

선박기적음의 위치검출에 관한 기초연구

전 승 환* · 채 양 범*

A Basic Study on Position Detecting System using Vessel Whistle Blast

Seung-Hwan Jun · Yang-Bum Chae**

< 목 차 >

Abstract

1. 서 론
2. 계측원리

3. 실험계의 구성 및 실험결과
4. 결 론
참고문헌

Abstract

The recent development of marine technology has resulted in the appearance of huge vessel, causing marine casualties to increase. Marine casualties such as collision, stranding, sinking and fire, have born exorbitant economic loss and environment pollution. In particular, about 30% of the collision has happened in navigation under the foggy weather.

In this study, it is designed to develop Vessel Detecting System that is able to measure range and relative bearing by utilizing the whistle blast when another vessel's presence cannot be identified on the radar screen under foggy weather. Three Microphone Sensors receive the whistle blast and when one sensor is a criterion, the rest sensors have time delay for receiving signal by reason of sensor interval. It is able to measure the target position on 2-dimensional plane by considering these amount of time delays between sensors and the geometrical relation of sensors array and source.

Also this system allows the fishing boats not equipped the radar to perceive the approaching vessel sounding the fog signal, and it can be utilized as alert system when lookout is impossible owing to fishing works. Therefore, this system shall be able to reduce the casualty of fishing boats which have been recording a high marine casualty rate at sea.

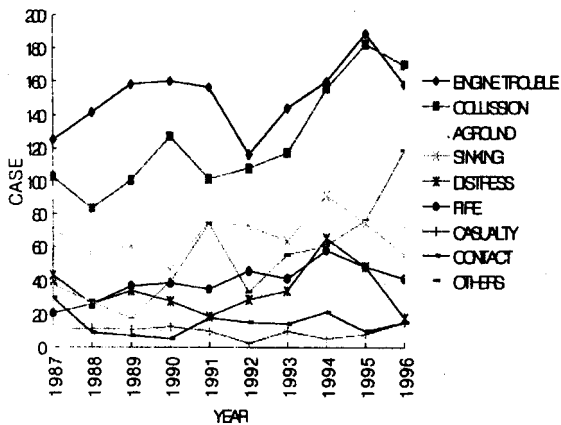
* 한국해양대학교 해사대학 교수

1. 서 론

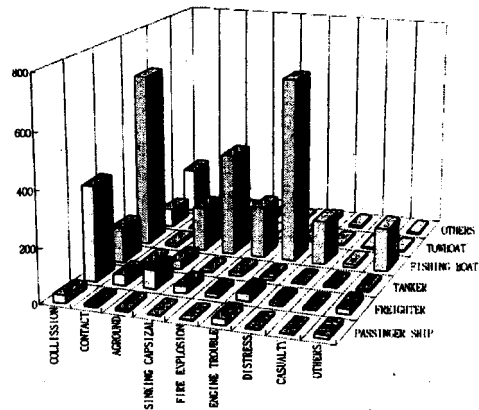
경제규모의 비약적인 성장으로 국제무역이 더욱 활발해지고, 이에 따라 해운산업 및 연근해, 원양 수산업도 더욱 발달하게 되었다. 일반적으로 내국에서의 화물의 수송은 주로 철도나 도로를 이용하지만, 외국과의 국제무역에서 화물은 거의 대부분 해상을 통하여 이루어지고 있다. 그것은 화물의 대량수송이 가능하고, 운송비가 저렴하다는 장점이 있기 때문이다. 결국, 해상운송수단은 국제무역에서 매우 중요한 역할을 하고 있는 것이다. 원자재의 수입과 공산품의 수출형인 경제구조를 가진 우리나라는, 안정된 해상운송수단의 확보와 물류비 절감 등의 차원에서 해운산업의 발달은 절대적으로 필요하게 되었고, 미래 식량자원의 보고가 되는 수산산업에 관한 관심도 커지게 되었다. 국제무역이 활성화되어 무역량이 증가하고, 수산업이 발달하면서 선박의 통항량도 매년 증가하고 있으며, 아울러 선박 해난사고도 증가하고 있다.

<그림 1>은 최근 10년간 우리나라에서 발생한 해난사고의 유형별 발생현황을 나타낸 것으로, 전체적인 해난사고가 매년 증가하고 있음을 알 수 있다. <그림 2>는 선박의 종류에 따른 해난발생 건수를 나타내는 것으로, 기관사고를 제외한 충돌, 접촉, 좌초, 침몰 및 전복의 상당 부분이 화물선, 유조선, 어선에서 발생하는 것을 알 수 있다. 또한, 해운산업과 수산산업에서 중추적인 역할을 하는 화물선, 유조선, 어선의 해난발생률이 다른 선박종류에 비해서 상당히 높은 것을 알 수 있다.

해난사고의 여러가지 유형 중에서 선박간의 충돌, 접촉, 좌초, 침몰 및 화재는 중대한 해난사고로 막대한 경제적 손실 및 인명피해를 가져오고 있다. 특히, 이 유형들의 사고는 대부분 해상에 유류를 유출하게 되어, 해양생태계의 파괴 등 심각한 환경오염도 일으키고 있다. 이 때문에, 해상교통의 안전에 대한 관심이 더욱 높아지게 되었고, 해난사고를 줄이려는 노력이 우리나라 뿐만 아니라 세계 여러나라와 IMO (International Maritime Organization : 국제해사기구)에서 제도적, 교육적인 방법으로 이루어지고 있다. 또한, 해기사의 교육, 항해장비 및 선박운항 등 여러 분야의 관련 규정을 강화해 가고 있는 실정이다.



<그림 1> 사고유형에 따른 발생현황



<그림 2> 선박별 해난 발생 현황

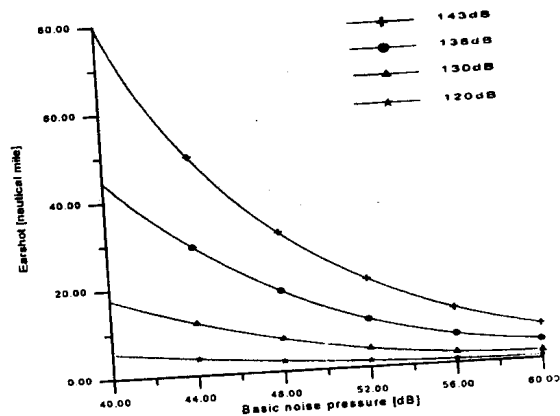
한편, 시정이 제한된 해역을 항해할 때, 항해자들은 레이더에 주로 의존하면서 선박을 조종한다. 그러나 기존의 선박용 레이더의 전파는 사용주파수의 특성상, 물 또는 수증기입자에 반사하고 되돌아와 레이더 화면에 상(허상)을 형성한다. 또한, 상대선박에 반사된 전파에 의해 생기는 상(실상)은 허상속에 파묻히기 때문에, 주위 환경여건으로 인해 생기는 허상 속에서 상대선박의 실상을 식별하기란 쉽지 않다. 특히, 선박이 소형일 경우에는 더욱 그러하다. 현재 사용되고 있는 대부분의 레이더는 기상 및 해상조건을 극복할 수 있는 간섭제거기능을 가지고 있지만, 모든 기상조건에서 간섭파가 제거되는 것은 아니다. 침단장비인 레이더를 탑재하고 있는 화물선, 유조선의 충돌사고가 계속해서 발생하고 있는 것은 이러한 것을 단적으로 보여주는 것이라 하겠다. 해무 등으로 인해 시정이 제한된 상황에서는, 항해자는 상대선박에서 발하는 기적, 호종 등의 신호음을 청취해야 할 필요가 있으며, 이 때, 상대음의 존재 유무나 음원의 위치에 관해서는 개략적으로 알 수 있으나, 이를 근거로 항해자가 안전항해를 위한 일련의 의사결정을 하기에는 사실상 어려움이 있다.

인간의 청각은 약 16~20,000 Hz 범위의 주파수대의 음(音)을 들을 수 있다. 그러나 선체 주위에는 여러 종류의 소리들이 혼재하고 있어, 이들이 결국 소음의 형태로 기적 등의 신호음 청취에 영향을 미치게 된다. 주위의 소음이 없으면 상당히 먼 거리에서 발신되는 소리도 가청할 수 있지만, 소음으로 인해 그만큼 가청거리는 짧아지고, 신호음과 소음의 식별, 신호음의 도래방향 등의 판별도 어렵게 된다. 1m 떨어져서 보통 크기의 소리로 말할 때의 상대방 소리의 크기는 대략 60 dB이다. 또, 조용한 실내에서는 40 dB, 사무실에서는 50 dB, 조용한 거리는 60 dB 정도가 소음의 기준이 되고 있다²⁾. 실외에서 전파하는 음압은 음원(音源)에서의 거리가 2배가 될 때마다 약 6dB씩 감쇠된다³⁾. 따라서, 기적음이 사람의 귀에 들리는 거리는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$D \approx 2^{\frac{Sp - Np}{6}}$$

단, D : 음의 도달거리[m], Sp : 음원의 음압[dB], Np : 소음압[dB]

<그림 3>은 식(1)을 이용하여 기적음의 가청거리를 그래프로 나타낸 것으로, 발신음압은 크고 주위의 소음압이 작을수록, 발신음의 가청거리가 커지는 것을 보여주고 있다. 본 연구에서는, 상대선박이 발하는 기적음향을 인간의 청각기관이 아닌 Microphone 센서를 통하여 수신하고, 소음(잡음)을 제거하는 등의 일련의 신호처리를 하여 음원의 2차원적 위치(본선과의 거리와 방향)를 검출하고, 이들 정보를 아날로그 및 디지털로 표시하게 함으로써 항해자가 주위선박에 대한 정확한 정보를 얻어 안전항해를 도모할 수 있는 시스템을 구축하고자 한다. 선박용 레이더가 제기능을 발휘할 수 없는 상황에서, 상대선박이 발하는 기적음향을 수신하여 상대선박의 위치를 파악할 수 있다면, 선박 운항자는 적절



<그림 3> 소음압에 대한 가청거리의 변화

한 피항동작을 할 수 있어, 해난사고 및 해양오염을 미연에 방지할 수 있을 것이다.
 지금까지 선박의 안전항해를 위한 많은 연구결과가 보고되었다. 선박안전을 위한 항로 배치, 항로 폭, 안전수심, 선박 선회장의크기, 연안항로의 설정⁴⁻⁷⁾ 또는 VTS System (Vessel Traffic Service System : 선박교통 관리 시스템)의 설치 및 효율적인 운용⁸⁻¹²⁾ 등에 관한 연구로서, 이들은 외부 구조적으로 선박안전을 지원하는 시스템에 관한 것이다. 본 연구는 이와는 다른, 안전항해를 위해 선박자체의 정보 수집력을 높이기 위한 것으로, 항해자가 스스로 현재의 상황을 판단하고 의사결정을 할 수 있도록 하는 해난사고 방지 시스템에 관한 것이다.

2. 계 측 원 리

타선박이 발하는 기적음을 Microphone sensor列를 이용하여 수신하고, 각 센서에 의해 얻어지는 정보에 대해 적절한 신호처리를 하여 각 센서신호의 차등 시간지연을 측정함으로써, 음원의 상대위치를 측정하고자 한다.

기적음을 센서열로 수신할 경우, 어느 한 센서를 기준으로 했을 때 다른 센서에는 센서의 배열, 간격 등의 제요소에 따라 수신신호에 대한 시간지연(time delay)이 생기게 된다. 각 센서신호의 시간지연 차를 측정하여 음원의 상대위치를 구하는 알고리즘은 다음과 같다.

음원의 음파에너지가 n 개로 구성된 센서열에 수신된다고 하면, 어떤 시간 t 에 i 번째 센서에 수신되는 신호 e_i 는 다음과 같이 주어진다.

$$e_i(t) = s[K_i(t + \tau_i)] + n_i(t) \quad i=1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

단, $s(t)$, $n_i(t)$ 는 센서에 수신되는 신호 및 외부잡음, τ_i 는 시간지연,

K_i 는 음원이 센서에 대한 상대운동으로 인한 시간압축

여기서 신호와 잡음은 상관관계가 없다고 했을 때, i 번째 센서에 대한 시간압축은 다음과 같다.

$$K_i(t) = 1 + V_i/C, \quad i=1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

단, C 는 음속, V_i 는 bearing line에서의 분속도

음원의 속도가 음속 C 에 비해 무시할 수 있을 정도로 작다고 하면 V_i/C 항은 무시할 수 있으며, 따라서, 식(2)는 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$e_i(t) = s(t + \tau_i) + n_i(t), \quad i=1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

음원에서 i 번째 센서까지의 거리 R_i 는 식(5)로 나타낼 수 있다.

$$R_i = C \cdot \tau_i, \quad i=1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

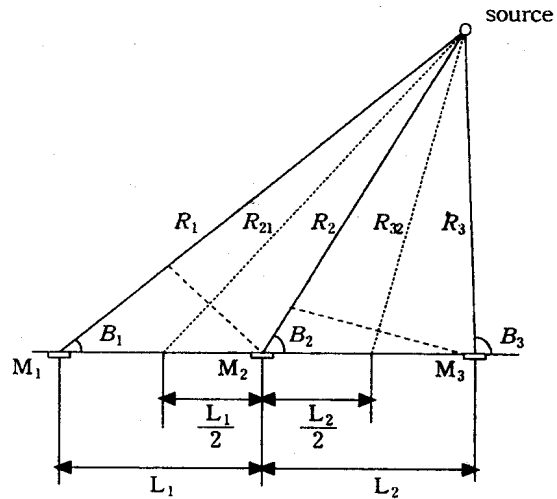
단, τ_i 는 음원으로부터 i 번째 센서까지 음향의 전파시간
 각 센서사이의 시간차는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\tau_{ij} = -\tau_j = \tau_i - \tau_j, \quad i, j=1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

센서의 수가 많으면 많을수록 정확한 거리와 방위를 구할 수 있으리라 예측할 수 있지만, 3개의 센서로 구성된 계측계로도 정확한 결과를 얻을 수 있으므로 3-sensor system 모형을 다루기로 한다.

<그림 4>는 음원과 센서들로 이루어진 3-sensor system의 기하학적 구조를 나타낸 것으로, M_1, M_2, M_3 는 수신센서이고, L_1, L_2 는 센서간의 간격이고, B_1, B_2, B_3 는 각 센서에서 음원과 센서열이 이루는 교각이다.

이 3-sensor system에서 3개의 센서들은 동일 일직선상에 존재하고 센서간격을 알고 있다고 하면, 삼각함수의 관계를 이용하여 음원으로부터 기준센서 M_2 까지의 거리 R_2 와 음원에 대한 방위 B_2 를 구할 수 있다.



<그림 4> 음원과 수신센서와의 기하학적 구조

음원과 각 센서들로 이루어지는 평면상의 함수관계를 이용하여, $L_1=L_2=L$ 로 두고 R_1 과 R_3 를 소거하면, 기준센서 M_2 로부터 음원까지의 거리와 방위는 식(7)과 식(8)로 구할 수 있다.

$$R_2 = \frac{2L^2 - (C \cdot \tau_{32})^2 - (C \cdot \tau_{21})^2}{2(C \cdot \tau_{32} - C \cdot \tau_{21})} \quad (7)$$

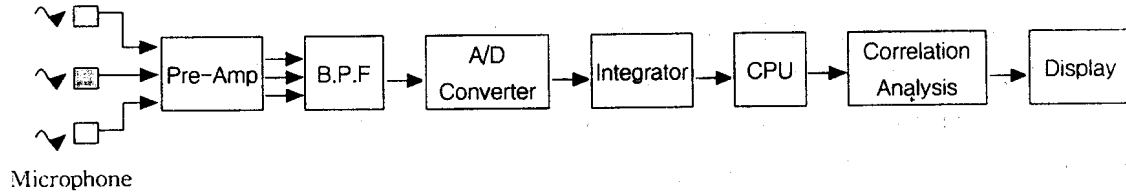
$$B_2 = \cos^{-1} \frac{(C \cdot \tau_{21})^2 - 2R_2 \cdot C \cdot \tau_{21} - L^2}{2R_2 \cdot L} \quad (8)$$

3. 실험계의 구성 및 실험결과

이상의 계측원리를 근거로하여 앞서 제안한 3-sensor system의 실험계를 구축하여 음원의 위치 검출에 관한 기초실험을 하였다. 실험계의 구성을 <그림 5>에 나타낸다.

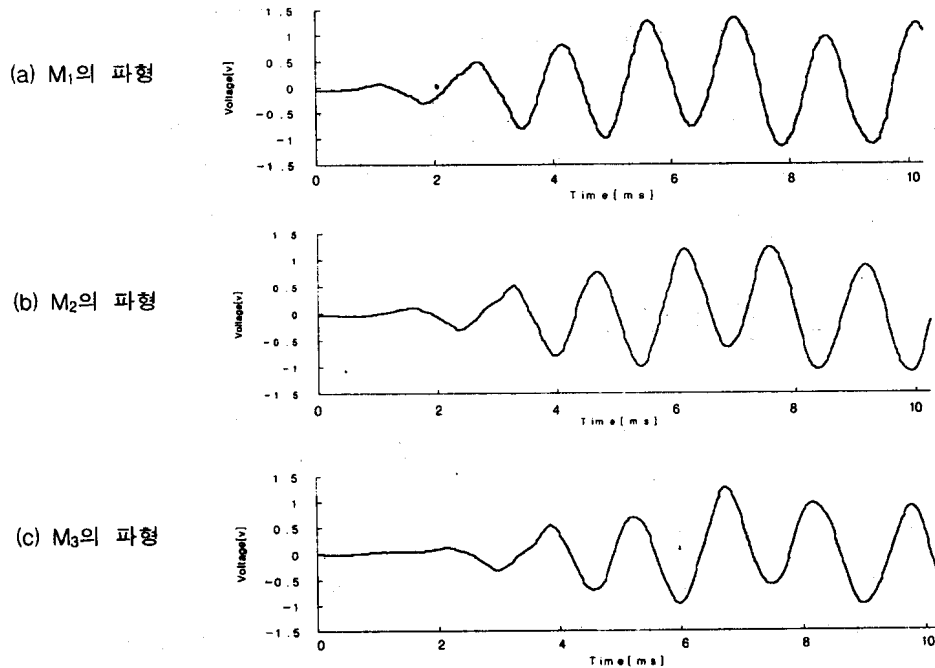
실험여건상 음원으로서 선박기적을 사용하는데는 어려움이 있어, 선박에서 기적과 함께 사용되고 있는 호종을 이용하였다. 호종의 기본주파수는 670Hz이다. 마이크로폰 센서는 시중에서 손쉽게 구할 수 있는 소형 콘덴서 마이크(직경 6mm)를 이용하였다. 센서의 동특성에 관해서는 여건상 정확히 파악할 수 없었으나, 범용이기 때문에 수신지향성은 약한 것으로 추측된다. 또한, 각 센서는 수신감도에 약간의 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 센서의 간격은 40cm, 신호의 증폭은 약 30dB, 필터의 차단주파수는 70Hz와 700Hz로 설정하였다. 샘플링 주파수는 50kHz이고 동시샘플링 방식을 이용하였다. 데이터수는 512로 하였으며, 이는 기적음원이 복수개일 경우 신호처리 중에 타신호가 들어오는 등의 문제발생소지가 있으므로, 현장실험을 통해 적정수로 설정할 필요가 있다. 시간차 측정법으로는 차분법, 위상시간법 등이 제안되어 있으나, 이들 방법은 필터링을 통해 외부잡음이 없는 깨끗

한 정현파를 이용한 것이다. 본 연구에서는 어느 정도 외부잡음이 혼재되어 있더라도 별 영향을 받지 않는 상호상관함수를 이용하여 시간차 측정을 하였다.



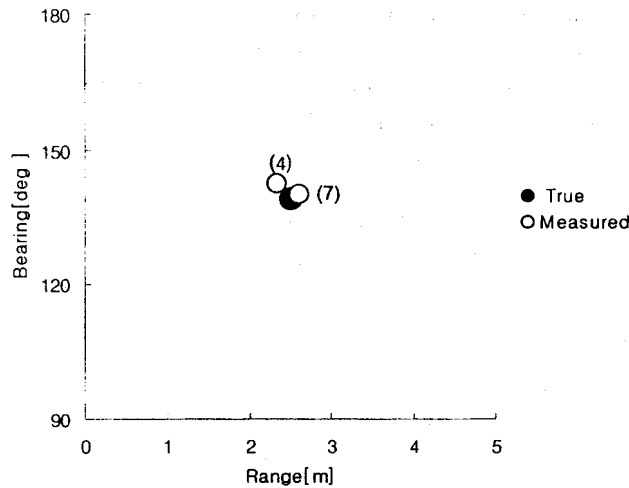
<그림 5> 실험계의 구성

센서로부터의 출력파형을 <그림 6>에 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 음원과 센서와의 기하학적 위치관계로 인하여 각 센서는 출력파형에 시간지연을 가지게 된다.



<그림 6> 마이크론 센서의 출력파형

실험결과를 <그림 7>에 나타낸다. 그림의 가로축은 기준 센서로부터 음원까지의 거리이고, 세로축은 센서열과 음원이 기준센서에서 이루는 교각 즉, 방위를 나타내고 있다. 검은 원은 음원의 진위치를 나타내는 것으로, 이는 기준센서(M₂)로부터 거리 2.4m, 방위 140°에 위치하고 있다. 삼각형은 실험에 의해 측정된 음원의 위치를 나타낸 것이다. 음원의 위치검출에 약간의 오차는 있으나, 기초실험인 점을 감안할 때 실험결과는 기적음을 이용한 선박위치검출의 가능성을 보여주는 것이라 할 수 있을 것이다. 고정도의 측정을 위해서는, 각 센서의 동특성, 신호처리회로의 구성, 관측시간 및 음속



<그림 7> 음원의 위치검출

을 고려한 샘플링주파수의 설정 등을 검토해야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는, 선박기적음을 인간의 청각이 아닌 Microphone 센서를 통해 수신하여 신호처리함으로써, 기적음원의 위치를 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 기초실험을 통하여 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 본 계측시스템은 구조가 비교적 간단하고 소형이면서 실시간 측정이 가능하며, 선박에 유용하게 적용될 것으로 기대된다.

우리나라 연안에서 발생한 충돌사고 중 30%가 무중상태에서 발생하였으며¹⁾, 본 시스템이 선박에 도입되면, 기상 등의 조건으로 레이더의 스크린상에서 불분명한 타선박의 위치 및 움직임을 명확히 파악할 수 있다. 또한, 레이더가 장착되어 있지 않은 소형 어선에서는 어로 작업중 기적음을 올리면서 접근하는 타 선박의 움직임을 파악할 수 있고, 무중에서 작업으로 경계가 어려울 때에도 타 선박의 접근을 알려주는 경보장치로도 활용될 수 있어서 가장 많은 해난사고를 유발하는 어선의 충돌, 침몰 및 인명피해를 최소한으로 줄일 수 있을 것이다.

본 연구는 기초연구로서, 기적음과 소음의 분리, 음원이 복수일 때의 신호처리, 신호처리회로의 구성 및 현장실험을 통한 본 시스템의 정량적 평가 등의 문제가 차후과제이다.

참 고 문 헌

1. 海難審判事例集, 中央海難審判院, 1987 - 1996
2. “騒音防止工學”, 編輯部 編, 1991
3. “イラスト現場の騒音對策”, アメリカ合衆國 勞 省 勞 安全衛生局, 1992
4. Atkins, D. A., Bertsche, W.R., “Evaluation of the Safety of Ship navigation in Harbours”, Proceedings of

- Spring Meeting/STAR Symposium, Coronado, California, 1980, pp. 65 - 77
5. Kim. W.S., "Port Design and Simulation : Validity of Microcomputer Aided Port Design and Its application", Doctoral Thesis of the University of Wales, Cardiff, June 1990, pp.194 - 216
 6. 해운항만청, 연안해역의 항행환경조사 및 항로개선에 관한 연구. 1994.
 7. 김환수, "선박의 안전을 위한 최적 항로배치 및 항로폭 결정에 관한 연구", 해양안전학회지, 제1권 제1호, 1995, pp. 9 - 25
 8. GLANSDORP C.C et al (1987). The Maritime Environment, Traffic and Casualties. COST 301 Final Report - Annex to Main Report : Vol.2
 9. CANADIAN COAST GUARD (1984). Sturdy : Vessel Traffic Services. Final Report. Ottawa
 10. UNITED STATES COAST GUARD (1991). Port Needs Sturdy (Vessel Traffic Services Benefits). Washington DC.
 11. KOSTILAINEN V. et al (1985). Cost Benefit Analysis of the Vessel Traffic Services. COST 301 Final Report on Task 2.47. Commission of European Communities.
 12. 박진수, "Quantification of The Effectiveness of Vessel Traffic Services", 해양안전학회지, 제1권 제1호, 1995, pp. 83 - 93