

## 소형선박의 충돌사고예방을 위한 초음파 경보시스템 개발에 관한 기초 연구

이 은 방\*

### A Basic Study on the Development of Ultrasonic Alert System for Preventing Collision Accidents of Small ships

Eun Bang Lee

**Abstract** : A ultrasonic alert system is proposed in order to prevent the collision accidents of small ships. This system displays a lamp and a sound signal alerting collision by transmitting ultrasonic pulse in air to detect ships and objects within 50 m. Under the condition of restricted visibility and complicated works, it is expected to enhance the effect of navigators' lookout.

**Key words** : Small ship, Collision Accident, Alert system, Ultrasonic, Maritime safety

#### 1. 서 론

해상은 선박을 기반으로 하는 어로 작업 공간과 해상교통의 수송로로 뿐만 아니라, 해양스포츠의 장으로 또는 임해산업의 기지로 그 활용도가 다양해지고 사용빈도가 높아지고 있다. 이와 같은 해상 활동의 가치 창출은 무엇보다도 인명과 재산, 환경에 대한 안전의 토대에서만 가능하다. 해상 활동의 리스크를 낮추기 위한 지속적인 노력에도 불구하고 끊임 없는 해난사고로 막대한 재해가 발생하고 있다.

국내 해난사고의 특징으로는 충돌해난사고의 비율이 매우 높은 편이며 그 중 소형선박의 해난 사고 건수가 많은 경향이 있다. 또한 해난 중 약 80%이상이 운항자의 실수, 태만, 무지 등에 의한 운항자 요인으로 분석되고 있다<sup>[1]</sup>. 소형선박의 사고 방지를 위한 다양한 연구 결과가 보고 되었고

정부에서도 대응책을 마련하여 시행하고 있으나 그 결과는 만족할 만한 수준에 이르지 못하고 있다<sup>[2][3][4]</sup>. 물론, 소형선박은 상대적으로 항해 장비를 비롯한 기술적인 조건이 열악하며 자연환경 조건에 내항성이 낮은 원인도 있고, 어로에 종사하는 조종제한선의 비중이 높다는 것도 무시할 수 없다. 그러나 소형선박 충돌사고의 제1 원인으로 경계 소홀(태만)이 지적되고 있는 것은 시사하는 점이 많다<sup>[3]</sup>. 소형 선박에는 충돌예방장치(ARPA & Radar)를 비롯한 고가의 항해 장비를 설치할 수 없고 운항자의 근로 여건상 장시간의 교육훈련을 기대하기도 어렵다. 따라서 항해자의 인지 능력을 제고 할 수 있는 저렴한 장비 개발이 필요하다.

본 연구의 목적은 운항자의 인지 능력에 의존하여 항해하는 소형선박의 충돌사고예방을 위한 초음파 충돌경보 시스템을 개발하는 것이다. 본 논문에서는 기초 연구로 소형선박의 해난사고의 특

\* 책임저자(한국해양대학교 해양경찰학과)

성과 신호원으로 초음파의 진파 특성을 고찰한 후, 공기 중에 초음파 펄스를 발사하여 충돌위험을 오디오와 발광 경보신호로 알려주는 초음파 경보 시스템을 제안하고자 한다. 또한 제안된 시스템의 활용범위와 기대효과를 살펴보고 현장에서 실용하기 위한 과제를 분석하였다.

## 2. 소형선박의 해난사고 특성

### 2.1 소형선박의 현황

2002년 12월 현재 국내의 전체 등록선박은 101,180척이고 그 중 20톤 미만의 소형선박은 92,056척으로 91.0%를 차지하고 있다. 용도별로는 어선이 98.2%를 점하고 있으며 톤급별로는 총톤수 5톤 미만 소형선박이 81,692척으로 절대다수를 차지하고 있다. <표 1>은 총톤수 20톤 미만의 선박등록 현황이다<sup>11)</sup>.

Table 1 Statistics table of small ships (단위:척)

용도 톤수	여객선	화물선	유조선	예선	기타	어선		계
						동력	무동력	
1톤 미만	-	-	-			30,568	3,399	33,967
1 - 2톤						24,411	1,416	25,827
2 - 5톤	1	5	4	2	357	21,100	229	21,698
5 - 10톤						7,957	12	7,963
10 - 20톤	0	50	107	120	1,004	1,316	4	2,601
계	1	55	111	122	1,361	85,346	5,060	92,056

### 2.2 소형선박의 해난사고

<표 2>에서와 같이 지난 5년간의 해난사고의 통계를 살펴보면 총톤수 20톤 미만의 소형사고는 전체 사고의 35.4%를 차지하고 있다.

Table 2 Maritime casualties of small ships

년도 분류	소형선박 (20톤 미만)	전체 해난 건수	소형선박의 사고비율
1998	318	936	34.0%
1999	378	1,041	36.3%
2000	254	780	32.6%
2001	276	779	35.4%
2002	299	775	29.5%
계	1,525	4,311	35.4%

소형선박 종류별 해난사고의 발생현황은 <표3>에서와 같이 기관손상, 침몰, 충돌, 좌초 순으로 발생하고 있다.

Table 3 Status of small ship accidents (2001-2002)

구분	종류	충돌	좌초	화재	침몰	기관 손상	기타
사고건수 (비율 %)		65 (15.2)	11 (11.0)	37 (8.7)	71 (16.7)	90 (21.1)	62 (27.3)

국내의 해난사고의 70% 이상이 운하과실이 원인으로 조사되고 있다. <표 4>는 2001년부터 2002년까지 소형선박의 충돌사고의 원인별 발생건수를 나타내고 있다. 전체 소형선박 충돌사고의 66.1%가 경계소홀에 의하여 발생한다. 운항자의 위험인지 능력제고에 의한 사고방지 대책이 요구된다.

Table 4 Analysis of collision accidents by small ships(2001 -2002)

위인 건수	조선부 적절	경계 소홀	항해 법규 위반	당직 근부 태만	선박운 항관리 부적절	배승 부적 절	기 타
사고건 (127)	5	84	23	1	2	1	11
비율 (%)	3.9	66.1	18.1	0.8	1.6	0.8	8.7

### 2.3 소형선박의 해난사고의 특징

소형선박의 해난은 자체능력이 낮아 인명사고의 개연성이 높고 신속한 구조도 쉽지 않다. 해난의 원인이 되는 자연조건, 항로조건, 선박조건, 교통조건, 운항자 조건별로 소형선박의 해난의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

#### 2.3.1 자연조건

소형선박의 구조상 자연의 상태에 종속되기 쉬우며, 연근해, 항포구 등 안개에 의한 저시정서에서 리스크가 높다.

#### 2.3.2 항로조건

소형선박의 대부분이 어로에 종사하는 선박으

로 구성되어 특정항로를 선택하여 항해하기 보다는 어로작업에 따라 결정된다.

### 2.3.3 선박조건

무동력선이 많고 최신향해 장비(Radar&ARPA)의 탑재율이 낮고 기관 및 설비의 정비가 소홀하다.

### 2.3.4 교통조건

소형선박의 활동해역은 연근해로 화물선을 비롯한 교통밀도가 높다.

### 2.3.5 운항자 조건

소수 운항자에 의해 선박이 운항되고 어로작업 등 복수 작업에 종사하는 경우가 많다. 선박운항에 관한 교육 및 자격기준이 영세성으로 제한 받는다.

목적에 따라 mW 에서 kW 파워의 초음파를 생성할 수 있다. 초음파의 에너지는 진폭과 주파수의 2승에 비례한다.

## 3.2 기체중의 전파특성

### 3.2.1 전파속도

일반적으로 초음파의 전파속도는 수중에서 1480(m/sec), 공기 중에서 343(m/sec)이지만 통과 매질의 온도(t) 변화에 따른 영향을 고려한 공기 중에서의 음속은 다음 식으로 표시 된다.[3]

$$V[m/s] = 331.5 + 0.5t \quad (1)$$

온도 이외 음압이나 주파수에도 영향을 받지만 미소하다. 초음파에 의한 거리 측정은 <식2>와 같이 음속(c)과 전파시간(T)으로 계산된다.

$$Distance = \frac{c \times T}{2} \quad (2)$$

50m의 거리측정에서 온도 20도 변화에 의한 거리 오차는 대략 15cm정도이다. 정확한 거리 측정을 위해서는 음속의 온도보정이 필요하다.

### 3.2.2 음향임피던스

음향임피던스(Z)는 <식 3>과 같이 음속(c)과 밀도(ρ)로 표시된다.

$$Z = \rho c \quad (3)$$

음향임피던스는 기체, 액체, 고체에서 현저하게 다르므로 기체와 액체 또는 기체와 고체의 경계면에서 음파는 거의 완전한 반사면이 되어 음향에너지의 투과는 극히 적다. 따라서 초음파를 해상 공기 중에 방사하였을 경우 해면 반사파와 해상의 물체의 반사파를 수신할 수 있다. 물과 공기의 온도와 따른 음향 임피던스는 <표 5>와 같다.

## 3. 초음파의 전파특성

### 3.1 초음파 성질과 활용

초음파는 매질을 매개로 전달되는 20kHz 이상의 탄성파이다. 그 특징은 전파 속도가 낮고 음향 임피던스가 다른 매질에서 반사가 쉽게 될 뿐만 아니라 초음파의 발생 및 송수신이 용이하다. 또한 전자기파에 비하여 전파속도가 낮고 파장이 짧다. 큰 음향에너지의 전송이 가능하고 인체에 큰 영향을 주지 않아서 정보원으로, 동력원으로 많은 장점을 가지고 있다. 한편, 매질과 주파수에 따라 전달거리가 커지면 감쇄가 급격히 커지고 지향성을 유지하기 어렵다.

초음파는 Sonar, 측심, 어군탐지기와 같은 수중 물체 탐지분야의 응용을 시작으로 유량, 유속, 거리의 측정은 물론 미용, 병리진단까지 응용분야가 확대되었고 침입경보장치, 자동차 충돌경보 장치, 가습기, 세정기의 개발로 우리생활에 있어서 그 역할이 증대되고 있다. 최근에는 강력초음파의 발생이 가능해져 가공, 용접, 모터 등의 동력원으로 활용도 높아지고 있다. 초음파는 수정, 세라믹 같은 압전소자에 전극을 만들어 전기적으로 발전시킴으로 비교적 용이하게 발생시킬 수 있으며 응용



Table 5 The impedance of water and air

구분	온도 (°C)	밀도 (kg/ m <sup>3</sup> )	속도 (m/sec)	음향 임피던스 (MKS)
담수	20	1000	1480	1.48×10 <sup>6</sup>
해수	13	1026	1500	1.50×10 <sup>6</sup>
공기	0	1.29	332	42
공기	20	1.21	343	41

### 3.2.3 음의 흡수 및 감쇄

기체 중에서 음의 흡수는 기체의 점성, 열전도, 조성에 의하여 복잡하게 변한다. 공기 중의 음의 흡수는 주파수의 2제곱에 비례한 부분( $\alpha_f$ ) 과 온도에 따라 변하는 부분( $\alpha_T$ )이 있다<sup>[5]</sup>.

$$\alpha_f = 160 \times \{f [Hz]\}^2 \times 10^{-12} [dB/m]$$

가청주파수의 범위에서는 기체 중에서의 흡수 감쇄가 실용상 무시할 수 있지만 주파수가 커지면 급격하게 증가하므로 공기 중에서의 초음파 응용은 주로 수10kHz 이하의 낮은 범위에서 이루어지고 있다. 음파의 흡수는 전파매질의 온도와 습도가 상승하면 작아지고 음파의 주파수가 커지면 증가한다.

초음파는 매질을 전파됨에 따라 점점 에너지가 작아지고 결국에는 소멸되어진다. 이와 같은 감쇄 특성은 고체보다 액체, 액체보다는 기체가 현저하므로 공기 중의 실용범위에 제한을 받는다. 일반적으로 공기 중을 전파하는 초음파는 매질에 의한 에너지 흡수손실과 회절현상에 의한 확산손실 때문에 전파 거리가 제약된다.

### 3.3 반사와 굴절

빛처럼 초음파에서도 반사와 굴절 현상이 발생한다. 두 종류의 서로 다른 매질의 경계면에서 반사에너지와 입사에너지의 비로 반사율( $r$ )을 정의하면 다음과 같다.

$$r = \left( \frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} \right)^2 \quad (4)$$

또한 매질이 다른 경계면 경사지게 음파가 입사되면 입사각( $\theta_1$ )과 굴절각( $\theta_2$ )사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_2} \quad (5)$$

### 3.4 감도와 지향성

초음파에 의한 거리 측정 시스템을 구성할 때 검출거리와 분해능이 시스템의 성능을 좌우한다.

이들은 출력파워, 감도 특성, 사용주파수 환경조건에 따라 다르다. 감도(sensitivity)는 <식6>에서와 같이 초음파 센서에 있어서 출력량과 입력량 수신수준을 나타낸다<sup>[6]</sup>.

$$S = 20 \log \frac{E[V]}{P[\mu bar]} [dB] \quad (6)$$

초음파를 이용한 소형선박의 충돌예방경보 시스템 설계에서 검출거리에 부합하는 감도와 지향성확보가 중요하다. 해면 반사파, 산란파 및 기타 잡음을 제거하고 목표물에 대한 반사파를 검출하기 위해서는 검출거리, 송신파의 출력 및 주파수, 송수신파의 신호처리법 등이 고려되어야 한다.

## 4. 초음파 충돌경보시스템 설계

### 4.1 경보 시스템 개요

설계하고자 하는 초음파 충돌경보시스템은 소형 선박의 상층부에 초음파 센서를 설치하고 초음파 펄스신호를 공기 중에 발사한다. 그리고 일정 거리 범위 내에 있는 선박이나 장애물로부터의 반사파를 수신하고 송수신 신호를 분석하여 목표물의 거리와 접근 속도를 측정하고 두 정보를 바탕으로 발광신호와 오디오 경보신호를 발생하게 한다. <그림 1>은 경보 시스템의 개념도이다.

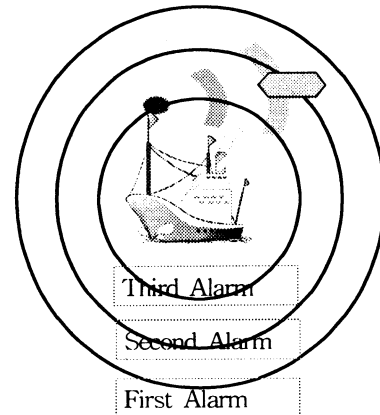


Fig. 1 Concept of alert system

<표 6>과 같이 경보신호는 거리에 따라 운항자의 주의와 인지를 위하여 오디오와 발광 신호로 3 단계로 구성 된다. 두 신호는 운항자의 반사 신경의 자극을 위하여 위험성이 높아짐에 따라 반복 주기를 짧게 한다.

Table 6 Alert signal

Distance(m)	발광경보	오디오 경보	기타
40 - 50	점등신호	slowly beeping	first alarm zone
20 - 40	점멸신호	normally beeping	second alarm zone
20이내	급속점멸 신호	quickly beeping	third alarm zone

## 4.2 시스템의 구성

### 4.2.1 시스템 구성도

초음파 충돌 경보 시스템은 송수신부, 전원부, 신호처리부, 계산부, 경보신호부로 구성된다.

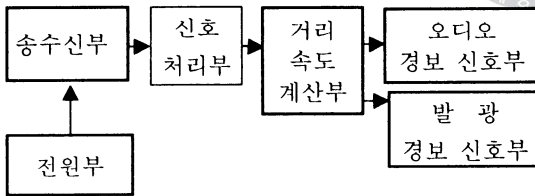


Fig. 2 Diagram of ultrasonic alert system

<그림 2>는 초음파 충돌 경보시스템의 블록 다이어그램이다. 송수신부는 초음파 진동자, Amplifier, Oscillator 등으로 구성되고, 전원부는 AC, DC 겸용으로 한다. 신호처리부는 송수신 신호를 분석하여 장애물까지의 거리와 접근속도를 계산하기 위하여 소형계산기로 되어있고 경보 신호부는 오디오와 발광신호를 발생할 수 있는 스피커와 램프로 구성한다.

### 4.2.2 송수신부

소형 선박의 선수미선을 기준으로 양현 130도 방향으로 초음파 펄스 신호를 송수신할 수 있도록 40kHz의 초음파 진동자 두개를 조합으로 설치하여 송수신겸용으로 사용한다. 사용될 진동자는 검

출거리(50m), 지향성, 감도 등을 고려하여 제작한다<sup>[7][8][9]</sup>.

### 4.2.3 신호처리와 계산부

여기에서는 장애물까지의 거리와 접근 속도를 계산한다. 장애물까지 초음파 펄스 신호를 송신하고 반사된 신호를 비교하여 두 신호간의 전파도달 시간을 구하면 <그림 3>에서와 같이 거리 측정이 가능하다<sup>[10]</sup>.

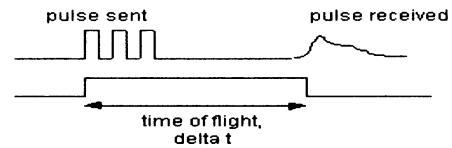


Fig. 3 The measurement of propagation time

그러나 수신 파형은 송신 파형과는 달리 매질의 전파특성에 따라 다양한 주파수 성분을 포함하여 일그러진 파형이 된다. 따라서 정확한 도달 시간 차 측정을 위해서는 신호처리 기법이 필요하나 여기서는 10cm 이하의 거리 오차는 실용상 문제가 없으므로 단순 Zero Crossing 법으로 전파 시간 ( $\Delta t$ )을 결정한다<sup>[11]</sup>.

위험 물체의 접근 속도도 도플러 효과를 이용하여 고 정도 측정이 가능하나 경보시스템의 비용과 사용 편리성을 고려하여 시간 변화( $\Delta t$ ) 따른 거리 변화량( $\Delta D$ )으로 다음 식과 같이 결정한다<sup>[12]</sup>.

$$\text{Approaching speed} = \frac{\Delta D}{\Delta t} \quad (7)$$

### 4.2.4 발광 및 경보 신호부

소형선박의 운항자에게 충돌 위험물체의 유, 무는 물론 거리와 접근 속도를 바탕으로 위험성을 알려주는 발광 신호와 오디오 경보신호를 발생한다. 공기 중에서 초음파는 감쇠, 산란, 다경로 반사 등의 원인으로 도달거리가 제한된다. 본 논문에서는 검출거리의 목표치를 50m로하고 있다. 충돌예방에 필요한 충분한 시간을 두고 경보 신호를 발생하기 어렵기 때문에 검출거리 확대와 보다 정량적인 위험성의 평가에 의한 경보 신호는 지속적으로 연구할 과제이다.

## 5. 충돌경보시스템의 활용과 과제

### 5.1 활용 범위

제안된 초음파 충돌경보시스템은 원거리 거리 측정이나 충돌예방 기능이 있는 Radar& ARPA와 같은 장비를 탑재하고 있지 않은 소형선박용으로 설계되었다. 소형선박의 특징은 승선 인원이 극소수이고 항해자는 항해뿐만 아니라 어로 등 다른 작업을 병행 할 경우가 많다. 또한 선박운항에 관한 교육이나 자격조건을 요구하기 쉽지 않은 실정이다. 항해구역은 교통밀도가 높은 연안해역이나 항 포구이므로 충돌 잠재성이 높으며, 야간이나 안개, 비 등으로 시정이 제약되었을 경우 항해자의 인지 능력에 의존하는 경우가 많다.

본 시스템은 소형 선박 주위의 50m 이내의 타선박과 장애물에 대하여 경보 신호로 항해자의 인지 능력을 높이는 보조 장비로, 안개로 인한 저시정일 경우를 제외하면 사람의 감지거리보다 떨어진 다. 경보신호만 의존하는 것은 매우 위험하다.

### 5.2 기대효과

초음파 충돌경보 시스템의 기대되는 효과로는 첫째, 야간, 안개 등에 제한된 시계에서 경계보조 장비로 항해자의 인지 능력을 높일 수 있다. 둘째, 항해와 어로 작업이 동시에 진행되어야 할 경우 주의의 선박의 접근여부를 알 수 있다. 셋째, 항해자의 피로 또는 태만에 의한 졸음 운항 시 주의 환기신호로 시용될 수 있다. 넷째, 항, 포구에 접이안시 Docking Sonar의 역할을 할 수 있다.

제안 시스템은 적은 비용으로 설치가 가능하고 시스템 운영에 교육이나 기술이 필요하지 않아 소형선박의 운항자가 적절하게 활용하면 국내 소형선박의 충돌사고율을 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

### 5.3 과제

설계된 시스템의 최대 탐지거리는 50m이고 오차는 20cm 이다. 경보신호는 3단계로 구분하여 발광신호와 오디오 신호로 동시에 발생된다. 설치

비용은 30만원 정도로 예상하고 있다.

초음파 충돌경보 시스템이 소형선박의 충돌예방효과를 높이기 위해서는 첫째, 고속 대형선박의 경우에도 충돌예방동작을 취할 수 있는 충분한 여유시간 확보를 위하여 최대 탐지거리 확대가 필요하다. 둘째, 해면반사와 복수 장애물에서 오는 반사 신호에서 목표 신호를 저오차로 처리하는 신호처리 기법 개선이 필요하다. 셋째, 소형선의 Docking Sonar로 활용을 위하여 정량적인 데이터 표시 장치가 필요하다. 넷째, 설치비용을 낮추기 위한 표준화 방안이 강구되어야 한다. 시스템의 설치 및 운영에 관한 내용이 소형선 장비 규정에도 포함되어야 한다.

## 6. 결 론

공기 중에 초음파 신호의 전파 특성을 분석하고 소형선박 운항자의 경계소홀로 인한 충돌해난사고 예방을 위하여 40kHz대의 초음파 펄스를 이용한 경보시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 제한된 시계 내에서 소형선박 운항자의 감지 능력을 높여 줄뿐만 아니라, 작업여건에서 오는 경계 소홀, 태만 항해 시 발광 및 오디오 경보신호로 인지 능력을 향상 시킬 수 있다. 또한 항, 포구 접이안시 Docking Sonar 역할도 기대된다.

소형선박의 충돌예방 경보장치로 실용화하기 위한 현장 실험과 실용방안에 연구가 필요하다. 앞으로 최대탐지 거리 확대와 경보 신호의 신뢰성 향상을 위한 실험 연구를 계속해 나갈 예정이다.

## 참고문헌

- [1] 중앙해양안전심판원(2002), 해양수산부, 해양안전심판사례집.
- [2] 해양수산부(2000), 어선 해양사고 방지종합대책.
- [3] 이광남, "어선사고의 원인분석과 대책", 해난방지 세미나, pp3-59, 1999.
- [4] 김용모, "우리나라 해양안전증장기 발전계획", 연구보고서, 해양수산부, pp 11-179, 2002.

소형선박의 충돌사고예방을 위한 초음파 경보시스템 개발에 관한 기초 연구

- [5] 西山靜南, “音響振動工学” コロナ社 pp1-15.
- [6] 谷腰勲司超, “音波のその使い方” 日刊工業新聞社, pp54-83.
- [7] [www.marco.de/E/D/ulm/s12me/001.html](http://www.marco.de/E/D/ulm/s12me/001.html)
- [8] [www.murata.com/ninfo/nr0381e.html](http://www.murata.com/ninfo/nr0381e.html)
- [9] [www.interq.or.jp/japan/se-inoue](http://www.interq.or.jp/japan/se-inoue)
- [10] 이은방, “초음파 펄스 도플러 속도계의 성능 개선에 관한 연구”, 한국향해학회, 20권3호, pp85-95, 1996.
- [11] Eun-Bang Lee, “An extended zero-crossing method for ultrasonic velocity measurements”, J. Acoustic. Soc. Jpn.(E) 16.6, pp341-344.
- [12] 이은방, “수중 물체의 공간 속도 분포 측정을 위한 초음파 펄스 도플러 개발”, 한국음향학회, 18권8호, pp17-24.



