

초음파의 멀티 에코 기능을 이용한 주차 공간의 코너 감지법

김 병 성^{*1)} · 박 완 주¹⁾ · 서 동 은¹⁾ · 이 쾌 희¹⁾ · 김 동 석²⁾

서강대학교 전자공학과¹⁾ · (주) 만도 중앙연구소²⁾

Comer Detection of Parking Lot Using Multiple Echo Ultrasonic

Byung-Sung Kim^{*1)} · Wan-Joo Park¹⁾ · Dong-Eun Seo¹⁾ · Kwae-Hi Lee¹⁾ · Dong-Suk Kim²⁾

¹⁾Department of Electronic Engineering, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

²⁾Mando Central R&D Center, 413-5 Gomae-dong, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi 449-901, Korea

(Received 18 May 2007 / Accepted 31 October 2007)

Abstract : In this paper, ultrasonic range system which detects parking lot in parking area is studied. The important part for detecting parking lot accurately is to detect the first and second corners of possible parking lot, and for that, new method using multiple echo function is introduced in this paper. Many probabilistic methods have been used to reduce uncertainties of ultrasonic sensor for distance and location of objects. Method using multiple echo, however, gives accurates results as well as simple algorithm. For experiments in parking space, ultrasonic range system was attached to a Pioneer AT-2 and final parking space map was created in a fusion with position information from wheels of a Pioneer AT-2. We will show the results are compared with error of another methods.

Key words : Multiple echo(다중 에코), Ultrasonic(초음파), Parking lot(주차 공간), Corner detection(코너 감지), Map generation(지도 제작)

Nomenclature

f_R : center frequency of ultrasonic
 R : measured distance using ultrasonic
 t_0 : detecting time of reflected echo
 c : sonic pulse velocity
 θ_0 : half angle of directivity [deg.]
 a : diameter of transducer
 λ : sonic pulse wavelength

R_{1st} : radial distance of 1st echo

R_{2nd} : radial distance of 2nd echo

1. 서론

운전자에게 차량의 주행 기술 중 가장 어려운 상황은 주차 상황이다. 그리고 차량의 안전·편의 등의 전자 기술이 개발되는 추세에 따라 세계 여러 연구소와 자동차 관련 회사에서 자동 주차 장치에 대한 기술 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문은 이러한 자동 주차 기술 중에서 초음파를 이용한 주차 공간 인식에 대해서 다루고 있다.

초음파를 이용한 환경 지도 제작에 대한 연구는 다양한 방법으로 이루어지고 있다. 가장 기본적으로 주변 환경 구성 요소들의 표면이 거칠다는 가정

Subscripts

T_{res} : time resolution
 R_{res} : radial distance resolution

*Corresponding author, E-mail: happykbs@sogang.ac.kr

아래 초음파의 측정 거리 방향이 센서의 수직 방향으로 정하는 방법¹⁻³⁾이 있고, 초음파와 반사 표면에 대한 물리적 모델링을 통한 코너(Corner), 평면(Plane), 에지(Edge)를 구별하여 환경 지도를 제작하는 방법³⁾이 있다. 그리고 실제 주차 환경에 적용하기 위해 연구로는 다수개의 넓은 빔 폭을 가지는 초음파를 이용하여 자동차 주차에 사용하는 방법^{6,7)}과 차량의 곡면을 모델링하여 적용하는 방법(토요타: Toyota)⁹⁾이 있고, 초음파의 빔폭 형태를 타원으로 발생시키는 센서를 개발한 방법(헬라:Hella)⁸⁾이 있다.

기존의 이러한 방법은 모두 초음파를 한번 발사하여 가장 가까운 거리 정보만을 이용하여 환경 지도를 제작하였다.

본 논문에서는 한 번의 초음파 발사 신호를 순차적으로 받아들이는 멀티에코(Multiple Echo) 정보를 통하여 주차공간이 시작되는 코너와 끝나는 코너는 지점을 보다 정확하게 감지하는 방법을 소개하고, 주차 환경에 적합하게 적용시키는 방법에 대한 연구를 나타내고 있다.

이러한 연구 내용에 대해서 설명하기 위해 2장에서는 초음파의 멀티 에코 기능에 대해서 설명하고, 3장에서는 이러한 초음파의 멀티 에코 기능을 이용하여 주차 공간 인식 방법에 대해서 설명한다. 그리고 4장에서는 실제 주차 환경에 적용하기 위한 방법들을 나타낼 것이다. 5장에서 실험결과를 나타낼 것이다.

2. 멀티 에코 방식을 이용한 초음파

기존 초음파 센서에 대한 소개를 통해 주차 공간 인식의 문제점을 인지하고, 이를 해결하기 위해 본 연구에서 제시하고자 하는 초음파의 멀티 에코 기능에 대해서 설명한다.

2.1 기존의 초음파

초음파 센서는 f_R 를 중심 주파수로 가지는 음파를 이용하여 도달시간(TOF: Time Of Flight)를 측정하여 거리를 알아내는 센서로서, 본 연구에서 사용한 폴라로이드(Polaroid) 초음파 센서⁵⁾의 구동 방식은 Fig. 1과 같이 발사 시킨 음파가 물체에 반사되어 감지된 신호를 확산 손실(Spreading loss)과 공기 중

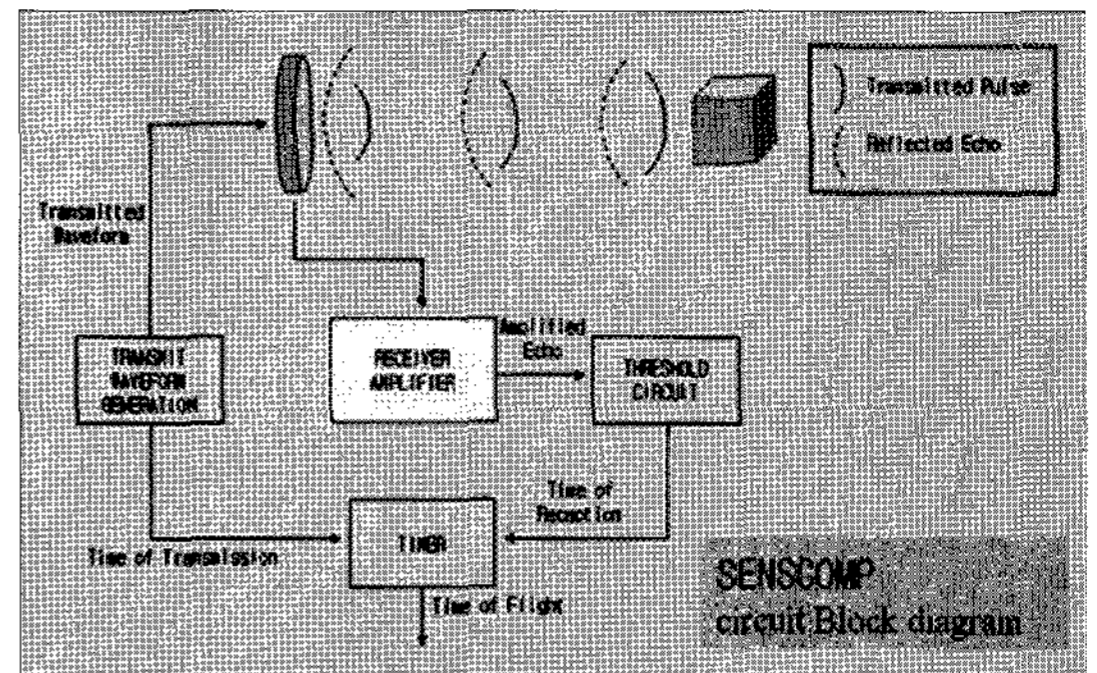


Fig. 1 센스컴(SENSCOMP)의 폴라로이드(Polaroid) 초음파 센서의 구동 방식

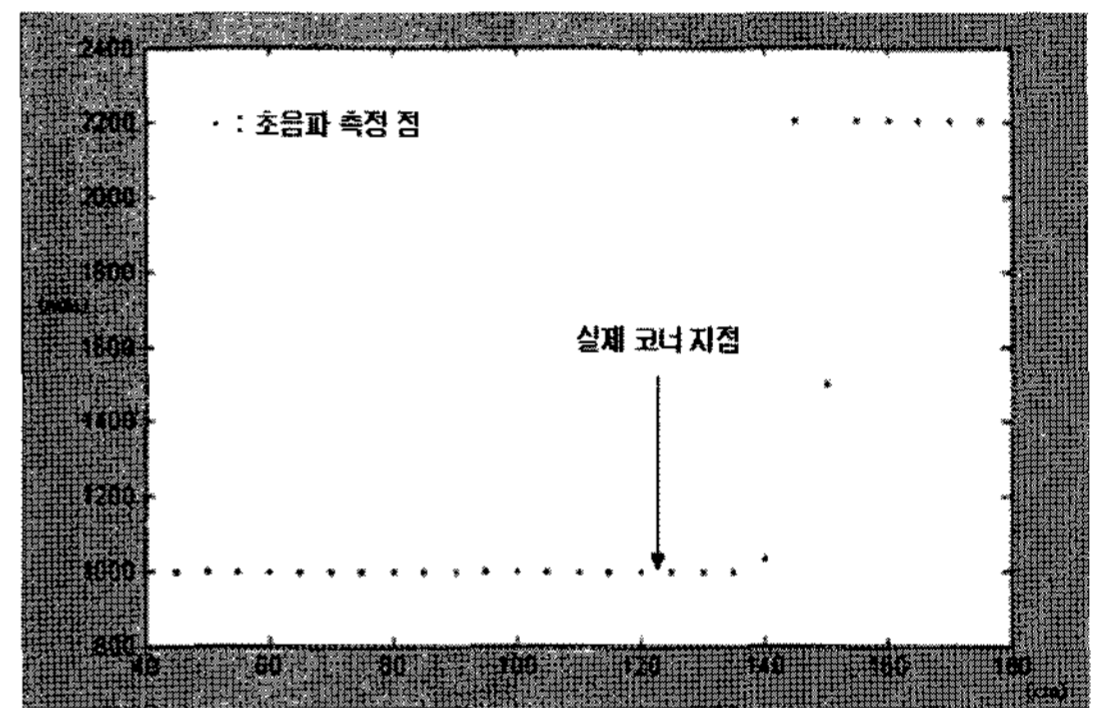


Fig. 2 코너 지점에 대한 초음파의 측정 (빨간 선: 실제 코너 지점, 파란 점: 초음파 측정 점)

의 음파의 감쇄를 보상하기 위해 도달시간(TOF)에 따라 보상을 해준다.⁵⁾ 그리고 이렇게 보상된 신호에 대해서 임계 값 이상의 신호 감지 시간(t_0)에 대해 도달시간을 계산하여 거리 값(R)을 계산하게 된다.

$$R = \frac{ct_0}{2} \quad (1)$$

where c : 343 m/s at 20°C

초음파 센서의 지도 제작 시, 가장 큰 문제점은 방향각의 불확실성으로 인한 초음파의 빔 폭 ($\pm \theta_0$) 만큼의 오차이다. $2\theta_0$ 만큼의 방향 오차 가능성으로 인해 코너 지점과 같은 상황에서 코너를 지나고서도 코너의 앞 물체가 더 넓게 측정 되는데, 이를 실험 결과인 Fig. 2를 통해서 확인 할 수 있다.

빔 폭의 크기는 초음파의 중심 주파수 f_R 과 트랜 듀셔의 지름 (a)에 의해서 식 (2)와 같이 결정된다.⁶⁾

$$\theta_0 = \sin^{-1}\left(\frac{0.61\lambda}{a}\right) \quad (2)$$

실험에 사용한 폴라로이드(Polaroid) 600 시리즈 스마트 센서는 f_R 이 50kHz이고, a 는 3.87cm 이므로 θ_0 는 12.4779° 이다. 실제 3개의 동일한 센서에 대한 실험 결과 조금씩 오차 값을 나타내었지만 $11.8 \sim 12.4^\circ$ 로 나타났다.

초음파를 이용한 주차 공간 파악 시, 이러한 초음파의 특성으로 인해 실제 주차 공간보다 좁게 측정된다. 이러한 초음파의 빔 폭으로 인한 방향각의 불확실성으로 인한 문제점을 해결하기 위해 초음파의 중심 주파수 f_R 를 40~120kHz의 범위에서 증가시키는 방법과 트랜듀서의 지름 a 를 줄여서 빔 폭을 줄이는 방법을 생각할 수 있으나, 초음파의 특성상 빔 폭을 줄이게 되면 표면 거칠기에 따른 거울반사(Specular Reflection)가 일어나는 입사각이 줄어들어 다중경로(Multi-path)의 거리 값으로 인해 실제 거리보다 길게 측정되거나 측정 되지 않을 수 있는 문제점⁶⁾과 좁은 빔폭으로 인해 초음파 센서의 장착 위치에 따라서 높이 튀어나와 있는 물체 또는 낮은 턱과 같은 곳을 감지 못할 수 있는 위험성을 가진다.

2.2 멀티 에코 기능

앞에서 설명한 기존의 초음파 센서의 문제점을 해결하기 위해 제시한 초음파의 멀티 에코 신호 획득 방식은 음파를 한번 발사한 후, 여러 개의 반사되어 오는 에코 정보를 받는 방법이다.

Fig. 3에서 기존의 단일 에코 모드(Single Echo mode)와 다중 에코 모드(Multiple Echo mode)를 비교하여 보면, 단일 에코 모드는 송신부(Tx)에서 음파를 발사 하면 수신부(Rx)에서 제일 먼저 들어오는 에코 신호를 감지한 다음에 음파를 송신부에서 발

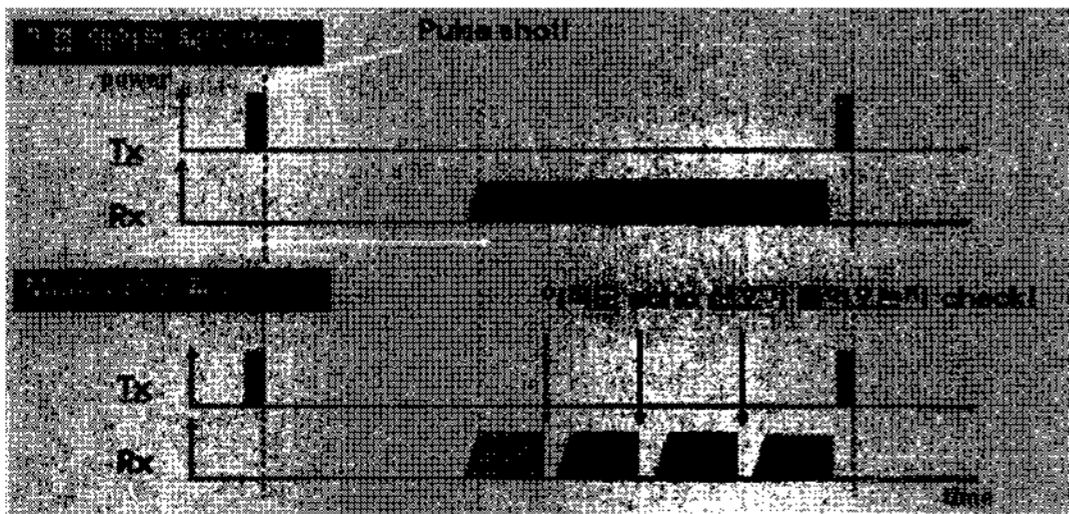


Fig. 3 기존 초음파 센서의 Echo 신호에 대한 TOF 측정 방식(Single Echo mode)과 멀티 에코 신호 획득 방식(Multiple Echo mode)

사하기 전까지 다른 에코 신호를 수신하지 않는다. 하지만 다중 에코 모드는 송신부에서 음파를 발사한 후, 첫 번째 에코 신호가 들어오고 나서 T_{res} 마다 에코 신호가 들어오는지 확인하는 방식이다.

이러한 방식을 통하여 기존의 빔 폭 안의 가장 가까운 물체의 거리 정보만을 획득하는 방식이 아니라 빔 폭 안의 여러 거리 정보를 첫 번째 에코 신호 감지 후, T_{res} 이상 시간 후 들어오는 에코 신호마다 감지하게 된다. 이러한 감지 방식은 빔 폭 안의 물체에 대해서 반지름 거리(Radial distance) 값이 식 (3)에 따라서 R_{res} 간격으로 감지하는 것이다.

$$R_{res} = \frac{cT_{res}}{2} \quad (3)$$

3. 초음파의 멀티 에코 방식을 이용한 코너, 평면 구별 방법

이번 장은 앞에서 설명한 초음파의 멀티 에코 기능을 이용하여 주차 공간에서 가장 많은 코너와 평면을 구별법을 제시하고, 환경 지도 제작 방법에 대해서 나타내고 있다.

3.1 코너와 평면의 차이점

멀티 에코 방식을 통하여 초음파의 거리 값 측정 시, 코너와 평면에서 다른 형태의 멀티 에코 값을 가진다. Fig. 4를 보면 평면의 경우, 첫 번째 에코 값에 의한 측정 거리 R_{1st} 와 두 번째 에코 값에 의한 측정 거리 R_{2nd} 의 차이가 R_{res} 으로 나타나게 된다. 그러나 코너의 경우, R_{1st} 와 R_{2nd} 의 거리 차는 코너의 깊이 거리 값으로 나타난다. 여기서 R_{1st} 와 R_{2nd} 의 거리 차이가 R_{res} 보다 크다는 가정 아래서 코너와 평면의 구

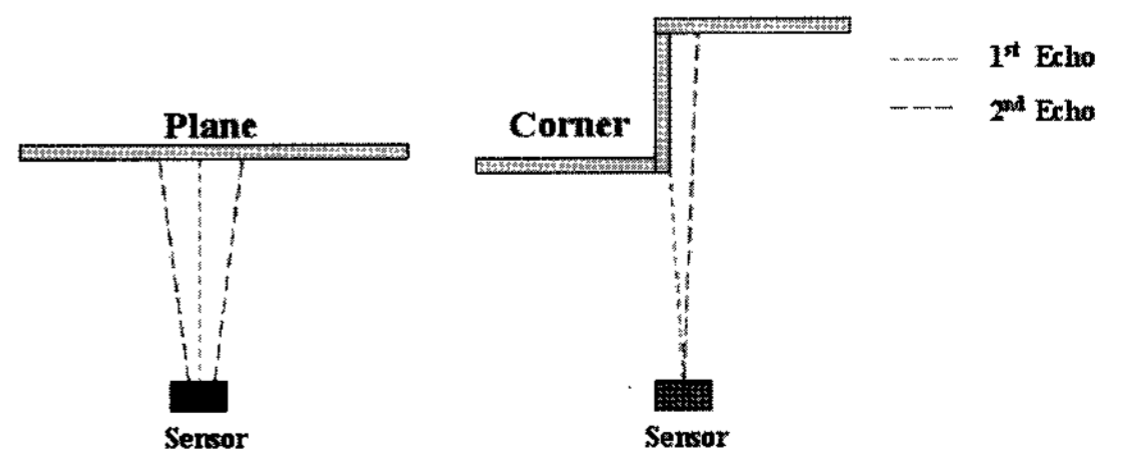


Fig. 4 평면(Plane)과 코너(Corner)에 대한 멀티 에코 방식의 데이터 획득

분이 가능해진다. 실제로 R_{res} 의 최소 설정 가능 거리는 약 10cm로서 자동차 주차 상황과 같은 곳에서 평면과 코너의 차이가 확연히 나타나게 되어 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{2^{nd}} - R_{1^{st}} > R_{res} : 2^{nd} \text{ Echo data (코너)} \quad (4)$$

$$R_{2^{nd}} - R_{1^{st}} \leq R_{res} : 1^{st} \text{ Echo data (평면)}$$

즉, 첫 번째 에코 신호의 감지 거리 $R_{1^{st}}$ 과 두 번째 에코 신호의 감지 거리 $R_{2^{nd}}$ 의 차가 R_{res} 보다 작으면 평면으로 인식하고, 크면 코너로 인식하게 된다.

3.2 주차 공간 감지 방법

실제 주차 공간 감지 과정에서는 주차 환경에서의 복잡한 구조로 인해 환경에 대한 예측이 힘들기 때문에 초음파의 측정 거리 값의 방향각이 항상 센서가 바라보는 수직 방향으로 가정한다.

이러한 가정 아래, 첫 번째와 두 번째 에코 신호를 코너 지형에 대해서 지도에 그려보면 Fig. 5와 같이 나타난다. Fig. 5에서 코너의 가까운 지형이 첫 번째 에코에서는 오차 값이 14.9cm 측정 되었으나 두 개의 멀티 에코를 사용하여 식 (4)에 적용하면 3.9cm의 오차를 확인 할 수 있었다. 이렇게 찾아낸 코너 지점까지 첫 번째 에코를 사용하여 지도를 구성하고, 코너 지점을 넘어선 첫 번째 에코는 불확실한 방향성으로 인해 생긴 오차 정보로 구별하여 환경 지도를 제작한다.

4. 실제 주차장 환경 적용

실제 주차장 환경에서는 대부분 차량이 환경을 구성하기 때문에 앞의 실내 실험 환경에 비해 다양한 구조를 가진다. 그래서 초음파의 멀티 에코를 이용하여 주차 공간 인식을 하는데 있어서 크게 두 가지 문제점이 나타난다. 첫 번째는 차량은 흡과 같은 오목하고 길게 패인 줄로 인해 음파가 흡으로 들어가 짧은 다중 경로가 생성되면서 지연되는 현상이 나타난다. 이러한 지연 현상으로 인해 차량의 평면 인데도 불구하고 $R_{1^{st}}$ 와 $R_{2^{nd}}$ 의 차 거리가 R_{res} (10cm)보다 길게 나타나는 경우가 나타나서 코너로 오인식 된다. 이러한 현상을 없애기 위해서 차량의 코너

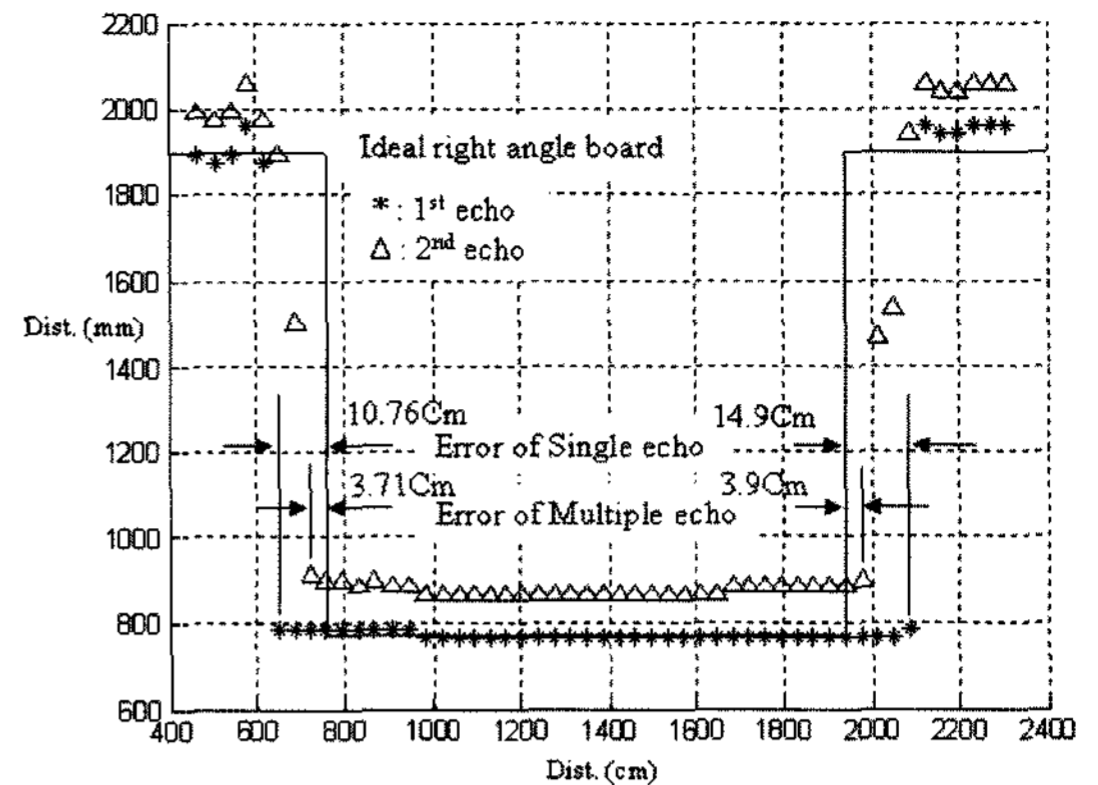


Fig. 5 코너에 대한 멀티에코를 이용한 측정

(단축: 약 180cm, 장축: 약 450cm)는 충분히 감지하고 흡에 의한 지연 현상은 감지 못하는 멀티 에코의 R_{res} 간격을 실험적으로 70cm로 설정하였다.

두 번째는 차량의 코너 부근이 곡면을 나타내어 일어나는 현상이다. Fig. 6(a),(b)를 보면 (a)는 코너의 곡면률이 낮고, (b)는 곡면률이 높게 되어 있다.

실제 차량의 코너 부근을 살펴보면, 차 종류에 따라 곡면률의 정도는 다르지만 Fig. 6(b)의 코너 형태를 가지고 있다. 코너가 곡면률이 높게 되면 Fig. 6(b)의 그림과 같이 두 번째 에코 신호가 첫 번째 에코 신호와의 간격이 코너에서도 평면과 같이 R_{res} 보다 작게 들어오게 된다.

이렇게 곡면률이 높은 코너와 평면을 구별하기 위해서는 Fig. 6(b)와 같이 곡면률이 높은 코너는 두 번째 에코의 반사파 에너지가 평면 상황에 비해서 낮게 들어온다. 이를 이용하여 초음파의 수신부 처리 중 증폭 단에서 증폭 이득을 낮추어 에코 신호를 검출하면 곡면률이 높은 코너일지라도 평면과 구별되는 멀티에코 신호를 검출할 수 있다.

5. 실험 환경과 결과

5.1 실험 시스템

실험에서는 주행 로봇인 파이오니아(Pioneer AT-2)를 사용하였고, Fig. 7과 같이 파이오니아에 차량 범퍼 높이에 초음파 센서를 장착 하였다. AVR 프로세서를 장착 하여 초음파 데이터와 파이오니아의 위치 값을 동기화 시켜서 노트북으로 저장하는 구성을 갖추었다.

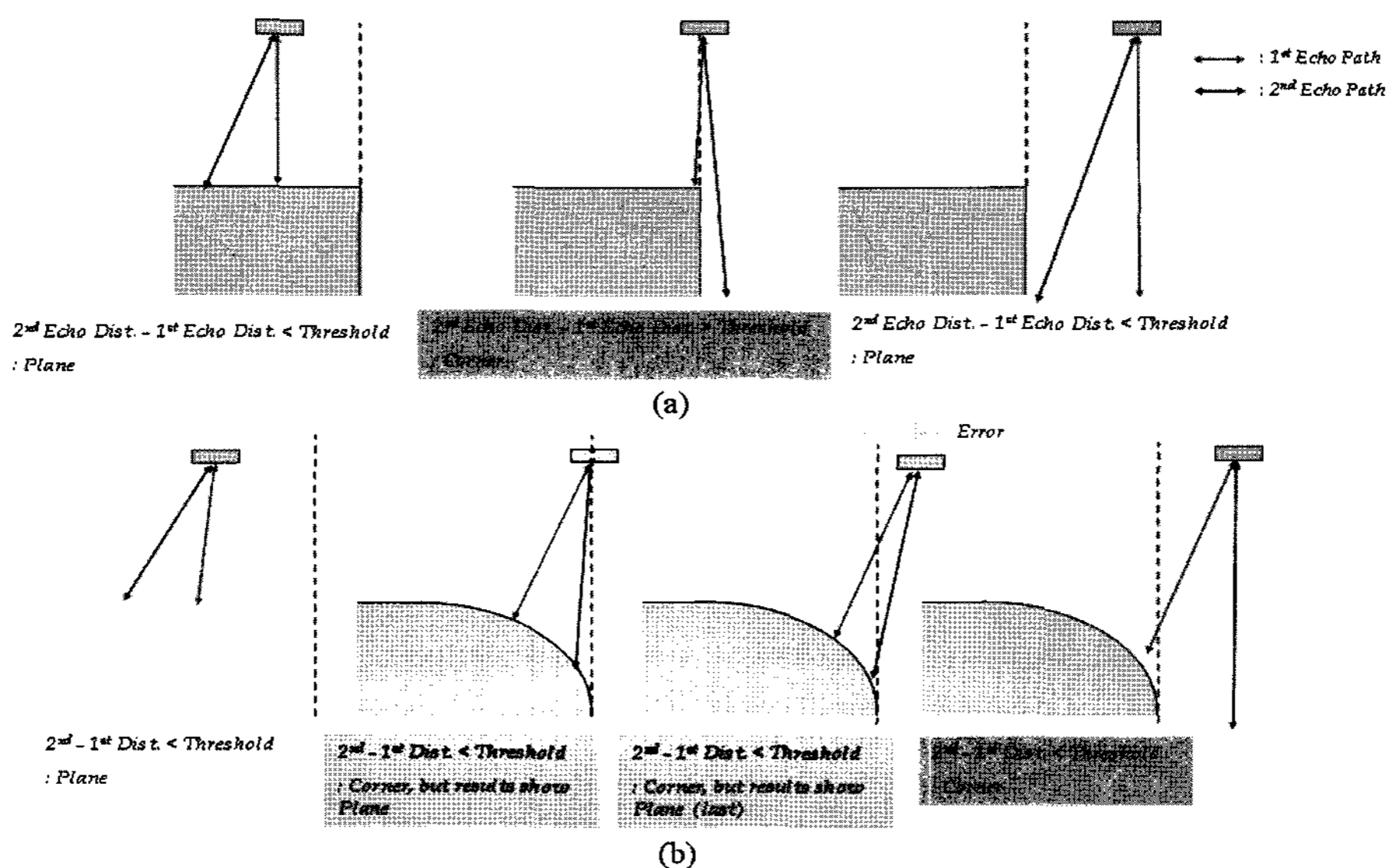


Fig. 6 (a) 곡면률이 높은 코너와 낮은 코너에 대한 에코 신호. (b) 평면의 반사파와 곡면률이 낮은 코너의 반사파

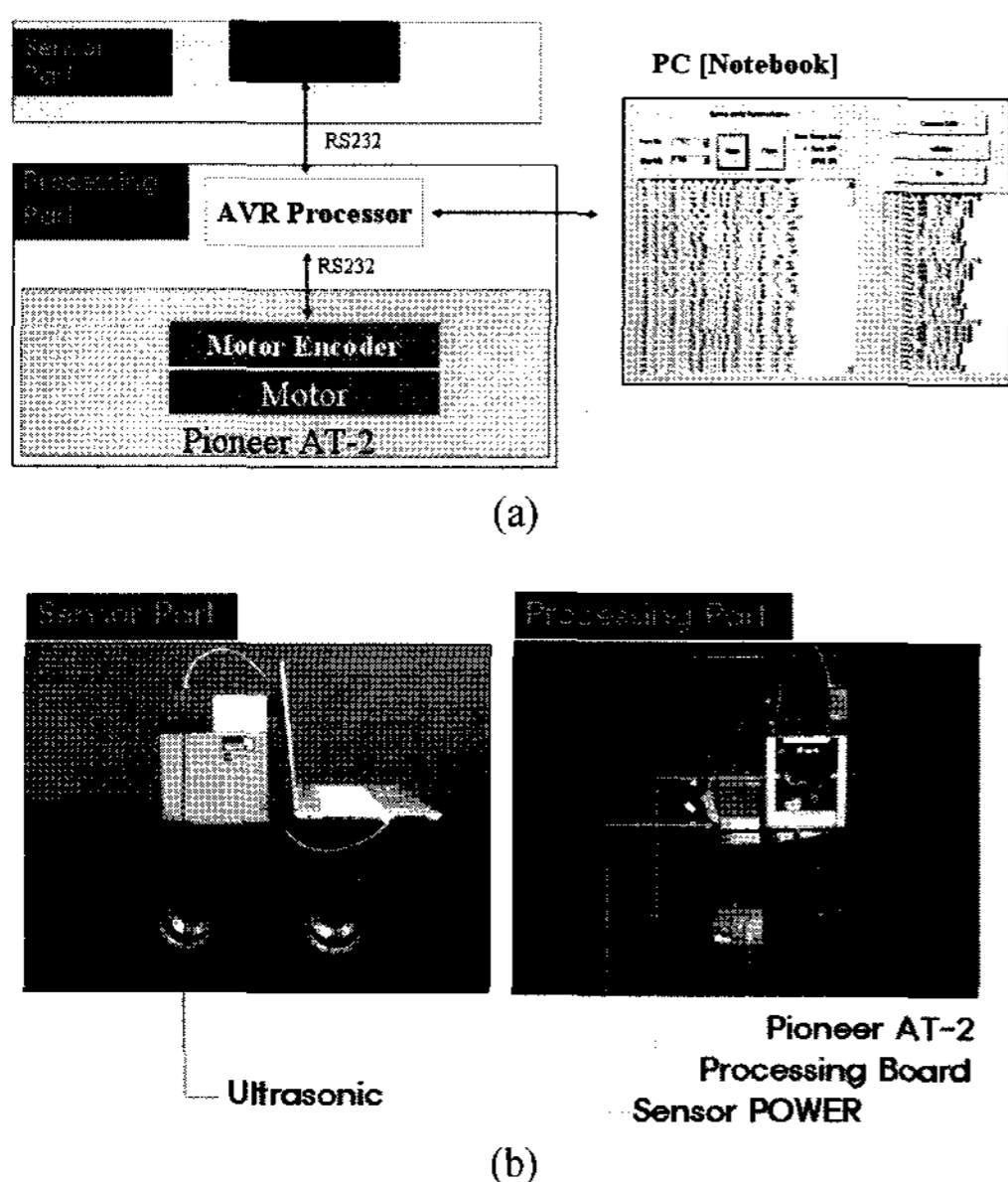


Fig. 7 측정 시스템 (a) 실사 사진과 (b) 시스템 내부 구성

파이오니아의 주행 속도는 10km/h로 고정하였고 초음파의 데이터 샘플링 주기는 69ms로 14.5Hz로 설정하여 실험 하였다.

5.2 실내/실외 실험

실험 환경은 나무 판으로 이루어진 실내 실험과 실외 주차장에서 평행 주차 상황으로 설정하였고,

실내 실험은 나무판으로 주차 공간과 같은 공간을 만들어 직선 주행과 대각 주행에 대해서 실험하였다.

실외 실험은 주차장에 주차되어 있는 11대 차종에 대해서 멀티 에코 R_{res} 70cm에 대해서 실시하였고, 곡면률이 높은 코너에 대한 문제점 해결로서 증폭단의 이득을 낮추어서 추가적으로 4대 차종에 대해서 실험을 하였다. Fig. 9는 실내의 나무판으로 이루어진 주차 공간에 대한 실험 결과로서, 주차 공간에 대한 초음파를 통한 지도 제작 경로가 기울어질 수 있기 때문에 대각 주행에 대한 실험을 실시하였다.

실외 주차장에서 실험 대상으로 한 차량은 아반떼 XD, BMW 330i, 카스타, 쏘나타, 세피아, 스포티지, 오피러스, 코란도, SM3, 그랜저 XG, EF 소나타이다. 이에 대한 결과로서 Fig. 10에 나타내었다. 성능 향상을 비교하기 위하여 기존의 단일 에코 오차값과 같이 나타내었다.

Table 1에서는 증폭 이득을 조절하여 기존의 멀티 에코를 이용하여 코너 인식 오차를 개선하려는 실험 결과를 나타내고 있다. 이러한 모든 실험 결과의 성능 평가는 180°범위에 대해서 최대 80M까지 측정이 가능하고, 10M 내에서는 오차값 1cm 이내를 가지는 레이저(SICK사의 LMS-291)를 사용하였다 (Fig. 8).

Table 1 증폭 이득 조절을 통한 오차 개선 (단위 : cm)

	게인 조정 전		게인 조정 후	
	전면	후면	전면	후면
그랜저XG	+25.7	+35.7	+19.9	+16.6
아반테	+21.0	-13.0	+20.3	0.0
	+16.4	-8.0	+16.9	-10.0
카렌스	+21.3	0.0	-10.0	0.0
	+26.8	+16.3	+23.5	0.0
라비타	+24.7	+18.1	+23.5	+11.6
	+30.9	+13.7	+23.5	+11.6
라비타	+24.3	-3.9	-6.8	-2.7
	-6.3	+3.4	-8.5	0.0
	+22.8	0.0	-5.0	0.0

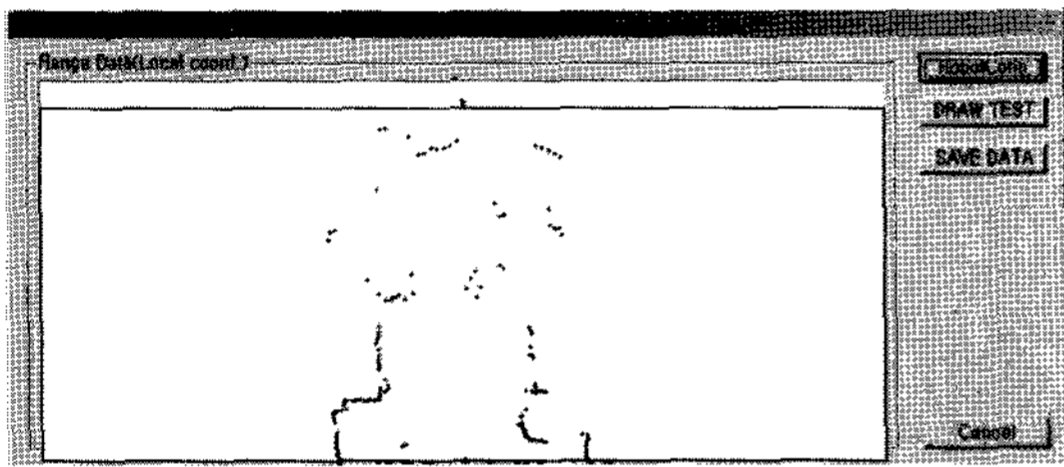


Fig. 8 결과 값에 대한 성능 평가를 위해 레이저 센서를 이용하여 기준 주차 공간을 나타내는 프로그램

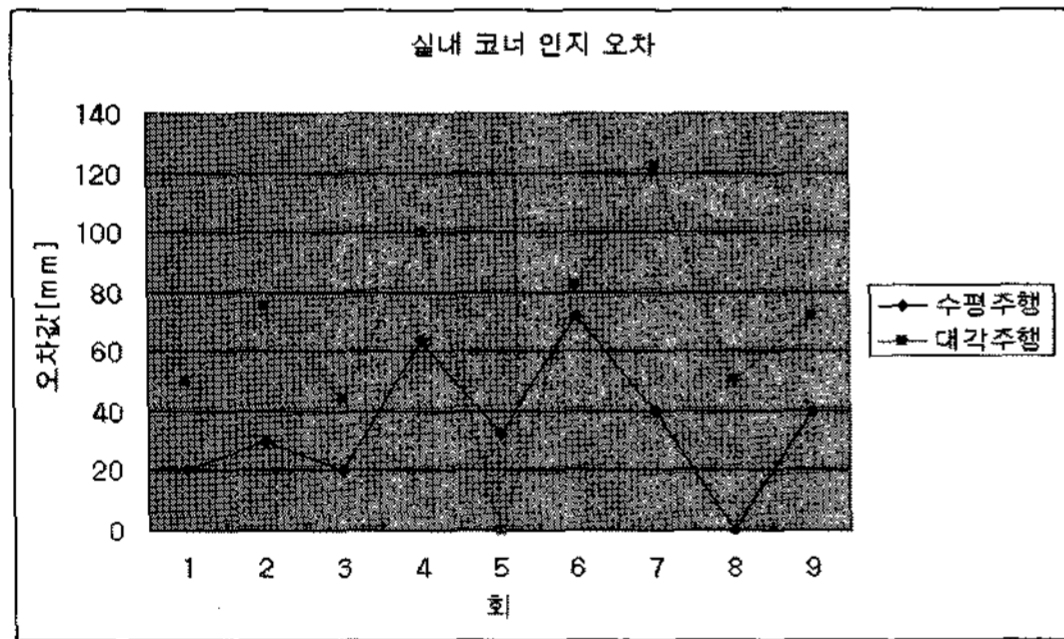


Fig. 9 실내 실험에 대한 수평 주행과 대각 주행에 대한 코너 인지 오차(오차 값이 +일때, 실제 코너보다 넓게 측정)

5.3 검토 및 분석

초음파를 이용하여 실제 주차 상황에서의 주차 공간을 정확하게 파악하기 위해 멀티 에코 기능을 이용하였다. 실내의 실험을 통해서 멀티 에코 기능의 이론적 검증을 하고자 하였고, 실험 결과에서도 평행 주행 시는 0~+7cm의 오차를 확인하여 멀티 에코 기능을 통해 코너 감지에 유용함을 알 수 있었다. 다음으로 실제 주차장 환경에서 초음파의 멀티에

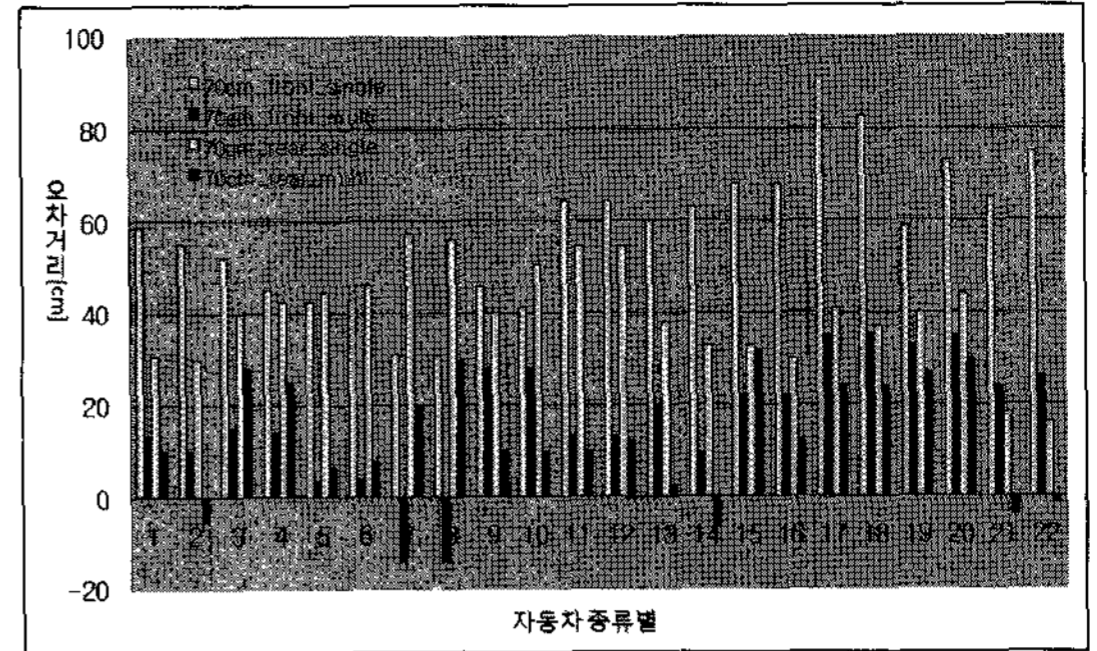


Fig. 10 차종 별 11대에 차량에 대한 초음파의 단일 에코와 멀티에코를 이용하여 코너 인식 오차 값 비교 (어두운 색: 멀티 에코오차 값, 밝은 색: 단일 에코 오차 값)

코를 이용하여 코너 인식 오차를 실험해 본 결과 기존의 단일 에코 측정 방법⁵⁾은 평균 오차 값이 49.01cm이고 표준편차가 16.34인데 비해, 멀티 에코 측정 방법은 평균 오차 값이 15.42cm 이고 표준편차는 13.13으로 실제 주차장 환경에서도 성능 개선이 전반적으로 이루어졌다. 그러나 최대 오차 값이 35cm까지 나타나 안정적인 주차를 위해서는 최대 오차 값을 줄일 필요성이 있다. 오차 값이 20cm가 넘어서는 차량의 코너 부분을 살펴 본 결과, 곡면률이 높은 형태를 가지고 있었다. 그리하여 앞에서 제시한 에코 신호의 증폭 이득을 줄이는 방법으로 실험을 실시한 결과 그랜저 XG의 경우, 차량 후면 코너 부분이 증폭 이득을 줄이기 전에는 +35.7cm였으나 줄인 후에는 +16.6cm로 오차 값이 줄어들었음을 확인 할 수 있었다. 다른 차종 4대에 대해서 실험한 결과 증폭 이득을 줄인 후, 곡면에 가까운 코너에 대해서는 오차 개선이 많이 이루어 졌음을 확인 할 수 있었다.

이러한 멀티에코를 통한 주차 공간 인식에 대해 다른 기술과 비교해보면, 차량 곡면 모델링을 이용하여 초음파 데이터를 맞추는 방법(토요타: Toyota)⁹⁾의 연구 결과에 따르면 5종류의 차량에 대해서 오차 값이 +32cm~ -30cm까지 나타내고 있다(Fig. 11). 그리고 실제로 이미 제품화가 이루어진 헬라(Hella)의 제품⁸⁾의 경우, 평행 주차를 겨냥한 기술로서 3.5m의 짧은 측정 거리를 가지면서 높이 축의 빔폭은 ±32°로 넓게 하고, 코너를 감지하는 넓이 축의 빔폭은 약 ±8°로서 다중 경로의 문제를 해결하면서 오차 값을

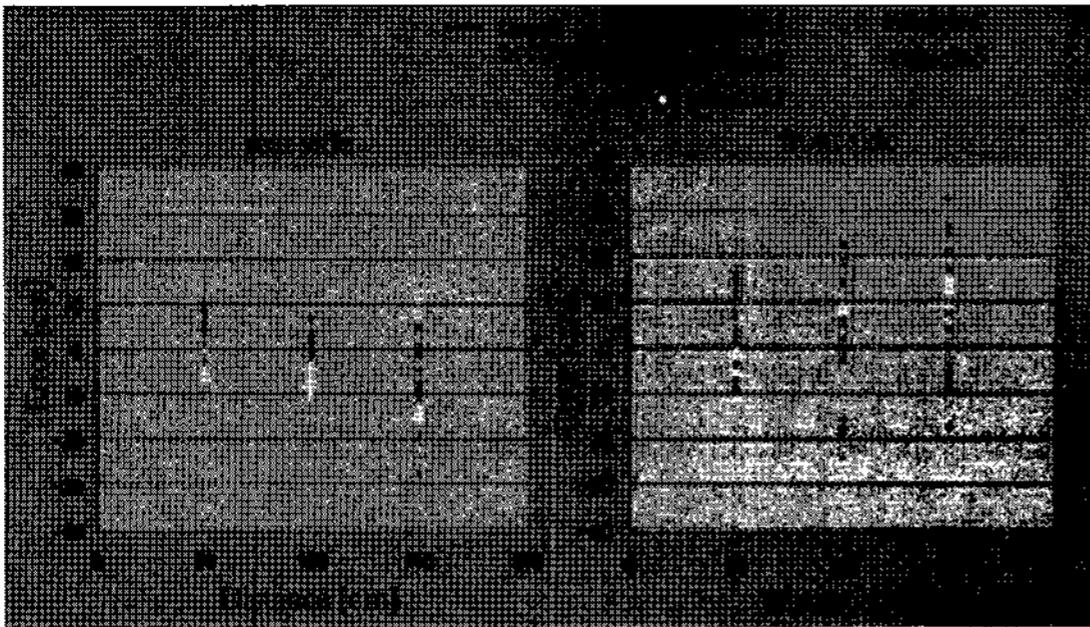


Fig. 11 토요타 사의 곡면 맞춤(surface fitting)을 이용한 코너 감지 결과

Table 2 주차 공간 측정 방식 별 성능 비교

방식	최대오차 (cm)	주차 지원	실험속도 (km/h)
다중 에코 방식	-6.8~23.5	평행/후면 주차	0~10
곡면 맞춤 방식 (토요타)	-30.0~+32.0	평행 주차	0~20
장축/ 단축빔폭 조절 방식(헬라)	-10.0~+30.0	평행 주차	0~30

줄이는 방법을 택하고 있다. 이러한 결과 본 논문에서 나타내는 방법과 토요타, 헬라가 나타내는 코너 감지의 최대 오차 값을 Table 2에서 나타내고 있다.

6. 결론

본 논문에서는 차량 측방에 장착한 초음파 센서를 이용하여 평행/후면 주차 가능 공간을 감지하는 방법에 대해서 제안하였고, 실제 주차 환경 하에서 실험을 통하여 결과를 검증하였다. 실험 결과의 검증에 있어서는 오차 값이 $\pm 1\text{cm}$ 이하를 가지는 레이저를 기준 성능 평가로 사용하였다.

- 1) 게인 조절을 통한 다중 에코 방식을 이용하여 최대오차를 타 방식과 비교한 결과, 약 5~10cm 향상된 결과를 나타내고 있다.
- 2) 타 방식의 실험 가능 주행 속도가 본 논문에서 제안한 방식에 비해 2배 이상 빠른 상황에서 측정되고 있다. 그러나 이는 다른 두 방식의 경우, 평행 주차만을 위한 방식으로서 최대 측정 거리 값이 4M 이다. 본 논문에서 제안한 방식도 최대 측정 거리 값을 8M에서 4M로 줄이면 속도를 2배 정도 높일 수 있다.

- 3) 주차 공간 탐색 시, 대각선 주행을 통해 데이터를 획득하면 Fig. 9를 통해 알 수 있듯이 약 1.5배의 최대 오차 값의 증가가 있다.
- 4) 현재 R_{res} 를 70cm로 두고 실험한 결과를 보였다. R_{res} 를 100cm, 150cm로 변경하여 실험한 결과, 종전의 결과에 비해 오차 값이 줄어들음을 확인하였다. 이에 대한 다양한 차종에 대해 추가 실험이 필요하다.

유럽의 경우, 도시의 특성 상 평행 주차에 대한 지원 기능이 중요하다. 현재 평행 주차 공간 감지에 제품 중에서 헬라(Hella)의 초음파 센서가 가장 안정된 성능을 나타내고 있다. 실제로 토요타 자동차도 평행 주차 기능 초음파 센서는 헬라(Hella) 제품을 장착하고 있는 실정이다.

이러한 헬라(Hella)의 초음파 센서의 평행 주차 실험결과에 비해 다중 에코 기능을 이용한 방법이 오차 성능 면에서 더 나은 결과를 나타내고 있기 때문에 더욱 많은 연구가 필요하다.

References

- 1) J. L. Crowley, "Dynamic World Modeling for an Intelligent Mobile Robot Using Rotating Ultrasonic Ranging Device," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automat., pp.128-135, 1985.
- 2) A. Elfes, "Sonar Based Real-world Mapping and Navigation," IEEE J. Robotics Automat., Vol.3, pp.249-265, 1987.
- 3) D. S. Kim and H. G. Jung, "Parallel Parking Lot Detection with Long Range Ultrasonic Sensor," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.1621-1626, 2006.
- 4) Ömür Bozma and Roman Kuc, "Building a Sonar Map in a Specular Environment Using a Single Mobile Sensor," IEEE Trans. on Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol.13, No.12. 1991.
- 5) Polaroid Corp., Ultrasonic Raging System Handbook, Cambridge, MA, 1984.
- 6) S. K. Nayar, K. Ikeuchi and T. Kanade, "Surface Reflection: Physical and Geometrical Perspectives," Int. Proc. of Image Understanding Workshop 1990, pp.185-212, 1990.

- 7) A. Di Miro, B. Wirmizer, C. Zott and R. Kinnert, "Ultrasonic Image Formation Using Wide Angle Sensor Arrays and Cross-Echo Evaluation," Proc. of the 24th DAGM Symp. on Pattern Recognition, pp.421-428, 2002.
- 8) Driver Assistance System team, Hella, Electronic Parking Assistant, Hella KGaA Hueck & Co., 2006.
- 9) H. Satonaka and M. Okuda, "Development of Parking Space Detection Using Ultrasonic Sensor," 2006 ITS World Congress, pp.47-52, 2006.
- 10) H. G. Jung, D. S. Kim, P. J. Yoon and J. H. Kim, "3D Vision System for the Recognition of Free Parking Site Location," 13th International Pacific Conference on Automotive Engineering, pp.351-357, 2005.
- 11) R. Kuc, "A Physically Based Navigation Strategy for Sonar-Guided Vehicles," International Journal of Robotics Research, Vol.10, pp.75-87, 1991.