

내화용 오일붐의 내화성에 대한 실험적 연구

유정석⁽¹⁾, 성홍근⁽¹⁾, 오준현⁽²⁾

An Experimental Study on Fire-Resistant Boom

by

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

요 약

내화용 오일붐은 해상누유사고시 누유현장소각기술에 있어서 핵심적인 방재장비이다. 본 논문에서는 내화용 오일붐의 성능평가방법으로 전기로시험과 수조시험을 제안하였다. 전기로시험에는 내화용 재질의 내화성을 평가하며, 수조시험에서는 실제 현장소각시에 화염에 노출된 내화용 오일붐의 상태를 최대한 모사하였다. 수조시험장비는 유조, 내화용 오일붐 모형, 연소가스 흡입을 위한 후드, 소각로와 온도계 등으로 구성된다. 본 연구에서 개발된 내화용 오일붐에 대하여 성능평가를 수행한 결과, 화염온도 800℃에 대하여 견딜 수 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구의 성능평가방법이 실제 해상에서 사용할 수 있는 내화용 오일붐에 대하여 적용할 수 있기 위해서는 보다 더 높은 축도의 시험시설 및 장시간의 실험이 요구된다.

Abstract

Fire-resistant boom is one of the most important facilities in *in situ* burning of spilled oil. Thermal response of a fire-resistant boom to burning is experimentally investigated in this paper by using an electric furnace and a burning test facility. This test facility is composed of a test tank, a fire boom, a hood for inhaling smoke, an incinerator for burning up gases and thermocouples, etc. Thereby a systematic method of approach in small laboratory scale is developed to study the performance of a fire-resistant boom. Burning test is carried out for the fire boom model which has been developed through the present study. It is shown that the present fire boom model has capability to withstand the high temperature around 800℃ and high rate of heat flux on it due to burning. For more realistic experimental environments, larger dimensions in devices and longer time in experiments are recommended in near future.

Keywords: 내화용 오일붐(fire-resistant boom), 현장소각(*in situ* burning), 소각설비(burning test facility), 온도계(thermocouples)

(1) 정회원, KRISO

(2) 한국해양대학교

1. 서 론

우리나라 연안에서 발생되고 있는 선박 및 저유시설에 의하여 유류오염사고가 빈번히 발생하고 있다. 그러나 발생해역의 해상조건에 적합한 방제장비를 사용하지 못하여 신속하고 효율적인 방제작업이 이루어지고 있지 못한 것이 사실이다.

내화용 오일붐은 유류운반선의 사고에 따른 화재에 의해서 유층에 발화가 발생한 경우와 유출사고에 대한 효과적인 대응책의 하나로서 누출유를 인위적으로 점화시킬 때에 요구된다. 내화용 오일붐은 엑스발데즈호 사고시 방제작업에 활용하여 많은 양의 기름을 제거한 사례가 있어 최근 미국의 연안경비대(USCG)와 표준기술원(NIST)을 중심으로 개발 및 실용화연구를 수행 중에 있다(Walton[1993], Walton[1998], Walton et. al[1998]).

국내에서 유류오염 사고시 사용되고 있는 오일붐은 대부분 선진외국에서 도입된 장비로 이에 대한 설계기술 및 신뢰성 있는 성능평가 방법에 의하여 검증된 자료는 찾아보기 어렵다. 현재 내화용 오일붐은 개발 초기단계에 있다고 할 수 있으며, 특히 우리나라 연안에서 사용하기 위해서는 별도의 기술개발이 요구된다. 따라서 본 연구는 내화용 오일붐의 내화성 성능평가 기법을 정립함으로써 우리나라 연안에서 발생하는 누유사고를 효과적으로 방제하는데 기여하고자 한다.

본 연구에서는 내화용 오일붐 주요 재료의 내화성을 시험하기 위한 전기로시험과 실제 유층이 점화된 때를 모사하는 수조시험의 방법과 결과를 정리하였다.

2. 자동 팽창식 내화용 오일붐

내화용 오일붐은 유층의 발화시 1000℃ 내외의 고온에 노출될 때에도 기름의 포획성능을 유지하여야 하므로 고온에서 견딜 수 있는 재질로 구성되어야 한다. 따라서 내화용 오일붐을 설계하기 위해서는 기존 오일붐의 형상설계시 화염에 노출되는 부분의

내화성을 추가로 고려하여야 한다.

본 연구에서는 HEXCEL Fabrics사 등에서 제공하는 여러 가지 고분자 내화재를 조사한 결과, 내피는 “SMC400”, 외피는 “HF1800”으로 결정하였다. 이들의 주요특성은 Table 1에 주어져 있다. 내화용 오일붐의 주요설계사양은 반복적인 장력계산에 의해서 결정할 수 있다(유정석 외[2000]). 본 연구에서 제시하는 내화용 오일붐의 성능평가 기법을 직접 적용함에 있어 개발된 재질의 내화용 오일붐을 사용하였다.

일반적인 오일붐과 마찬가지로 내화용 오일붐도 현장투입에 필요한 인력과 시간은 방제작업의 효율을 결정하는 중요한 인자이다. 본 연구에서는 판스프링을 이용하여 자동으로 팽창하는 내화용 오일붐을 개발하였다(유정석 외[2000]).

3. 전기로에서의 내화성 시험

내화용 오일붐의 내화성 시험의 한 단계로서 전기로에서 내화시험을 수행하였다. 전기로에서의 내화성 시험에 대한 개략은 Fig. 1과 같이 주어진다. 이 설비를 이용하여 전기로 내부의 온도를 400℃정도까지 상승시킬 때, 오일붐 내외부의 온도 변화 및 오일붐의 특성 변화를 관찰하였다. 실험이후 오일붐의 사진은 Fig. 2에 주어지는데, 이는 오일붐의 외피가 탄 것이 아니라 고온, 고열에 단지 그을린 것으로 판명되었다.

이 때 내피의 상태를 알아보기 위하여 오일붐을 절개하여 Fig. 3에 제시하였다. 외피와 마찬가지로 내피도 단지 그을린 것임을 알 수 있었다. 이로써 외피 및 내피 모두 400℃의 온도에서는 충분한 내화성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. Table 1에 제시된 바와 같이 전기로의 온도를 적어도 600℃까지는 올려야 했으나, 전기로 사용상의 여러 가지 문제점 때문에 400℃이상의 온도는 불가능하였다.

본 실험에 의한 내화용 오일붐의 외부 및 내부의 온도변화는 Fig. 4와 같다. 이 그래프에서 자료의

Table 1 Specifications of SMC400 & HF1800

	Thickness (mm)	Width (cm)	Roll Length (m)	Weight (g/m ²)	Resistance Temperature (℃)	Melting Temperature (℃)
SMC400	0.4	150	45	460	600	800
HF1800	1.8	100	45	1085	800	1090

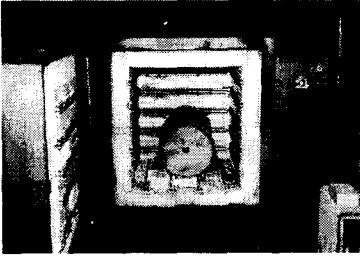


Fig. 1 Fire boom in the electric furnace before experiment

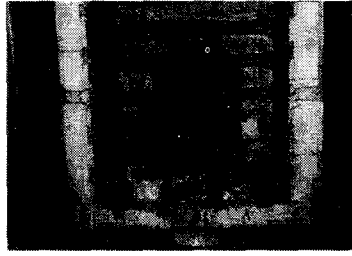


Fig. 2 Fire boom in the electric furnace after experiment



Fig. 3 Internal material after experiment

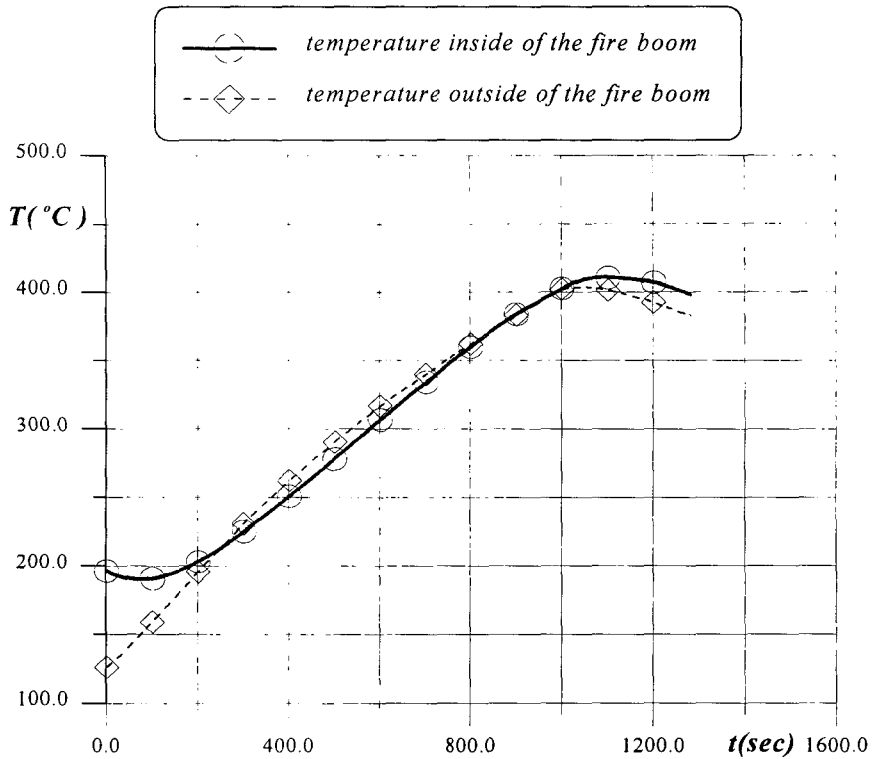


Fig. 4 Temperature inside and outside of the fire boom in the electric furnace

시작 부분은 400°C까지 온도를 상승시키는 과정에서 전기로의 차폐문을 중간에 열었다가 닫았기 때문이고, 끝 부분은 400°C를 넘어선 이후에 차폐문을 열었기 때문이다. 따라서 이 그래프의 시작과 끝 부분을 제외하면 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 첫째, 내화용 오일붐은 전기로내에서 내외부가 거의 동일한 온도를 가지는 것으로 보인다. 둘째, 내외피 모두 400°C의 고온에서도 타지 않고 충

분한 내화성을 가지고 있음을 입증하였다.

내화용 오일붐 내외부의 온도가 거의 동일한 것은 전기로가 충분히 밀폐되어 있고 열량의 공급이 지속적으로 이루어지기 때문이다. 이는 실제 해상에서 내화용 오일붐이 처한 조건과는 사뭇 다르다. 그러므로 본 전기로시험은 해당 내화재가 제작사의 사양대로 적절한 내화성을 가지는지를 확인하는 방법으로 사용할 수 있다.

4. 수조에서의 내화성 시험

4.1 실험개요

내화용 오일분의 내화성에 대한 시험은 해상 혹은 옥외수조에서 다량의 기름을 수면에 분포시킨 후 점화할 때 오일분의 내외부 온도와 열량 등을 관찰하여야 한다. 그러나 우리 나라에서는 해상 및 대기 오염에 대한 법적인 제약때문에 이와 같은 대규모 실험이 현실적으로 불가능한 여건에 있으므로, 비교적 작은 크기의 수조를 제작하여 실제상황을 최대한 모사하고자 하였다. 이 때, 불완전연소가스에 의한 대기오염을 최소화하기 위하여 연기를 후드로 흡입한 후 재연소시키는 방식을 취하였다.

본 실험의 개괄적인 개념도를 Fig. 5에 보인 바와 같이 수조에 일정량의 물을 채우고 내화용 오일분을 수면에 띄운 다음 수면의 한 쪽에 기름을 흘린 후에 점화시킨다. 이 때 사용하는 유종은 경유를 선택하였다. 실제 누유사고시에는 원유, 병커C유 및 디젤유 등이 주종을 이루나, 본 실험에서는 고온에서 오일분의 내화특성이 주요 관심대상이므로 발화가 용이하고 실험의 편이성과 안전성이 보장되는 경유를 사용하였다. 이로써 실제 해상이 아닌 옥상에서의 실험으로써는 안전하면서도 실제에 가까운 실험환경을 구성할 수 있었다.

이에 대한 실제 시험장비는 Fig. 6과 같다. 간이 수조의 크기는 85cm×150cm×120cm 이고, 사용한 내화용 오일분은 직경 50cm의 원형이며(Fig. 7) 유막은 약 2mm 두께로 수면상에 분포시켰다. 오일분의 외부지점 5곳, 내부지점 2곳에서 thermocouple을 이용하여 온도를 계측하였다(Fig. 8, Fig. 13).

4.2 실험결과 분석 및 평가

경유가 발화되어 내화용 오일분이 화염에 휩싸이는 광경은 Fig. 9에 나타나 있다. 후드를 이용하여 발생하는 매연을 최대한 빨아 들였으며, 이 때 유층 아래로 경유를 소량씩 공급하였다. 유막이 점화된 후 10여 초 만에 화염이 급속도로 발전하면서 Fig. 9와 같이 되었는데, 수 초 후에는 화염이 더욱 강력하게 되어 발생하는 연기를 모두 흡입하지 못할 정도가 되었다. 따라서 이 때는 기름의 공급을 중단하여 화재의 위험성을 제거할 수밖에 없었다. 그 다음에도 화염은 너무나 강하게 타올라서 Fig. 10과 같이 화염이 누그러든 다음의 사진을 보면 thermocouple을 취부하는 부분을 녹여버린 것을 볼 수 있다(Fig. 8과 비교).

Fig. 10에서는 화염에 노출된 수면 상부가 그을린 모습을 볼 수 있다. 이를 보다 더 자세히 관찰하기 위하여 Fig. 11을 보면, 수면 상부와 하부의 차이를 극명하게 볼 수 있다. 이 그림으로부터 화염에 노출되지 않은 부분은 온도의 상승도 거의 없으리라는 것도 예측할 수 있다. 오일분 내피의 상태를 보기 위하여 불을 절개하였다(Fig. 12). 전기로시험에서와 마찬가지로 단지 그을린 정도로 판명되었다.

본 실험에서는 유층의 발화에 의해서 내화용 오일분의 내외부에서의 온도 변화를 계측하였다. 계측 지점은 Fig. 13에 주어진 바와 같은데, 오일분의 가운데 단면을 표시한 것이다.

위치 1~7까지 7지점에서의 온도를 각각 채널 1~7까지 온도신호를 받는다. 계측지점에서의 온도 변화는 Fig. 14~20까지 주어진다. Fig. 14에는 수면하부위치인 위치 1에서 온도를 볼 수 있는데, 화염이 충분히 발달하였을 때에도 수면하의 온도변화는 거의 나타나고 있지 않음을 알 수 있다. 본 실험에서는 제한된 체적의 물이 오일분 주위에 분포하고 있지만, 실제에 있어서는 오일분 주위에는 거의 무한대에 가까운 해수가 있으므로 유층에서 다소 떨어지면 수온은 거의 변화가 없을 것으로 예측할 수 있다. Fig. 15로부터 발화가 시작되는 곳에서의 온도는 약 150℃임을 알 수 있다.

Fig. 16과 17은 각각 수면 상부 5 cm, 10 cm에서 오일분 표면의 온도가 약 620℃ 까지 상승하였다가 강력한 화염이 thermocouple 취부를 녹여서 thermocouple이 물속으로 들어가버린 것을 나타내고 있다.

Fig. 18은 오일분과 수면으로부터 수평 및 수직 위치가 각각 10 cm, 15 cm씩 떨어진 곳에서 온도를 보이고 있다. 따라서 이는 곧 화염 그 자체의 온도라고 생각할 수 있다. 그림으로부터 화염의 온도는 대략 800℃까지 상승하는 것을 확인하였다.

위치 6에서의 온도변화는 Fig. 19에 나타나 있다. 즉 유막에 접하고 있는 내피의 온도는 265℃까지 상승한 것으로 기록되어 있다. 이 위치에 대응되는 외부점은 위치 3인데, 이 지점의 온도는 Fig. 16에서 본 바와 같이 620℃까지 상승하였으므로 본 실험에서 사용한 내화용 오일분의 내화성을 입증하고 있다고 할 수 있다.

오일분 내부의 가운데 점에서의 온도는 Fig. 20에 주어진다. 이 지점에서는 약 200℃정도까지 온도상승을 보이고 있다. 오일분 내부는 대체로 공기로 채워지는 것이 보통이므로 내피에 비하여 내부 공기의 온도가 낮은 것은 일반적인 경향일 것으로

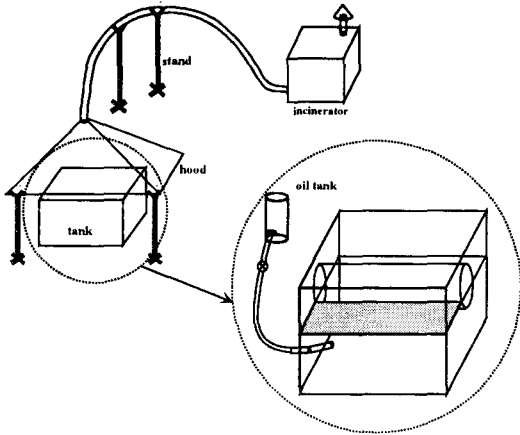


Fig. 5 Conceptual sketch of the present experiment

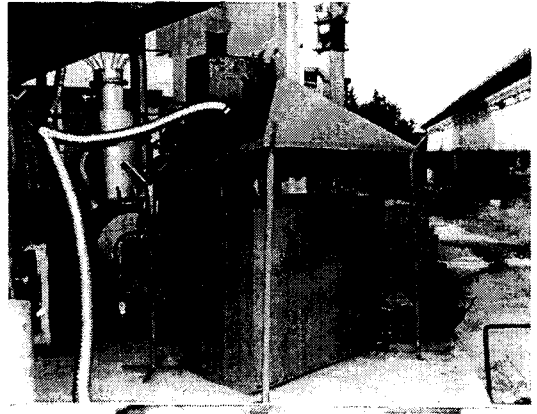


Fig. 6 Experimental set-up

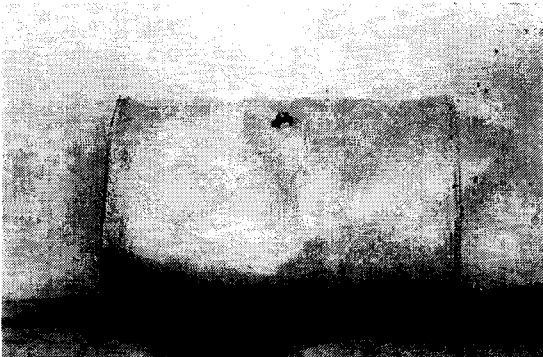


Fig. 7 Fire boom before the experiment

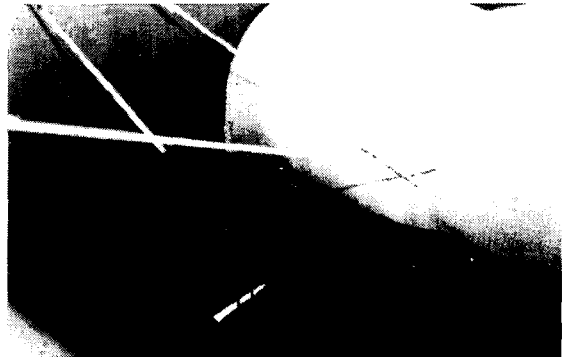


Fig. 8 Thermo-couples

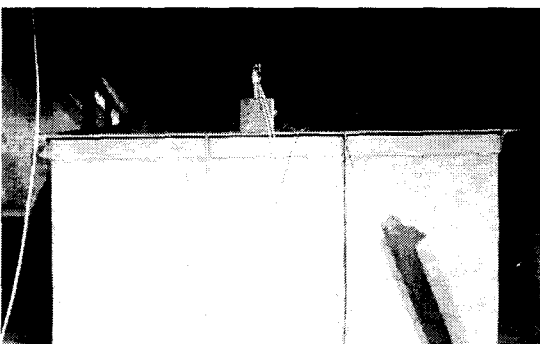


Fig. 9 Burning test



Fig. 10. Fire Boom after burning

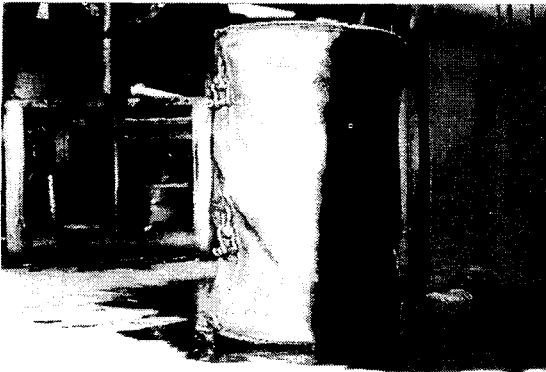


Fig. 11 Contrast between the parts in fire and in water



Fig. 12 Internal material after experiment

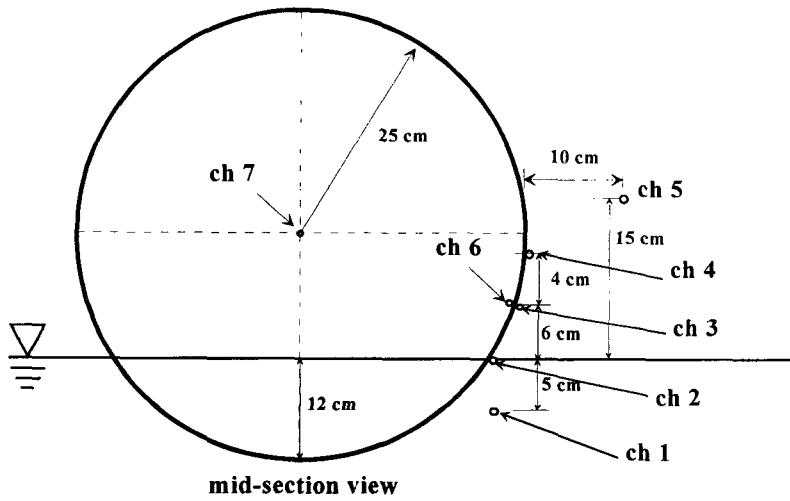


Fig. 13 Positions of sampling points

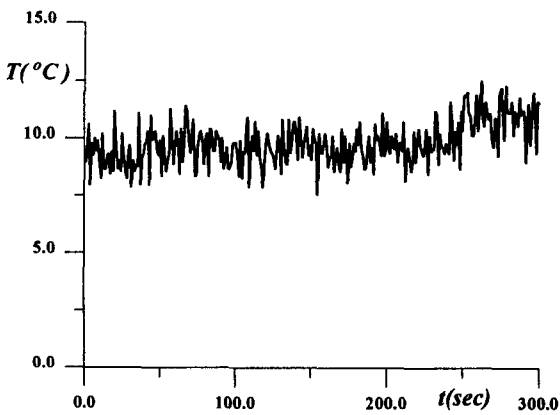


Fig. 14 Temperature at the position 1

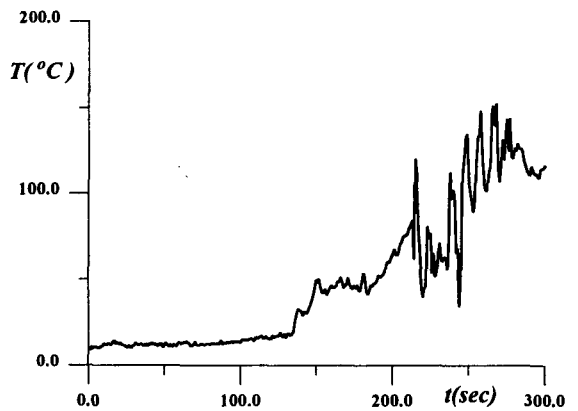


Fig. 15 Temperature at the position 2

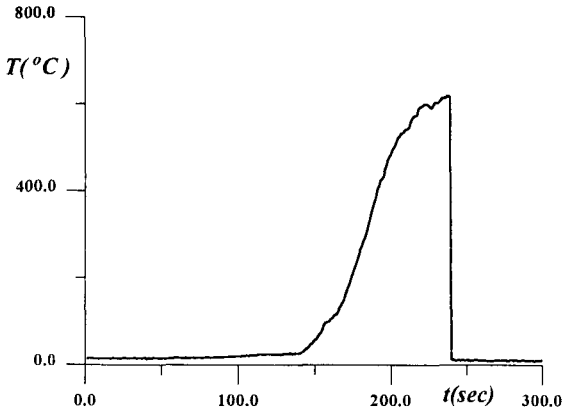


Fig. 16 Temperature at the position 3

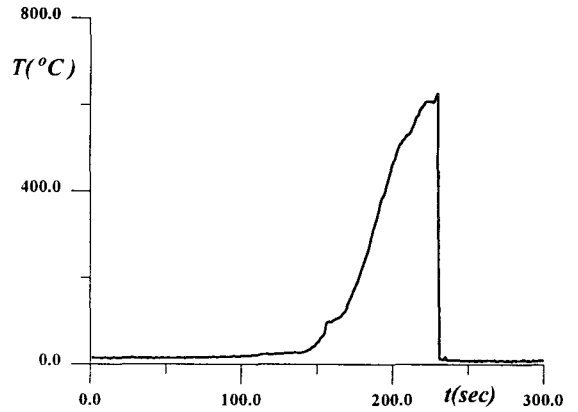


Fig. 17 Temperature at the position 4

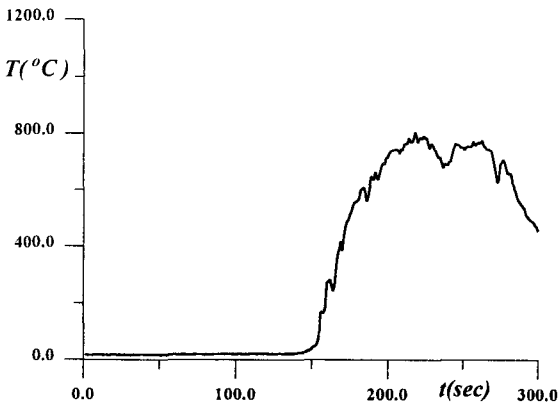


Fig. 18 Temperature at the position 5

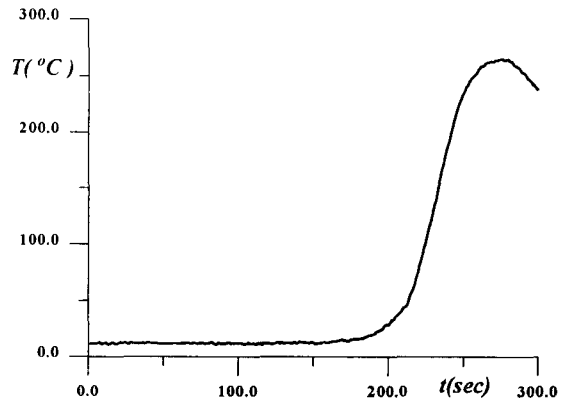


Fig. 19 Temperature at the position 6

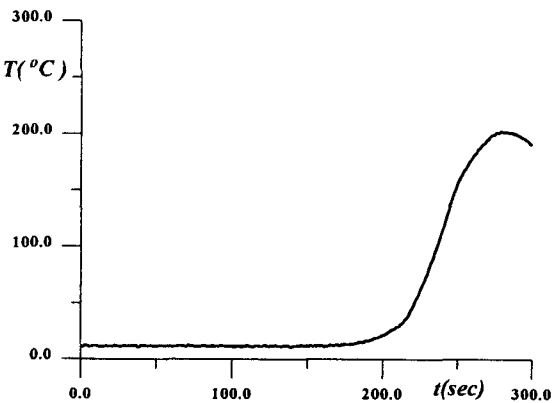


Fig. 20 Temperature at the position 7

추측할 수 있다.

Table 1에서 보는 바와 같이 실험에서 보인 내외피의 온도는 해당 재료의 저항온도(resistance temperature)보다 훨씬 작으므로 본 내화용 오일붐은 충분한 내화성을 가지고 있다고 할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 시험시설을 이용하여 내화성을 실험적으로 접근하여 내화용 오일붐의 재질자체에 대한 내화성을 평가하기 위한 전기로시험과 실제 유층이 접화된 상황을 최대한 모사하는 수조시험을 제시하였다. 더불어 개발된 내화용 오일붐 재질의 내화성을 조사하기 위하여 전기로에서 실험을

수행하여 충분한 내화성을 가지고 있음을 확인하였다. 또한 수조에서 내화시험을 수행한 바에 의하면, 화염 온도가 약 800 ℃, 외피 온도가 약 620 ℃까지 상승한 반면 내피 온도는 265 ℃까지만 상승한 것으로 나타났다. 따라서 내화용 오일붐의 내화성을 보다 더 엄밀하게 입증할 수 있었다.

본 연구가 실제 사용할 수 있는 내화용 오일붐에 대하여 적용하려면, 더 높은 축도의 시험설비와 장시간의 실험을 수행하여야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 수탁연구과제로 수행한 "내화용 오일붐의 설계 및 성능평가 기법 개발"를 기반으로 작성한 것임을 밝힙니다. 본 연구의 수행을 위해 지원을 아끼지 않으신 (주)푸른환경에 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- [1] 유정석 외, 2000, "내화용 오일붐의 설계 및 성능평가 기법 개발", 위탁연구개발보고서, 한국해양연구소 선박해양공학분소
- [2] W.D. Walton, 1993, "In Situ Burning of Oil Spills: Mesoscale Experiments", NISTIR 5192, National Institute of Standards and Technology.
- [3] W.D. Walton, 1998, "Status of Fire Boom Performance Testing", Proceedings of In Situ Burning of Oil Spills Workshop.
- [4] W.D. Walton, W.H. Twilley, N.P. Bryner, L. DeLauter, R.R. Hiltabrand and J.V. Mullin, 1998, "Second Phase Evaluation of a Protocol for Testing a Fire-Resistant Oil Spill Containment Boom", Proceedings of In Situ Burning of Oil Spills Workshop.