

초음파의 다중반사 특성을 이용한  
실내공간에서의 목표물 인식에 관한 연구

Target Classification in Indoor Environments  
using Multiple Reflections of a SONAR Sensor

°류동연\*, 박성기\*\*, 권인소\*\*\*

\* 기아자동차 중앙기술연구소 (Tel : +82-801-2392; Fax : +82-801-2400 )

\*\* 한국과학기술원 자동차 및 설계공학과 (Tel : +82-958-3455; Fax : +82-960-0510; E-mail : skee@cais.kaist.ac.kr)

\*\*\* 한국과학기술원 자동차 및 설계공학과 (Tel : +82-958-3415; Fax : +82-960-0510; E-mail : iskweon@eeakaist.kaist.ac.kr)

**Abstracts** This paper addresses the issue of target classification and localization with a SONAR for mobile robot indoor navigation. In particular, multiple reflections of SONAR sound are used actively and intentionally. As for the SONAR sensor, the multiple reflection has been generally considered as one of the noisy phenomena, which is inevitable in the indoor environments. However, these multiple reflections can be a clue for classifying and localizing targets in the indoor environment if those can be controlled and used well. This paper develops a new SONAR sensor module with a reflection plane which can actively create the multiple reflections. This paper also intends to suggest a new target classification method which uses the multiple reflections.

We approximate the world as being two dimensional and assume that the targets consisting of the indoor environment are plane, corner, and edge. Multiple reflection paths of an acoustic beam by a SONAR are analyzed, by simulations and the patterns of the TOFs (Time Of Flight) and angles of multiple reflections from each target are also analyzed. In addition, a new algorithm for target classification and localization is proposed.

**Keyword** Ultrasonic, SONAR, Mobile Robot, Multiple Reflection, Target Classification

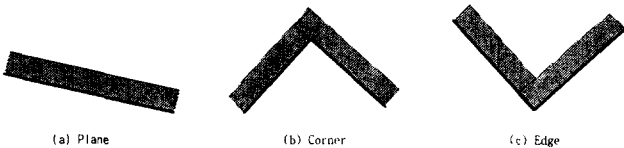
1. 서론

일반적으로 이동로봇의 실내주행에 있어서 거리계측에 사용되는 센서로서의 SONAR의 응용분야로서는 자기위치 인식, 장애물 회피, 목표물 인식 등을 들수 있다. 이러한 각각의 분야에 있어서 SONAR로 거리계측을 수행하는데 있어서 발생하는 가장 어려운 문제점중의 하나가 다중반사이다. 다중반사란 측정 범위 내의 물체에 반사된 초음파가 측정 대상이 아닌 물체들에 재 반사되어 원치 않는 2차, 3차 또는 그 이상의 반사를 일으켜 그에 의한 Echo가 수신되는 것을 말한다[1][4]. 거리 계측을 위주로 하는 SONAR의 응용분야에서 다중반사는 치명적인 노이즈로 간주되므로 이를 제거하기 위하여 SONAR 주변에 흡음재를 부착하고, 발신 후 되돌아오는 최초의 Echo 이외의 모든 Echo를 배제하는 경우가 대부분이다. 그러나 이러한 다중 반사는 이를 유발할 수 있는 기하학적 조건을 능동적으로 고려하여 이용할 경우 물체와의 거리 이외에도 물체의 개략적인 형상의 인식에도 사용될 수 있는 유용한 정보를 제공한다.

본 연구에서는 이러한 다중반사를 능동적으로 이용할 수 있는 새로운 SONAR 센서 시스템을 구성하고 측정 대상이 되는 목표물간의 상대적인 위치와 목표물의 종류를 인식할 수 있는 새로운 방법을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 수직적인 실내공간을 2차원으로 가정하였고 측정의 대상이 되는 목표물의 종류는 Fig.1에서와 같이 인공적인 구조물이 가질 수 있는 가장 보편적인 형태인 Plane, Corner, Edge로 제한하였다[3].

제 2 장에서는 본 연구에서 사용한 다중 반사를 유발하기 위한 SONAR 센서 시스템의 구성과 모델링을, 제 3 장에서는 이러한 모델에 근거한 시뮬레이션 결과와 분석을 다루었다. 그리고 제 4 장에서는 실제의 SONAR로 초음파를 발신했을 때 각각의 목표물에 반사, 수신되는 Echo의 패턴과 이의 분석결과를, 그리고 실내 공간에 대한 적용 결과를 나타내었다.

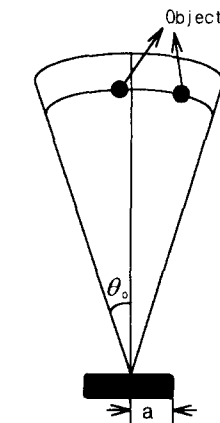


[Fig. 1] 실내공간의 보편적인 목표물의 종류

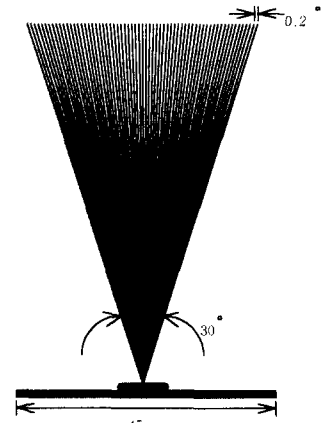
2. SONAR 시뮬레이션 모델

SONAR는 Fig. 2와 같은 Field of View를 가지고 있고 이 그림에서  $\theta_0$ 는 SONAR가 물체를 감지할 수 있는 각도 범위를, a는 Transducer의 반경을 나타낸다. 여기에서  $\theta_0$  내의 각도 범위를 Acoustic Cone이라 한다[1][4].

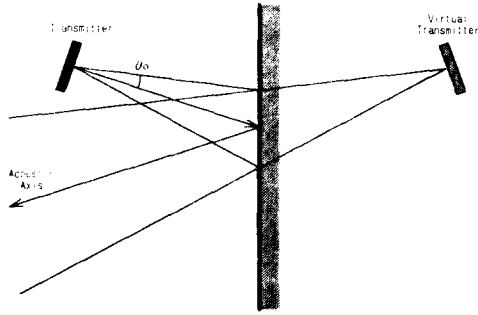
초음파가 목표물에 반사되어 돌아오는 경로를 추적하는 것은 다중반사를 분석하는 데 있어서 반드시 필요한 과정이다. Fig. 4에서와 같이 Reflection만을 일으키는 Plane target의 경우 Virtual transmitter가 존재하는 것으로 가정할 때 음파의 경로 추적은 매우 간단하다[1][2]. 그러나 Corner target과 같이 2회 이상의 반사를 일으키는 목표물의 경우, 그리고 Diffraction을 일으키는 Edge target의 경우에는 단순한 Virtual transmitter의 개념만으로 음파의 경로를 추적한다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 목표물에 반사되어 2차 이상의 다중반사를 일으키는 초음파의 경로의 분석에 있어서 Fig.3에서와 같이 Acoustic Cone 내의 음파를 0.2° 간격으로 세밀하게 나누어 양자화하는 방법을 사용하였다. 이는 SONAR에서 발신되는 평면파 형태의 초음파가 반사 물체에 입사될 때, 음파가 접촉하는 하나 하나의 포인트가 2차적인 음원으로 작용한다는 점에 근거를 두고 있다. 이러한 시뮬레이션의 목적은 다중반사의 개략적인 경로 추정에 있으므로 음파의 간섭과 Diffraction에 의한 영향은 고려하지 않고 Reflection만을 일으킨다고 가정하였다.



[Fig. 2] Field of View



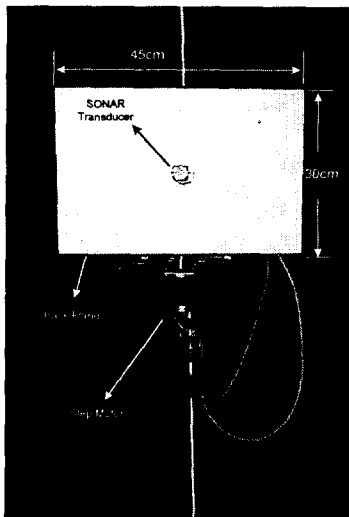
[Fig. 3] 초음파의 양자화



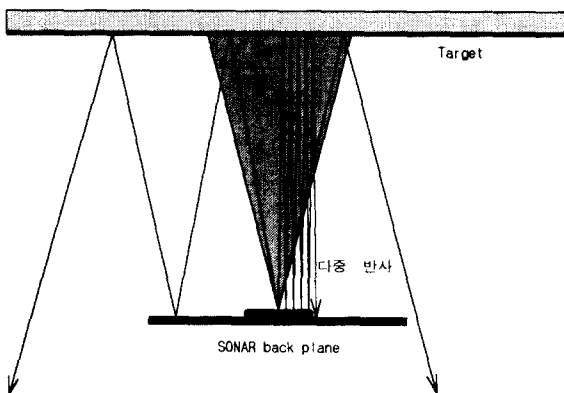
[Fig. 4] Plane target 에서 발생하는 Reflection

목표물 인식을 위한 효과적인 다중반사를 유발하기 위하여 Fig. 5 와 같이 SONAR 의 뒤쪽에 반사판을 부착한 SONAR 센서 시스템을 구성하였다. 목표물 인식에 적용되는 다중 반사는 SONAR 센서 시스템 자체의 반사판에 의해 발생하는 Fig. 6 과 같은 형태의 반사이다.

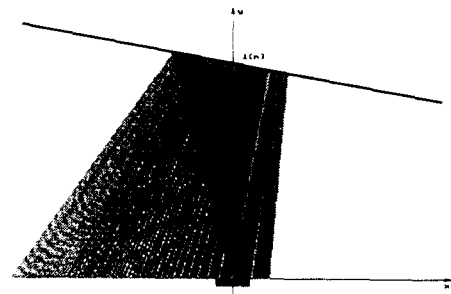
Fig. 7 과 같이 Plane target 에서는 Virtual transmitter 를 가정한 형태의 반사를 보이지만, Corner target 에서는 Acoustic cone 이 Corner 의 중심에 의해 나누어지면서 매우 복잡한 형태의 반사를 일으킨다는 것을 알 수 있다. 직각을 이루는 2 개의 Plane 이 Corner 를 구성하면서 반사를 일으키고 또 SONAR 의 반사판에 의해 재반사가 일어나는 과정을 반복하면서, Corner 에서는 일종의 메아리와 같은 복잡한 초음파의 다중반사 현상이 발생하게 된다. 이와 같은 복잡한 다중반사를 통하여 수신되는 Echo 의 TOF 는  $0.2^\circ$  각도로 양자화시킨 초음파의 요소 하나 하나의 경로를 추적, 이를 합성함으로써 추정해 낼 수 있다.



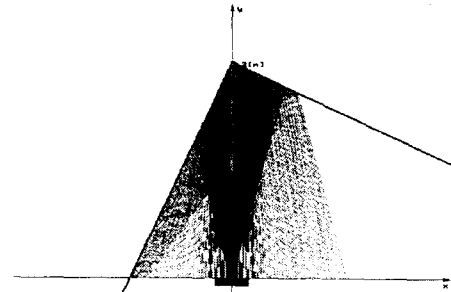
[Fig. 5] SONAR 센서 시스템의 구성



[Fig. 6] 반사판에 의한 다중 반사



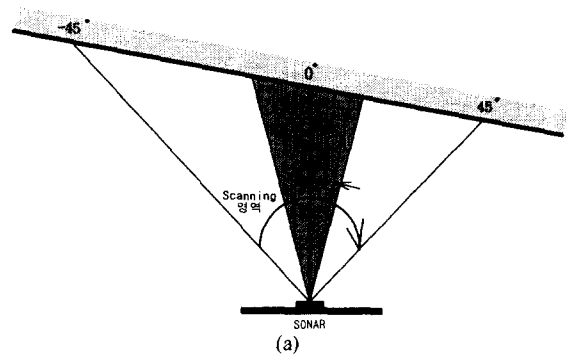
(a)



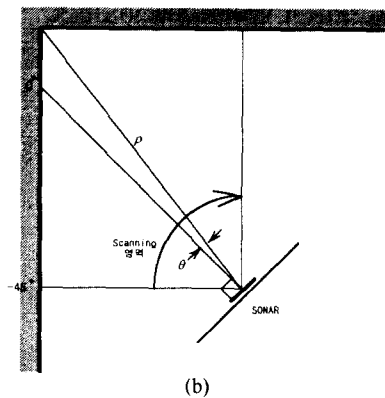
(b)

[Fig. 7] Target 에 따른 반사 경로 (a) Plane target (b) Corner target

본 연구에서의 목표물 인식은  $0.9^\circ$  간격의 Scanning 을 통하여 수행되는데, 이때 각각의 Step 에서 수신되는 다중 반사에 의한 Multi Echo 의 변화 패턴을 분석하여 목표물의 종류와 위치를 인식하게 된다. 시뮬레이션에서는 Fig.8 과 같이 3 가지 종류의 목표물을 인식하는데 필요한 최소한의 각도, 즉  $90^\circ$ 로 Scanning 각도를 설정하였다.



(a)



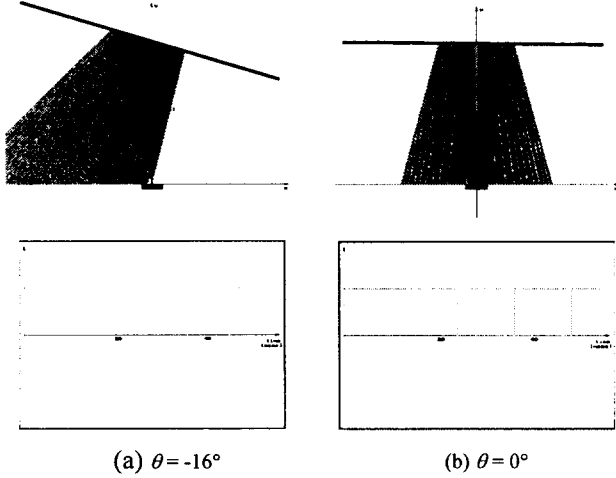
(b)

[Fig. 8] 목표물 인식을 위한 Scanning (a) Plane (b) Corner

### 3. 시뮬레이션 결과

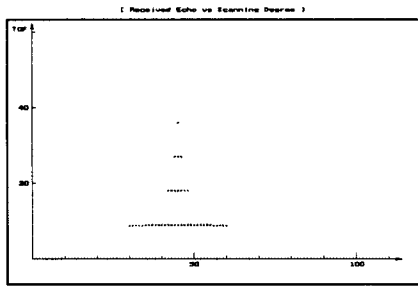
#### 3.1 Plane target 에서의 반사 패턴

Plane target 에 대하여 수행한 Scanning 에 있어서 SONAR 의 수직방향과 Plane 의 수직방향 사이의 각도 즉, Fig. 8 의 (a)에서의  $\theta$ 의 절대값이 감소할수록 다중반사의 횟수는 증가하고,  $\theta$ 의 절대값이 Acoustic cone 의 1/2 를 넘어서면 Echo 가 수신되지 않게 된다. 따라서 Fig. 9 의 그래프에서와 같이  $\theta$ 가 0°에 가까워질수록 Multi Echo 의 갯수는 증가하게 된다. 이 그래프에서 가로축은 msec 단위의 시간을 나타낸다.



[Fig. 9]  $\theta$ 의 변화에 따른 Multi Echo 개수의 변화

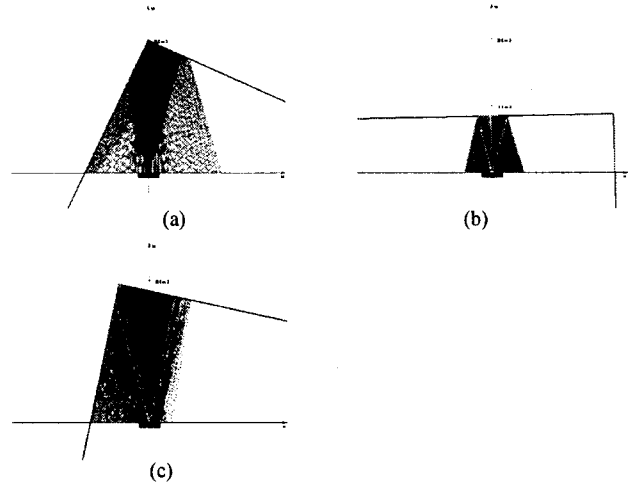
이와 같은 90° 범위의 Scanning 에 있어서의 각각의 Step 에 따라 변화하는 Multi Echo 의 개수와 그 TOF 의 변화를 하나의 그래프로 나타내면 Fig. 10 과 같은 형태의 Multi Echo 패턴이 나오게 된다. 이 그림에서 세로축은 수신된 Echo 의 TOF 를, 가로축은 1° 간격의 Scanning Step 을 1 에서 90 까지 나타낸다.



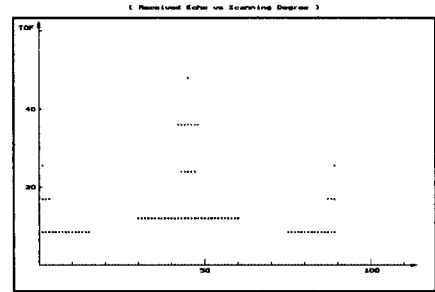
[Fig. 10] Multi Echo 와 Scanning Step 간의 관계

#### 3.2 Corner target 에서의 반사 패턴

Corner 의 경우는 그 목표물 자체의 구성이 수직을 이루는 2 개의 Plane 으로 이루어져 있고, Corner 의 중심 부근에서는 매우 복잡한 다중반사가 발생하기 때문에 Plane 의 특성과 Corner 만이 갖는 고유의 특성이 혼합되어 나타난다. Fig. 8 의 (b)에서의  $\theta$ 가 0°에 가까운 영역 즉, SONAR 의 수직 방향이 Corner 의 중심에 가까운 영역에서는 Corner 가 갖는 고유의 특성에 의한 패턴이 Fig. 11 의 (a)와 같이 나타난다. 그리고 SONAR 의 수직 방향이 Corner 를 구성하는 각각의 Plane 의 수직 방향에 가까운 영역에서는 (b)와 같은 Plane target 의 패턴이, 그리고 그 사이에서는 (c)와 같은 과도기적인 패턴이 나타난다. 이러한 Scanning 의 결과를 종합하면 Fig. 12 와 같은 패턴을 얻을 수 있다.



[Fig. 11] Corner target 에 대한 Scanning 의 특성

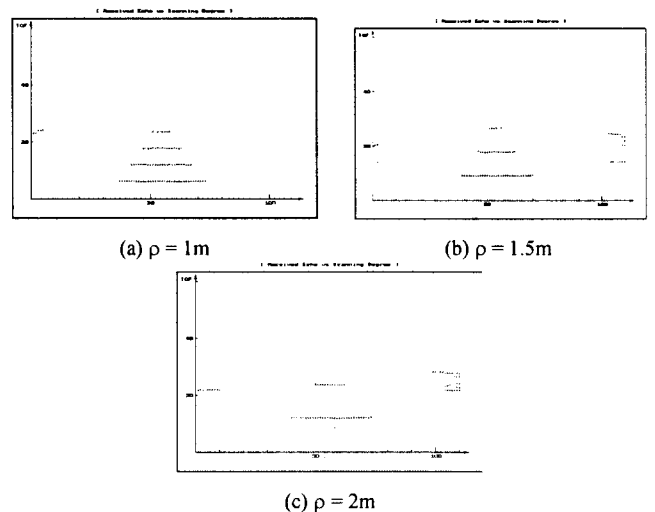


[Fig. 12] Corner target 에서의 Multi Echo 패턴

### 4. 실제의 SONAR 에 의한 반사 패턴

#### 4.1 Plane target 에서의 반사 패턴

Plane target 에 대해서는 Fig. 7 과 같은 형태로 Scanning 을 수행하였다. SONAR 의 중심과 목표물과의 거리를  $\rho$ 라 하여 각각의 거리에 따른 반사 패턴을 나타내면 Fig. 13 과 같다.

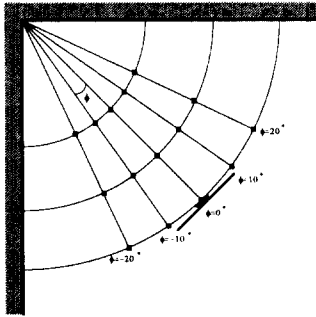


[Fig. 13] 거리  $\rho$ 의 변화에 따른 Plane 에서의 Echo 패턴

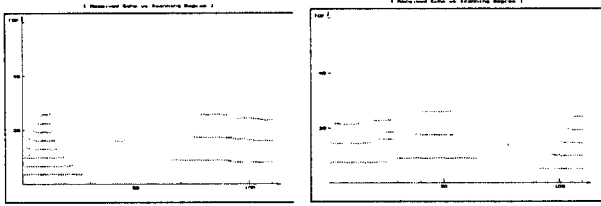
#### 4.2 Corner target 에서의 반사 패턴

Corner target 에서는 SONAR 의 중심이 Corner 를 구성하는 2 개의 Plane 중 어느 하나에 가까울 때와 그 중간 위치에 있을 때 각각 다른 패턴을 나타내므로 Fig. 14 와 같이 각각의 거리에서 5 개씩의 Scanning 위치를 선정하여 총 15 위치에서의 Scanning 을 수행하였다. 이와 같은 위치에서 수신된 Multi Echo 의 패턴중  $\rho$

= 1.5m 일때의 결과를 Fig. 15 에 나타내었다. 또한 Edge target 에 대한 Scanning 의 결과를 Fig. 16 에 나타내었다.



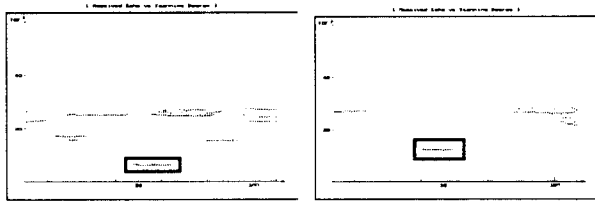
[Fig. 14] Corner target 에 대한 Scanning



(a)  $\phi = -20^\circ$

(b)  $\phi = 10^\circ$

[Fig. 15] Corner target 에서의 Multi Echo 의 패턴



(a)  $\rho = 1m$

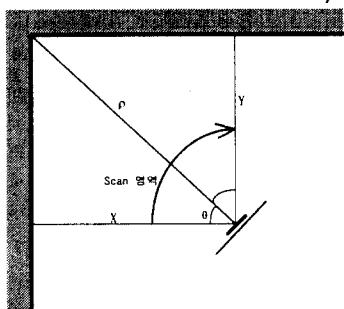
(b)  $\rho = 2m$

[Fig. 16] Edge 에 대한 Scanning 결과

이와 같이 수행한 실제의 Multi Echo 수신 결과는 다음과 같은 규칙성을 보이고 있다.

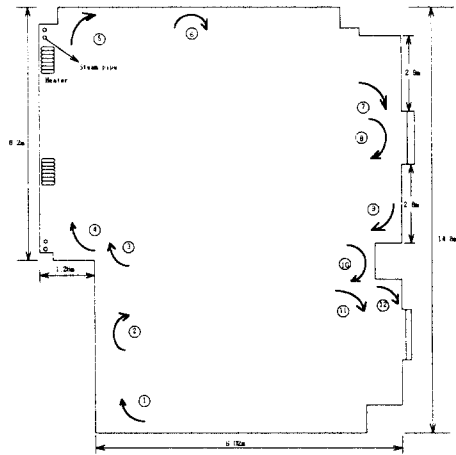
- (1) Plane, Corner 의 경우 목표물의 중심 부근을 Scanning 하는 Step 에서는 첫 번째 Echo 의 TOF 의 근사적인 배수가 되는 Multi Echo 가 발생한다.
- (2) Edge 의 경우 거리와 관계없이 Multi Echo 가 발생하지 않는다.
- (3) 같은 거리의 목표물의 경우 Plane 에서는 첫 번째 Echo 의 폭과 마지막 Echo 의 폭의 차이가 Corner 의 경우에 비해 크다.
- (4) Corner 의 경우 Corner 의 중심과 이를 구성하는 양 옆의 Plane 의 중심을 연결하는 선분은 직사각형을 이룬다. Fig.17 에서 Corner 의 중심까지의 거리  $\rho$ 와 양 옆의 Plane 까지의 거리 X, Y, 그리고  $\rho$ 가 X, Y 에 대하여 이루는 각도  $\theta$ 는 다음과 같은 식을 이룬다.

$$X^2 + Y^2 = \rho^2 \quad \theta = \cos^{-1} \frac{X}{\rho}$$



[Fig. 17] Corner target 을 구성하는 2 개의 Plane 의 Geometry

이러한 특성에 의하여 구성된 알고리즘을 이용하여 실제의 실내 공간에서 12 개의 목표물에 대하여 수행한 인식 실험에서 평균 3.23°의 각도오차, 0.413m의 거리 오차를 나타내었고 3 번의 인식이 실패하였다. 이 실험의 대상이 된 12 개의 목표물은 이상적인 환경과 달리 전선과 스틱 파이프 등과 섞여 오차의 요인을 지니고 있는 것으로 Fig.18 과 같다.



[Fig.18] 실내공간의 실험대상

## 5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 기존의 SONAR 응용분야에서 노이즈라 간주하여 배제하였던 초음파의 다중 반사 현상을 분석, 이를 능동적으로 이용하여 목표물의 종류 및 위치를 인식하는데 적용하였다. 다중 반사의 이용은 반사판 이외의 요인에 의한 다중반사를 제거하는 효과를 가지고 있기 때문에 이러한 종류의 노이즈에 대하여 강한 특성을 보였다. 연구의 핵심이라 할 수 있는 다중 반사에 의한 Multi Echo 의 패턴 분석에 있어서는 각각의 목표물에 대한 기하학적 분석을 통하여 특징적인 패턴을 추출해낼 수 있었다. 이러한 Multi Echo 의 패턴에 기초하는, 목표물 인식을 위한 알고리즘은 Echo 의 경향과 기하학적 근거에 의하여 구성하였다.

향후 연구 과제로는 목표물 인식 분야에서 일반적으로 고려하는 Plane, Corner, Edge 라는 단순한 형상을 갖는 물체 이외에 이러한 형태들이 복잡하게 조합되어 구성하는 목표물에 대한 인식의 필요성을 언급할 수 있다. 실제로 SONAR 를 이용하여 이동로봇이 실내를 주행할 경우 복잡한 형상의 물체와 마주치는 일이 많이 일어날 것을 예상할 때 이러한 연구가 추가적으로 이루어질 때 보다 효과적인 인식을 수행할 수 있게 된다.

## 6. 참고 문헌

- [1] Roman Kuc. and M.W.Siegel, "Physically based simulation model for acoustic sensor robot navigation" in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, VOL.PAMI-9, No.6, November, 1987, pp.766-777.
- [2] L.Kleeman and Roman Kuc. "An optimal SONAR array for target localization and classification" in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1994, May, San Diego USA.
- [3] H.Pere mans and Van Campenhout, "A high resolution sensor based on tri-aural perception" in *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, VOL.9, No.1, 1993, pp.36-48.
- [4] J.Leonard and Durrant-Whyte. "Directed SONAR sensing for mobile robot navigation". Kluwer Academic publishers, 1992.
- [5] D. Y. Ryu. "Target Classification in Indoor Environments using Multiple Reflections of Ultrasound". MS thesis, KAIST, 1997