

Oil Fence 에 발생하는 전장력에 관한 실험적 연구

안 성 모*, 青木 伸一**

1. 서론

최근 우리나라를 비롯해 세계 여러 나라에서 Oil Tanker에 의한 사고가 빈번히 일어 나고 있다. 이와 같은 사고의 대책으로 Oil Tanker의 2중화 등 여러 가지 면에서 대책에 총력을 기울이고 있지만, 일단 사고가 발생하게 되면 이러한 모든 대책은 무용지물이 되고 만다. 사고 발생 후 확산되는 Oil의 집적에 현재 일반적으로 사용 되어지는 도구인 Oil Fence는 다양한 형태의 많은 개발품이 사용되어 지고 있지만, 이러한 Oil Fence 및 Oil 회수 장치에 의해 회수 되어지는 양은 전체 확산되어지는 양의 고작 15%정도에 그친다. 그것은 사고의 대부분이 황천시(荒天時)에 발생 하기 때문인 것도 있지만, 효과적인 Oil Fence 및 Oil Fence의 운용에 대한 연구 및 개발의 부족에 의함을 부정 할 수 없다. Oil Fence와 같은 막체 구조물은 외력의 작용에 의해 구조물 자체만 변위하는 것만 아니라 구조물의 형상도 변하게 된다. 또한 구조물이 이완 상태로 부터 긴장 상태로 천이하는 과정에서 충격적인 장력이 발생하는 등의 특성을 가지고 있다. 이러한 특성들을 무시한 설계 및 운용은 치명적인 성능 저하를 초래할 수도 있다.

본 연구는 외양형 Oil Fence 및 효과적인 운용법의 개발, 확립을 위한 기초적인 연구로, Oil Fence와 같은 막체 구조물에 발생하는 전장력의 특성 및 충격 전장력의 발생 한계에 대해 수리 모형 실험을 통해 파악한 것이다.

2. 수리 모형 실험

2.1 실험장치 및 계측장치

실험에 이용한 수로는 길이30m, 폭0.7m, 깊이1m의 유압 구동식 조파장치를 가진 2차원 조파수조(日本 大阪大學 所在)로, 양수 펌프와 사이폰을 이용한 순환 장치로 파와 함께 흐름을 동시에 발생 시킬 수 있다. 모형 Oil Fence는 그림1에 나타난 것과 같이 상,하부에 전장 케이블을 설치한 외양형 Oil Fence를 대상으로, 양단이 수로벽에 각각 계류되어 있는 형식이다. 상,하부 전장 케이블에는 Oil Fence에 발생하는 전장력을 측정하기 위해 각각 Ring-gauge를 설치했다. Ring-gauge는 Aluminium제 Ring의 내측 및 외측에 각각 2장의 응력변형Gage를 부착하여 제작한 것으로, 정적재하 예비 실험을 통하여 전장력의 측정이 가능토록 하였다.

* 삼성물산(주) 건설부문 토목ENG.실 (Civil Engineering Div. Engineering & Construction Group SAMSUNG CORPORATION)

** 日本 豊橋技術科學大學 環境工學講座 (Coastal, Harbour & Ocean Eng. Lab. Dept. of Architecture & Civil Engineering Toyohashi University)

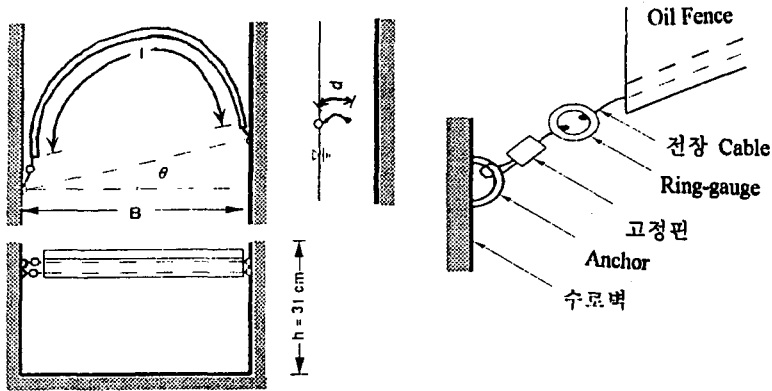


그림 1 모형 Oil Fence 의 설치 방법

2.2 실험조건

실험에는 대표적인 Oil Fence 의 형식인 Fence 형 및 Curtain 형의 2 종류를 대상으로 했다. Skirt 부의 강성이 큰 Fence 형의 경우 Oil Fence 의 길이를 변화시킨 3 종류를, Skirt 부의 강성이 작은 Curtain 형의 경우는 Oil Fence 의 길이, Float 부의 직경, Skirt 부의 깊이를 각각 변화시킨 7 종류를 대상으로 했으며 그 제원은 표 1 과 같다. 본 연구에서 대상으로 하고있는 Oil Fence 는 상,하부에 전장 케이블이 매 치된 것으로 표 2 에 나타난 것과 같은 Wire 와 나일론 낚시줄 2 종류의 전장 케이블에 대해 실험을 시행하였다. 표 3 에 표시된 것과 같이 3 종류의 정상류에 대해 각각 4 종류의 파고를 작용시켰다.

표 1 모형 Oil Fence 의 제원

구 분	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4	NO. 5	NO. 6	NO. 7	NO. 8	NO. 9	NO. 10
Skirt부의 깊이	3cm	3cm	3cm	3cm	3cm	3cm	3cm	3cm	1.5cm	3cm
Oil Fence의 길이	81cm	108cm	180cm	90cm	108cm	138cm	90cm	108cm	138cm	138cm
Float의 직경	2cm	2cm	2cm	2cm	2cm	2cm	1cm	1cm	1.5cm	3cm
Curtain의 두께	0.29mm				0.09mm					
Curtain의 Young율	45.9kgf/mm ²				25.3 kgf/mm ²					
전장폭	68cm									

표 2 Wire 와 낚시줄의 제원

	직경	밀도	Young 율
Wire	0.37mm	$7.86 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	$21.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
낚시줄	0.52mm	$1.12 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	$0.2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

표 3 파랑제원

수 심	30cm			
	파 고	2cm	4cm	6cm
주 기	1.2sec	1.8sec		2.4sec
입사각	0°	15°		30°

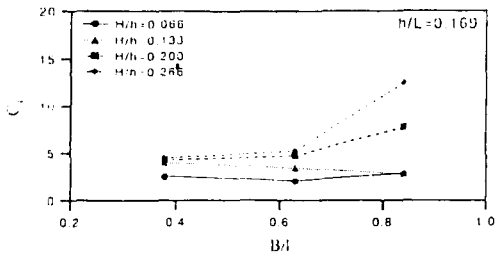
3. 실험결과 및 고찰

3.1 전장력의 특성

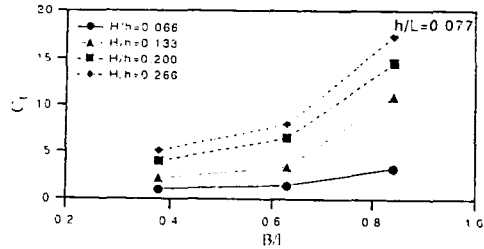
흐름상에서 파의 작용을 받는 Oil fence 는 긴장 상태와 이완 상태를 반복해 이완 상태에 있는 경우는 전장력이 거의 0 에 가까운 값을 나타내고 긴장하는 순간에는 전장력이 발생하게 된다. 이와같은 전장력의 특성을 파악하기 위해 다음과 같은 무차원 변수를 도입한다.

$$C_T = \frac{T_{max}}{\frac{1}{2} \rho_w U^2 B d}$$

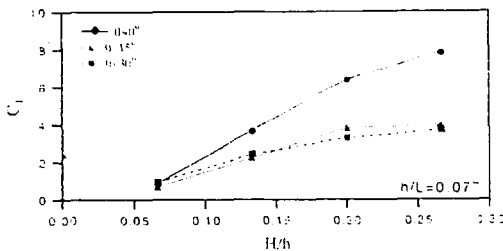
여기서 C_T : 무차원 전장력 T_{max} : 전장력 최대치 ρ_w : 물의 밀도 U : 정상류의 유속 B : 전장폭 d : Curtain 부의 깊이를 의미한다. 무차원 전장력 C_T 를 이용해 각 Parameter 에 대한 영향을 나타낸 예가 그림 2~5 이다. 그림 2 는 Oil fence 의 길이에 대한 영향을 나타낸 것으로 B/l 의 값이 클수록 전장력은 증가한다. 즉 Oil fence 의 길이가 짧을수록 막체 자체가 처음부터 긴장 상태에 가까운 상태에 있으므로 외력이 더해지면 큰 값의 전장력이 발생하기 쉽기 때문이다. 그림 2 와 3 에 의해 작용파의 주기가 길어짐에 따라 C_T 의 값이 증가함을 알 수 있다. 그림 6 은 파형구배 H/h 의 영향을 나타낸 것으로 H/h 의 값이 증가 함에 따라 C_T 의 값이 증가 함을 알 수 있다. 그림 7 은 정상류의 유속에 대한 영향을 나타낸 것으로 Froude 수 ($Fr = U/\sqrt{gh}$) 가 증가 함에 따라 C_T 의 값이 감소함을 알 수 있다. 이것은 정상류의 유속이 어느 정도까지는 증가함에 따라 Oil Fence 의 이완율이 작아지기 때문이다. 또한 이외에 전장 Cable 을 Wire 로 한 경우가 낚시줄의 경우보다 C_T 값이 크게 나타남과, 파의 입사각이 90° 에서 작아짐에 따라 C_T 값이 작아지는 경향을 알 수 있다.



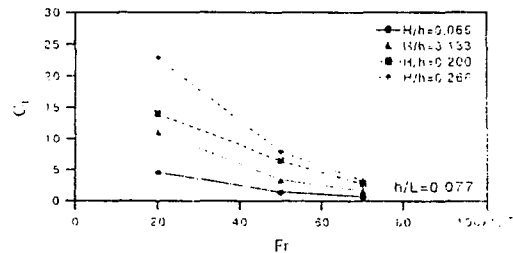
wire $Fr=0.052$ $E=45.9\text{kgf/mm}^2$ $\theta=0^\circ$
그림 2. 실험결과 (B/l 의 영향)



wire $Fr=0.052$ $E=45.9\text{kgf/mm}^2$ $\theta=0^\circ$
그림 3. 실험결과 (B/l 의 영향)



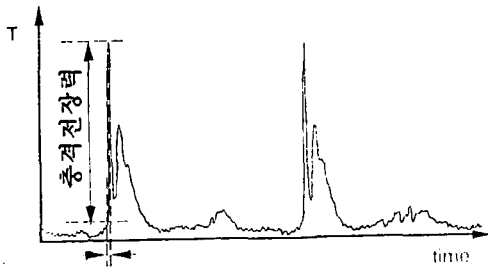
wire $Fr=0.046$ $B/l=0.63$ $E=25.3\text{kgf/mm}^2$
그림 4. 실험결과 (H/h 및 θ 의 영향)



wire $B/l=0.629$ $E=45.9\text{kgf/mm}^2$ $\theta=0^\circ$
그림 5. 실험결과 (Froude 수의 영향)

3.2 충격 전장력의 발생 한계

Oil fence 에 발생하는 전장력은 각 Case 에 따라 다른 시계열 특성을 나타낸다. 긴장과 이완을 반복하는 Oil fence 는 흐름, 파 및 Oil fence 의 위치에 따라 특징적인 전장력을 발생시킨다. 이와 같은 전장력중 Oil fence 의 성능에 치명적인 악영향을 미치는 충격 전장력이 발생 할 수 있다. 충격 전장력은 다음과 같이 정의 한다. 그림 6 에 나타난 것과 같이 Oil fence 에 발생하는 전장력의 시계열상에서 Peak 값까지의 도달시간이 극히 짧은 전장력중 그 크기가 어느정도 큰 전장력을 충격 전장력이라 한다. 즉, 전장력의 시계열 상에서 기울기 값이 극히 크고, 그 값도 큰 경우를 의미한다. 이와 같이 정의한 충격 전장력의 한계를 밝히는 것은 Oil fence 의 운영상 중요한 과제라 할 수 있다. 그림 7 은 횡축은 Froude 수를 종축에는 수심 파고비로 나타낸 것으로 도상의 숫자는 실험으로 부터 얻은 전장력의 최대치를 의미한다. 이 그림에서 전장력의 값을 주목해 보면, Froude 수의 값이 일정한 경우 의 값이 증가함에 따라 극단적으로 증가하는 Point 를 확인 할 수 있다. 이와같이 전장력의 값이 극단적으로 증가하는 경계를 각 Froude 수에 따라 이으면 충격 전장력의 발생 한계를 나타낼 수 있다.



Peak 도달시간

그림 6. 충격 전장력의 정의

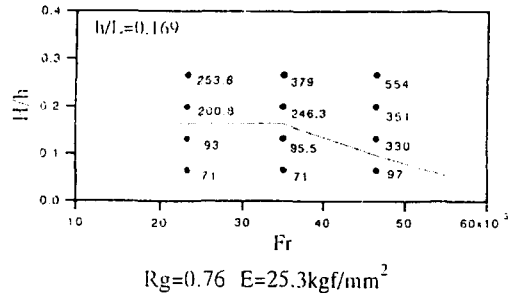


그림 7. 충격 전장력의 발생 한계

4. 결론

이상과 같이 얻어진 전장력의 특성에 대해 정리해 보면 다음과 같다. Oil Fence 에 발생하는 전장력은 그 길이가 짧아지면 커지고, 작용하는 파도의 주기가 길어짐에 따라 그리고 파고가 커짐에 따라 증가한다. 또한 파와 함께 작용하는 흐름의 유속이 커짐에 따라, 입사하는 파의 입사각이 90°에 가까울 수록 증가하고, 전장 Cable 의 강성이 큰 경우가 전장력이 큰 결과를 나타낸다. 이러한 결과를 통해 Oil Fence 를 운용할 경우 설치폭에 비해 길이를 길게 하는 편이 유리하며, 입사파에 어느 정도의 각도를 유지해 설치하는 편이 유리함을 알 수 있다. 그리고 전장 Cable 은 가능한 한 강성이 작은 재료를 선택하고, Oil Fence 의 Float 부는 가능하면 가벼운 재료를 사용해 파에 대한 추이성이 좋은 물질을 이용함이 유리함을 알 수 있다. 또한 외양형 Oil Fence 에 발생하는 충격 전장력에 대해 정의 하였고, 주어진 Froude 수의 범위 내에서 충격 전장력의 발생 한계를 제시했다.

참고문헌

1. 安成模·榎木亨·青木伸一·萬藤満：波流れ共存場に設置されたオイルフェンスに発生する衝撃展張力及びフェンスの挙動、海岸工学論文集、pp. 921-925, 1993.