flow speed. Twelve types of conical nets were examined. Resistance of the conical net at the steady and acceleration state was recorded as text on the personal computer through the tension meter and current meter. The results were obtained as follows ;

1. Resistance(R) of the conical net is proportional to the degree of attack angle in the same amount of twine material.
2. Coefficient of the resistance(C_d) could be defined by the following regression model as a function of Reynolds Number(Re).

$$C_d = 0.039Re^{-0.1474}$$

3. Resistance(R) is proportional to TSA(Twine surface area) and defined as follows ;

$$R = 21.398TSA - 0.1219$$

4. Coefficient of virtual mass(C_M) could be calculated by the following first order regression model.

$$C_M = 37.557U - 8.9684$$

5. Virtual mass is directly proportional to Volume of net(V) or d/l .

서론

그물의 유체역학적 특성은 어획성능을 결정하는 중요한 요인으로 작용하고 있으며, 어구의 운

동을 연구하는 기초자료이다. 특히 어구운동을 제어하기 위해서는 정상유동 상태에서의 그물의 물리적 특성인 저항뿐만 아니라 비정상유동 상태에서의 물리적 특성인 관성력을 파악할 필요가 있

* 이 논문은 한국학술진흥재단의 '98 과학기술기초 중점연구(1998-023-H00004)에 의해 지원되었음.

다. 저항에 관하여는 오래 전부터 연구가 수행되어 왔으나, 관성력에 관련하여서는 최근에서야 관심을 가지게 되었고, 가상질량을 추정하는 등의 연구가 행해지고 있어서 그물의 운동을 해석하는데 도움이 되고 있다.

물체가 점성유체 중을 비정상 운동하는 경우나 파랑 등의 비정상류 중에 위치할 때에는 속도에 비례하는 저항 외에 가속도에 비례하는 힘이 작용하여 물체의 질량이 외관상 증가된 것 같은 현상이 나타난다. 이때 증가된 것처럼 보이는 질량을 부가질량이라고 부르며²⁾ 이 때 부가질량과 물체의 원래 질량과의 합을 가상질량이라고 한다³⁾.

원통이나 평판과 같은 강체의 가상질량에 대해서는 유체역학 모델에 의해서 쉽게 추정될 수 있으나, 외력에 따라 모양을 달리는 그물과 같은 유연한 구조물의 가상질량은 이론적인 추정방법이 정립되어 있지 않으므로 실험을 통하여 추정할 수밖에 없다. 그물의 가상질량에 대해서는 Yamane and Iitaka⁴⁾가 평면망지의 진동주기를 이용하여 부가질량을 측정 한 연구, 조파수조에 있어서 파력을 계측함으로써 평면망지의 파랑 중의 부가질량 계수를 구한 傅⁵⁾의 연구가 있다. 또한 秀島⁶⁾는 망지 대신 변형이 없는 철망으로 만들어진 원형가두리를 이용하여 가속 예행함으로써 가두리의 부가질량계수를 계측하였고, 胡⁷⁾은 예인수조에서 원추형망의 부가질량계수를 구하였다. 그러나 지금까지 수행된 많은 연구에도 불구하고 예망 중인

어구의 가상질량을 정확히 산정할 수 있는 모델은 아직 제시되어 있지 않다.

본 연구에서는 트롤어구의 가상질량을 추정할 수 있는 모델을 도출하기 위하여 현재 트롤어구에서 사용되고 있는 여러 종류의 그물감을 이용해서 자루그물을 제작하여 가속도 제어가 가능한 회류수조에서 가상질량을 측정하고, 가상질량이 망지의 규격, 망사의 부피 등과 어떤 관계가 있는지를 분석하였다.

재료 및 방법

1. 자루그물 제작

실험에 사용된 자루그물은 삼각망지 네 장을 붙여서 만들었다.

자루그물을 고정시키기 위한 틀은 Fig. 1과 같이 입구가 원형의 형태로 제작하였다. 흐름에 대해서 놓여 있는 각도(영각) θ 는 10° 와 15° 가 되도록 2종류를 제작하였다.

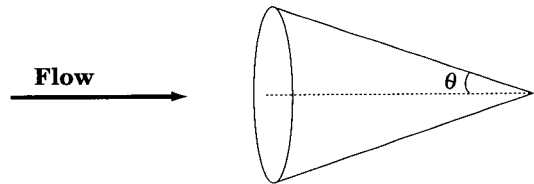


Fig. 1. Conical frame used in this experiment.

Table 1. Details of conical nets used in this experiment

No.	Diameter of twine $d(mm)$	Mesh size (two bars) $2l(mm)$	Attack angle $\theta(deg.)$	Material	TSA (m^2)	V (m^3)
90-20	3.31	200	15	PE	S	2.363S
90-20	3.31	200	10	PE	S	2.363S
90-15	3.31	150	15	PE	1.33S	3.151S
90-15	3.31	150	10	PE	1.33S	3.151S
90-12	3.31	120	15	PE	1.67S	3.939S
90-12	3.31	120	10	PE	1.67S	3.939S
90-10	3.31	100	15	PE	2S	4.727S
90-10	3.31	100	10	PE	2S	4.727S
150-10	4.28	100	15	PE	2.59S	7.903S
150-10	4.28	100	10	PE	2.59S	7.903S
210-10	5.06	100	15	PE	3.06S	11.046S
210-10	5.06	100	10	PE	3.06S	11.046S

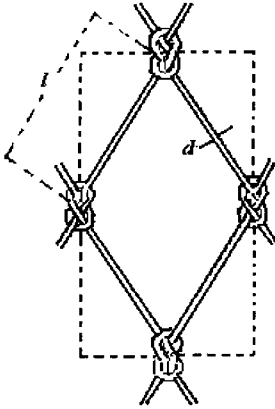


Fig. 2. Geometry of netting.

실험에 사용된 자루그물의 규격은 Table 1에 나타내었다. 실험에서는 그물실의 굵기와 망목의 크기를 달리한 6종류의 망지에 대해서 영각이 10°와 15°가 되도록 자루그물을 12종류를 구성하였다. 이 때 같은 규격의 망지에 대해서는 영각이 달라져도 망지의 표면적(TSA, Twine Surface Area) 및 망사의 체적(V, Volume)은 같도록 하였다.

망지의 표면적 TSA는 Fig. 2의 그물의 구조를 고려하면 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$TSA = 4dl (1.1)N_1 N_2 \quad (1)$$

여기서 d 는 망사의 직경, l 은 한 발의 길이, 상수 1.1은 매듭계수비⁶⁾이다. 또한, N_1, N_2 는 각각 가로, 세로 코수이다.

또한 이 때 망사의 체적 V 는, 식(2)로 나타낼 수 있으며

$$V = \pi d^2 l N_1 N_2 \quad (2)$$

이를 망사의 표면적 TSA로 표현하면,

$$V = 0.714 d TSA \quad (3)$$

이 된다.

2. 실험장치 및 방법

1) 실험장치

실험은 부경대학교 회류수조(최대유속 : 1.2m/s, 관측부 길이 : 6.0m, 수로 폭 : 2.2m, 수심 : 1.2m)에서 행해졌다. 이 회류수조는

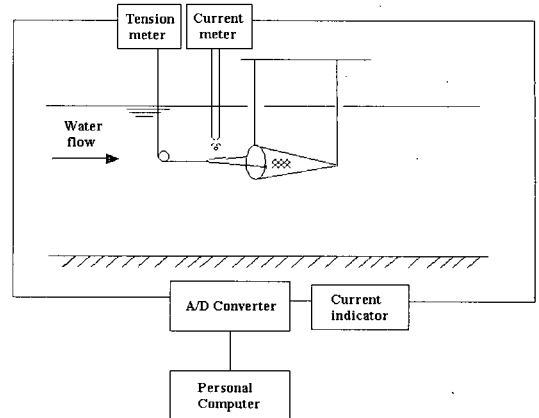


Fig. 3. Arrangement of experimental apparatus in the circulating water channel.

Computer로 속도를 제어할 수 있으므로 가속도 제어가 가능하다.

실험 장치 및 계측 시스템은 Fig. 3에 나타내었다. 유속은 프로펠러식 유속계(모델명 : VOT 2-200-20, 측정범위 : 0.03~2m/s, 오차 : ±4%)를 사용하여 계측하였고, 자루그물에 작용하는 힘은 장력계(모델명 : TCLZ-10KA, 용량 : 10kgf, 정격출력 : -1498.3, +1497.5μV/V)를 사용하여 측정하였다.

2) 실험방법

(1) 저항 측정

자루그물의 저항은 회류수조의 유속을 0.2m/s ~ 1.0m/s까지의 범위에서 약 0.1m/s의 간격으로 일정하게 증가시키면서 각 단계별 등속구간에서 자루그물의 저항을 측정하였다. 이때 계측된 장력은 틀의 저항도 포함하고 있으므로 틀만으로 동일한 실험을 행하여 전체 장력 값에서 이 값을 뺐다. 계측된 자루그물의 저항은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho_1 S U^2 \quad (4)$$

여기서 C_d 는 저항계수이며 ρ_1 은 물의 밀도(102kgw · s²/m⁴), S 는 망지 표면적(TSA), U 는 속도이다^{7,8)}.

저항계수(C_d)는 식(3)을 변형하여 다음 식으로 계산하였다.

$$C_d = \frac{2F}{\rho_1 S U^2} \quad (5)$$

장력은 1초에 10개의 데이터가 샘플링되므로, 약 50초간의 시계열 데이터에서 정상 속도에 도달했을 때 약 40초간의 데이터의 평균값을 자루그물의 저항으로 하였다. 자루그물은 Table 1의 순서에 따라 바꾸면서 실험을 행하였다.

(2) 가상질량 측정

자루그물의 가상질량도 Table 1에 나타낸 12종류의 자루그물을 모두 실험하였다. 유속을 0.2m/s ~ 1.0m/s의 범위에서 가속도를 0.021m/s²와 0.025m/s², 두가지 가속도로 가속시키면서 장력값을 측정하였다.

자루그물이 비정상 운동을 하고 유체 중에 놓여 있을 때 자루그물에 작용하는 힘 F 는 다음 식으로 나타낼 수 있다²⁾.

$$F = (C_M + 1)\rho_2 V \frac{dU}{dt} + \frac{1}{2} C_d \rho_1 S U^2 \quad (6)$$

여기서 C_M 은 질량계수, ρ_2 은 그물감의 밀도, V 는 망사의 체적, $\frac{dU}{dt}$ 는 가속도이다. 이 때 F 는 계측된 장력값, 우변의 둘째 항은 앞서 행해진 저항실험에서 구해진 값이므로 이들 값을 식(6)에 대입하여 우변의 첫째 항을 계산해 낼 수 있다.

또한 질량계수(C_M)는 식(6)으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_M = \frac{F - \frac{1}{2} C_d \rho_1 S U^2}{\rho_2 V \frac{dU}{dt}} - 1 \quad (7)$$

가상질량 실험에서도 자루그물을 고정한 틀의 가상질량은 저항실험과 동일한 방법으로 실험을 하여 제외하였다.

결과 및 고찰

1. 자루그물의 저항

각 자루그물에 대해 영각이 10° 인 경우(a)와 15° 인 경우(b)로 나누어 계측된 저항 값을 Fig. 4

에 나타내었다. 각 그림의 위 부분에 적혀있는 번호는 Table 1의 No.를 의미한다.

그림에서 보는 바와 같이 재료의 양은 같이 하고 순수하게 영각 만을 달리한 각 그물에 대해 영각이 10도인 경우(a)가 15도인 경우(b)보다 저항 값이 작으며, 그 차이는 유속이 증가할수록 크게 나타났다. 또한 한 코의 길이가 10cm이고, 합사수가 210합인 그물(No. 210-10)의 저항 값이 가장 컸으며, 한 코의 길이가 20cm이고, 합사수가 90합인 그물(No. 90-20)의 저항 값이 가장 낮게 나타났다.

식(5)를 이용하여 저항계수를 구하고, 이것을 레이놀즈수(Re)에 따라 나타내면 Fig. 5와 같다. 여

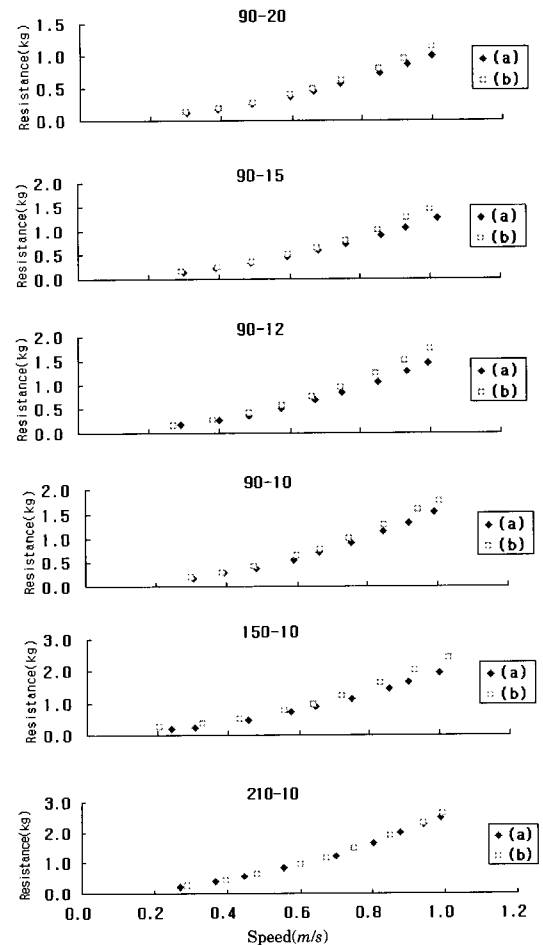


Fig. 4. Resistance of conical nets according to speed, (a) is 10°, (b) is 15°.

기서 레이놀즈수의 대표길이는 망구직경으로 하였다. 저항계수는 Re 의 증가에 따라 점점 감소하는 경향을 보이며 영각이 10도인 경우(a)가 15도(b)인 경우보다 약간 작았고, 이 결과를 근사식으로 나타내면 다음과 같다.

$$C_d = 0.039Re^{-0.1474} \quad (8)$$

각 그물에 대해서 TSA 에 따른 정속실험 시 $1m/s$ 의 속도에서 측정된 저항 값은 영각이 작은 10도인 경우(a)보다 15도(b)일 때 좀 더 크게 나타났다. 또한 그림에서 보는 바와 같이 TSA 에 따른 저항(R)을 근사식으로 나타내어보면

$$R = 21.398TSA - 0.1219 \quad (9)$$

로 선형화될 수 있었다.

d/l 에 따른 저항 값 역시 영각이 10도(a)인 경우보다 15도(b)일 때 보다 좀 더 큰 값을 나타내었다. 이 때 저항 값은 정속실험 시 $1m/s$ 의 속도에서 측정된 값이다. d/l 에 대한 저항 값(R)을 근사식으로 나타내어보면,

$$R = 22.652\left(\frac{d}{l}\right) - 0.12 \quad (10)$$

으로 된다.

2. 자루그물의 가상질량

본 실험에서 측정된 자루그물의 질량계수를 유속에 따라 나타내면 Fig. 6과 같다. 질량계수(C_M)는 유속이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내

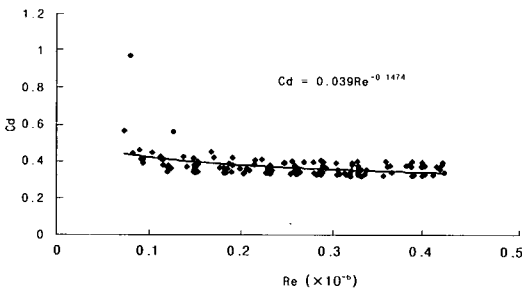


Fig. 5. Coefficient of resistance according to Reynolds Number.

었다. 이것을 실험식으로 나타내면 다음과 같다.

$$C_M = 37.557U - 8.9684 \quad (11)$$

이 된다.

각 그물의 체적에 따른 가상질량은 순간속도 $1m/s$ 시의 가상질량으로 체적에 따라 거의 증가하는 추세를 보였다. 이것을 실험식으로 나타내어보면 영각이 10도인 경우(a)의 가상질량(m_a)은,

$$m_a = 3533.3V + 0.0141 \quad (12)$$

였고, 영각이 15도인 경우(b)의 가상질량(m_b)은,

$$m_b = 2495.3V + 0.0281 \quad (13)$$

으로 나타났다.

가속 시 순간속도 $1m/s$ 에서 측정된 가상질량을 d/l 에 따른 가상질량은 먼저 영각이 10도인 경우(a)에는,

$$m_a = 16.587\left(\frac{d}{l}\right)^{-0.3623} \quad (14)$$

영각이 15도인 경우(b)는,

$$m_b = 11.729\left(\frac{d}{l}\right)^{-0.2387} \quad (15)$$

로 선형화할 수 있었다.

본 실험의 결과로부터 현재 업계에서 널리 사용되고 있는 실물 어구 중 2200마력급 어선의 망지의 표면적(TSA) 및 망사의 체적(V)을 대입하여 식(9)에 의해서 저항을 계산해보면, $1m/s$ 에서는 R 는

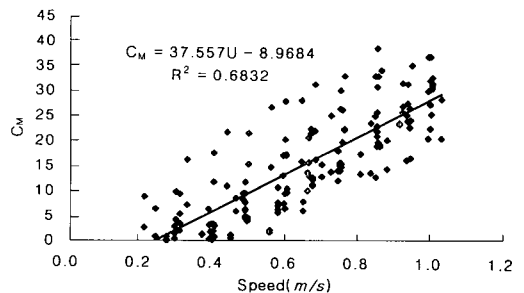


Fig. 6. Coefficient of virtual mass C_M according to speed.

4500kgf, 2m/s에서는 $R \approx 10000\text{kgf}$ 로 해상실험에서 얻어진 결과⁹⁾와 비교적 잘 일치하였다.

요 약

수중에서 운동하는 그물어구의 가상질량은 어구의 운동을 해석하고 제어하는데 중요한 파라미터이다.

본 연구에서는 트롤어구의 가상질량을 추정하기 위해서 현재 트롤 어구에서 사용되고 있는 여러 종류의 그물감을 이용해서 자루그물을 제작하여 속도제어가 가능한 회류수조를 이용하여 가상질량이 망지의 규격 및 망사의 부피 등과 어떤 관계가 있는지를 분석하였고, 실제어구의 가상질량 계산에 적용하여 보았다.

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 재료의 양은 같이 하고 순수하게 영각만을 달리한 각 그물에 대해 영각이 클수록 저항이 더 크게 나타났다.

2. 저항계수(C_d)는 레이놀즈수(Re)에 따라 점점 감소하는 경향을 보이며, 식으로 나타내면 다음과 같았다.

$$C_d = 0.039Re^{-0.1474}$$

3. 망지의 표면적(TSA , Twine Surface Area)이 클수록 저항 값이 크게 나타났으며 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$R = 21.398TSA^{-0.1219}$$

4. 질량계수(C_M)는 유속(U)이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내며 실험식은 다음과 같다.

$$C_M = 37.557U - 8.9684$$

5. 가상질량은 망사의 체적(V)과 d/l 에 각각 비례관계를 나타냈다.

참고문헌

1. 胡 夫祥 · 松田 皎 · 山越 康行 · 東海 正(1994) : 圓錐形袋網의 附加質量, *Fisheries Engineering*, 31(1), 21~26.
2. 宇野木早苗의 3명(1990) : 海洋技術者のための流れ學, 214~237.
3. Yamane, T. and Iitaka, Y.(1986) : The virtual Mass of Plane Nets, *Nippon Suisan Fakkaiishi*, 52, 1189~1197.
4. 傅 恩波 · 佐藤 一修 · 梨本勝昭 · 山本勝太郎 (1989) : 평면망지에 작용하는 波力에 관하여, *日水誌*, 55, 65~70.
5. 秀島好昭(1983) : 金網生網에 作用하는 流體力과 係留素張力에 관한 基礎的 研究(I), *水産土木*, 19(1), 1~6.
6. Fridman, A. L. Tech Sc(1986) : Calculations For Fishing Gear Design, 19~48.
7. 노병준 · 조원일(1995) : 유체역학, 동명사, 1~87.
8. 현재경의 6명(1993) : 일반물리학, 형설출판사, 186~187.
8. 김대안(1995) : 그물어구의 유수저항과 모형측정 - 1. 유수저항의 해석 및 평면 그물감의 자료에 의한 검토, *한국수산학회지*, 28(2), 183~193.
9. 이춘우의 17명(1998) : 컴퓨터를 이용한 트롤 어구 설계 및 예망 자동화 시스템 개발, *해양수산부 연구보고서*, 41~188.
10. 김대안(1995) : 그물어구의 유수저항과 모형측정 - 2. 자루형 그물의 유수저항, *한국수산학회지*, 28(2), 183~193.