

論 文

## 닻의 해저 충격력과 파주깊이에 관한 연구

강성진\* · 김동수\* · 김창제\*

### A Study on the Anchor's Strike and Penetrating Depth

*Song-Jin Gang\* · Dong-Su Kim\* · Chang-Je Kim\**

〈 목 차 〉

Abstract

1. 서론

2. 닻의 종류와 크기

3. 닻의 낙하운동

4. 닻의 해저충격력

5. 닻의 파주깊이

6. 결 론

참고문헌

### Abstract

In coastal area, many submarine facilities such as pipes and cables are installed on/under the sea bed. Also, there are heavy traffic due to numerous vessels which call in ports or navigate passages in adjacent water. Therefore, the frequency of dropping anchors will be increased to avoid various dangerous situations.

When an anchor is dropped from vessel on the sea bed, the anchor strikes on the sea bed, and then, the anchor penetrates to certain depth into the sea bed.

In this case, sometimes submarine facilities on/under the sea bed may be damaged by the strike or the maximum penetrating depth of anchor.

In this paper, some approximate equations on the strike and the penetrating depth of anchors have been derived on the basis of actual data, and the results are expected to use as basic design data of related facilities.

\* 한국해양대학교

## 1. 서론

옛날부터 연안해역은 바다와 육지를 연결하는 생활의 장으로서 많이 이용되었다.

또한, 최근에 와서 연안해역에 산업시설과 생활기반시설 등이 더욱 집중되어 기존 항만의 확장 또는 신항만의 개발이 불가피하게 되었을 뿐만 아니라 상·하수관, 송유관, 가스파이프라인, 케이블 등 산업 또는 생활기반시설의 건설 또한 필수적이 되었다.

연안해역에의 산업시설 및 인구의 집중과 항만의 개발은 해·륙 물동량의 증가를 유도하였으며, 물동량 증가에 따른 선박의 통항량 또한 계속 증가하고 있다.

선박의 통항량이 증가하면 입출항 대기, 유류수급 및 수리, 악천후로 인한 피항, 위험회피 동작 등을 위해 닻 정박 또는 비상투묘할 기회 또한 증가한다.

따라서 투묘 또는 주묘에 의한 해저파이프나 해저케이블을 포함한 해저구조물의 손상은 막대한 인적·물적 피해를 초래할 수 있다.

특히, 장래 환태평양 물류 거점을 확보하면 선박 통항량은 더욱 더 증가할 것이며, 많은 양의 물동량을 처리하기 위해 지원되어야 할 산업시설과 생활기반시설로서 해저파이프나 해저케이블 등의 확장을 피할 수 없을 것이다.

그러므로, 앞으로는 선박의 투묘에 의한 해저파이프나 해저케이블 등에 손상을 입히는 사고가 발생할 수 있는 빈도가 늘어날 것이다.

따라서 이 연구에서는 선박의 닻 정박 또는 비상투묘에 의한 해저의 충격력과 파주깊이를 현장 자료를 기초로 하여 연구·고찰하고자 한다.

## 2. 닻의 종류와 크기

일반적인 닻은 선박의 닻 정박용으로 많이 사용되나, 필요에 따라서는 주묘에 의한 선박의 전진력 감쇄 또는 선박의 회두 등 국지조종에 이용된다. 따라서 닻의 파주력이 필요이상으로 크면,

주묘 또는 양묘가 어렵게 된다.

닻의 종류에는 ASS형(Admiralty Standard Stockless anchor)과 AC 14형(Admiralty Cast type No.14) 등 일반상선용 닻과 Bruce형, Danforth형 등 계류 전용의 특수한 형상과 기능을 가진 특수형 닻이 있다.

닻의 크기(중량)는 선박의 의장수(Equipment number :  $E$ )에 따라서 결정되며 소형철선 및 목선을 제외한 일반 선박의 의장수  $E$ 는 한국선급(Korean Register of Shipping : KR)의 '선급 및 강선 규칙(KR Rule) 제 2 편 선체의장 제 8 장 의장품과 의장수'에 다음과 같이 규정되어 있다.

$$E = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2.0(f + h')B + 0.1A \quad (1)$$

여기에서,

$\Delta$ : 하기 만재흘수선에 대한 형배수량 (ton),

$f$ : 전현(선체 중앙의 선측에 있어서 만재흘수선으로부터 최상층 전통 갑판보의 상면까지의 수직거리 :  $m$ ),

$h'$ : 최상층 갑판으로부터 선폭  $B(m)$ 의  $B/4$ 를 넘는 선루 또는 갑판실 중 가장 높은 위치에 있는 것의 정부까지의 높이 ( $m$ ),

$A$ : 하기만재흘수선상의 측면적 ( $m^2$ ) 이다.

이 규칙은 닻의 종류를 구분하지 않는다. 즉, 닻의 종류와 상관없이 이 규칙에서 인정하는 중량의 닻을 탑재하면 된다. 단, 고파주력의 닻일 경우 닻의 중량은 이 규칙에서 정한 값의 0.75 배로 할 수 있다(한국선급,1999).

식 (1)을 선박의 재화중량 톤수(Deadweight Tonnage ; DWT)와 관련지어 실용상 간편하도록 현장자료를 기초로 하여 수정하면 다음 식이 된다.

$$W = 0.0316 (DWT)^{0.5126} \quad (2)$$

이 식은 선박의 재화중량 톤수와 닻의 중량  $W$ 의 관계(Fig. 1의 실선)를 나타낸 것으로 재화중량 톤수 2,000톤에서 약 30만톤의 운항중인 선박 40척 이상을 대상으로 하여 최소자승법으로 구한

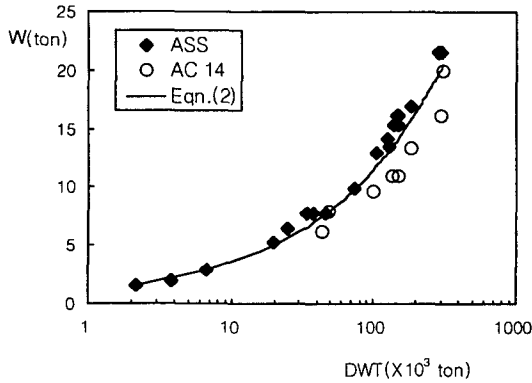


Fig. 1 Weight of Anchor versus DWT of Ship

식이다. 식 (2)는 선박의 재화중량 톤수와 닻의 중량과의 관계를 최대 약 20%의 범위내에서 만족시킨다.

또한, 동일 재화중량 톤수 선박에서 대체로 ASS형 닻이 AC 14형 닻보다 더 큰 중량을 가지며, 그 이유는 후술하는 바와 같이 ASS형 닻의 파주력이 AC 14형 닻의 파주력보다 더 작기 때문이라고 추정할 수 있다.

### 3. 닻의 낙하운동

닻의 낙하운동은 닻과 체인을 고려하여 그 운동을 평가해야 하나 닻이 낙하하면서 동시에 체인의 길이는 계속 증가하므로 비선형 방정식이 되며, 일반적으로 비선형 방정식의 해석해를 구하기 어려운 경우가 많다. 따라서 이 연구에서는 닻 단독의 자유 낙하운동을 고려하여 닻의 운동을 평가하고자 한다.

해수면을 기준으로 하고 수면하 방향을  $y$ 라 하여 뉴턴의 제 2 법칙을 닻의 운동에 적용하면 다음 식이 된다.

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = \sum F = W_w - R \quad (3)$$

여기에서,

$m$  : 닻의 질량 (=  $W/g$  :  $g$ 는 중력가속도);

$W_w$  : 닻의 수중중량,

$R$  : 닻 낙하시의 해수저항이다.

식 (3)의 우변 제 1 항은 다음과 같이 나타낸다.

$$W_w = W \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_a}\right) \quad (4)$$

여기에서  $\gamma_w$ 와  $\gamma_a$ 는 각각 해수의 비중(일반적으로 1.025)과 닻의 비중(일반적으로 7.8)이다. 또한, 식 (3)의 우변 제 2 항은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_w \cdot A' \cdot v^2 \quad (5)$$

여기에서  $C_D$ 는 닻의 항력계수,  $\rho_w$ 은 해수의 밀도( $1047 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ),  $A'$ 는 닻이 낙하시 유체 저항을 받는 부분의 투영 면적,  $v$ 는 닻의 낙하속도이다.

식 (4)와 (5)를 식 (3)에 대입하여 정리하면 다음 식이 된다.

$$\frac{W}{g} \frac{dv}{dt} = W \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_a}\right) - \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_s \cdot A' \cdot v^2 \quad (6)$$

위 식에서,

$$a = \sqrt{\frac{2W(1 - \gamma_s/\gamma_f)}{C_D \cdot \rho_s \cdot A'}} \quad (7)$$

$$b = \frac{2W}{g \cdot C_D \cdot \rho_s \cdot A'} \quad (8)$$

으로 정의하고,  $t=0$ 일 때  $v=0$ 으로 하여 식 (6)을 풀면 닻의 낙하속도  $v$ 를 얻는다.

$$v = a \cdot \tanh\left(\frac{a}{b} t\right) \quad (9)$$

또한, 달의 종단속도  $V$ 는 다음과 같다.

$$v(t \rightarrow \infty) = V = a \quad (10)$$

식 (9)를  $t=0$ 일 때  $x=0$ 으로 하여 풀면  $T$  시간 동안의 낙하거리  $l$ 은 다음 식과 같이 된다.

$$l = b \cdot \ln \left[ \cosh \left( a \cdot \frac{T}{b} \right) \right] \quad (11)$$

식 (9) 및 식(11)에서 달의 무게  $W$ , 항력계수  $C_D$ , 달의 투영면적  $A'$ 를 알면 낙하속도  $v$ 와 낙하거리  $l$ 이 구해진다. 현장실험 결과(Honda and Matsumoto, 1976)에서  $A' = 0.2093 W$ 이며,  $C_D$ 는 1.24~1.88로 평균값은 1.54이다.

따라서, 선박의 재화중량 톤수를 알면 식 (2)에서 달의 중량  $W$ 를,  $A' = 0.2093 W$ 에서 달의 투영면적  $A'$ 를 알 수 있다. 그러면 식 (9) 및 식 (11)을 적용하여 달의 낙하속도  $v$ 와  $T$  시간 동안의 낙하거리  $l$ 이 구해진다.

예를 들어 재화중량 톤수 200,000ton인 선박을 고려해 보자.

$W$ 는 16.5ton,  $A'$ 는  $3.45\text{m}^2$ ,  $C_D$ 는 1.54,  $v$ 는 7.2m/s, 종단속도에 도달하는 시간  $T$ 는 약 7초이며, 이 때의 도달거리  $l$ 은 46.1m이다. 따라서, DWT 200,000톤인 선박이 수심 약 46m 이내에서 투묘시 달은 종단속도에 도달하기 전에 해저에 도달한다.

#### 4. 달의 해저충격력

자동차 또는 열차에 의한 활하중을 참고로 하여 투묘에 의한 해저지반의 충격력  $W_s$ 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_s = W_w(1+i) \quad (12)$$

여기에서,  $i$ 는 충격력 계수이며, 자동차 또는 열차인 경우 0.5~1을 취한다(지중매설관의 조사, 1984).

한편, 달에 의한 해저지반 충격력계수는 15~25 정도로 추정되나(항만시설물설계기준서, 1993)이것을 대상으로 한 연구성과는 거의 없다. 앞으로 투묘에 의한 해저지반의 충격력을 정확히 평가하기 위한 지속적인 연구·검토가 요구된다.

식 (12)에서  $W_s$ 를 평균충격력이라 하면 식 (12)를 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_s = \frac{W_w}{g} \frac{v}{\Delta t} = W_w(1+i) \quad (13)$$

여기에서  $\Delta t$ 는 달이 해저지반에 작용하는 시간이다. DWT 20만톤급 선박의 경우  $v=7.2\text{m/s}$ ,  $i=15\sim 25$ 일 때  $\Delta t=0.028\sim 0.046$ 로 극히 짧은 시간에 달이 해저지반에 작용한다.

한편, 해저에 파이프라인이 매설되어 있을 때 파이프라인의 단위 길이당 작용하는 충격력은 다음과 같이 나타낸다(항만시설물설계기준서, 1993).

$$W_s = \frac{W_w D}{(L_c + 2H \tan \theta_1)(B_c + 2H \tan \theta_2)}(1+i) \quad (14)$$

여기에서,  $D$ 는 해저파이프 또는 해저케이블의 직경,  $L_c$ 는 달 저부의 길이,  $B_c$ 는 달 저부의 폭,  $H$ 는 시설물의 매설깊이,  $\theta_1$  및  $\theta_2$ 는 충격력의 분포각으로 일반적으로  $30^\circ$ 가 사용된다.

이 식은 달의 충격력이 달의 낙하지점 하부와 낙하지점으로부터  $\theta^\circ$ 까지 전달됨을 나타낸다. 따라서 달 저부의 길이  $L_c$ 와 달 저부의 폭  $B_c$ 가 크면 충격력의 분포는 커지지만 충격력은 상대적으로 작아진다.

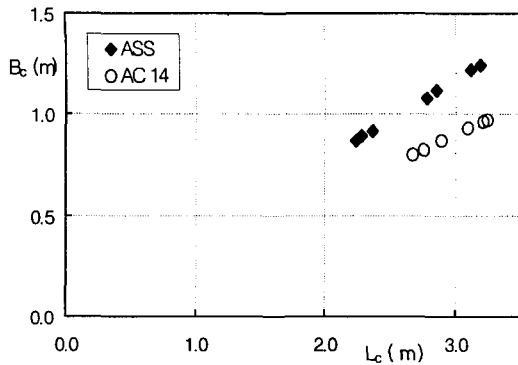


Fig. 2 Relationship between length and breadth of an anchor

Fig. 2에 닻 저부의 길이와 폭의 관계를 닻의 종류별로 나타내었다. 닻 저부의 길이에 비해 ASS형 닻 저부의 폭이 AC 14형 닻 저부의 폭보다 크며,  $B_c = 0.39L_c$ (ASS형),  $B_c = 0.30L_c$ (AC 14형)으로 근사할 수 있다.

해저에 매설된 파이프라인의 충격에 대한 안전성을 고려하여 식 (14)의  $i$ 를 25로 취하고, 앞에서 설명한 닻 저부의 길이와 폭의 근사식을 식 (14)에 적용하여 정리하면 다음 식이 된다.

$$\frac{W_s}{W_w} = \frac{D}{L_c^2} \frac{26}{(1 + \frac{2H}{L_c} \tan 30^\circ)(0.39 + \frac{2H}{L_c} \tan 30^\circ)}$$

(ASS형) (15a)

$$\frac{W_s}{W_w} = \frac{D}{L_c^2} \frac{26}{(1 + \frac{2H}{L_c} \tan 30^\circ)(0.30 + \frac{2H}{L_c} \tan 30^\circ)}$$

(AC 14형) (15b)

Fig. 3 및 Fig. 4는 식 (15)의  $H/L_c$ 를 파라메타로 하여 파이프라인의 단위 길이에 작용하는 무차원 충격력을 나타낸 것이다. Fig. 3은 ASS형 닻의 경우, Fig. 4는 AC 14형 닻의 경우이며, 파이프라인의 직경이 커질수록 파이프라인의 단위 길이에 작용하는 충격력의 기울기는 작아진다.

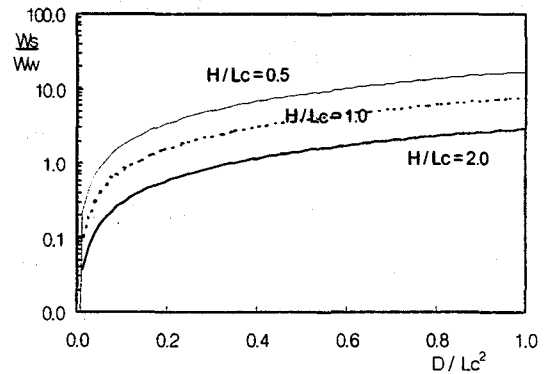


Fig. 3 Shock force acting on pipeline under the sea bottom(ASS type)

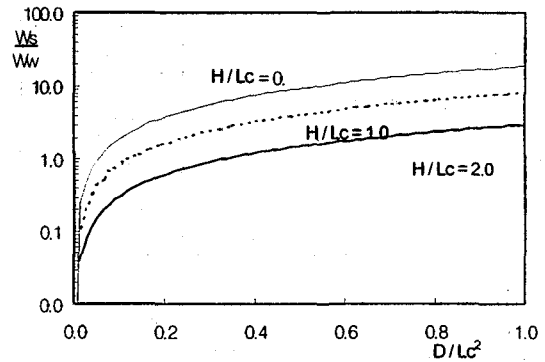


Fig. 4 Shock force acting on pipeline under the sea bottom(AC 14 type)

## 5. 닻의 파주깊이

닻 정박시 또는 비상투묘시 닻은 해저에 낙하되어 해저저질을 파고 들어간다. 닻이 해저저질에 깊게 관입될수록 닻에 의한 파주력은 커진다. 그러나 닻의 체인, 관입시 닻의 회전 및 해저저질의 투수성 때문에 파주깊이는 제한을 받는다.

일반적으로 사용되는 ASS형 닻과 AC 14형 닻 중에서 AC 14형 닻은, bill이 shank에 비해 상대적으로 길고 끝이 예리하며, palm의 양끝이 길게 뻗어 있어서 파주할 때의 닻의 회전운동을 방지하기 때문에 파주깊이 및 파주력이 ASS형 닻에 비해 크다.

달의 파주깊이를 산정하기 위해 달의 파주력  $F_1$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$F_1 = \lambda_1 W_w \quad (16)$$

여기에서  $\lambda_1$ 는 파주계수이며, 달 종류 및 저질의 종류에 따른 파주계수를 Table 1에 나타낸다 (윤점동, 1993).

Table 1 Factor of holding power on the sea bed, ( $\lambda_1$ )

Holding Power	ASS Type	AC14 Type
Soft mud	5	10
Hard mud	4	8
Sandy mud	4	8
Sand	3.5	7
Gravel	3	6
Flat lock	2	2.5

Table 1에서 알 수 있는 바와 같이, 동일 중량의 달의 파주계수, 즉 파주력은 ASS형일 경우보다 AC 14형일 경우가 약 2 배 크다.

또한 달의 파주력은 달에 수직으로 작용하는 저질의 압력면적  $A_p$  및 파주깊이  $h$ 를 이용하여 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_1 \propto A_p h = \lambda_2 A_p h \quad (17)$$

식 (16)과 식 (17)을 등치하여 정리하면 다음 식이 된다.

$$h = \lambda_3 W_w \quad (18)$$

파주깊이 즉, 파주력이 큰 AC 14형 달의 파주깊이에 관한 실험결과(Inoue. et al. 1995)에서 달이 회전하지 않고 파주할 때의 최대깊이는 shank

길이( $H'$ )의 1/2이다.

달의 중량에 따른 shank의 길이를 Fig. 5에 나타낸다.

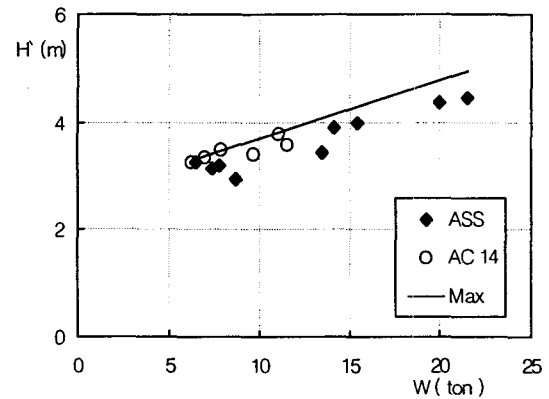


Fig. 5 Length versus weight of anchor

그림에서 실선은 shank의 최대길이를 나타낸 것으로  $H' = 0.109 W + 2.603$ 이다. 이 식과 식 (18)의  $h$ 를  $H'/2$ 로 치환하여 정리하면  $\lambda_3$ 를 알 수 있다. 결과적으로 달의 파주깊이  $h$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$h = 0.077 W_w + 1.213 (\geq 50,000 DWT) \quad (19)$$

식 (19)에서 달의 수중중량 또는 달의 공중중량 ( $= W_w / (1 - \gamma_w / \gamma_a)$ )을 알면 파주깊이  $h$ 를 알 수 있다.

## 6. 결론

이상에서 살펴본 바와 같이, 이 연구에서는 현장자료를 기초로 하여 달 정박 또는 비상투표에 의한 해저 충격력과 파주깊이를 고찰하고 또한 실용상 간편한 식을 제안하였다.

앞으로 이 연구결과는 연안 해역의 해저파이프 라인 등의 크기(직경), 매설깊이 등을 설계하는데 기초 자료를 제공할 것으로 본다.

### 참고문헌

- [1] 윤점동, 선박조종의 이론과 실무, pp. 2~4, 1993
- [2] 한국선급, 선급 및 강선 규칙, 1999
- [3] 해운항만청, 항만시설물설계기준서, p. 530, 1993
- [4] 과학기술, 지중매설관의 조사, pp. 301~304, 1984
- [5] Honda. K, and K. Matsumoto. Model Experiments on Fluid Drag for Dropping of Anchor, 일본항해학회지, Vol. 54, pp. 61~68, 1976, (in Japanese).
- [6] Inoue. K, S. Usami and H. Tachibana, Experimental Study on Behaviour of Dragging Anchor of AC-14 Type Anchor, 일본항해학회지, Vol. 92, pp. 223~230, 1995, (in Japanese).