

조위변화에 따른 오탉방지막 계류라인의 거동 Behavior of Mooring Line of Silt Protector According to the Change of Sea Level

홍남식* · 김정윤*

Namseeg Hong* and Jungyoon Kim*

요 旨 : 본 논문에서는 조위변화에 따른 오탉방지막 계류라인의 거동을 조사하였다. 거동분석으로부터 안전율을 고려하여 팽팽하게 적정케이블의 길이를 정하면 수심이 하강하더라도 긴장축 케이블은 거의 일정한 장력을 유지하는 것을 알 수 있었다. 그러나, 이완케이블의 기능은 상실되어 구조체 전체의 불안정성을 초래할 수도 있는 것을 알 수 있었다. 또한, 초기 직선긴장각이 계류거동에 미치는 영향을 조사해보므로써 케이블 장력, 수중부상길이, 케이블길이(재료량과 관계 있음) 및 부체면위 등을 복합 고려하면서 계류 해석하여야만 적절한 설계를 할 필요가 있을 것으로 보였으며, 막체의 부착물로 인한 케이블의 장력은 줄어들어 재료손상은 일으키지 않으나 저면 앵글, Total scope 및 부체면위에 영향을 미쳐 구조물 전체의 불안정성을 초래할 수 있다는 것도 알 수 있었다.

핵심용어 : 오탉방지막, 초기 직선긴장각, 중립 평형 해석, 계류각, 수중부상길이

Abstract □ This paper studies the behavior of mooring line of silt protector according to the change of sea level. It is found from the analysis of the behavior that if the taut cable length has been determined appropriately within the range of safety factor, the tensioned cable has almost constant tension regardless of the water depth. The whole structure, however, becomes unstable due to the loss (zero tension) of the released cable tension. It is also recognized from the investigation for the effect of initial straight line angle on the behavior of mooring line that the design through the conceptually combined consideration of the cable tension, total scope and buoy deflection has to be required in the mooring analysis. Finally, the material of cable is not damaged because the cable tension is reduced by attached shellfish, but the whole structure may be also unstable by the effect on the anchor angle, total scope and buoy deflection.

Keywords : silt protector, initial straight line angle, neutral equilibrium analysis, anchor angle, total scope

1. 서 론

오탉방지막은 해상이나 하천에서 준설 및 매립공사등으로 인한 부유사 확산을 방지하는 막체구조로서 Fig. 1에서 보듯이 부력이 우수한 Polystyrene계로 원통형 부체를 이루는 부체부(Float), 고장력 합성섬유를 사용하여 외력에 대하여 저항하고 여과기능이 있는 막체부(Curtain Fabric), 그리고 막체부의 이동을 막기 위해 해저면에 고정시키는 계류라인(Mooring Line) 및 블록(Anchor Block)

부로 이루어져 있다. 특히 계류라인은 와이어로프(Wirerope) 또는 체인(Chain) 등으로 부체부와 앵커블럭을 연결시켜 주는 역할을 하며, 막체 하단부의 중량체(Bottom Weight)는 막체의 요동을 줄이고 부체와 막체부 연결 부분의 균열을 막기 위해 인장재(Tension Member)로 보강하였다.

현재 국내에서는 계류라인에 발생하는 장력을 얻기 위해 항만공사 표준시방서 규정을 적용하고 있다. 즉 만조위를 기준으로 파랑, 조류 및 바람등에 의해 막체 및 부체에 작용하는 외력을 유사정적하중의 개념을 이용하여 산

*동아대학교 토목해양공학부(Corresponding author: Namseeg Hong, School of Civil and Ocean Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea. hns0817@mail.donga.ac.kr)

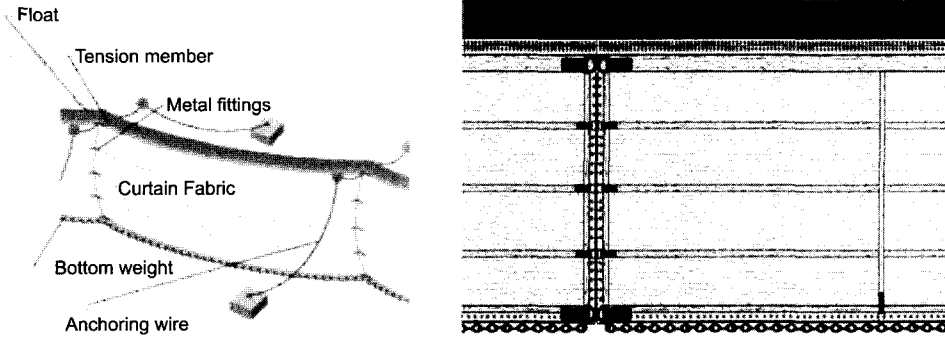


Fig. 1. Configuration of silt protector.

정한 후 막체에 관한 해석적 해를 사용하여 얻은 막체장력 및 부체외력을 계류라인의 장력으로 단순 분해하여 계산한다. 이 방법은 계류라인이 팽팽하게 긴장되어 처짐(Sag)이 거의 발생하지 않는 경우야야 적용 가능하며 시공 후 계류라인에 인장강도를 넘어서는 과도한 장력이 발생할 가능성이 있다. 이 외에도 조차가 커 조위 변화 폭이 큰 경우에 만조위시를 기준으로 팽팽하게 시공된 계류라인이 조위가 하강하면서 장력이 이완되므로 부체변위가 증가하여 일부라인은 장력이 다시 복원되거나 반대방향의 라인도 장력이 더 이완되거나 혹은 장력이 완전히 풀려 오탉방지막 구조체 전체의 불안정성을 야기시킬 수도 있을 것으로 사료된다. 실제 오탉방지막 시공후의 문제점을 조사해 보면 조위변화가 큰 지역에 설치한 경우에 상기의 이유로 오탉방지막이 불안정하게 거동하는 것을 알 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 조위변화에 따른 오탉방지막 계류라인의 거동을 조사해 봄으로써, 계류라인의 장력 변화로 인한 오탉방지막의 불안정한 거동을 분석하여 설계 및 시공시의 문제점을 파악하고자 한다. 막체 및 부체에 작용하는 외력 및 장력 산정은 항만공사 표준시방서 규정을 적용하였으며 계류라인의 거동해석을 위해 CASALM이라는 상용프로그램을 사용하였다.

2. 해석 방법

2.1 외력 및 장력산정

오탉방지막 구조에 작용하는 외력 및 장력산정을 위해 항만공사 표준시방서 규정을 적용하였다. 물론, 적용규정은 설계를 위한 개략적인 근사식을 근거로 만든 규정이며 정확하지는 않으나, 입력에 해당하는 외력 및 장력의 근사치를 사용하였다 하더라도 계류라인의 거동특성에는

큰 영향이 없을 것으로 예상되므로 본 연구의 목적인 계류라인의 거동특성 분석을 수행하는데 문제가 없을 것으로 사료된다.

오탉방지막의 부체와 막체에 Fig. 2와 같이 외력이 작용하며 항만공사 표준시방서에 따르면 단위면적당 부체에 작용하는 풍하중 P_1 , 막체에 작용하는 조류에 의한 수하중 P_2 및 파랑에 의한 파력하중 P_3 는 다음 식과 같다.

$$P_1 = \frac{\rho' \times C_{d1} \times U^2}{2g} \cos^2 \theta_1 \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{\rho \times C_{d2} \times V^2}{2g} \cos^2 \theta_2 \quad (2)$$

$$P_3 = \frac{\rho \times C_{d3} \times V_o^2}{2g} \cos^2 \theta_3 \quad (3)$$

여기서 ρ' , ρ 는 공기와 해수의 단위중량, g 는 중력가속도, U , V 는 풍속과 조류속, C_{d1} , C_{d2} , C_{d3} 는 해당 항력계수, θ_1 , θ_2 , θ_3 는 각각 바람, 조류, 파랑의 유입 각도이며, V_o 는 파랑으로 인한 수평방향 물입자의 평균유속으로 다음과 같다.

$$V_o = \frac{\pi H}{2T} \left(\coth \frac{2\pi h}{L} + \operatorname{cosech} \frac{2\pi h}{L} \right) \quad (4)$$

여기서 H , L , h 는 각각 파고, 파장, 그리고 수심을 나타낸다.

항만공사 표준시방서에 규정된 부체 및 막체의 양 끝단의 장력을 구하는 식은 부체에 작용하는 풍하중과 막체에 작용하는 수하중 및 파력하중은 균등한 크기로 작용하는 것으로 보고, 부체와 막체의 양단은 구속되어 있는 것으로 가정하여 L. Prandtl의 유사(Quasi) Membrane 근사 해석해를 적용한 듯이 보여진다. 즉, 부체와 막체 양단의 단위 길이당 장력 T_1 과 T_2 는 아래와 같이 주어진다.

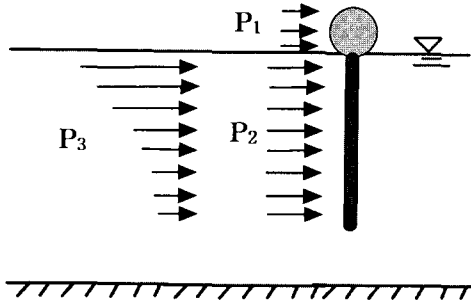


Fig. 2. Environmental pressure diagram acting on float and curtain.

$$T_1 = \frac{P_1 \times a}{2 \times f} \sqrt{a^2 + 4f^2} \quad (5)$$

$$T_2 = \frac{(P_2 + P_3) \times a}{2 \times f} \sqrt{a^2 + 4f^2} \quad (6)$$

여기서, $2a$ 는 막체의 길이 방향으로의 Anchor의 간격이며 f 는 막체 중앙의 변형량으로 막면 휨각도 $\alpha=21.8^\circ$ 일 경우 대략 앵커간격의 10%($2a \times 0.1$) 정도를 적용한다. 부체의 직경 d , 막체폭 B 로 이루어진 전체 막장력은 아래와 같으며

$$T = T_1 \cdot d + T_2 \cdot B \quad (7)$$

양단에 발생한 전체장력의 수직성분을 취하면 부체 및 막체의 수평방향의 막면 수직방향 하중을 얻게된다. 즉, 수직방향 하중은 다음과 같다.

$$F = 2T \sin \alpha \quad (8)$$

양 끝단의 막면 휨 각도 α 는 앵커간격, 외력 크기, 막 자체의 인장 강성에 의해 결정된다.

본 연구에서는 막면 휨각도 21.8° 를 적용하기 위하여 앵커간격은 10m로 고정하고 막체폭은 1m단위로 3m를 사용하였다.

2.2 CASALM 계류해석

본 연구에서 오타방지막 계류 해석을 위해 사용한 소프트웨어는 TTI(Tension Technology International)에서 개발한 CASALM(Combined Catenary and Single Anchor Leg Mooring)으로 다양한 형태의 계류해석에 유용한 소프트웨어이다.

부체부(Buoy)에 바람, 조류 및 파랑등에 의한 외력을 작용시키기 전에 정수압 상태의 고요한 바다(Calm water)에 오타방지막을 설치한 것으로 보고 계류 해석하는 중

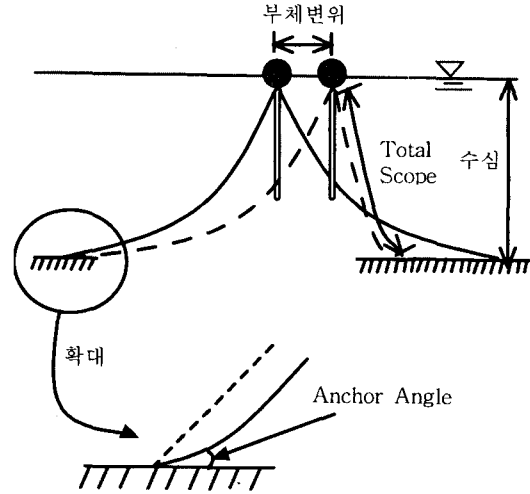


Fig. 3. Behavior of silt protector.

립 평형 해석을 우선 수행한다. 즉, 부체부의 부력과 막체부의 수중무게 및 계류라인 장력의 수직성분이 서로 평형을 이루며 양쪽 케이블은 케이블 자체의 수중무게로 인해 그 형상이 대칭을 이루면서 Catenary곡선을 이루어 대칭인 동일한 크기의 장력이 계류라인에 발생하게 된다. 이때 양케이블에 발생하는 장력이 케이블 자체의 절단강도를 넘어서지 않게 안전율을 고려하며 케이블의 길이를 조절한다.

중립 평형상태에서 부체에 외력을 작용시키면 Fig. 3에서 보듯이 좌측 케이블은 긴장되고 우측의 케이블은 일부가 해저면에 접지되는 거동을 하면서 부체변위, 계류라인 장력, 계류각, 계류라인의 해저면 접지길이 및 케이블 수중 곡선길이인 수중부상길이(Total Scope) 등을 얻게 된다.

3. 해석결과 및 분석

본 연구에서 계류라인의 거동분석을 위해 해석한 오타방지막의 제원은 Table 1에 외력산정을 위한 조건은 Table 2에 주어진다. 조위변화에 따른 계류라인의 거동분석을 위해 수심을 만조위 7m부터 0.2m씩 5m까지 감소시키면서 해석을 수행하였으며 계류라인의 거동분석시에 케이블길이와 초기 직선간장각의 변화에 따른 영향을, 그리고 현장가동 후 막체에 발생하는 패류 같은 부착물의 영향을 알아보았다.

3.1 케이블 길이의 영향

주어진 오타방지막의 제원을 사용하여 만조위 수심 7m,

Table 1. 오탉방지막의 제원

| | |
|--------------------|-------------------------|
| 부체직경(d) | 0.35 m |
| 막체폭(B) | 1m×3 = 3 m |
| 앵커간격(2a) | 10 m |
| 케이블 직경 | 14 mm |
| 케이블 강성 | 3×10 ⁷ kg/cm |
| 케이블 절단강도 | 9830 kg |
| 단위길이당 케이블 수중 단위 중량 | 0.00581 kg/cm |

Table 2. 외력산정 조건

| | |
|------------------------|-------------------------|
| 공기의 단위중량(ρ') | 1.29 kgf/m ³ |
| 해수의 단위중량(ρ) | 1030 kgf/m ³ |
| 풍속(U) | 42.4 m/sec |
| 조류속(V) | 0.65 m/sec |
| 항력 계수(C_{d1}) | 1.0 |
| 항력 계수(C_{d2}) | 1.13 |
| 항력 계수(C_{d3}) | 1.13 |
| 바람 유입 각도(θ_1) | 0° |
| 조류 유입 각도(θ_2) | 0° |
| 파랑 유입 각도(θ_3) | 0° |
| 파고(H) | 1.36 m |
| 만조위 수심(h) | 7 m |

부체와 해저면 앵커사이의 직선길이 14m(초기 직선 긴장 각 30°)에 대하여 중립평형 해석을 해 본 결과, 케이블의 절단강도를 넘어서지 않기 위해서는 최소한 15.65m의 케이블 길이가 필요한 것으로 나타났다. 중립평형 해석후 Table 2에 주어진 조건 등을 이용하여 얻은 부체 외력을 작용시켜 계류라인 해석을 하였다.

조위변화에 따른 계류라인의 거동분석을 위해 수심을 만조위 7m부터 0.2m씩 5m까지 감소시키면서 해석을 수행하였다. 뿐만 아니라, 케이블 길이가 거동에 미치는 영향을 분석하기 위하여 케이블 길이를 0.1m 증가시켜 상기와 같은 수심변화에 대하여 동일한 계류라인 해석을 하였다.

Fig. 4는 케이블 길이 15.65m 일때의 수심변화에 따른 긴장 및 이완케이블의 장력변화를 Fig. 5는 케이블 길이 15.75m 일때의 수심변화에 따른 긴장 및 이완케이블의 장력변화를 나타낸다.

Fig. 4에서 보듯이 거의 팽팽하게 긴장된 케이블 길이에 대해서는 조위가 하강하면 장력이 이완되는 것을 알 수 있으며 긴장측 케이블은 장력이 급격히 감소한 후 일정한 크기의 장력을 유지하나, 이완측 케이블의 경우에는 급격히 장력이 감소한 후 더 이상 장력이 존재하지 않게 된다. Fig. 5에서 보듯이 케이블 길이를 증가시키면 조위가 하강하더라도 장력변화가 거의 나타나지 않는 것을 알

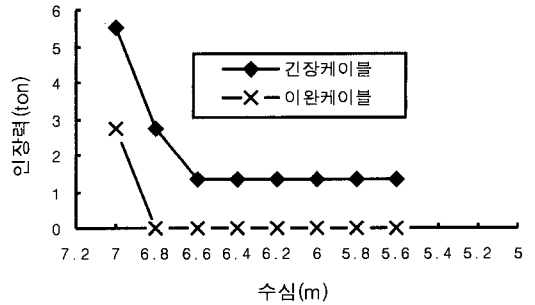


Fig. 4. Tension of mooring line according to the change of sea level (Cable length=15.65m).

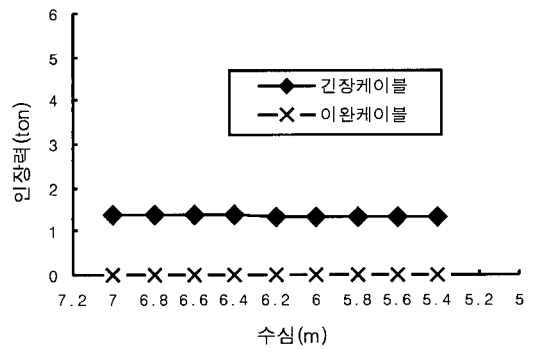


Fig. 5. Tension of mooring line according to the change of sea level (Cable length=15.75m).

수 있다. 그 이유는 Fig. 6에서 보듯이 조위가 하강하면 부체변위가 증가하면서 긴장측 케이블은 새로운 평형에 도달하여 일정한 장력을 유지하나, 이완측 케이블은 일부가 해저면에 접지되어 장력이 완전히 풀리기 때문인 것으로 사료된다. 또한, 케이블 자체 길이의 증가도 장력의 감소를 일으키는 것을 알 수 있다.

Fig. 6의 형상은 Fig. 7-Fig. 9로부터 다시 확인될 수 있다. 또한, 케이블 길이를 약간 증가(10 cm)시키면 Fig. 7에서 나타나듯이 긴장측 저면 앵글이 약간 감소하며, Fig. 8에서 보듯이 이완측 케이블의 수중부상길이는 거의 변하지 않고, Fig. 9에서 보듯이 부체변위는 증가하는 경향이

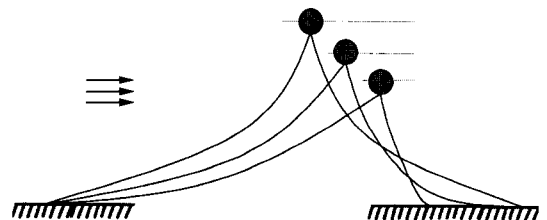


Fig. 6. Behavior according to the change of sea level.

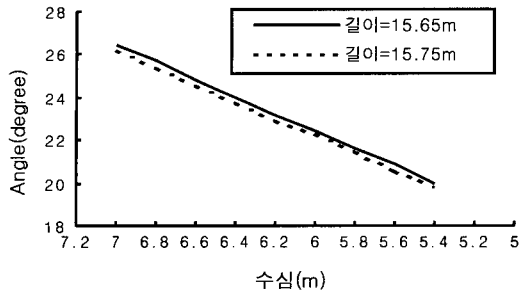


Fig. 7. Anchor angle of tensioned cable according to the change of sea level.

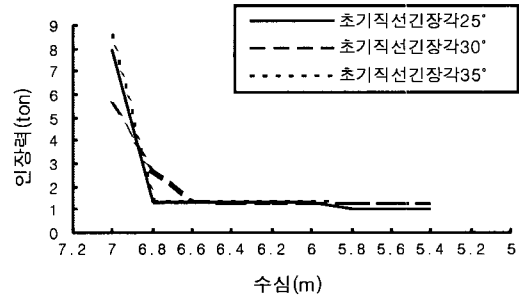


Fig. 10. Tension of tensioned cable according to the change of initial straight line anchor angle.

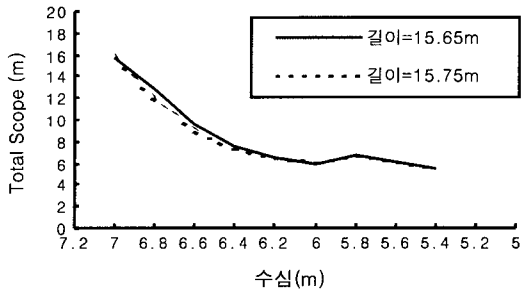


Fig. 8. Total scope of released cable according to the change of sea level.

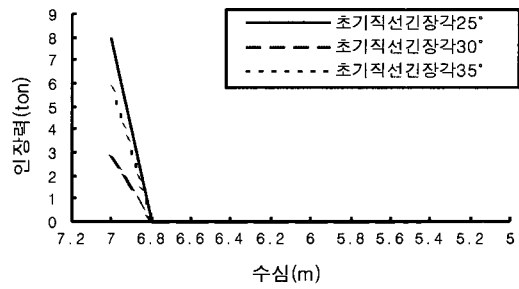


Fig. 11. Tension of released cable according to the change of initial straight line anchor angle.

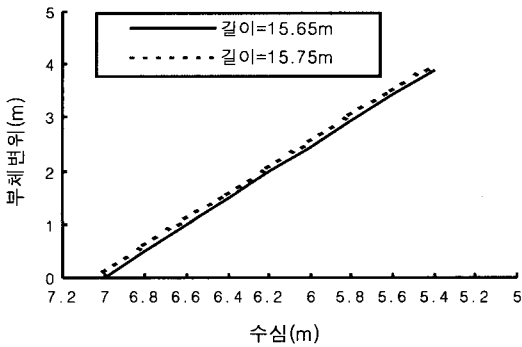


Fig. 9. Buoy deflection according to the change of sea level.

있으나 Fig. 4와 Fig. 5를 비교해 보면 수심이 감소하면서 긴장축 케이블의 장력은 거의 비슷하게 나타난다.

그러므로, 안전율을 고려하여 팽팽하게 적정케이블의 길이를 정하더라도 수심이 하강하면 부체변위는 증가하고 긴장축 해저면 앵글은 감소하여 긴장축 케이블은 거의 일정한 장력을 유지하는 것을 알 수 있다. 그러나, 반대쪽 이완케이블의 기능은 상실되기 때문에 구조체 전체의 불안정성을 초래할 수도 있을 뿐만 아니라 조류나 파랑의 방향이 바뀔 경우 원래의 오락방지막 형상으로 복원되지 않을 수도 있을 것으로 사료된다.

3.2 초기 직선 긴장각의 영향

초기 직선긴장각이 계류라인의 거동에 미치는 영향을 알아보기 위하여 초기 직선긴장각을 25°, 30°, 35°로 변화시키면서 계류라인 해석을 수행하였다. Fig. 10과 Fig. 11은 초기직선 긴장각의 변화와 수심변화에 따른 긴장축과 이완축 케이블의 장력변화, Fig. 12는 긴장축 케이블의 저면앵글을, Fig. 13은 이완축 케이블의 수중부상길이, 그리고 Fig. 14는 부체변위를 나타낸다.

Fig. 10과 Fig. 11에서 보듯이 초기 직선 긴장각이 30°

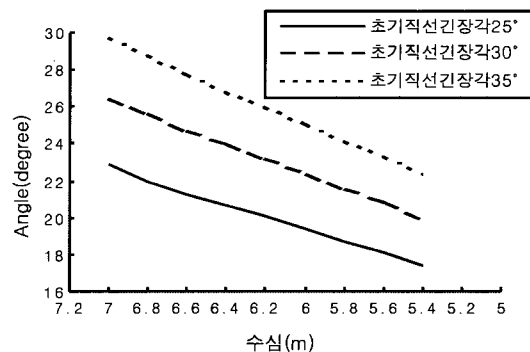


Fig. 12. Anchor angle of tensioned cable according to the change of initial straight line anchor angle.

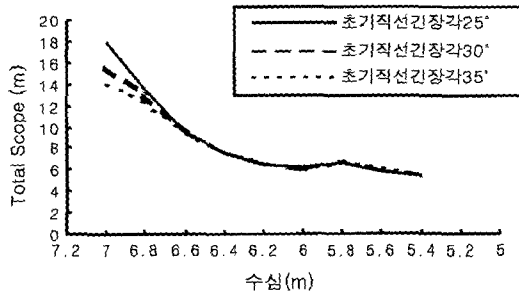


Fig. 13. Total scope of released cable according to the change of initial straight line anchor angle.

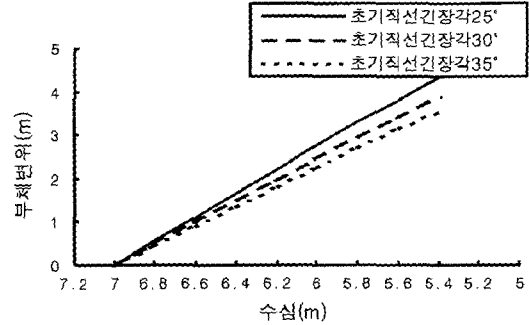


Fig. 14. Buoy deflection according to the change of initial straight line anchor angle.

인 경우가 만조위시 가장 적은 케이블 장력을 유지하나 수심이 낮아짐에 따라 긴장측은 세 경우 모두 비슷한 장력을 유지하며 이완측은 장력이 완전히 소멸되는 것으로 나타났다. 그 이유는 3.1절에서 언급된 현상과 유사한 것으로 Fig. 12~14에서 보듯이 조위가 하강하면 부체변위가 증가하면서 긴장측 케이블은 새로운 평형에 도달하여 일정한 장력을 유지하나, 이완측 케이블은 일부가 해저면에 접지되어 장력이 완전히 풀리기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 만조위시에는 긴장측 케이블에 가장 적은 장력이 나타내는 초기 직선긴장각이 존재함을 알 수 있었다. 즉, 부체에 가해진 외력을 단순히 기존의 설계방식대로 힘의 단순분해에 의해 케이블 장력을 구하면 25° 일 때가 가장 적은 장력을 나타내야 하나, 실제로 계류해석을 해보면 긴장측 케이블에 가장 적은 장력을 보이는 초기 직선긴장각은 30°로서 가장 적은 장력이 부담되는 최적 초기 직선긴장각이 존재한다는 것이다. 이는 Fig. 12와 Fig. 14에서 보듯이 긴장측 저면 앵글은 초기 직선긴장각이 커짐에 따라 증가하나 케이블의 처짐(sag)현상에 의해 초기직선 긴장각 보다는 항상 작게 나타나는 반면 부체변위는 초기 직선긴장각이 적을수록 커지므로 이들의 상호 복합현상에 기인된 것으로 사료된다. 긴장측과 마찬가지로 이완측 케이블도 비슷한 현상을 보이나 항상 이완측 케이블 장력은 긴장측에 비해 적게 걸리므로 설계시에 고려 대상에서 제외될 수 있다.

상기와 같이 케이블 장력에 초점을 맞추면 최적 초기 직선긴장각이 존재하나 Fig. 14에서 보듯이 부체변위는 직선긴장각이 증가할수록 줄어들며, Fig. 13에서와 같이 수중부상길이나 케이블길이(재료량과 관계 있음) 또한 줄어들기 때문에 실제 설계시에는 가장 적은 장력을 발생시키는 초기 직선 긴장각, 부체변위 및 케이블길이 등을 복합 고려하며 계류 해석하여 적절한 설계를 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

3.3 막체 부착물의 영향

패류 및 부유물질이 막체부에 부착하게 되면 막체부의 자중 증가로 인하여 부체부의 부력을 감소시켜 부체를 수직방향으로 끌어내리는 현상을 유발시킬 수 있다. 부체의 수직하강은 케이블의 sag를 추가로 증가시키게 되어 계류거동에 영향을 미칠 수 있다. 이 현상을 CASALM을 이용하여 계류해석하기 위해 부체의 직경만큼 부체가 물속에 잠기는 것으로 보고 동일한 외력조건을 유지한 채로 수심을 부체의 직경만큼 가상적으로 줄여 해석하였다. 즉, 계류라인에 부착시 계류라인의 거동에 미치는 영향을 알아보기 위하여 본 연구에서는 수심에서 부체부의 직경을 뺀 수위를 중립 평형 해석에 필요한 수위로 책정하여 수행하였다.

Fig. 15와 Fig. 16은 부착물의 부착여부에 따른 긴장측과 이완측 케이블의 장력변화, Fig. 17은 긴장측 케이블의 저면앵글을, Fig. 18은 이완측 케이블의 수중부상길이, 그리고 Fig. 19는 부체변위를 나타낸다. Fig. 15와 16에서 보듯이 부착물의 부착시 장력은 미부착시의 장력보다 적은 결과를 나타냈다. 그 이유는 부체부가 수중에 잠김으로 인해 긴장측의 케이블 길이가 이완됨으로 장력이 소실되는 것으로 사료된다. Fig. 17-Fig. 19에서 보듯이 부착물이 막체부에 부착

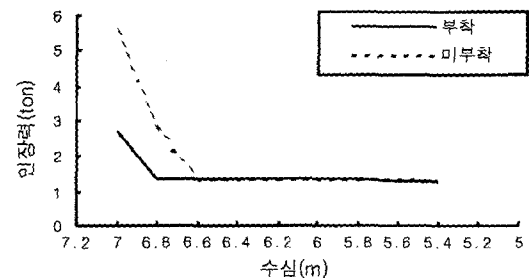


Fig. 15. Tension of tensioned mooring line with or without attached shellfish (Cable length=15.65m).

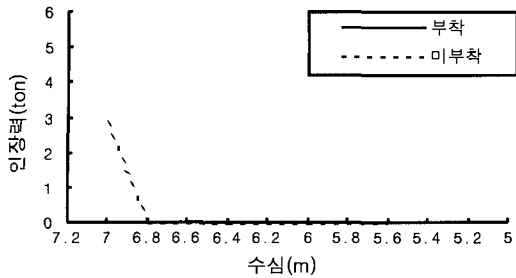


Fig. 16. Tension of released mooring line with or without attached shellfish (Cable length=15.65m).

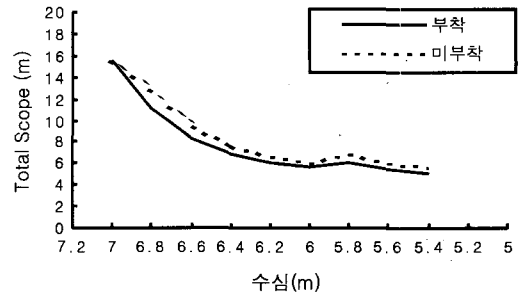


Fig. 18. Total scope of released cable with or without attached shellfish.

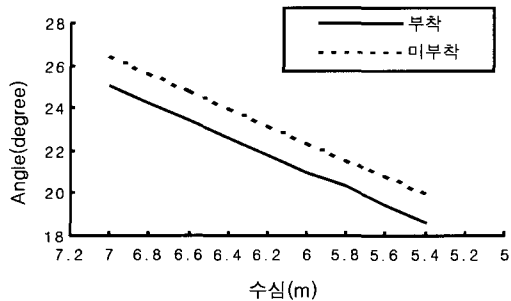


Fig. 17. Anchor angle of tensioned cable with or without attached shellfish.

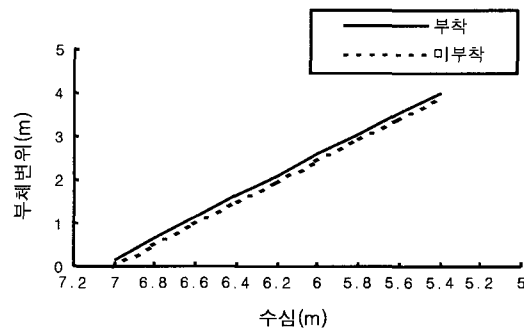


Fig. 19. Buoy deflection with or without attached shellfish.

시 수중무게 증가로 인해 sag가 증가하여 긴장축의 저면 앵글의 감소, 이완측 케이블의 접지부분의 증가(수중부상길이 감소) 및 부체변위의 증가로 이어짐을 알 수 있다.

부착물로 인해 케이블 장력은 줄어들기 때문에 재료손상은 발생하지 않으나 저면앵글, Total scope 및 부체변위에 영향을 미쳐 구조물 전체의 불안정성을 초래할 수도 있다. 그러므로 설계시에 부착물의 자중을 고려하여 충분한 부력을 받을 수 있는 부체의 규격을 정해야 할 것으로 사료된다.

이상 3.1~3.3절까지에서 보듯이 안전율을 고려하여 팽팽하게 적정케이블의 길이를 정하더라도 수심이 하강하면 부체변위는 증가하고 긴장축 해저면 앵글은 감소하여 긴장축 케이블은 거의 일정한 장력을 유지하는 것을 알 수 있다. 그러나, 반대쪽 이완케이블의 기능은 상실되기 때문에 구조체 전체의 불안정성을 초래할 수도 있을 뿐만 아니라 조류나 파랑의 방향이 바뀔 경우 원래의 오타방지막 형상으로 복원되지 않을 수도 있다는 것을 알았다. 그리고 부체에 가해진 외력을 단순히 기존의 설계방식대로 힘의 단순분해에 의해 케이블 장력을 구하면 가장 적은 초기 직선긴장각일 때가 가장 적은 장력을 나타내야 하나, 실제로 계류해석을 해보면 긴장축 케이블에 가장 적은 장력을 보이는 초기 직선긴장각은 이와는 다른 결과

를 나타내었다. 이는 긴장축의 저면 앵글과 sag발생으로 인한 부체변위의 상호 복합현상에서 기인되었다는 것도 알았으며 케이블 장력, 수중부상길이나 케이블길이(재료량과 관계 있음) 및 부체변위 등을 복합 고려하면서 계류 해석하여야만 적절한 설계가 이루어질 것으로 사료된다. 마지막으로 막체의 부착물로 인해 케이블의 장력은 줄어들어 재료손상은 일으키지 않으나 저면 앵글, 수중부상길이 및 부체변위에 영향을 미쳐 구조물 전체의 불안정성을 초래할 수 있다는 것도 알 수 있었다.

그러므로 실제 설계시는 오타방지막 계류라인의 거동이 복잡하기 때문에 시공 및 설계시 세심하게 다뤄져야 할 것으로 사료된다.

4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 조위변화에 따른 오타방지막 계류라인의 거동을 조사하였으며, 거동분석으로부터 안전율을 고려하여 팽팽하게 적정케이블의 길이를 정하면 수심이 하강하더라도 긴장축 케이블은 거의 일정한 장력을 유지하는 것을 알 수 있었다. 그러나, 이완케이블의 기능은 상실되어 구조체 전체의 불안정성을 초래할 수도 있는 것

을 알 수 있었다. 또한, 초기 직선긴장각이 계류거동에 미치는 영향을 조사해봄으로써 케이블 장력, 수중부상길이나 케이블길이(재료량과 관계 있음) 및 부체변위 등을 복합 고려하며 계류 해석하여 적절한 설계를 할 필요가 있을 것으로 사료되었다. 마지막으로 막체의 부착물로 인해 케이블의 장력은 줄어들어 재료손상은 일으키지 않으나 저면 앵글, 수중부상길이 및 부체변위에 영향을 미쳐 구조물 전체의 불안정성을 초래할 수 있다는 것도 알 수 있었다.

그러므로 실제 설계시는 오탉방지막 계류라인의 거동이 복잡하기 때문에 시공 및 설계시 세심하게 다뤄져야 할 것으로 사료된다.

향후, 보다 더 정확한 해석을 위해 다음과 같은 해석 방법의 보완이 필요할 것으로 사료된다.

- 1) 정확한 외력산정
- 2) 막체해석을 통한 부체 및 막체 장력 산정
- 3) 부체, 막체 및 계류라인의 상호작용을 고려한 거동 해석

감사의 글

본 연구의 수행을 위한 해인 이엔씨의 지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 해양수산부, **항만공사 표준시방서**, 1994.
 H.O. Berteaux, 1975, *Buoy Engineering*, JOHN WILEY & SONS, New York-London-Sydney-Toronto.
 CASALM MANUAL, 1997, TTI.
 L. Prandtl, 1906, Further Development of the Analogy for Membrane Analysis. *Physik. Z.*, 4(2).
www.taiyokogyo.co.jp/sipro/Frames/Fdefault.htm

Received July 29, 2002

Accepted September 2, 2002