

# 무인 헬기 자동 착륙을 위한 3차원 위치 추적 시스템

## Three-Dimensional Location Tracking System for Automatic Landing of an Unmanned Helicopter

추 영 열\*, 강 성 호

(Young-yeol Choo and Seong-ho Kang)

**Abstract** : This paper describes a location tracking system to guide landing process of an Unmanned Helicopter(UMH) exploiting MIT Cricket nodes. For automatic landing of a UMH, a precise positioning system is indispensable. However, GPS (Global Positioning System) is inadequate for tracking the three dimensional position of a UMH because of large positioning errors. The Cricket systems use Time-Difference-of-Arrival(TDoA) method with ultrasonic and RF(Radio Frequency) signals to measure distances. They operate in passive mode in that a listener attached to a moving device receives distance signals from several beacons located at fixed points on ground. Inevitably, this passive type of implementation causes large disturbances in measuring distances between beacons and the listener due to wind blow from propeller and turbulence of UMH body. To cope with this problem, we proposed active type of implementation for positioning a UMH. In this implementation, a beacon is set up at UMH body and four listeners are located at ground area at least where the UMH will land. A pair of Ultrasonic and RF signals from the beacon arrives at several listeners to calculate the position of the UMH. The distance signals among listeners are synchronized with a counter value appended to each distance signals from the beacon.

**Keywords** : location tracking, automation landing, ultrasonic sensor, cricket

### I. 서론

유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing) 기술은 발전된 컴퓨팅 기술과 네트워크를 기반으로 지능화된 사용자 인터페이스를 통해 결과적으로 지능을 갖춘 환경(smart environment)의 구축을 목표로 한다. 지능형 환경의 구현을 위해서는 새로운 환경에 따른 새로운 서비스의 개발과 유비쿼터스 메커니즘을 운용하기 위한 안정화된 기반 기술들의 개발이 요청된다. 유비쿼터스 환경을 구축하기 위해서는 자율적이고 다양한 실체(entity)들이 공통의 문맥(context)을 인식하고 교환할 수 있는 기술, 주어진 상황에 맞는 최적의 서비스를 제공하기 위한 상황인지(context-aware) 기술이 필요하다. 따라서 사용자가 의식하지 않고도 서비스를 제공받는 환경(invisible service)을 구축하기 위한 기반 기술로써 사람이나 사물과 같은 객체의 위치를 인식하는 유비쿼터스 위치기반 서비스(u\_LBS: Ubiquitous Location Based Service)가 중요한 요소기술이 된다.

위치기반 서비스를 위해서는 추적 대상체의 절대적, 상대적 위치에 대한 인식 방법이 필요하다. 이를 위한 측정 요소는 거리, 방향, 각도 등이 있다. 그 중 가장 많이 사용되는 측정요소는 대상체까지의 거리로 이를 위해 다음의 방법들이 제안되어 있다[1].

첫째, 사람에 의한 직접 거리 측정 방식(direct touch)으로

이는 단순하지만 이동체의 위치추적을 위해서는 측정하는 사람이 물리적으로 이동하면서 측정해야 하므로 이동기기의 실시간 위치추적은 현실적으로 불가능하다.

둘째, TDoA(Time Difference of Arrival)방식은 서로 다른 전파 속도를 갖는 두 신호를 동시에 송신하여 두 신호의 도착 시간차를 사용하여 거리를 측정하는 방법으로 실내에서의 사용자 위치 인식뿐 아니라 환경정보 등 다른 여러 응용 분야에서 이용되고 있다. MIT의 Cricket[2]과 Active Bat[3]이 대표적인 TDoA방식의 시스템이다.

셋째, ToF(Time of Flight) 방식은 가장 많이 이용되고 있는 방법중 하나로 사용되는 전파 혹은 음파의 속도를 알고 있는 상태에서 이 신호의 발신기로부터 수신기까지의 비행 시간을 측정하여 두 지점 사이의 거리를 측정 하는 것이다. 대표적인 TOF 방식의 위치추적 시스템으로 GPS가 있다.

넷째, RSSI(Received Signal Strength Indicator)은 거리가 멀어짐에 따라 신호의 세기가 감소하는 원리를 이용하여 거리를 측정한다. 최적의 위치를 찾아내기 위한 기능의 일부로서 위치 뿐 아니라 수신신호의 질까지도 판단할 수 있는 방식으로 거리 측정의 정확성 측면에서 보면 많은 장애물이 있는 환경에서의 RSSI방식은 ToF 보다는 정확성이 떨어진다. 이러한 이유는 신호의 반사, 굴절, 복합 경로 등의 원인에 기인한다. 이 방식은 RADAR[4], SpotON[5], Mote Track[6] 등에서 적용 하고 있다.

위치추적을 위한 대표적인 시스템은 GPS(Global Positioning System)이다. GPS는 미국이 제공하는 인공위성 기반 측위데이터 제공시스템이며 1990년대 이후 GPS를 이용한 위치기반 서비스의 개발이 활발히 진행되어 선단 관리, 육상 교통제어, 항공기 통제 등의 목적으로 많은 응용 소프트웨어

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 11. 9., 채택확정 : 2008. 3. 12.

추영열, 강성호 : 동명대학교 컴퓨터공학과

(yychoo@tu.ac.kr/calmsea@tu.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2008-C1090-0801-0004).

어가 개발되었다. 또한 차세대 산업으로 각광받고 있는 무인항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)에서도 자동 항법을 위한 위치추적 시스템으로 GPS를 이용한다. 하지만 UAV의 경우 GPS가 가지는 오차로 인하여 이륙과 착륙 시에는 사람의 손을 거쳐야 하는 문제점이 있다. 따라서 UAV의 완벽한 무인화를 위해서는 이착륙 시에 적합한 정밀도가 높은 위치추적 시스템이 필요하다.

이러한 배경에서 본 논문에서는 무인헬기의 자동 이착륙 시스템에 적합한 위치추적 시스템을 MIT의 크리켓 시스템을 이용하여 구현한 결과에 대하여 기술한다. 크리켓 시스템은 고정된 위치의 다수의 Beacon에서 위치추적 대상이 되는 시스템에 부착된 Listener로 데이터를 송신하는 수동형(passive) 방식을 사용한다. 이러한 방식은 헬기의 진동과 바람의 영향으로 인해 부정확한 데이터가 수신되는 문제점이 있다. 본 논문에서는 Beacon과 Listener의 설치 위치를 바꾸어 Beacon을 헬기에 장착하고 다수의 Listener를 착륙 지점에 설치하는 능동형(active) 시스템을 구현하여 수동형 시스템의 문제 해결 방안을 제시한다. 이렇게 능동형 구조를 바꾸어 구현하는데 있어서 해결되어야 할 동기화(synchronization) 문제를 Beacon이 전송하는 RF(Radio Frequency) 신호에 동기화를 위한 메시지를 추가하여 전송함으로써 분산 시스템 환경에서의 동기화 알고리즘을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 2절에서는 초음파를 이용한 위치 인식 시스템을 자동 이착륙 환경에 적용 가능하도록 여러 가지 설계 매개 변수를 파악해 보았다. 3절에서는 위치인식 시스템의 성능 향상을 위해 몇 가지 아이디어를 제시하고 4절에서 그에 대한 성능 분석 및 평가를 통하여 무인 헬기의 자동 이착륙 시스템에 적합한 위치 추적 솔루션을 제시하며 5절에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 구성

1. 초음파 센서노드

GPS위치 오차를 보완하여 무인 헬기의 자동 이착륙에 적합한 위치추적 시스템을 구현하기 위해 본 논문에서는 MIT의 CSAI랩에서 개발한 크리켓(cricket) 시스템을 사용한다[7]. 크리켓은 TDoA방식을 사용하여 거리를 측정하며 측정된 거리로부터 Beacon과 Listener와의 거리를 구하고 삼각 측량에 의한 좌표를 계산한다.

크리켓 시스템의 거리를 계산하는 방식은 RF와 초음파의 속도 차이를 이용한다. Beacon은 RF와 초음파를 동시에 전송하고 Listener는 RF신호를 수신한 후 뒤이어 초음파를 수신한다. 이때의 시간간격( $\delta T$ )를 통해 Listener는 (1)로부터 거리( $d$ )를 계산할 수 있다[8].

$$\delta T = \frac{d}{v_{us}} - \frac{d}{v_{rf}} \quad (1)$$

식에서  $v_{rf}$ 는 RF의 속도로 약  $3 \times 10^8$  m/s이고,  $v_{us}$ 는 초음파의 속도로 상온에서 약 344m/s이다. 따라서 두 번째 항의 값은 짧은 거리에서 무시할 수 있고 측정 거리,  $d$ 는 (2)와 같다[8].

$$d \approx \delta T \cdot v_{us} \quad (2)$$

크리켓 노드에서 사용되는 초음파는 중앙 주파수는 약 40kHz로 벽과 같은 물체를 투과하지 못한다. 그리고 초음파 신호의 파장은 사람이 들을 수 있는 파장보다 작아 회절 현상 등이 일어나지 않는다. 그러나 초음파는 고정 물체에 반사가 되는 특성에 의해 다중 경로에 의한 오류가 발생할 수 있다[9].

2. 시스템 구성

거리측정을 위한 장치는 1개의 Beacon과 4개의 Listener로 구성되며 4개의 Listener를 헬기의 이착륙 지점에 설치하고 Beacon을 헬기에 설치하여 기존 크리켓 시스템과는 다른 능동형 시스템을 구현하였다. 헬기에 Listener를 장착하는 수동형 시스템의 경우 진동 및 하향풍의 영향으로 데이터의 수신에 많은 문제점이 있었다. 이에 따른 내용은 3절에서 설명한다. 그림 1은 시스템의 전체 구성을 나타낸다.

4개의 Listener와 위치계산 시스템과의 인터페이스는 블루투스의 Serial Port Profile을 사용하여 구성하였으며 Listener측의 블루투스 노드를 Slave로 설정하고 위치계산 시스템을 Master로 설정하여 4개의 시리얼 통신을 통해 데이터를 송수신한다[9]. 이러한 무선 시스템의 구축으로 이착륙 지점 설정의 가용성을 높였으며 블루투스 노드가 장착된 4개의 Listener만을 사용하여 이착륙 지점을 설정하면 어디에서건 헬기의 자동 이착륙을 유도할 수 있는 장점이 있다.

헬기의 이륙은 비행체의 안정화된 위치만 확보되면 가능하다. 하지만 착륙의 경우에는 GPS의 오차에 따른 착륙위치의 이격등과 같은 사항들이 고려되어야 하며 현재 제안되어 있는 착륙 매커니즘으로는 많은 어려움이 따른다. 따라서 본 논문에서는 헬기가 자동항법 시스템으로써 임무를 마치고 회항하면 GPS오차범위 내에 도달한 헬기를 초음파를 이용한 위치추적 시스템이 발견하여 착륙지점을 설정한다. 이에 따라 헬기에 장착된 Beacon으로부터 송신되는 데이터를 사용하여 정밀한 헬기의 위치를 파악하고 1m 이하의 높이에서 헬기가 안정화된 상태가 확인되면 헬기의 전원을 Off 시키는 방법으로 자동 착륙을 적용한다. 이는 본 논문에서 제안하는 위치추적 시스템과 무선헬기 제어 시스템과의 연계가 필요한 부분이다.

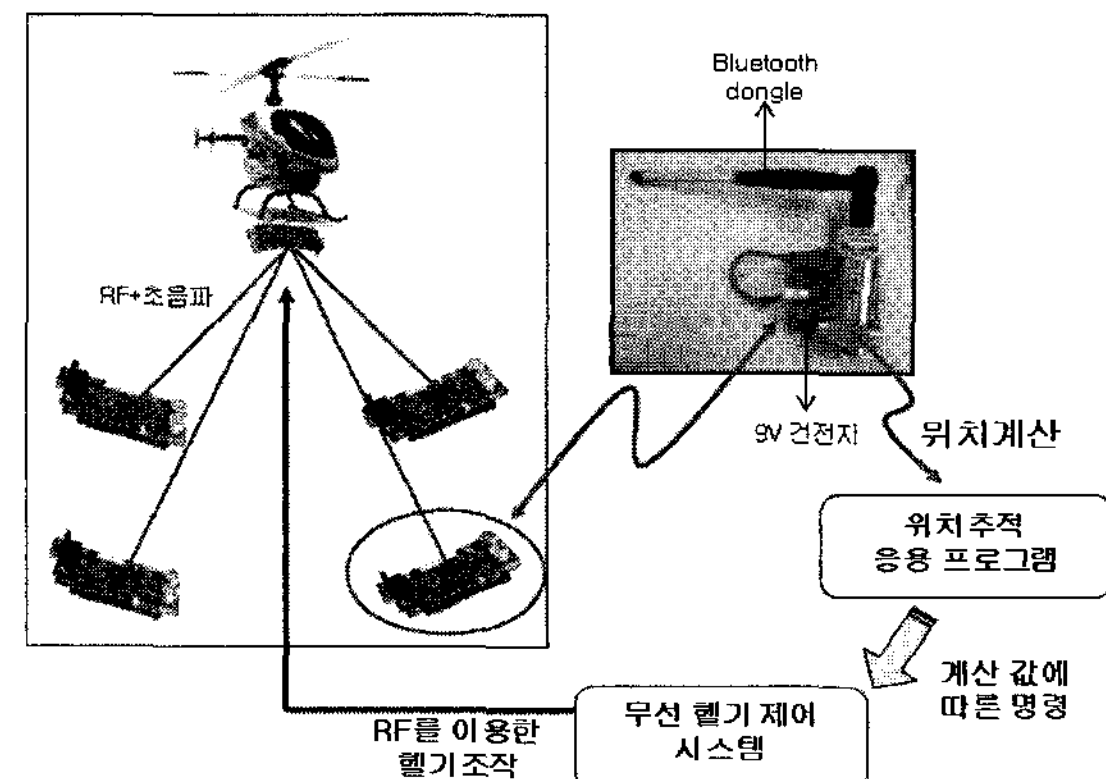


그림 1. 시스템 구성.

Fig. 1. Structure of system hardware.

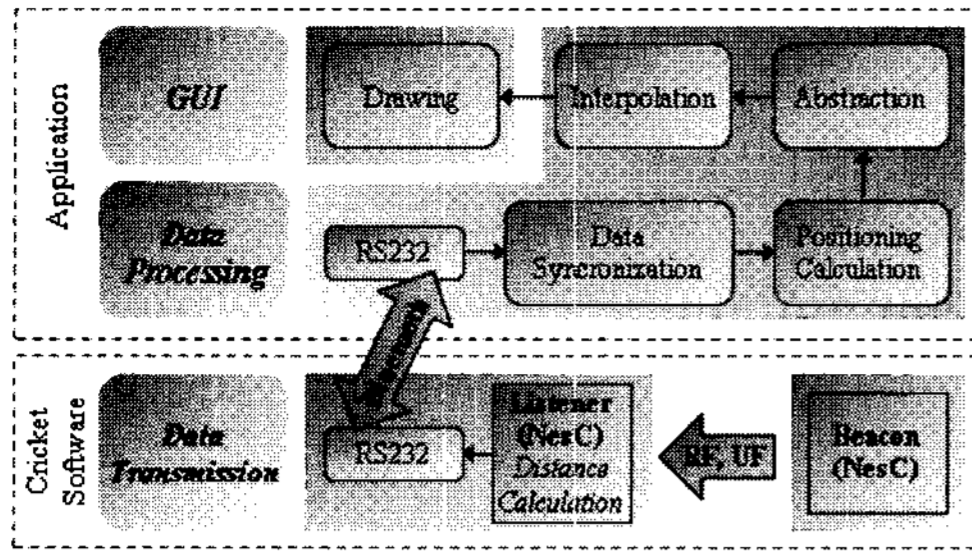


그림 2. 시스템 계층 구조.  
Fig. 2. Structure of system architecture.

3. 소프트웨어 구성

본 논문에서 구현된 소프트웨어의 구성은 위 그림 2와 같다. 크리켓 소프트웨어는 크리켓 내부에 삽입하는 소프트웨어로써 TinyOS[10]기반의 NesC[11]로 작성 되었다. Beacon 으로부터 받은 RF, 초음파신호를 이용해 Listener는 Beacon 과의 거리를 계산하고 그 값을 시리얼을 통해 전송한다[12].

Listener의 시리얼 인터페이스로부터 수신한 거리데이터 를 이용해서 위치를 파악하기 위한 어플리케이션은 데이터 처리와 GUI 부분으로 나뉜다. 데이터처리 계층은 4개의 Listener로부터 수신 받은 데이터를 동기화하는 부분과 동기 화된 데이터를 이용하여 위치를 계산하고 정확한 위치를 산출한다. GUI계층은 위치 데이터를 가시적으로 나타내기 위한 부분으로 정의된 관계모델에 의해 데이터를 분류한다. 이어서 좌표 값으로 나타난 헬기의 이동경로를 보간 후 헬 기의 위치를 화면상에 나타낸다.

III. 3차원 위치추적 알고리즘

1. 좌표계산 알고리즘

3차원 위치 좌표를 구하기 위해서는 3개 이상의 기준점 과 그 기준점으로 부터의 거리데이터가 필요하다. 본 논문 에서는 착륙지점에 설치된 4개의 Listener가 기준점의 역할 을 하고 헬기에 장착된 Beacon으로부터 송신된 RF와 초음 파를 이용하여 헬기의 위치 좌표를 산출한다. 그림 3과 같 이 정사각형으로 Listener를 배치하여 데이터의 연산속도를 향상시켰으며 경우에 따라서 어떠한 모양의 Listener 배치도 가능하다.

$$(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 = d_1^2 \tag{3}$$

$$(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2 = d_2^2 \tag{4}$$

$$(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2 = d_3^2 \tag{5}$$

위 식에서  $x_i, y_i, z_i$  는 각각  $L_i$ 의  $x, y, z$  좌표 값을 나타 낸다. Listener의 배치가 그림 4와 같다면  $L_1$ 과  $L_3$ 는 같은  $x$  좌표를 가지며  $L_1$ 과  $L_2$ 는 같은  $y$ 좌표를 가진다. 또한 4개의 Listener는 지면에 위치함에 따라  $x_1 = x_3, y_1 = y_2, z_i = 0$ 이 며 따라서 (3), (4), (5)를 간소화 하면 아래와 같은 식이 산 출된다.

$$x = \frac{x_1 + x_2}{2} - \frac{d_1^2 - d_2^2}{2(x_1 + x_2)} \tag{6}$$

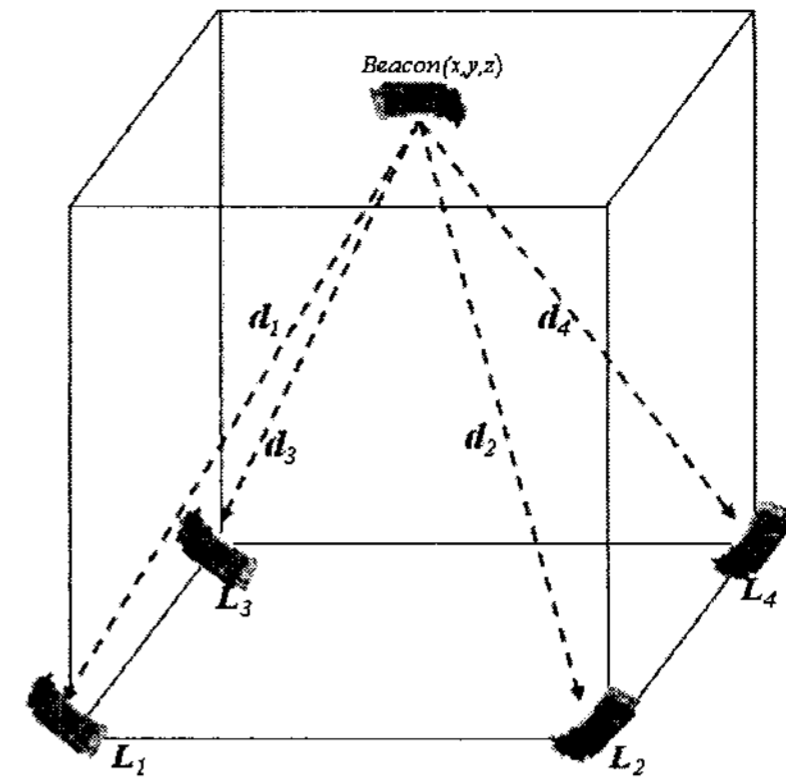


그림 3. 3차원 좌표계산.  
Fig. 3. 3-Dimension coordinate.

$$y = \frac{y_1 + y_3}{2} - \frac{d_1^2 - d_3^2}{2(y_1 + y_3)} \tag{7}$$

$$z = \sqrt{(d_1^2 - (x - x_1)^2 - (y - y_1)^2)} \tag{8}$$

(6), (7), (8)을 통해 Beacon의  $x, y, z$  좌표를 구할 수 으 며 Listener를 4개를 설치하여 기준점을 잡을 경우 위 식으 로 얻을 수 있는 위치 좌표는 총 4개가 된다. 기준점의 수 가 늘어날수록 위치 데이터의 신뢰성은 높아지며 본 논문 에서는 4개의 위치 값의 평균을 구해서 위치 추적의 정확 도를 높인다.

2. 능동형 시스템

크리켓 시스템은 천장에 다수의 Beacon을 설치하고 추적 하고자 하는 객체에 Listener를 장착하여 실내에서의 위치를 추적한다. 또한 Listener의 시리얼 인터페이스를 통해 PDA 나 노트북을 연결하여 객체의 위치를 인지한다. 이러한 수 동형 시스템의 단점으로는 다수의 Beacon으로 하나의 Listener가 데이터를 수신하기 때문에 데이터간의 간섭현상 이 일어난다. 예를 들면 Beacon A와 Beacon B가 동시에 RF와 초음파를 송신하는 경우 Listener가 Beacon A의 RF를 수신하고 Beacon B의 초음파를 뒤이어 수신한다면 Listener 는 RF를 통하여 송신한 Beacon을 인지 할 수 있지만 초음 파는 어느 Beacon에서 송신되었는지 알수 없다. 이러한 문 제점을 해결하기 위해 RF의 송신 시간을 늘려 초음파가 수 신되는 시간을 RF의 송신시간 안에 포함되게 한다. 또한 각 Beacon들은 다른 Beacon이 데이터를 전송하고 있음을 인지하여 전송이 끝나는 것을 기다리는 경쟁기반의 방법 (CSMA/CA)을 사용한다. 수동형 시스템의 경우 Listener에 모바일 장치를 장착하여 위치를 계산하기 때문에 따로 위 치 데이터를 관리하는 서버를 둘 필요가 없으므로 프라이 버시를 보장하는 장점이 있다[13]. 그림 4는 이러한 수동형 시스템을 나타내는 그림이다.

그림 5와 같이 능동형 시스템은 수동형 시스템과는 반대 로 하나의 Beacon에서 다수의 Listener로 데이터를 전송하는 방식을 취한다. 능동형 시스템은 한 Beacon에서 송신하는 신호를 각 Listener에서 수신하므로 수동형 시스템에서처럼 여러 Beacon에서 방사되는 신호간의 충돌에 의한 간섭현상



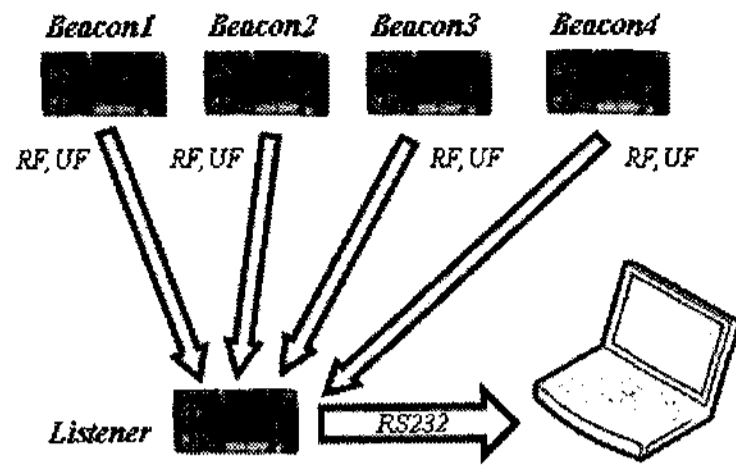


그림 4. 수동형 시스템 구성.  
Fig. 4. Structure of passive mode.

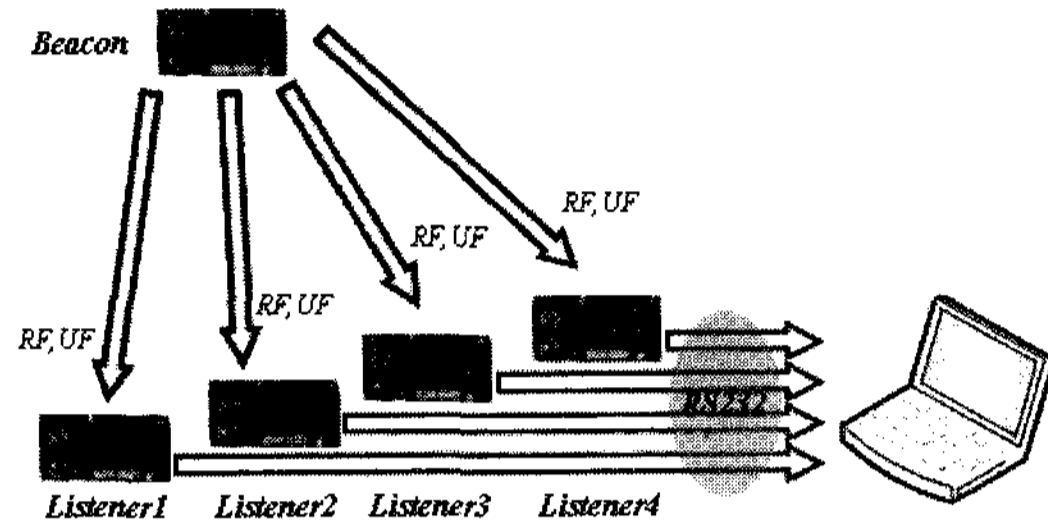


그림 5. 능동형 시스템 구성.  
Fig. 5. Structure of active mode.

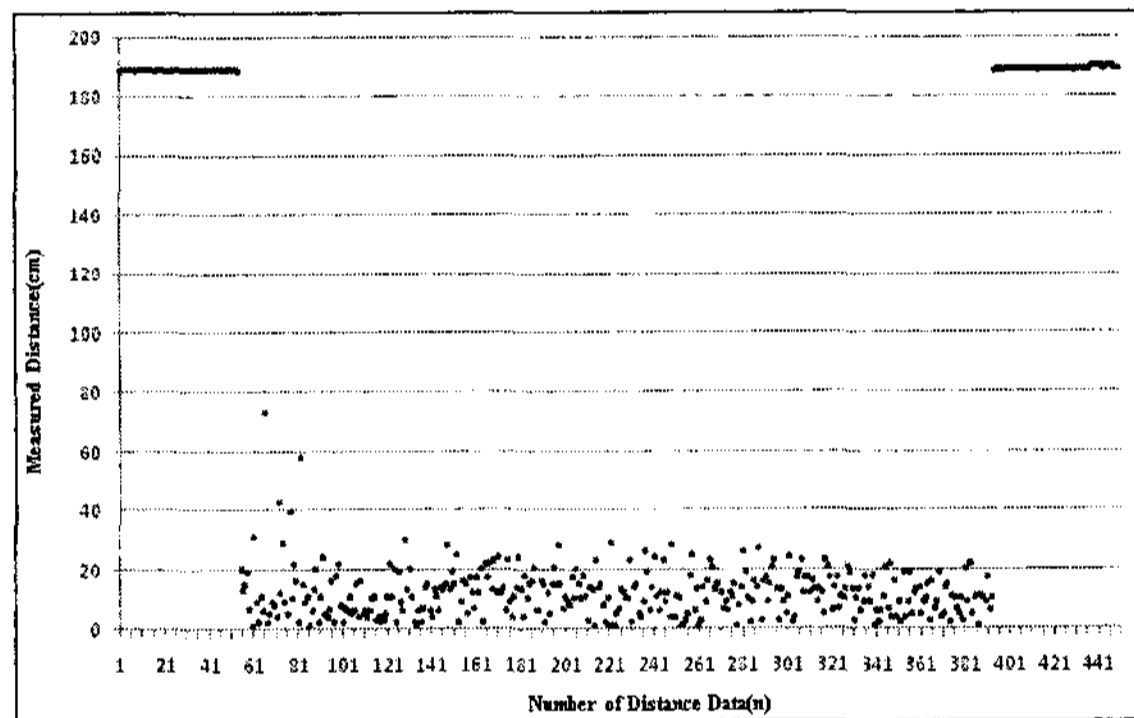


그림 6. 수동형 시스템의 1:1 거리측정.  
Fig. 6. Measured distance of one-to-one passive system.

은 없다. 또한 단지 하나의 Beacon이 데이터를 송신하기 때문에 수동형에서처럼 각 Beacon의 ID를 분별하여 스케줄링 할 필요가 없다. 따라서 모든 Listener가 Beacon 신호의 수신 각도 범위 내에 있으면 데이터 송신 주기마다 위치정보를 갱신 할 수 있다. 위치정보 갱신을 위해서는 세 개 이상의 Listener에서 수신된 거리정보를 한 노드에 모아 계산하여야 한다. 하지만 각 Listener는 분산되어 있고 Beacon은 주기적으로 신호를 송신하므로 각 Listener에서 모아진 거리 정보가 어느 시점에 전송된 것인지 구분이 필요하다. 즉, 삼차원 위치 계산을 위해서는 각 Listener에 수신된 거리 정보들의 시간적 동기화가 필요하다.

그림 6은 헬기 위치추적에 수동형 시스템을 적용한 그래프이다. 헬기에 Listener를 지면에 Beacon을 장착하여 1:1로 데이터를 측정하였으며 이때 헬기의 높이는 189cm이다. 그래프에서 1~50, 400~450개까지의 데이터는 헬기를 동작하지 않았을 때의 데이터이며 50~400의 데이터는 1600RPM으

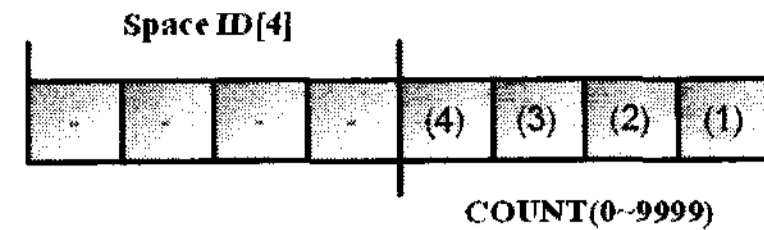


그림 7. Beacon의 카운터 삽입.  
Fig. 7. Insert beacon counters.

로 프로펠러를 동작하였을 때의 데이터이다. 기존 수동형 시스템을 적용하여 헬기의 위치를 파악하기 위해서 헬기에 Listener를 장착하고 바닥에 Beacon을 설치하였을 때 그림 6의 그래프와 같이 헬기의 구동상태(50~400까지의 데이터)에서는 모든 데이터가 부정확하게 수신됨을 볼 수 있다. 이는 Listener에 직접적으로 가해지는 진동에 의해서 Beacon이 송신하는 초음파와 헬기에서 발생하는 진동에 의한 간섭으로 인해 발생하는 문제이다.

### 3. 동기화

능동형 시스템에서 각 Listener에 수신된 거리 정보간의 동기화가 이루어 지지 않는다면 Listener가 수신한 데이터가 언제 전송된 데이터인지 알 수 없음에 따라 각기 다른 시간에 전송된 데이터를 사용하여 위치가 계산 될 수 있다. 하드웨어에 의한 동기화는 고가의 장비와 별도의 계산이 필요하므로 배터리로 동작하는 무선 센서 네트워크 노드에서 이를 장착하는 것은 타당치 않다. 하여, 본 논문에서는 Beacon이 전송하는 메시지에 카운터를 삽입하여 각 Listener가 수신한 데이터가 Beacon에서 어느 시점에 송신된 데이터라는 것을 인지 할 수 있게 하는 방법으로 동기화를 구현하였다. 이를 위해 TinyOS 크리켓 소프트웨어의 NesC 코드를 수정하여 Beacon이 전송하는 RF 신호에 카운터 값을 삽입하였다.

TinyOS기반의 노드들은 주소, 주파수 채널타입, 그룹, data, RF의 길이, 에러체크 데이터가 포함된 구조체를 사용하여 통신하며 실제 측정된 데이터나 필요한 값들은 data 배열에 삽입하여 전송된다. 이 data 배열 중 Beacon이 설치된 공간을 분류하기 위한 ID로 사용되는 8Byte의 Space ID 부분에서 그림 7과 같이 뒤 4bytes를 이용해 Beacon 카운트를 삽입하며 0~9999까지 순환되는 값을 갖도록 구현하였다.

## IV. 위치측정 실험 및 분석

### 1. Simulator

헬기의 환경에 따른 데이터의 오차를 실험하기 위해 Simulator 제작하였다. 이는 헬기가 동작 중에는 데이터를 수집하기 용이 하지 않은 환경에 기인한다. 2m까지 높낮이를 조절할 수 있도록 하고 또한 지렛대를 두어 Beacon의 각도에 따른 Listener의 오차도 측정이 가능토록 하였다. 그림 8은 제작한 Simulator의 구조이다.

Simulator는 헬기가 이륙하기 직전의 RPM인 약 2000 RPM까지의 데이터를 측정할 수 있었으며 이는 크리켓 센서가 바람의 속도, 주변 온도 등의 외부요인에 반응하지 않고 단지 헬기의 상황에 따른 실험데이터를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 또한 Simulator를 사용하여 수동형 시스템이 가지는 문제점을 직접적으로 유추해 볼 수 있었다.

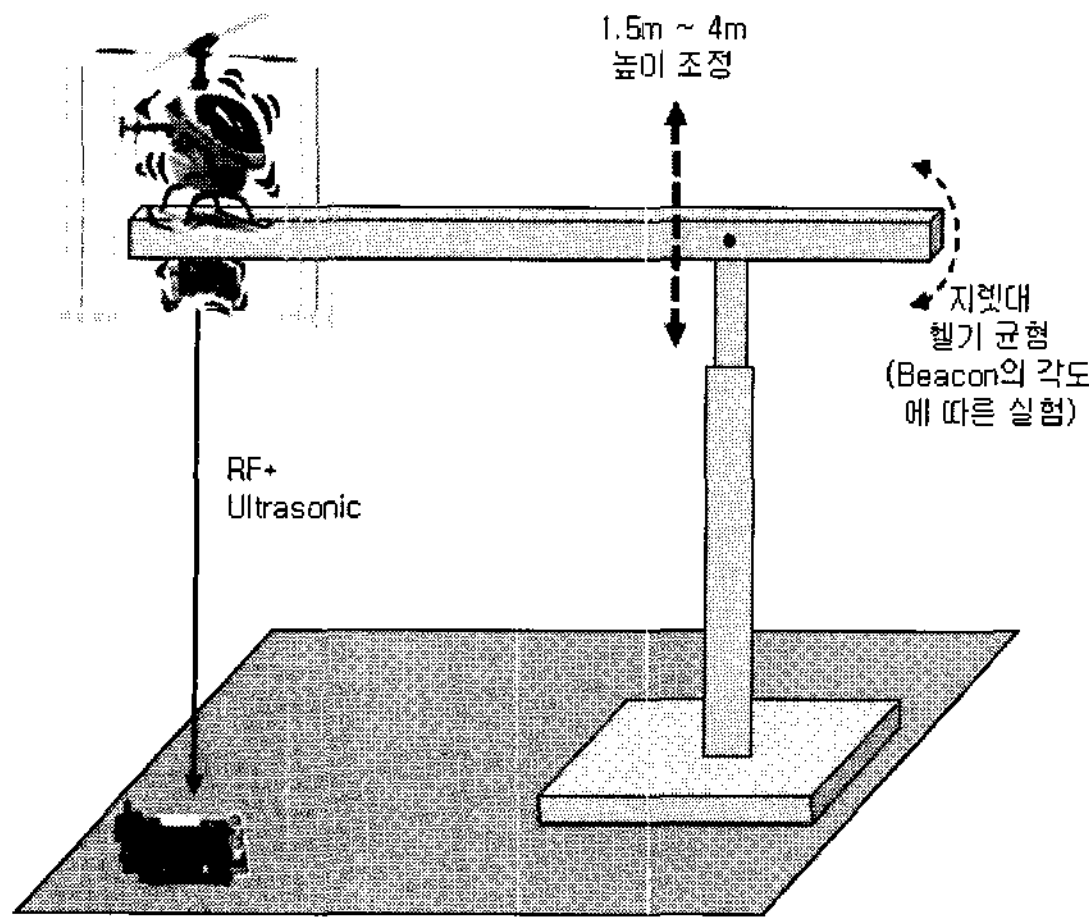


그림 8. 헬기 시뮬레이터.  
Fig. 8. Helicopter simulator.

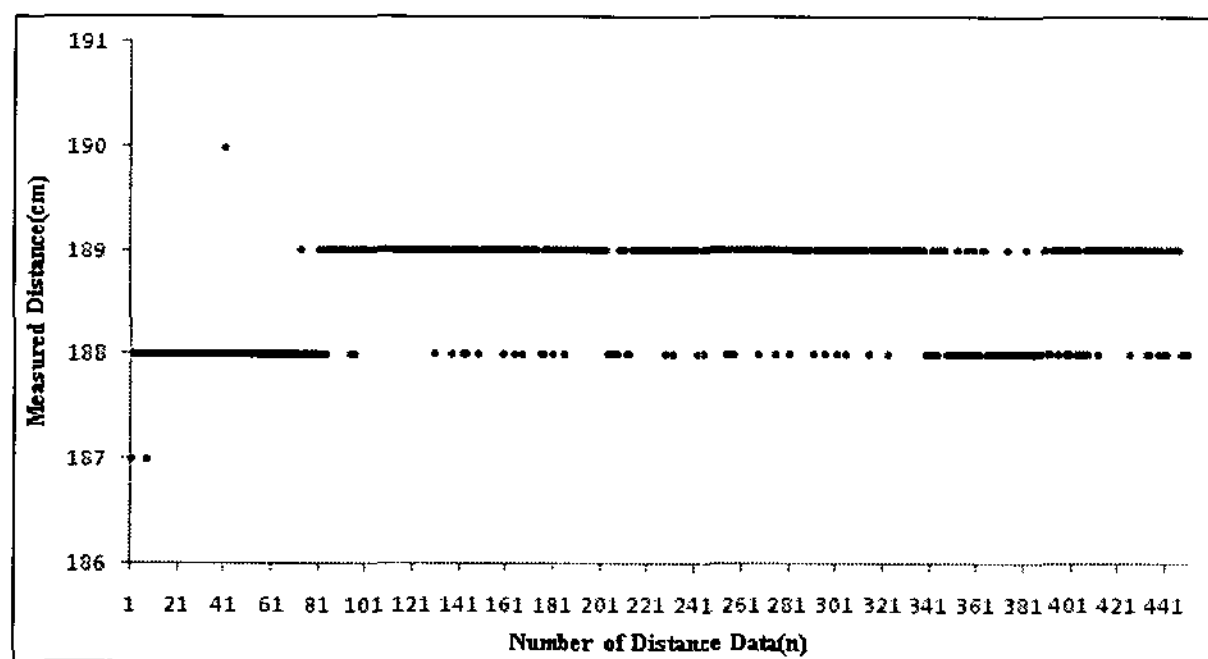


그림 9. 능동형 시스템의 1:1 거리측정.  
Fig. 9. Measured distance of one-to-one active system.

그림 9는 Beacon과 Listener를 1:1로 배치한 능동형 시스템에서 RPM을 2000일 때의 거리 값을 나타내는 그래프이다. 이때 RPM 2000이며 바람은 약 2m/s였다.

그림 9에서와 같이 능동형 시스템은 헬기의 구동상태에서도 2cm의 오차범위 내의 가용한 데이터가 수신되는 것을 볼 수 있다. 이는 능동형 시스템이 수동형 시스템의 헬기에 부착된 Listener가 진동의 영향에 의해 부정확한 데이터를 수신하는 문제점을 해결함을 확인할 수 있다. 보다 정확한 오차 요인의 분석을 위해 진동 외에 헬기의 비행 중 발생하는 바람에 의한 영향을 알아야 하므로 이에 대한 실험을 수행하였다.

2. 바람의 세기와 측정데이터의 상관관계

능동형 시스템의 오차요인을 측정하기 위해 본 논문에서는 공업용 선풍기를 사용하여 바람의 세기에 따른 거리데이터의 오차율을 조사하였다. Beacon과 Listener의 거리를 3m로 고정하고 프로펠러와 Beacon의 거리를 조정하여 바람의 세기를 달리하였다. Beacon이 데이터를 송신하는 방향으로 바람을 발생시켜 Beacon과 프로펠러의 거리가 증가함에 따라 최대풍속은 줄어들며 이는 초음파가 받는 바람의 영향이 감소함을 나타낸다. 거리가 0cm일 경우 풍속은 8m/s였으며 400cm일 경우 풍속은 3m/s였다. 표본 데이터는 각 거리마다 500개씩 측정하였다.

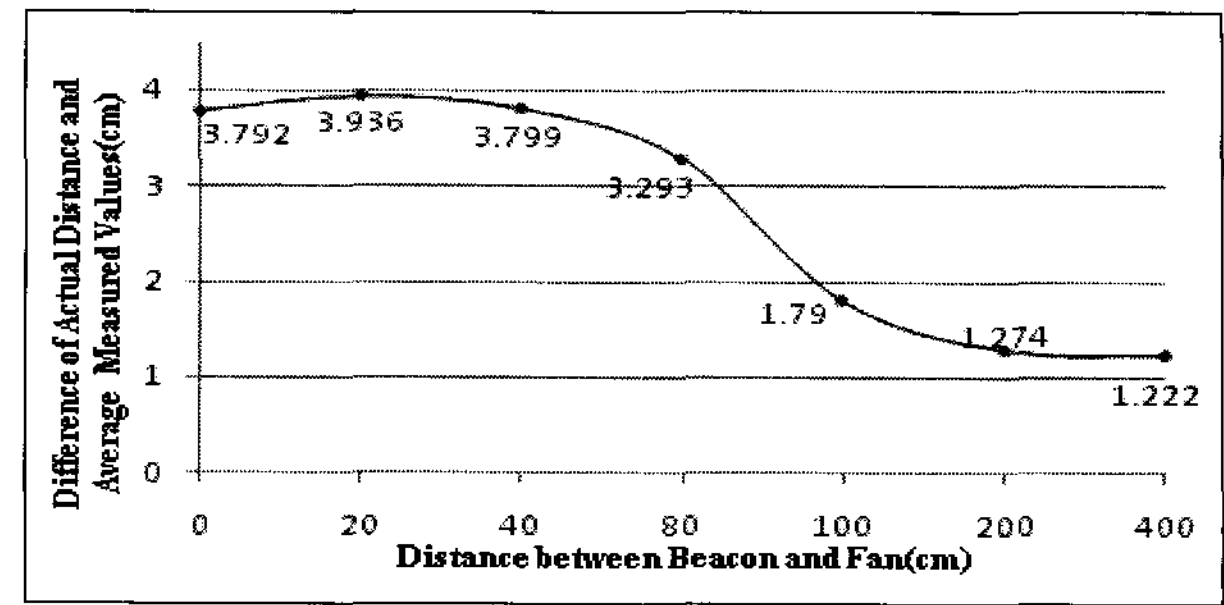


그림 10. 프로펠러와 Beacon 간 거리에 따른 거리오차 평균.  
Fig. 10. Distance error average based on distance between beacon and fan.

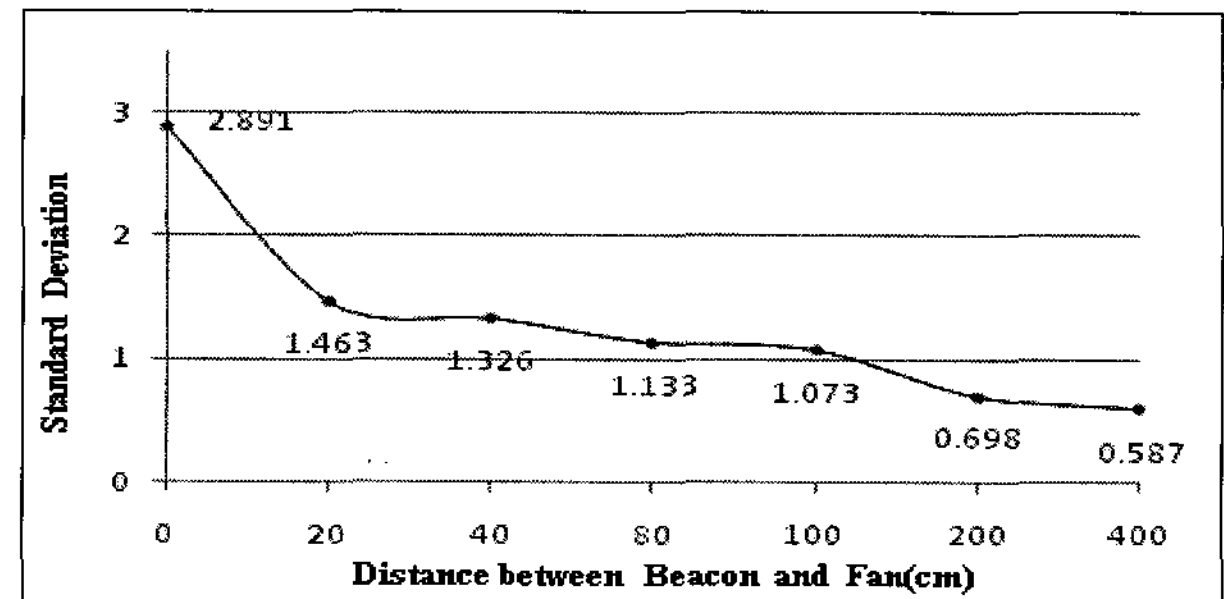


그림 11. 프로펠러와 Beacon 간 거리에 따른 표준편차.  
Fig. 11. Standard deviation based on distance between beacon and fan.

그림 10의 그래프에서와 같이 프로펠러와 Beacon간의 거리가 가 멀어질수록 오차의 평균이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 바람의 방향과 초음파의 방향이 같을 경우 초음파의 속도는 빨라지며 바람의 영향에 따른 오차는 최대풍속 8m/s일 때 약 4cm임을 알 수 있다. 오차율이 위 그래프에서 나타내는 평균과 같이 일정한 양상을 가진다면 헬기에 적용하였을 경우 필터링을 통해 값을 보정할 수 있을 것이다. 하지만 그림 11을 보면 풍속이 높음에 따라 측정 거리값의 표준편차가 높으며 이는 높은 풍속에서는 수신되는 데이터가 불명확함을 알 수 있다.

그림 11에서 프로펠러와 Beacon간의 거리가 400cm이고 풍속 3m/s일 때의 표준편차는 0.587cm, 평균오차는 3cm 이내였다. 따라서 헬기의 착륙 시 풍속을 고려한다면 능동형의 경우 착륙 유도를 위해 충분히 사용될 수 있다.

3. 3차원 위치 측정

그림 12는 Simulator를 이용하여 헬기의 3차원 위치를 추적하는 실험 환경을 나타낸다. 180cm 높이로 설정된 헬기 Simulator에 Beacon을 장착하고 바닥에 Listener 4개를 200cm 간격의 정사각형으로 배치하였다. 각 Listener로부터 전송되는 4개의 거리데이터는 동기화를 통해 같은 시점에 전송된 데이터인지를 확인하고 삼각측량법을 통해 위치좌표를 계산한다. 이렇게 산출된 4개의 위치좌표를 평균하여 보다 정밀한 위치값을 얻을 수 있다.

그림 13은 이러한 3차원 위치추적을 통해 수집된 데이터를 x, y좌표로 나타낸 그래프이다. 다음 그래프의 표본 데이

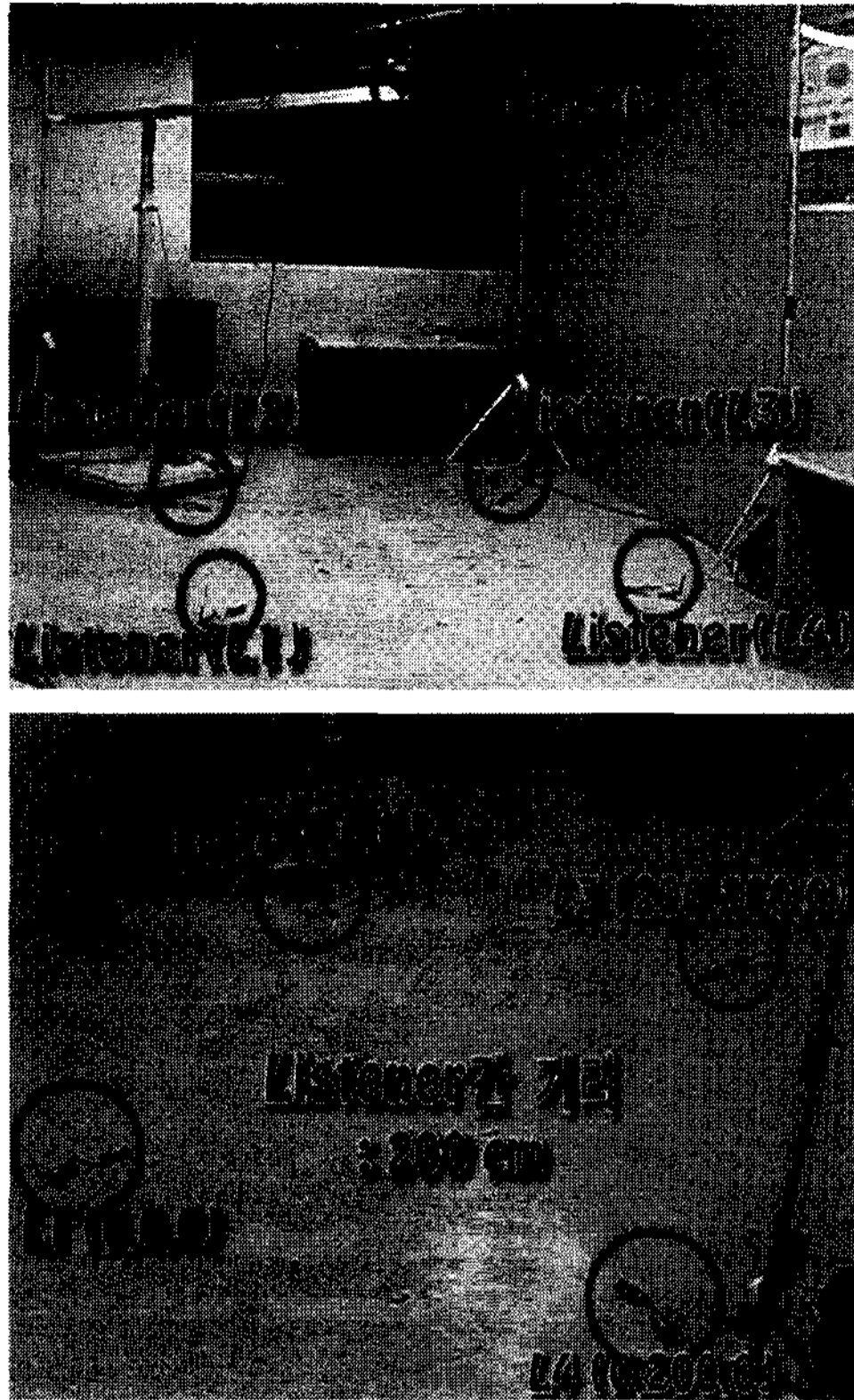


그림 12. 능동형 시스템에서의 3차원 위치추적 환경.  
 Fig. 12. 3-Dimensional location tracking environment on active system.

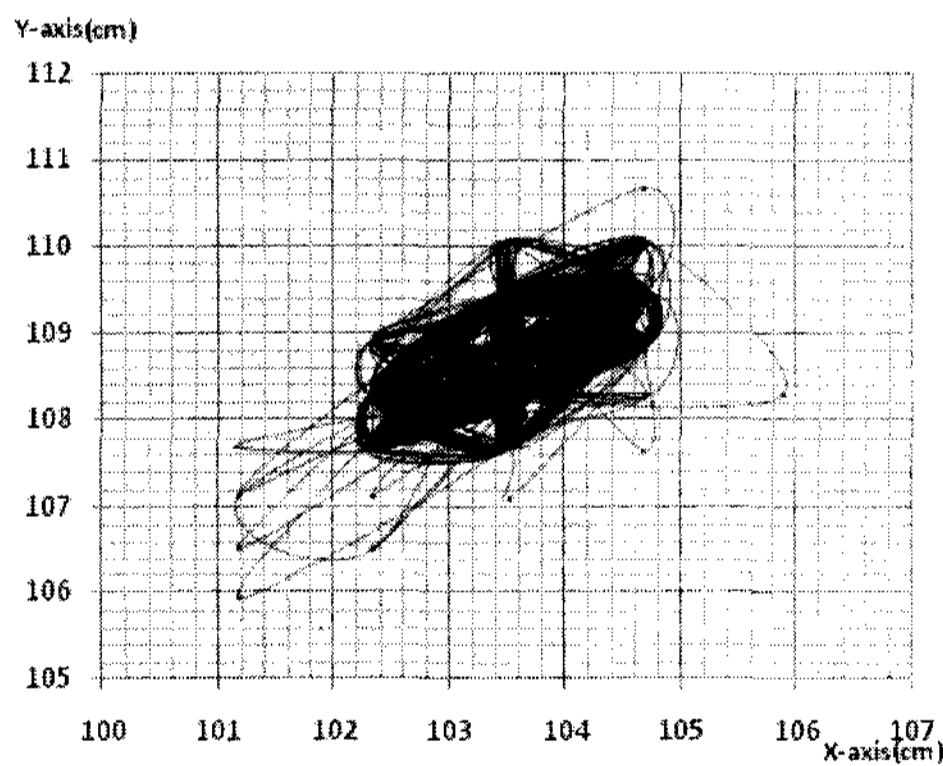


그림 13. 능동형 시스템에서의 3차원 위치추적 데이터.  
 Fig. 13. 3-Dimensional location tracking data on the active system.

터는 각 Listener당 동기화 된 데이터 1000개씩으로 각 Listener의 표준편차는 L1:0.53, L2:0.51, L3:0.47, L4:0.32이며 측정된 높이의 평균은 179.33cm로 평균 오차는 1cm 이 하였다.

위 그래프는 헬기의 구동 중 3차원 위치를 측정하여도 측정좌표의 중심에서 오차범위 3cm 이내에 위치좌표가 산출됨을 보여준다. 따라서 헬기의 자동이착륙에 능동형 초음파 위치추적 시스템을 사용하여 적용이 가능함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 무인헬기의 자동 이착륙 시스템에 적합한 3차원 위치추적 시스템에 대해 기술 하였다. 기존 크리켓의 수동형 위치추적 시스템을 능동형 시스템으로 변경하였으며 이에 따른 시스템의 성능을 비교하였다. 수동형 방식으로 동작하는 크리켓 시스템은 Listener가 위치한 주변의 환경에 직접적인 영향을 받음에 따라 이러한 외란적 요소로 부정확한 데이터를 수신하게 됨을 확인하였다. 또한 별도의 하드웨어 없이 소프트웨어에 의한 수신기 간의 동기화 방식을 제안하였다. 실내의 실험 결과 헬기의 자동 이착륙 시스템에는 능동형 시스템이 수동형 시스템보다 적합하다는 결과를 도출할 수 있었다. 능동형 시스템은 위치 값의 계산주기가 빠르고 모든 Listener가 동시에 데이터를 수신하기 때문에 비행체인 헬기의 위치를 추적하기 용이하다. 향후 초음파의 송수신 각도에 따른 데이터의 부정확성과 미수신 데이터가 발생 시의 데이터 추정 방법에 대한 연구를 수행 할 예정이다.

참고문헌

[1] J. Hightower, G. Borriello, "Location systems for ubiquitous computing," *IEEE Computer*, vol.34, no.8, pp. 57-66, Aug. 2001.

[2] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The cricket location-support system," *Proc. 6th ACM MOBICOM*, pp. 32-43, Boston, MA, August 2000.

[3] A. Ward, A. Jones, and A. Hopper, "A new location technique for the active office," *vol. 4, no. 5 IEEE Personal Communications*, pp 42-47 Oct. 1997.

[4] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in building RF based user location and tracking system," *In Proceedings of the IEEE INFOCOM '00*, pp. 775-784, March 2000.

[5] J. Hightower, R. Want, and G. Borriello, "SpotON: an indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength," *UWCSE 2000-02-02*, Univ. of Washington Tech.Report, pp. 1-16, Feb, 2000.

[6] K. Lorincz and M. Welsh, "Motetrack: A robust, decentralized approach to rf based location tracking," *In Proceedings of the International Workshop on Location and Context Awareness (Loca 2005)*, pp. 63-82, May 2005.

[7] CrossBow Technology Inc. <http://www.xbow.com>

[8] N. B. Priyantha, "The cricket indoor location system," Ph.D. Thesis, *Massachusetts Institute of Technology*, June 2005.

[9] 박종현, 추영열, "Real-time location tracking system using ultrasonic wireless sensor nodes," *Institute of Control, Robotics and Systems*, pp. 711-717, no. 7, July 2007.

[10] TinyOS hom Page. <http://www.tinyos.net>

[11] G. David, L. Philip, C. David, and B. Eric, "NesC 1.1

language reference manual," <http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/doc/>

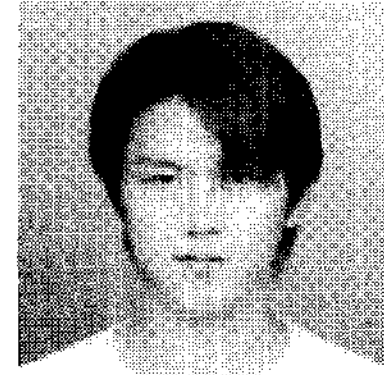
- [12] Cricket V2, MIT Computer Science and Artificial Intelligence Lab, User Manual, 2004.

- [13] S. Adam, B. Hari, G. Michel, and P. Nissanka, "Tracking moving devices with the cricket location system," *Proc. 2nd USENIX/ACM MOBISYS Conf.*, vol. 13, no. 4, pp. 190-202, Boston, MA, June 2004.



#### 추 영 열

1986년 2월 서울대학교 제어계측공학과 졸업(학사). 1988년 2월 서울대학교 제어계측공학과 졸업(석사). 2002년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 졸업(박사). 1988년 6월~1994년 6월 포항산업과학기술연구원 선임연구원. 1994년 7월~2002년 8월 포스코 기술연구소 책임연구원. 2002년 9월~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 조교수. 2005년 1월~7월 독일 Fraunhofer IESE Visiting Scientist. 2006년 11월~현재 유비쿼터스 항만 ITRC 센터장. 관심분야는 USN, Ambient Intelligence, 컴퓨터통신, 공장자동화, 네트워크 보안.



#### 강 성 호

2006년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사). 2008년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과 석사. 관심분야는 USN, IPv6, Location Tracking, Ubiquitous Computing, Vision system.