

부유물 차단막에 작용하는 장력추정에 관한 실험연구

유정석⁽¹⁾, 성홍근⁽¹⁾, 유재문⁽²⁾

A Prediction Method of Tension on Containment Boom for Marine Floating Debris

by

J. S. Yu⁽¹⁾, H. G. Sung⁽¹⁾ and J. M. Ryu⁽²⁾

요 약

해양 부유폐기물의 주요 발생원은 홍수시 육상으로부터 발생되어 해양으로 유입되는 부유쓰레기에 기인하며, 부유쓰레기가 해상으로 유입되는 것을 효과적으로 수거하는데 사용하는 것이 차단막이다. 강한 흐름이 존재하는 강이나 하천에 차단막을 설치할 때 흐름에 의한 차단막에 작용하는 항력과 장력은 흐름의 속도와 방향, 설치된 차단막의 형상, 수면아래의 차단부의 형상에 따라 변한다. 본 논문에서는 기존 차단막에서 활용되고 있는 대표적인 형태를 대상으로 1/5, 1/10, 1/20 모델을 제작하여 개구비(gap ratio)에 따른 유속별 장력을 계측함으로써 높은 유속에 노출된 부유물 차단막에 대한 설계장력 추정법을 정립하고자 하였다. 또한 기존 이론에 의한 장력 추정법과의 상관관계를 검토하여 기존에 사용되어 오던 장력계수보다 더 큰 값을 사용하는 것이 타당함을 밝혔다.

Abstract

The main functions of containment boom for marine floating debris are to prevent spreading of the marine floating debris and to effectively collect the trash skimmer. The design characteristics of containment boom for marine floating debris in wave, current and wind are investigated. The response of a containment boom on the current is a function of a number of parameters, such as geometric characteristics, buoyance/weight ratio and towing velocity. To understand the relationship between these design parameters more clearly, a series of tests with three models with the variation of current speed and gap ratio was conducted. The model tests results are developed to new numerical equation that is tension prediction method of containment boom for marine floating debris. Also its is compared with open sea experimental results.

Keywords: Containment Boom for Marine Floating Debris(차단막), Tension(장력), Gap Ratio(개구비).

(1) 정회원, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

(2) 충남대학교

1. 서 론

해양 부유폐기물의 주요 발생원은 강이나 하천을 통하여 배출되는 육상쓰레기와 선박운항과정에서 발생하는 쓰레기 그리고 선박에서 고의로 바다로 투기하는 쓰레기 등으로 대별할 수 있다. 특히 홍수시 육상으로부터 발생되어 해양으로 유입되는 부유쓰레기는 바다로 유입되면 수거시 많은 비용과 시간이 소요된다. 따라서 예방기술로 차단막의 기능은 육상으로부터 발생하는 부유쓰레기가 하천을 통하여 해상으로 유입되는 것을 막기 위하여 하천 및 연안해역에 비교적 장시간 고정설치하여 부유폐기물을 차단하여 수거하고자 하는 것이다. 차단막의 형태는 기존의 유류 오염사고 발생시 누유된 유류를 포집하는 오일붐과 유사성을 가지고 있으며, 이를 응용하여 부유쓰레기를 효과적으로 포집하여 수거하는데 활용되고 있다.

부유쓰레기를 대상으로 하여 본격적인 연구가 시작된 것은 해양폐기물 종합처리시스템 개발연구를 통하여 탄천에서 부유쓰레기 수거용 차단막을 설치한 것으로, Chof[3]는 널리 알려진 계류방정식(catenary equation)을 사용하여 차단막에 걸리는 장력을 추정하였으며 이를 통하여 차단막의 적정 재질과 강도를 결정하고자 하였다. 최근에 홍수시 부유쓰레기로 인한 해양환경 피해를 계기로 차단막에 대한 실험을 통하여 수치계산과의 비교연구(Sung, Yu[2001])를 수행하였으며, 오일붐의 실험을 통하여 장력을 계측하는 연구도 수행된 바 있다(Yu[1998]).

오일붐과 오탁방지막의 경우에는 잘 알려진 바와 같이 대상유속이 1노트 미만으로 F_r (Froude

number - 붐 혹은 방지막의 흘수기준)가 0.1~0.2의 범위이며, 구조물에 걸리는 장력을 구하기 위하여 통상적으로 계류방정식과 함께 Morison 방정식을 사용하였다. 이 때 항력계수의 범위는 1.0~1.5로 알려져 있다. 한편, 부유물 차단막은 연안해역과 하구언 일대 혹은 중·대규모 하천에 설치하는 것을 기본 개념으로 하기 때문에 오일붐과 오탁방지막의 관심속도의 범위를 훨씬 벗어나게 된다. 대체로 부유물 차단막은 2~4노트 범위의 속도에 노출되며, 본 논문에서 고찰하고자 하는 속도영역도 이에 국한하고자 한다. 현재까지 유속이 높은 경우 2노트 이상(흘수가 90cm인 경우 $F_r \geq 0.4$)에서의 차단막에 걸리는 장력을 추정하는 시험은 수행된 바 없는 것으로 조사되었으며, 이에 대한 수치계산과의 비교연구도 없는 실정이다.

본 논문에서는 기존 차단막에서 활용되고 있는 대표적인 형태를 대상으로 1/5, 1/10, 1/20 모델을 제작하여 개구비(gap ratio)에 따른 유속별 장력을 계측함으로써 높은 유속에 노출된 부유물 차단막에 대한 설계장력 추정법을 정립하고자 하였다. 또한 기존 이론에 의한 장력 추정법과의 상관관계를 검토하여 기존에 사용되어 오던 장력계수보다 더 큰 값을 사용하는 것이 타당함을 밝혔다.

2. 차단막의 구성요소

차단막은 강, 댐을 통하여 유입된 부유물을 수거하는 장비로 부유쓰레기를 차단·포획하는 기능을 가져야 한다. 차단막은 5가지 주요성분으로 구성되어 있다(Fig. 1).

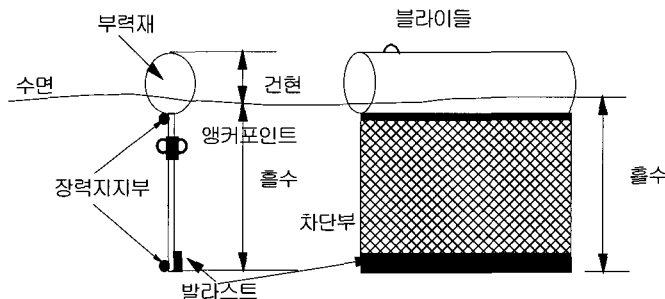


Fig. 1 Components of the containment boom.

1) 부력재(float)로서 차단막이 설계된 흘수와 견현을 갖고 수면중에 떠 있도록 부력을 주는 부분으로, 재질로는 스티로폼이나 플라스틱 그리고 공기가 채워진 섬유재질(PVC, PU, rubber)이 이용된다.

2) 견현(freeboard) : 수면과 차단막의 수직높이로 정의되며 부유쓰레기가 차단막 상부로 빠져나가는 것을 방지한다.

3) 쓰레기 차단부(skirt) : 쓰레기 차단부는 부력재 아래 설치되며, 쓰레기를 포획·차단하는 부분이다. 차단부의 깊이가 깊수록 부유쓰레기를 포획·차단하는데 유리하다. 그러나 차단막에 작용하는 흐름력은 차단부의 면적에 비례하므로 차단부가 필요 이상으로 너무 길면 차단막에 큰 힘이 걸려 구조상 문제점이 발생한다.

4) 장력지지부(tension member) : 차단막의 길이방향으로 작용하는 장력을 지지하는 부분으로 케이블이나 체인 그리고 섬유막이 주요 이용된다. 장력지지부의 위치는 파도중 차단막의 운동 성능에 영향을 준다.

5) 발라스트(ballast) : 차단막을 수면밑으로 잠기게 하여 차단막의 성능을 향상시키거나 차단부를 수직방향으로 유지시키는 역할을 한다. 보통 차단부 아래 부분에 체인이나 납으로 설치한다.

차단막은 5가지 주요 성분외에 계류점(anchor point), 벨브 및 연결장치(end connector) 등의 여러 개의 부속장치를 가지고 있다.

3. 차단막의 장력계산

3.1 Catenary Equation

강한 흐름이 존재하는 강이나 하천에 차단막을 설치할 때 흐름에 의한 차단막에 작용하는 항력과 장력은 흐름의 속도와 방향, 설치된 차단막의 형상, 수면아래의 차단부의 형상에 따라 변한다. 차단막에 걸리는 장력은 차단부의 형상과 깊이 그리고 차단막의 설치 형상과 밀접한 관련이 있다. 본 연구에서는 기존의 계류방정식을 사용하여 차단막 설치 형상에 따른 이론적 장력계산 방법을 사용하였다. 차단막에 작용하는 장력은 견인속도(흐름속도)와 차단막의 설치 형상 그리고 차단부의 흘수에 관한 함수이다. 이러한 관계

를 차원해석을 통하여 무차원화된 변수로 표현하면 다음과 같이 표현할 수 있다

$$\frac{T_c}{\frac{1}{2} \rho U^2 d \ell} = f(B/\ell, d/h) \quad (1)$$

여기서, U 는 주위 유동의 속도이며 ρ 는 해수의 밀도를 나타내고 T_c 는 차단막에 작용하는 장력이다. d 는 차단부의 흘수이고 h 는 설치해역의 수심이며 B 는 설치된 차단막의 개구부의 거리를 지칭하며, ℓ 은 차단막의 전체 길이이다. 무차원된 변수 B/ℓ 의 영향을 나타내는 새로운 변수인 장력계수(Tension Parameter) τ_c 를 도입하여 차단막에 작용하는 장력을 아래식과 같이 표현하였다(Milgram[1971]).

$$T_c = \frac{1}{2} \rho C_D \tau_c U^2 d \ell \quad (2)$$

B/ℓ 의 함수인 장력계수 τ_c 는 B/ℓ 값이 클수록 큰 값을 갖고, 작을수록 작아진다. C_D 는 항력계수로 실험을 통하여 얻어지며 d/h 와 밀접한 관계를 갖는다. 항력계수는 d/h 가 클수록 커지며, 작을수록 작아진다.

3.2 경험적 방법

실해역에서는 바람, 파도, 조류에 의하여 차단막에 항력과 장력이 작용한다. 현재 현장에서 쉽게 계산이 가능한 가장 경험적인 방법으로는 MSRC [1994]에서 많은 실험을 통한 결과로 제안한 방법을 사용하고 있다.

차단막의 설치 지점이 결정되면 Gap Ratio (R_{gc})라는 설계변수를 도입하여 적용한다. 이 변수는 전체 차단막의 휘어진 곡률을 뜻한다. 즉 Gap Ratio가 클수록 곡률이 작아지며, 차단막에 걸리는 항력은 커진다.

3.2.1 유속과 파고에 의한 장력계산

$$T_c = \frac{1}{2} \rho_w C_n \tau_c d \ell (U + 0.5\sqrt{H_s})^2 \quad (3)$$

여기서, T_c 는 수면하에 작용하는 장력, ρ_w 는 해수의 밀도, C_n 는 항력계수(=1.5), τ_c 는 장력

계수, d 는 차단부의 깊이, ℓ 은 차단막의 전체 길이, U 는 견인속도, H_s 는 유의과고이다.

3.2.2 바람에 의한 장력계산

$$T_w = \frac{1}{2} \rho_a C_w \tau_c h \ell U_w^2 \quad (4)$$

여기서, T_w 는 바람에 의한 장력, ρ_a 는 해수의 밀도, C_w 는 항력계수(=1.5), τ_c 는 장력계수, h 는 견현높이, ℓ 은 차단막의 전체 길이, U_w 는 풍속이다. 차단막에 작용하는 전체항력은 대략적으로 아래와 같이 구할 수 있다.

$$D = 2(T_w + T_c) \quad (5)$$

4. 차단막의 시험

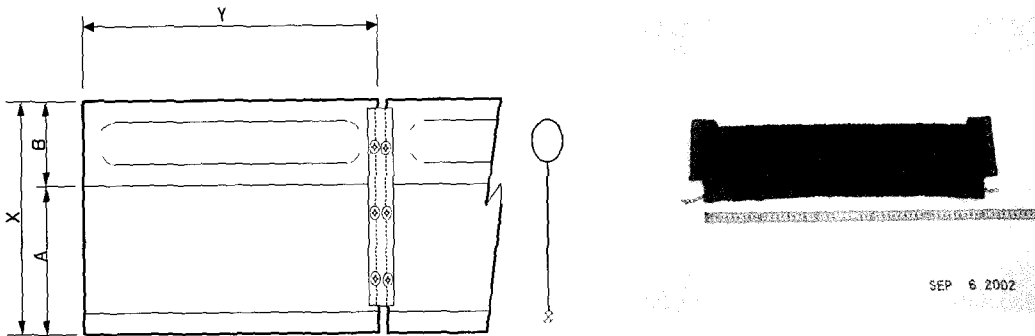
4.1 모형제작

시험에 사용된 차단막의 모형은 기존 오일붐의 B형(길이 200m, 높이 1.5m, 홀수 90cm, 견현 50cm)을 기준으로 하여 Froude Scale로 줄여서 1/5, 1/10, 1/20로 제작하였다. 제작된 모형은

Fig. 2에 나타내었다. 모형 차단막의 재질은 천막지로 사용하여 가능한 실제 차단막과 유사한 재질을 선택하였으며, 방수가 되는 재질로 되어 있다. 또한 모형차단막의 부력체는 PVC 파이프를 활용하여 부력을 갖게 하도록 하였다. 차단막의 스키프부분은 같은 재질로 사용하였으며, 이는 부유물이 차단막과 맞게 되는 경우 일정시간이 경과하면 스키프부분이 막혀 Mesh 형태의 기존 차단막의 스키프부분과 같은 효과를 가진다는 판단이었다.

4.2 계측장비

차단막에 걸리는 장력을 계측하기 위해서는 1축형 장력계(tension load cell)를 사용하였다. 장력계의 종류는 5kgf와 20kgf의 2종류를 사용하였으며, 분동계를 이용하여 Calibration를 수행하였다. U형 차단막에 걸리는 장력은 대칭이기 때문에 한쪽만을 계측하였다. 그러나 J형인 경우에는 양쪽에 로드셀을 부착하여 계측하는 방법을 택하였다. Fig. 3에 나타난 장력계측 시스템은 차단막의 끝단에서 장력을 계측하는데 있어 스위블을 이용하여 순수한 장력만을 계측할 수 있도록 설계와 제작하였다.



Model	1/20	1/10	1/5
X	75	150	300
Y	500	1000	2000
A	45	90	180
B	30	60	120

Fig. 2 Experimental models of the containment boom.

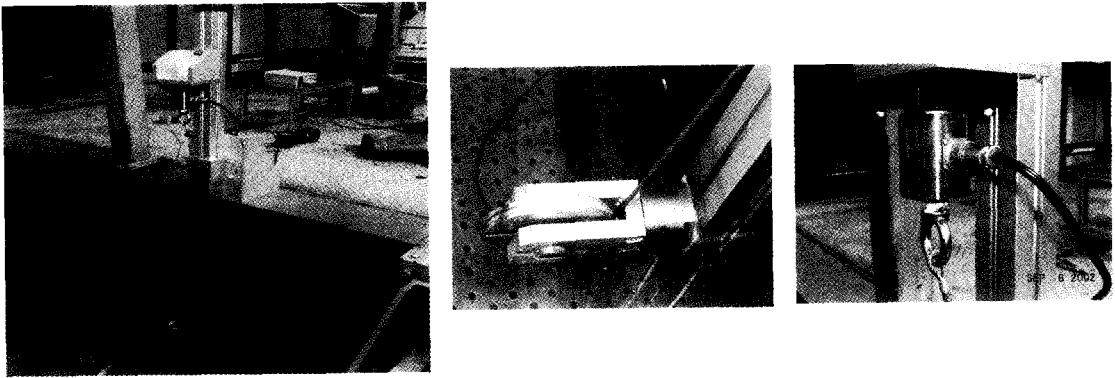


Fig. 3 Tensionmeter and swivel for experimentation.

4.3 시험내용

차단막에 걸리는 장력을 계측하는데 있어 유속별, 개구비를 바꾸어 가면서 시험을 수행하였다. 차단막의 형태는 U 형과 J형으로 나누어 시험하였으며, skin friction에 의한 마찰저항을 계측하기 위하여 선박의 저항시험시 평판의 마찰저항을 계측하는 방법과 같은 방법을 사용하여 일자형으로 차단막을 유속별 계측하였다.

5. 시험결과

부유물 차단막에 대한 모형시험 결과는 우선 각 축적 모형별로 시험결과를 정리하고 3가지 모형(1/20, 1/10, 1/5 축적비)에 대한 결과를 종합하여 차단막 장력추정 기법의 정립을 시도하고자 한다.

5.1 1/20 축적 모형 결과

1/20 축적 모형 시험 결과를 Fig. 4에 도시하였다. 본 실험결과를 종전에 주로 사용되어오던 장력추정기법($C_n = 1.5$)과 비교하였다. 그래프에 의하면 본 실험에 의한 장력결과는 종전의 이론적 추정기법과는 다소 차이가 나는 것을 확인할 수 있으며, 개구비가 클수록 차이가 줄어들어가는 것도 알 수 있다. 이는 Cho[1995]에서 지적한 것과 같이 범선항력계수 C_n 을 구하기 위하여 차단막 단위 유니트(Unit)를 예인대차에 횡으로 고정하고 예인하여(진행방향에 수직인 상태로 평

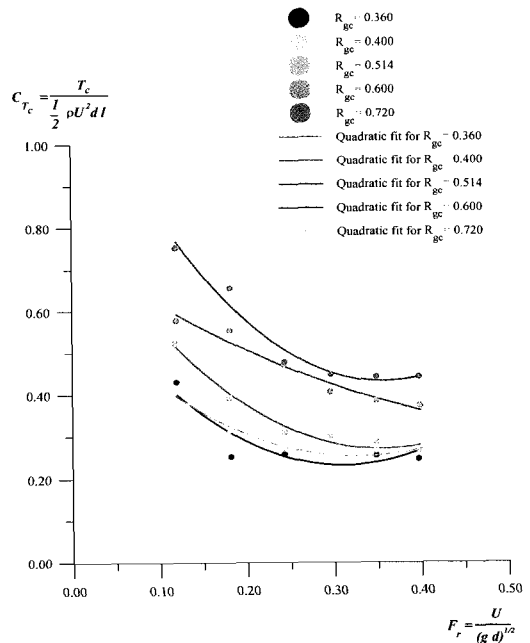


Fig. 4 Nondimensional tension distribution for the 1/20 scale model.

판을 예인하는 경우와 유사한 유동형태임) 계측한 힘을 이용하였기 때문으로 이해된다. 또한 개구비가 클수록 차단막의 비교적 많은 부분이 유동을 직각으로 받기 때문이다. 총 5개의 개구비에 대하여 7개의 속도에 대한 실험을 수행하였다. 또한 표면마찰저항에 의한 장력기여분을 제거하기 위하여 별도로 마찰저항 실험결과를 제

시하였다. 해당 모형의 특정 개구비에 대한 마찰 저항의 장력기여분을 구할 수 있다고 가정하였다. D_f 는 표면마찰저항에 의한 장력기여분을 나타낸다. 실험결과를 실물(prototype)로 확장하기 위하여 다음과 같은 무차원량을 도입하였다.

$$C_{T_c} = \frac{T_c}{\frac{1}{2} \rho U^2 d \ell}, \quad C_f = \frac{D_f}{\frac{1}{2} \rho U^2 d \ell \times 2}, \quad (6)$$

$$C_{T_c}^R = \frac{T_c - D_f}{\frac{1}{2} \rho U^2 d \ell}$$

전술한 바와 같이 속도에 대한 무차원량은 Froude 수 ($F_r = U/\sqrt{gd}$)를 기준으로 한다. Fig. 4에 도시된 바와 같이 계측된 장력치의 무차원값은 특정 개구비에 대해서는 유속의 증가에 따라 감소하며, 개구비가 커짐에 따라 증가하는 경향을 보인다. 표면마찰저항에 의한 장력기여분은 속도가 증가할수록 감소하는 경향을 보인다. 표면마찰저항 성분을 제외한 장력치에 대한 무차원값은 Fig. 5에 도시하였다. 그래프에서 심볼은 실험결과치를 나타내며 실선은 실험결과에 대한

피팅(2차함수를 이용)이다. 그래프에서 심볼은 실험결과치를 나타내며 실선은 실험결과에 대한 피팅(2차함수를 이용)이다. 또한 점선을 이론적인 추정결과를 나타낸다. 이론이 실험과 동일한 결과를 준다면 $C_{T_c} = \tau_c C_n$ 가 만족되어야 하므로 C_{T_c} 와 $\tau_c C_n$ 을 비교하는 것은 매우 의미 있는 것이다($C_n = 1.5$). 여기에서 이론은 차단막의 점선방향으로 작용하는 외력을 고려하지 않기 때문에 $C_{T_c}^R$ 과 비교한 것이다. 또한 종전의 이론적인 추정기법을 그대로 이용하여 본 실험의 결과를 예측할 수 있기 위한 법선항력계수 C_n 을 역추정해 본 결과($C_n = C_{T_c}^R / \tau_c$)는 구하였다. 실험 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 종전에 사용하던 값보다 많게는 2배 가까운 값을 사용하여야 실험치와 같은 값을 예측할 수 있다.

5.2 1/10 축적 모형 결과

1/10 축적 모형결과는 Fig. 6에 도시한 바와 같이 전반적인 경향면에서 1/20 모형결과와 유사한 형태를 보인다. 그래프의 걸모양으로 보아 전

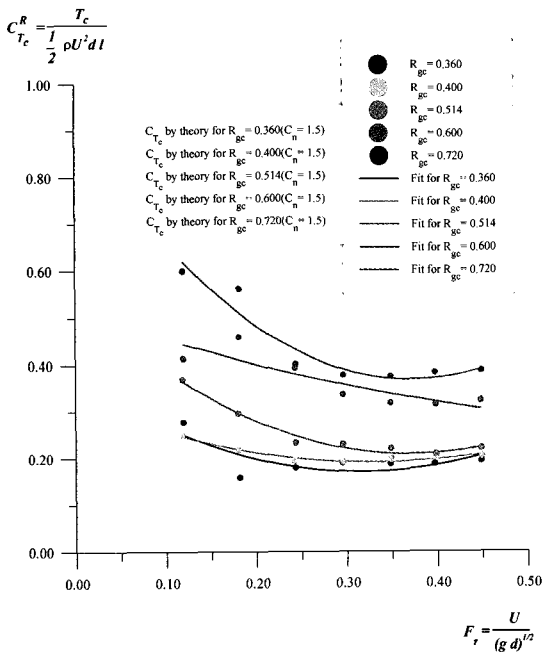


Fig. 5 Nondimensional tension distribution for non-friction component(1/20 scale model).

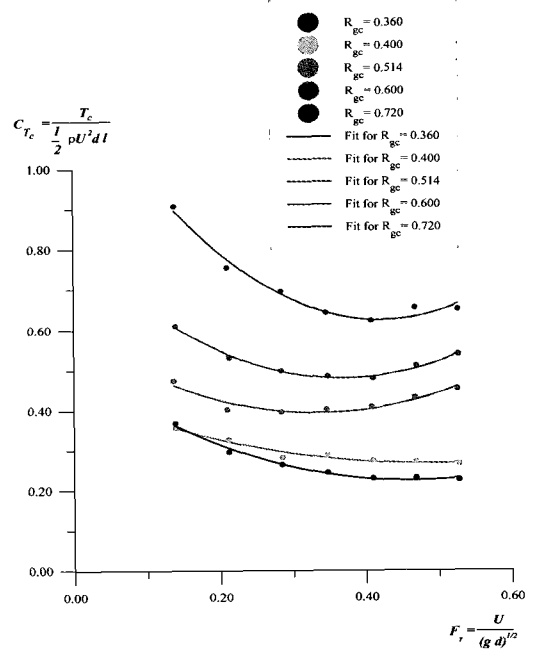


Fig. 6 Nondimensional tension distribution for the 1/10 scale model.

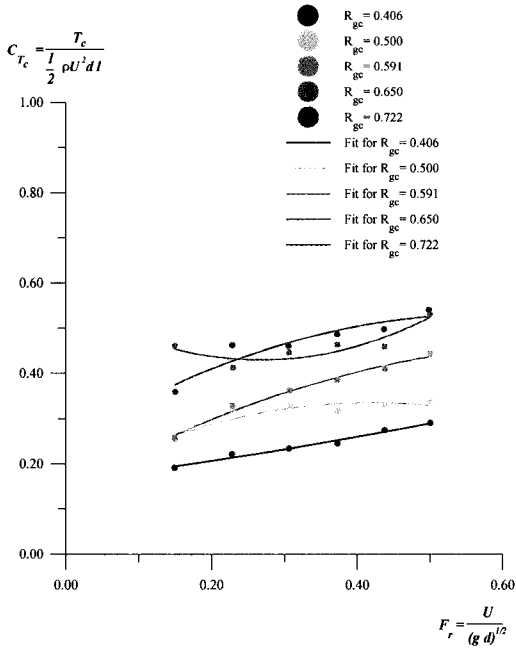


Fig. 7 Nondimensional tension distribution for the 1/5 scale model.

체 장력치의 무차원값과 마찰저항계수는 다소 증가하였으나, 표면마찰저항에 의한 장력기여분을 제거된 장력치의 무차원값은 다소 더 밀집된 양상을 보이고 있다.

5.3 1/5 축적 모형 결과

Fig. 7은 1/5 모형에 대한 실험결과를 보이고 있다. 전반적으로 더 밀집된 분포를 보이고 있으며, 법선항력계수 C_n 에 있어서의 역전(개구비가 작은 경우가 C_n 이 큰 것)현상이 나타났다.

6. 시험결과 해석

6.1 U-type 축적 모형 결과

부유물 차단막에 걸리는 장력에 대한 무차원화된 실험결과인 C_T , C_{Tc}^R 및 C_f 에 대한 결과를 종합하여 실물에 작용하는 장력을 추정할 수 있다.

우선 Fig. 8에 보인 바와 같이 표면마찰저항에

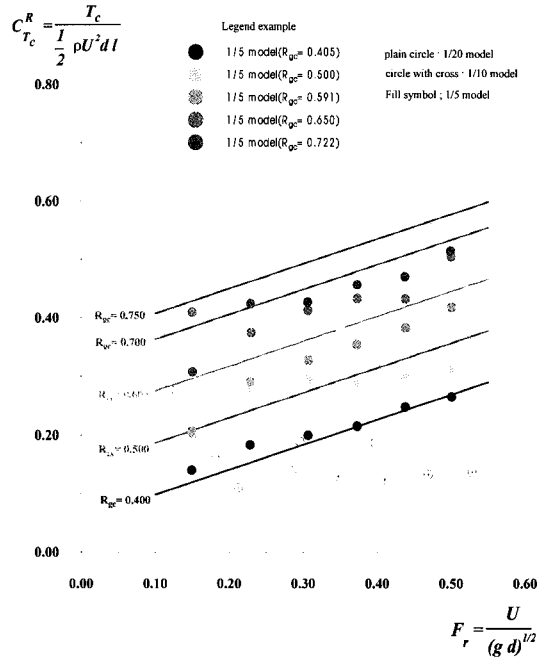


Fig. 8 Estimation of the non-frictional component f tension obtained by experimental data.

의한 기여분이 제거된 장력의 무차원 값은 F_r 와 R_{gc} 의 선형식으로 표현할 수 있으면 구체적인 형태는 아래와 같다.

$$C_{Tc}^R = 0.425 \times F_r + 0.883 \times R_{gc} - 0.298 \quad (7)$$

전반적으로 Froude 수와 개구비의 증가에 따라 C_{Tc}^R 가 증가한다는 사실을 이용하였으며, 유속이 큰 구간을 중심으로 하였다. 또한 각 축적 모형의 추이를 최대한 반영하며 축적비가 큰 모형을 우선순위로 한 것이고, 설계장력을 추정하기 위한 것이기 때문에 장력이 큰 값을 우선적으로 만족하는 방법으로 피팅한 것이다.

표면 마찰저항에 의한 장력기여분은 Fig. 9에서 세 가지 축적모형의 결과를 종합하여 아래의 식과 같이 추정된다.

$$C_f = 7.46124 \times R_n^{-0.528113} \quad (8)$$

Reynolds 수($R_n = Ud/\nu$)가 큰 쪽을 우선적으로 이용한 결과이다.

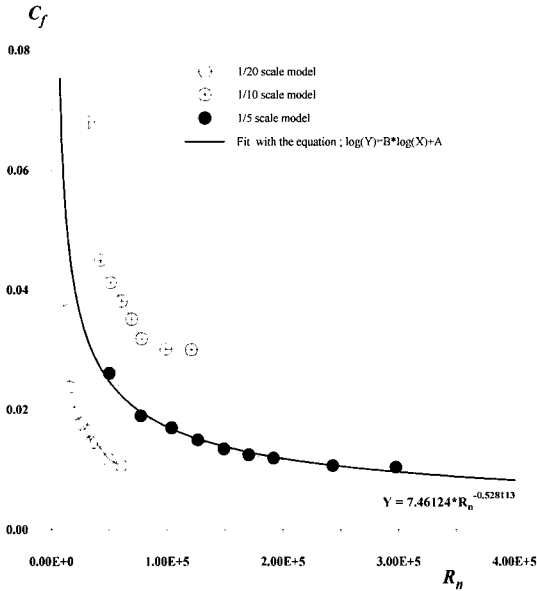


Fig. 9 Distribution of the skin friction coefficient for the present containment boom.

전체 장력에서 표면마찰저항에 의한 기여분이 차지하는 비율은 다음 식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \frac{D_f}{T_c} &= \frac{D_f}{D_f + (T_c - D_f)} \\ &= \frac{C_f \frac{1}{2} \rho U^2 d \ell \times 2}{C_f \frac{1}{2} \rho U^2 d \ell \times 2 + C_{T_c}^R \frac{1}{2} \rho U^2 d \ell} \quad (9) \\ &= \frac{2C_f}{2C_f + C_{T_c}^R} \end{aligned}$$

그러므로 $0.0202 \leq \frac{D_f}{T_c} \leq 0.0620$, 즉, 2.0%~6.2%에 지나지 않음을 알 수 있다. Fig. 10은 이론적 추정기법을 적용하는 경우에 대한 적합한 법선항력계수 C_n 에 대한 경험식을 보이고 있다. 본 연구에서는 설계장력 추정에 초점이 있으므로, 큰 값을 만족하도록 근사하였다.

$$C_n = 3.100 \times F_r + 1.750 \quad (10)$$

이 식에 의하면 $F_r = 0.4$ 인 경우 $C_n = 2.99$ 이므로, 통상적으로 사용한 $C_n = 1.5$ 보다 약 2

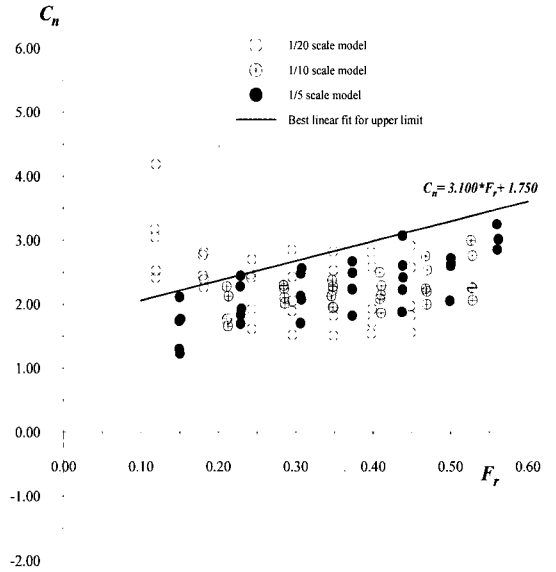


Fig. 10 Appropriate fit for normal drag force coefficient applicable to the theoretical prediction of tension force on the containment boom.

배 더 큰 값을 사용하여야 함을 보이고 있다.

6.2 J-type 모형시험 결과

J-type에 대한 1/5 축적 모형 시험 결과를 Fig. 11에 도시하였다. 본 실험결과를 종전에 주로 사용되어오던 장력추정기법($C_n = 1.5$)과 비교하였다. 그래프에 의하면 본 실험에 의한 장력결과는 종전의 이론적 추정기법과는 다소 장력이 큼을 알 수 있다. 저속 구간에서는 차이가 줄어들다가 유속이 0.65인 지점에서부터 고속으로 갈수록 차이가 점차 늘어나는 경향을 보이고 있다.

J-type인 경우에는 20kgf 장력계를 2개를 사용하여 계측하였다. 왼쪽의 장력계와 오른쪽에 걸리는 힘은 거의 유사하나, 오른쪽에 걸리는 힘이 미소하게 적다는 것을 알 수 있다. 이는 장력계의 걸리는 계측을 위한 스위블의 회전력 또는 연결부의 얽힘 현상에 기인하는 것으로 판단되어진다.

U-type과 마찬가지로 표면마찰저항에 의한 고려를 하여 잉여저항의 값을 구하였다. 이론식

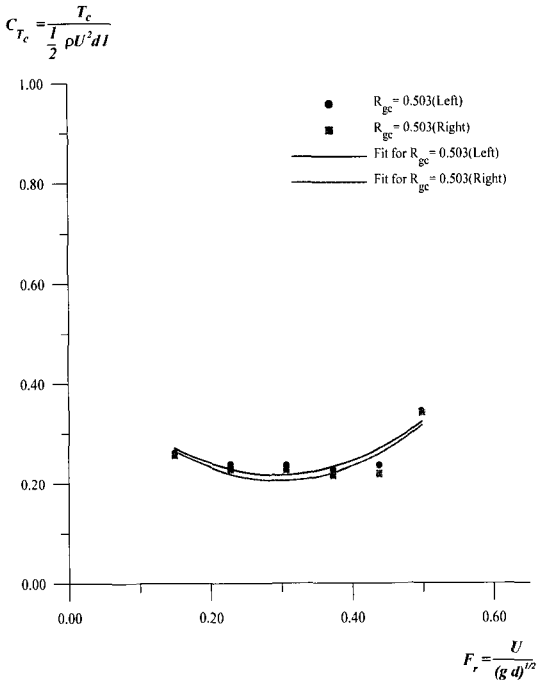


Fig. 11 Nondimensional tension distribution for the 1/5 scale model(J type).

에서 추정된 것에 비해 약간 큰 값을 가지고 있으며, 이는 U-type의 1/5 모델과 비교하여 볼 때 J-type에서는 그 이론식과의 차이가 줄어들 수 있다. 따라서 기존의 사용하던 항력계수 ($C_n = 1.5$)를 적용하여도 큰 무리가 없음을 알 수 있다.

7. 요약 및 결론

부유물 차단막에 대한 모형시험 결과를 토대로 하여 차단막에 작용하는 장력추정을 위한 합리적인 기법을 정립하였다. 본 연구에 의하면 차단막 장력에 관한 실험은 Froude수 상사법칙을 이용하여 수행할 수 있으며, Reynolds수의 영향으로 볼 수 있는 표면마찰저항에 의한 장력 기여분은 실선의 경우 약 6%에 달한다는 것을 보였다. 본 연구의 실험결과에 의하면 일반적으로 사용되어 온 범선허력계수치가 크게는 약 2배 이상의 값을 사용하여야 함을 확인하였다.

향후 부유물 차단막의 설치해역이 해양으로 확장되었을 경우 또는 오일붐과 같이 파도와 바람이 있는 상태를 고려한 시험을 수행하여 좀더 신뢰성 있는 장력추정 연구가 필요하다고 판단된다. 또한 5노트 이상의 속도에 설치되는 것을 고려하여 고속 유동에서의 차단막의 거동 안정성에 대한 심층적인 연구를 수행할 필요가 있는 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 해양수산부 연구과제로 수행중인 “해양폐기물 종합처리시스템 개발연구(IV)”과제의 연구결과의 일부이다.

참고문헌

- [1] 강창구 외, 2000, “해양폐기물 종합처리시스템 개발연구”, 한국해양연구소 연구보고서 UCM 99904-2226.
- [2] 성홍근·유정석·박용제·강창구, 2002, “부유쓰레기 해양유입 차단막 실험역 성능시험”, 한국해양환경공학회 춘계학술대회 논문집.
- [3] 조일형 외, 1995, “고부가가치 중소형 연안선박 및 오염방지기기 개발”, 한국기계연구원 보고서 BSN354-1904·D.
- [4] 현범수 외, “이중유벽의 유출유 수거성능 해석”, 한국해양연구소 연구보고서 UCE99904-2196, 1999.
- [5] Kim, M. H., S. Muralidharm, S. T. Kee, R. P. Johnson and R. J. Seymour, 1998, Seakeeping performance of a containment boom section in random waves and currents, *Ocean Engineering*, Vol. 25, pp. 143~172.
- [6] Milgram, J. H., 1971, Forces and motions of a flexible floating barrier, *Journal of Hydronautics* 5, 41~51.
- [7] Sung, H. G., Cho, I. H. and Choi, H. S., 1995, “The motion characteristics of a 2d flexible oil boom in regular waves”.
- [8] “Test Protocol for the Evaluation of Oil Spill Containment Booms Final”, Technology Assessment and Research Branch, Test Protocol 14-35-30551, 1992. 2.