

표적위치식별 신관센서 송수신장치 설계에 관한 연구

A study on the design of the transmitter-receiver of fuze sensor for discriminating target position

최재현*
Choi, Jae-Hyun

ABSTRACT

In this paper, a study on the design of the transmitter-receiver of fuze sensor for discriminating target position is presented. We propose the algorithm for detecting target distance/direction through investigating the operational concept and principle of fuze sensor. Based on the algorithm, We design transmitter-receiver, calculate various design variables and estimate the performance of that one. The estimated result shows that the required performance of fuze sensor is satisfied. Further research on confirming the performance of proposed algorithm through encounter simulation test with real target and resolving problem will be continued.

1. 서론

최근 대공표적의 타격효과를 증가시키기 위하여 기존의 탄두와는 달리 표적의 방향 쪽으로 탄두의 파편을 집중시키는 표적지향성 탄두가 개발되고 있으며, 이 표적지향성 탄두에는 대공표적과의 거리 및 방향을 탐지하기 위한 표적위치식별 신관센서가 필요하다.

이러한 표적위치식별 신관센서는 크게 안테나, 송수신전단부 및 신호처리부로 구성되며, 탄체의 표면에 원주 방향으로 다수의 안테나를 사용하여 전자파를 송수신하고, 표적이 근거리에 존재하는 경우 이 안테나들로부터의 수신 신호를 분석하여 표적과의 거리와

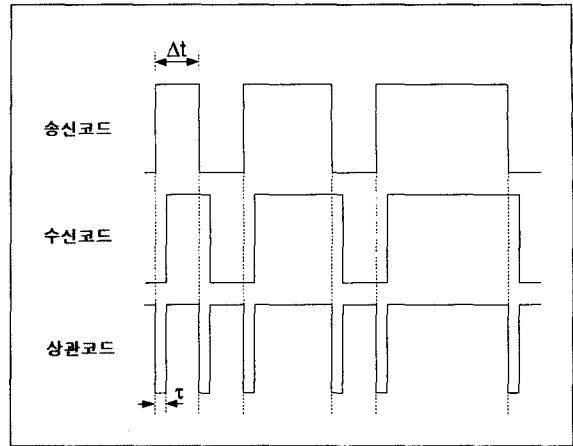
표적의 방향을 판별한다. 안테나의 개수는 탄두 파편이 집중되는 각에 기초를 두며, 이 각이 작을수록, 다시 말해 표적의 방향에 대한 분해능을 높이기 위해서는 안테나의 개수를 증가시켜야 한다.

표적과의 거리를 측정하는 방식에는 코드상관방식, 펄스(Pulse)방식, FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 방식 등이 있으나, 이들 방식들은 각각 감지 가능거리, 거리 정밀도, 수신 감도 등의 서로 다른 특성 등을 갖고 있으므로 적용하고자 하는 시스템에 맞는 방식을 선택하여야 한다. 본 연구에서는 근거리, 높은 거리측정 정밀도 및 상대적으로 짧은 시간 내에 표적과의 거리 및 방향을 탐지해야 하는 사항을 고려하여, 코드상관방식을 이용하여 표적과의 거리를 측정하고, 수신전력을 비교함으로써 표적의 방

* 국방과학연구소 연구원

향을 판별하고자 한다.

본 논문은 표적위치식별 신관센서의 송수신장치에 대한 설계내용으로서, 그 내용은 다음과 같다. 우선 신관센서의 작동개념과 코드상관방식의 개념을 수록하였고, 송수신장치의 거리측정 방법 및 방향탐지 알고리즘에 대해 기술하였으며, 전술한 바를 토대로 시스템의 각종 설계 변수들을 계산하고 성능을 예측하여 송수신부를 설계한 내용을 수록하였다. 마지막으로 개선점 및 향후 계획을 제시하였다.



(a) 송신, 수신코드 및 상관코드

2. 거리측정 및 방향탐지 원리

2.1 코드상관방식의 거리측정

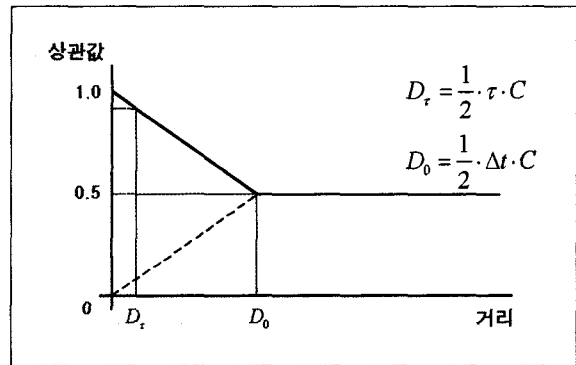
2.1.1 거리측정 원리

코드상관방식의 개념은 CW(Continuous Wave, 지속파) 방식의 일종으로 시간에 대해 송신신호의 위상이나 주파수를 코드 형태로 변조하여 송신하고 표적에 반사되어온 신호에서 코드를 검출하여 송, 수신 코드열간의 시간차에 의한 상관값의 변화를 이용하여 거리를 측정하는 방식이다.

코드상관방식의 거리 측정원리를 그림 1에 간단히 나타내었다.

그림 1(a)에서 송신코드는 의사무작위 코드(Pseudo-random code)이고 이 코드의 상관(Correlation) 특성과 최대 탐지거리의 거리창(Window) 기능을 이용하여 거리를 판별할 수 있다.

표적에서 반사되어온 신호는 그 거리에 해당하는 만큼의 시간지연 있고 송신코드와 상관을 취하면 상관코드가 생성된다. 만일 수신코드에 지연이 없다고 가정하면 송신코드와 수신코드는 동일하므로 그림 1(b)와 같이 상관값은 항상 1이 나오게 되고 수신코



(b) 상관코드에 의한 상관값

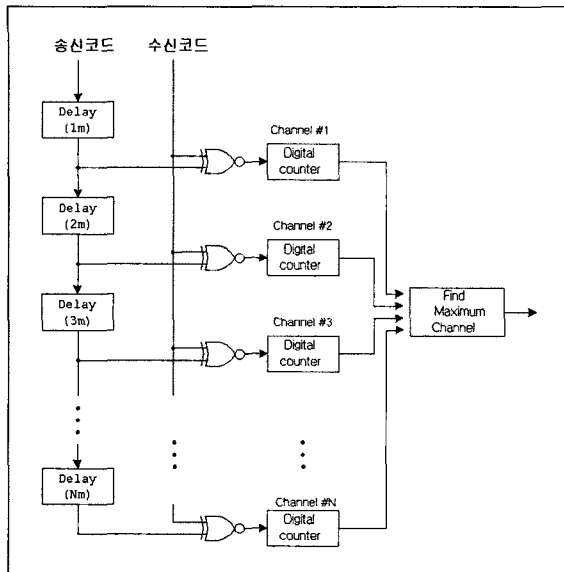
[그림 1] 코드상관방식의 거리측정 원리도

드가 송신코드의 한 코드폭만큼 지연이 되었다면 의사무작위 코드의 특성 상 상관코드의 적분 값은 0.5가 나오게 된다.

예를 들어 코드폭 $\Delta t = 100 \text{ ns}$ 라면 이 코드폭에 대한 거리 $D_0 = 15 \text{ m}$ 가 되며 수신코드가 송신코드와 비교하여 한 코드폭이상 벗어나게 되면 상관값은 항상 0.5가 되는 특성을 나타낸다.

2.1.2 병렬상관 신호처리

병렬상관 신호처리의 원리는 거리별로 송신코드를



[그림 2] 병렬상관방식 개념도

지연한 지연코드와 수신신호를 상관하여 거리를 측정하는 것이고 디지털로직을 사용하여 병렬(Parallel)로 처리하므로 고속으로 처리가 가능하다는 장점이 있다.

그림 2는 병렬상관방식의 개념도이다.

그림 2와 같이 송신코드를 지연한 지연코드와 수신신호를 배타적 부정논리합(Exclusive NOR)을 하면 이것의 특성 상 지연코드와 수신코드가 같을 경우에 1의 값이 나오고 그렇지 않을 경우에는 0이 나오게 된다. 따라서 상관값이 최대가 되는 지연코드를 찾으면 이것이 바로 표적과의 거리가 되고, 지연코드를 몇 개로 하느냐에 따라 거리 분해능(Resolution)을 조절할 수 있다.

본 연구에서는 0.5~10 m 구간에서 0.5 m 간격으로 각 거리에 해당하는 만큼 시간 지연시킨 PN(Pseudo-Noise) 코드열과 복원된 코드열을 20개의 포트에서 병렬로 상관을 취해서 최대값이 나타나는 상관 포트를 찾아 거리를 알아내게 된다.

그림 3에 측정거리가 10 m이고 거리분해능이 0.5

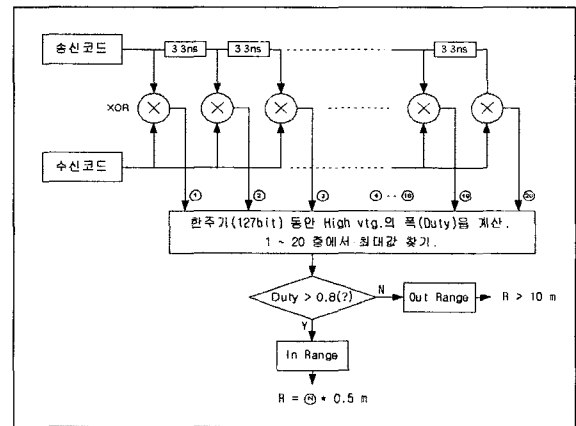
m인 거리측정 병렬상관방식의 블록도를 나타내었다.

그림 4에 지연이 없는 경우와 5 m의 표적에서 반사된 신호에 대한 상관 결과를 나타내었다.

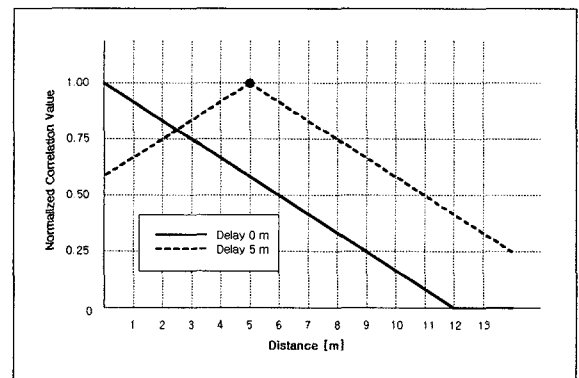
그림 4에 나타나있듯이 지연이 없는 경우의 상관값은 0 m에서 최대값 1을 가지고, 지연이 5 m인 경우의 상관값은 5 m에서 최대값 1을 가지므로 표적과의 거리를 쉽게 알아낼 수 있다.

2.2 수신전력 비교방식의 방향탐지

전술한 바와 같이 표적과의 거리를 알아내기 위해



[그림 3] 거리측정 병렬상관방식 블록도



[그림 4] 지연이 없는 경우와 5m의 표적에서 반사된 신호에 대한 상관 결과

서 BFSK(Binary Frequency Shift Keying) 신호를 송, 수신하고 신호처리부에서는 코드상관방식을 토대로 한 병렬 상관을 취한다. 즉 다시 말하면, 송수신장치는 BFSK 신호를 적절한 레벨로 송신하고 신호처리부에서 처리가 가능하도록 적절한 신호로 변환시켜 주면 된다.

상기한 바와 같이 거리를 측정하기 위한 송수신장치의 블록도는 비교적 간단하나 원하는 분해능으로 표적의 방향을 탐지하는데는 많은 제한사항이 있다. 이 제한사항으로는 안테나 및 송수신장치의 크기가 제한되며, 이 외에 운용 조건 상, 방향을 탐지하는데 아주 짧은 시간이 소요된다는 것이다.

따라서 본 논문에서는 운용환경 상 가장 적합한 수신전력비교를 통한 방향탐지 알고리즘을 제시하였고, 표적의 방향을 탐지하기 위한 방법에 대해 아래에 설명하였다.

본 연구에서는 표적의 방향을 30°의 분해능을 갖도록 하기 위해 비교적 간단한 방법으로는 6개의 수신안테나를 통해 수신되는 신호를 동시에 받아들여, 그 수신 레벨을 비교하여 가장 큰 수신전력을 받아들이는 쪽에 표적이 존재하고 있다고 판단하는 것이다. 그러나 이러한 방식을 구현하기 위해서는 수신 6채널이 필요하게 되어 시스템의 크기 및 단가가 상승되는 단점이 있다.

따라서 제한된 공간 및 송수신장치의 복잡성 등을 고려하여 본 연구에서는 송신 1채널, 수신 3채널을 이용한 수신 전력을 비교하는 방법으로 표적의 방향을 구분하려고 한다. 물론 이 방식 이외에도 각 송신안테나에서 각각 다른 코드를 송신하는 방법 등 여러 가지 방법으로 표적의 방향을 탐지할 수 있으나 운용환경 상 제한된 공간 외에 방향을 탐지하는데 소요되는 시간, 요구되는 안테나의 특성 등을 고려하면 다음의

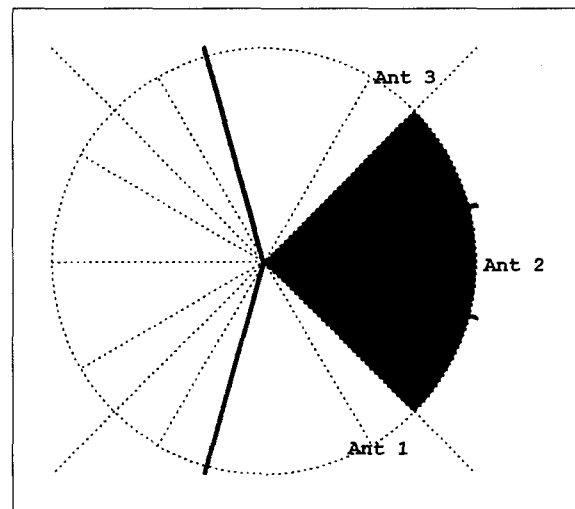
송신 1채널, 수신 3채널을 사용하는 방향 탐지 알고리즘이 가장 적합하다.

그림 5에 본 연구의 방향탐지 알고리즘을 적용하기 위한 송, 수신안테나의 배치 및 탐지영역을 나타내었다.

그림 5에서 요구되는 사항은 다음과 같다. 우선 송신, 수신안테나는 각 6개가 있어야 하며 안테나의 3 dB 빔폭(Az)은 90°이고 각 안테나는 원주방향으로 60° 간격으로 배치되어 있다. 즉, 각 안테나의 3 dB 빔폭이 30°씩 중첩되어 있다.

방향탐지 방법은 송신안테나 2가 송신 시, 수신안테나 1, 2, 3에서 수신을 하고, 2번 수신안테나에서 수신된 신호를 분석하여 거리를 측정하고 수신안테나 1, 2, 3에서 수신된 수신 전력을 측정/비교한 후 표적의 방향을 탐지한다. 예를 들어 안테나 2의 수신전력이 가장 크면 그림 5의 sector b에 표적이 있다고 인식하게 된다.

위와 같은 방법으로 송신안테나를 연속적으로 스위칭하고, 이때의 송신안테나에 대응되는 수신 3채널의



[그림 5] 송, 수신안테나의 배치 및 탐지영역

신호를 수신해가며 표적의 방향을 탐지할 수 있다. 이와 같은 방식에서는 안테나 스위칭 및 신호처리에 소요되는 시간동안 표적과의 거리가 변화하게 되어 발생하는 수신전력 레벨이 바뀌게 되는 문제점을 고려해야 한다.

시스템에 사용되는 신호의 코드폭, 코드열의 길이, 신호처리에 소요되는 시간 등을 고려한 총체적으로 소요되는 시간과 표적과의 최대 상대속도를 감안하여 안테나 스위칭에 소요되는 시간동안 발생하는 표적과의 거리변화는 최대 10 cm 이하이다. 이 거리변화에 따른 수신전력 변화는 수신 3채널에서의 수신전력 차이와 비교하여 상대적으로 작은 값이다.

3. 송수신장치 설계/제작

3.1 BFSK 방식의 거리측정 방법

코드상관방식에서 송신 신호를 코드 형태로 변조하기 위한 방식으로 BPSK(Binary Phase Shift Keying)와 BFSK 방식이 주로 사용되고 있다.

정밀도가 높은 거리측정을 위해서는 높은 칩 변화율(Chip rate)이 요구되기 때문에 다이오드(Diode)나 전계효과 트랜지스터(FET)를 이용한 BPSK 방식이 높은 정밀도를 요구하는 거리측정에 널리 사용되어 왔다. 반면에 전압조정발진기(Voltage Controlled Oscillator, VCO)를 이용했던 기존의 BFSK 방식의 경우에는 높은 칩 변화율로 주파수 변조가 불가능하기 때문에 주로 높은 정밀도가 요구되지 않는 장거리 거리측정에 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 고속 스위칭 기술의 발달로 인해 두 개의 서로 다른 주파수의 소스(Source)를 고속의 스위치를 이용하여 변조하는 시스템의 경우 BPSK와 거의 유사한 정도의 칩

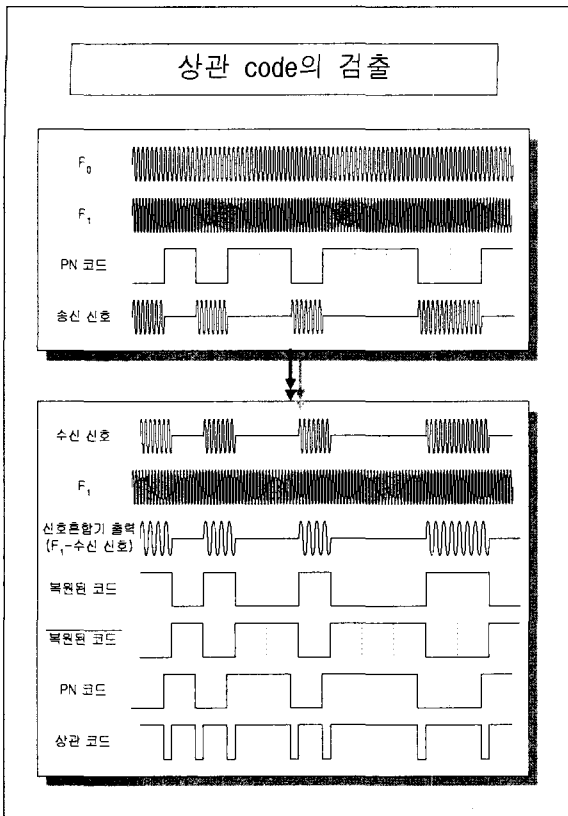
변화율을 사용할 수 있고 따라서 높은 정밀도의 거리 측정이 가능하다.

실제의 센서 설계에 있어서 BPSK의 경우는 목표물과 센서의 거리변화에 따른 위상천이로 인한 수신 코드의 위상변화가 나타나게 되는데, 이로 인해 거리 측정을 할 수 없는 어떤 영역이 생기게 된다. 이를 보완하기 위한 방법으로, 수신단에 위상 변위기(Phase shifter)와 신호혼합기(Mixer)를 추가로 사용하여 동시에 두 개 이상의 위상을 갖는 수신코드를 추출하고 이를 합성하여 거리에 무관하게 수신 코드를 얻는 방법이 사용되는데 시스템이 복잡해지는 단점이 있다.

BFSK의 경우는 중간주파신호(IF signal)에 나타나는 위상변화가 검파기(Detector)를 이용한 전력 검출을 통해 사라지기 때문에 수신코드 복원에 있어서 목표물과 센서의 거리변화에 따른 위상천이 영향을 배제할 수 있는 장점이 있는 반면에 두 개의 소스가 필요한 단점도 있다.

상기한 바와 같이 표적과의 거리변화에 따른 위상천이 영향을 배제하기 위해 본 연구에서는 BFSK 방식을 사용하였고, BFSK 상관코드 검출 방법을 그림 6에 나타내었다.

그림 6에 나타나 있듯이 송신단의 DRO (Dielectric Resonator Oscillator)에서 F_0 의 신호가 나오며 수신단의 신호혼합기의 국부(Local) 단에는 송신주파수와 차이를 두어 F_1 의 신호를 인가한다. 송신 신호는 스위치의 PN 코드에 의해 F_0 와 DC의 주파수로 BFSK 되어 송신된다. 표적에 반사되어서 되돌아온 신호는 지연시간만큼 지연되어 들어오게 되고 위의 수신 신호는 F_1 의 국부 신호와 혼합되어 BPF(Band Pass Filter)를 거치면 F_1 의 성분은 없어지고 위의 그림 6과 같은 신호혼합기 출력신호를 얻게된다. 최종적으로 복원된 코드 바와 송신단의 PN 코드의 상관을 취하



[그림 6] 송수신장치의 상관코드 검출 방법

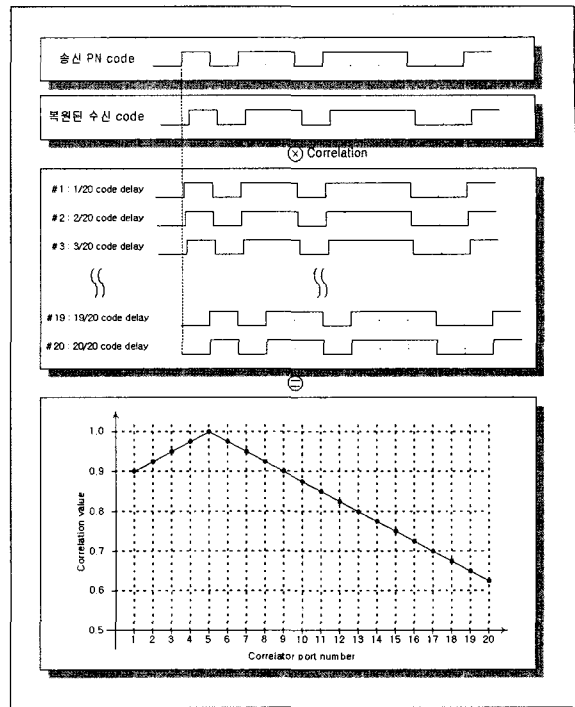
면 상관 코드 신호를 얻을 수 있다.

그림 7에는 병렬상관 신호처리기(Parallel-correlator)의 동작에 대해서 나타내었다. 그림 7은 포트가 20개인 병렬상관 신호처리기로써 복원된 수신 코드와 송신 코드의 상관값이 다섯 번째 포트에서 최대가 됨을 알 수 있다.

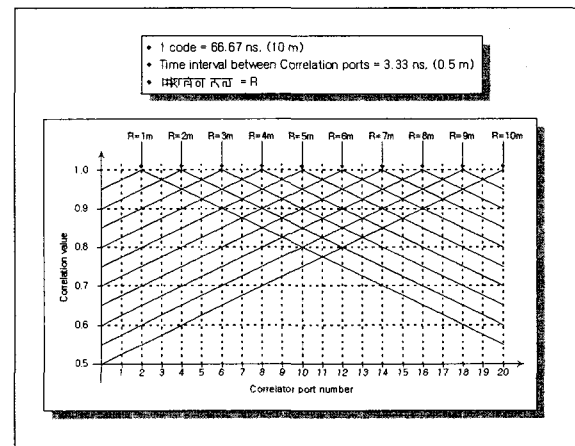
그림 8에 20개의 상관 포트의 거리에 대응하는 각각의 상관값을 나타내었다.

그림 7에 나타나 있듯이 다섯 번째 포트의 상관값이 최대라면 그림 8로부터 표적과의 거리는 2.5 m 임을 알 수 있다.

위와 같은 BFSK 거리측정 방식은 수신된 코드를 복원한 후 병렬 상관을 취하여 상관값을 찾고 그 상



[그림 7] 병렬상관 신호처리기의 동작



[그림 8] 20개의 상관 포트의 거리에 대응하는 각각의 상관값

관값이 최대가 되는 포트에 해당하는 거리가 표적과의 거리가 된다.

앞의 그림 6의 상관코드 검출방법을 실제로 구현하

기 위해서는 두 개의 DRO, BFSK 신호를 생성시키기 위한 스위치, 송신과 수신 전력을 증폭시키는 증폭기 및 기타 필터 등이 필요하며 이 내용은 다음절에 자세히 기술한다.

3.2 송수신장치 설계/제작

거리 및 방향을 탐지하기 위해 설계한 송수신장치의 블록도를 그림 9에 나타내었다.

동작 원리는, DRO에서 주파수 F_0 의 CW가 발생되고 이것은 스위치(SW)에서 PN(Pseudo-Noise) 코드에 의해 F_0 와 DC의 주파수로 BFSK 변조되어 송신 안테나를 통해 밖으로 송신된다.

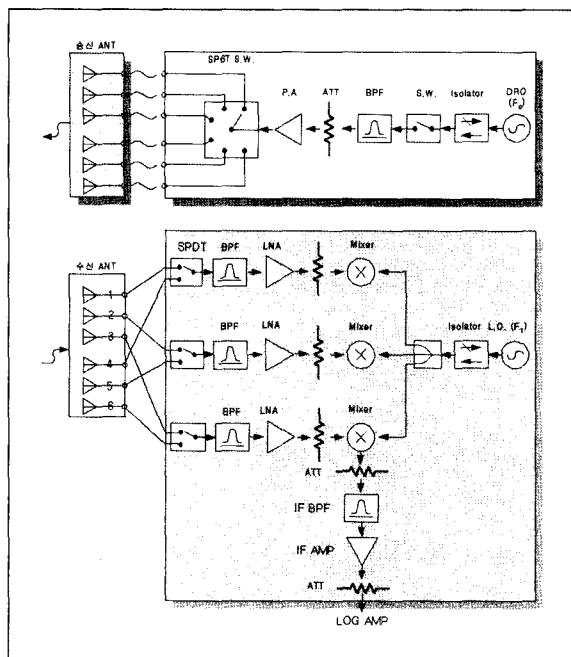
표적에서 반사되어 돌아온 수신신호는 수신안테나를 통해 들어와 저잡음 증폭기(LNA : Low Noise Amplifier)와 대역통과필터를 거쳐 신호혼합기에서 F_1 주파수의 CW와 혼합되어 송·수신신호의 차주파수에

해당하는 신호가 출력되는데, 이때 나타나는 신호는 표적과의 거리에 해당하는 만큼 시간 지연된 PN코드에 의해($F_1 - F_0$)의 주파수가 펄스 변조된 모양으로 나타나게 된다. 미약한 이 신호를 IF BPF와 IF 증폭기를 거쳐 신호처리 가능한 레벨로 만든 후 Log amp(Logarithmic amplifier)에서 코드를 복원하게 된다.

우선 거리 측정 방법에 대해 설명하면 다음과 같다. 블록도에는 나타나지 않았지만, 신호처리부에서는 복원된 코드열과 PN 코드열과의 시간 지연을 측정하면 거리를 알 수 있는데 그 방법으로 본 센서에서는 0.5 ~ 10 m 구간에서 0.5 m 간격으로 각 거리에 해당하는 만큼 시간 지연시킨 PN 코드열과 복원된 코드열을 20개의 포트에서 병렬로 상관을 취해서 최대값이 나타나는 상관 포트를 찾아 거리를 알아내게 된다. 이 방법은 복원된 코드가 어느 정도의 왜곡(Distortion)이 생기더라도 이것이 측정오차로 나타나지 않는 장점이 있다.

또한 방향을 탐지하기 위해서 송신안테나 전단에 SP6T스위치가 있어 송신안테나를 스위칭해 주며, 수신안테나 뒤에 있는 SPDT 스위치를 적절히 스위칭하여 송신하고 있는 송신안테나에 대응되는 3개의 수신안테나로 수신하게 한다. 신호처리부에서는 적분기 및 비교기를 거쳐 각 수신전력을 비교하여 방향을 탐지하게 된다.

그림 11에 사용되는 구성품(DRO, SW, P.A, SP6T, LNA, Mixer, IF BPF, IF amp)들의 역할은 다음과 같다. 우선 송신단을 살펴보면 DRO는 송신신호를 발생시키며, 이 DRO 뒷단의 격리기(Isolator)는 부하(Load)에서의 반사에 따른 DRO의 주파수 흔들림(Pulling effect)을 억제하기 위해 사용되며, SW는 코드를 생성시키기 위해 사용되고, SW와 증폭기 사



[그림 9] 표적위치식별 신관센서 송수신장치 블록도

이의 감쇄기(Attenuator)는 정합효과와 증폭기(P.A)의 1dB를 넘지 않도록 하기 위해 사용된다.

수신단에서 사용된 SPDT는 수신안테나 스위칭에 관련되어 사용되고, LNA는 미약한 수신신호를 증폭하기 위해 사용되며, BPF(Band Pass Filter)는 원하는 주파수만을 통과시키고 정합효과 향상을 위해 사용된다.

그림 11에 사용되는 각 구성품들은 다음과 같이 선택해야 한다. 우선 운용환경을 고려하여 송신 출력레벨 및 수신단 잡음지수를 결정한다. 즉, 안테나 이득, 안테나와 송수신장치간의 케이블 손실, 시스템 손실 등을 고려해야 한다. 또한 증폭기가 포화(Saturation)되지 않고 혼합기에 적절한 구동전력을 공급할 수 있도록 시스템 budget을 설계해야 한다.

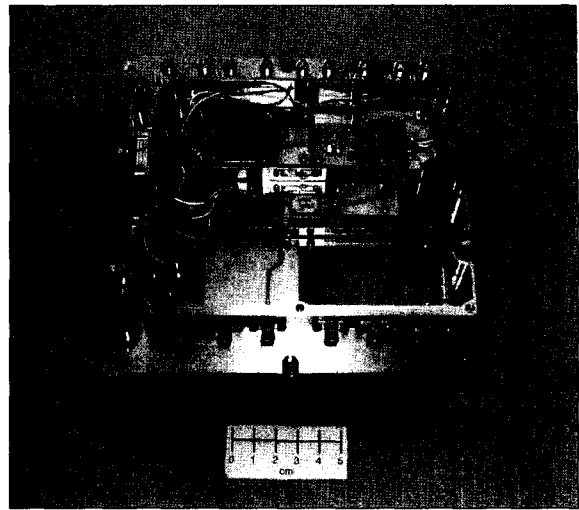
제작된 표적위치식별 관측센서 송수신장치의 사진을 그림 10에 나타내었다. 송신부 SP6T와 수신부 1채널이 미 조립된 상태이다.

송신부의 송신출력 및 수신부의 잡음지수 및 MDS 레벨을 측정된 결과를 표 1에 나타내었다.

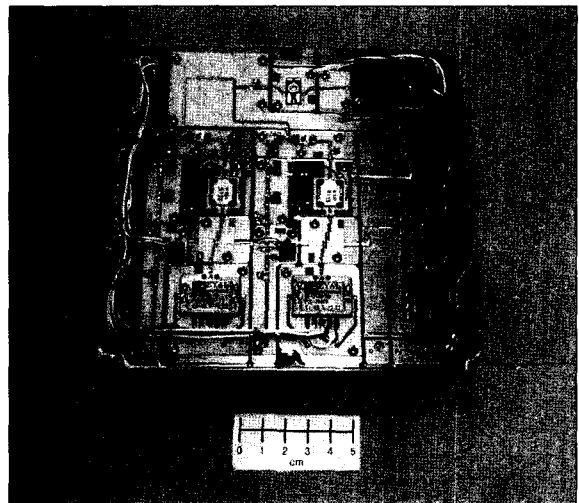
[표 1] 송수신장치 특성 측정결과

항 목	목 표 치	측 정 치
송 신 출 력	15 dBm	14 dBm
잡 음 지 수	9.3 dB	9.23 dB
MDS 레 벨	-80 dBm 이하	-82 dBm

여러 가지 손실들을 고려하면 송신출력 및 수신단 잡음지수를 향상시킬 필요가 있다. 또한 표 1은 기본적인 특성만을 측정된 것이며, 향후 거리 및 방향탐지 성능을 확인해야 한다. 다음절에 보완 설계한 송수신장치의 수신전력 및 MDS(Minimum Detectable



(a) 송신부



(b) 수신부

[그림 10] 송수신장치 사진

Signal, 최저수신감도)의 성능을 계산하였다.

3.3 송수신장치의 보완설계 및 성능계산

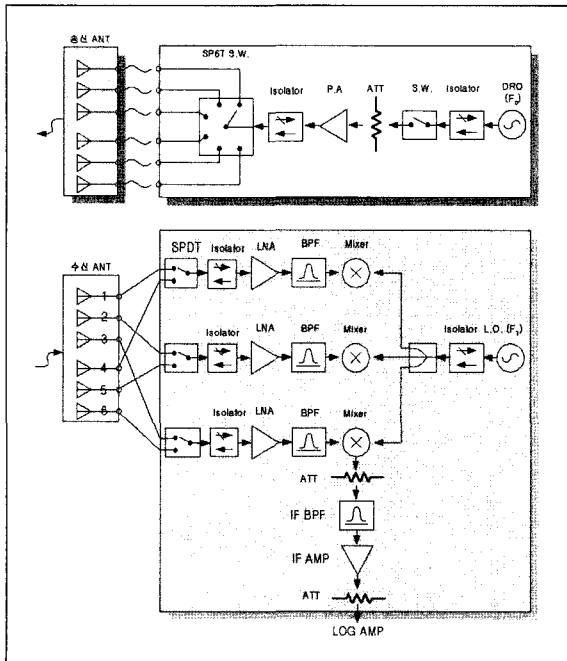
표 1의 송수신장치 특성 측정 결과를 살펴보면 송신출력을 제외한 수신단 특성은 목표치를 만족한다. 그러나 운용환경 상 예상되는 여러 가지 손실들을 고

려하면 송신출력을 증가시켜야 하며, 수신단 잡음지수를 향상시켜야 한다.

그림 11에 보완 설계한 송수신장치의 블록도를 나타내었다.

그림 11과 비교하여 그림 13의 보완 설계한 블록도에서 개선된 점은 다음과 같다. 송신출력을 증가시키기 위해 송신단의 BPF를 사용하지 않고 11dB가 큰 Power amp로 대체하였으며, 수신단 잡음지수를 향상시키기 위해서 BPF를 LNA 뒷단에 배치하고 잡음지수가 작고 이득이 큰 LNA로 대체하였다.

전술한 방법으로 송신출력과 잡음지수를 향상시키기에 대한 성능계산을 하였고 그 내용은 다음과 같다. 본 신관센서에 적용되는 송수신장치의 탐지거리는 10 ~ 15 m로 비교적 짧기 때문에 수신전력 및 MDS 측면에서 특별히 고려할 필요가 없으나 본 송수신장치를 구성하는 각 부분품의 사양이 적절한가를 알



[그림 11] 보완 설계한 송수신장치 블록도

아보기 위해 수신전력 및 MDS를 계산하였다.

우선 수신전력은 널리 사용되는 레이더 방정식^{[2][3]}을 이용해 계산할 수 있다.

$$\text{수신전력}(P_r) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

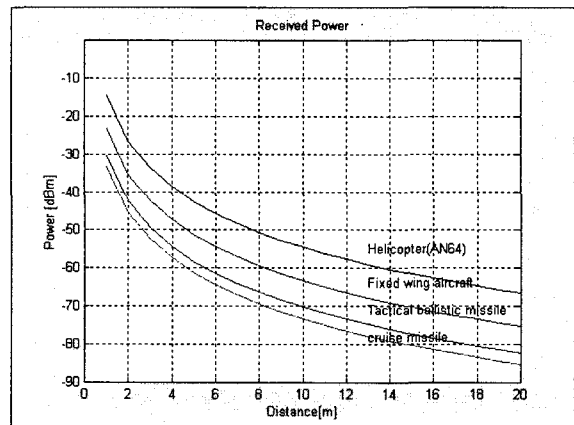
- 여기서, P_t : 평균 송신전력
- G_t : 송신안테나 이득
- G_r : 수신안테나 이득
- R : 표적 거리
- σ : 표적의 RCS

(Radar Cross Section)

위의 식 계산을 위하여 송신전력은 18 dBm, 안테나 이득은 10 dB로 하였다.

위의 송신전력 및 안테나 이득과 각각의 표적에 대한 RCS(Radar Cross Section, 레이더 유효반사면적) 값을 레이더 방정식에 대입하여 얻은 수신전력은 그림 12와 같다.

그림 12의 표적에 대한 수신전력과 송수신장치에 대한 MDS 레벨을 비교하기 위해 송수신장치에 대한



[그림 12] 표적에 대한 각각의 수신전력

MDS를 계산하였다^[4]. MDS 레벨을 계산하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$MDS = kT_0 B_n F_n + S/N$$

수신단 BPF의 대역폭이 50 MHz이고 신호대 잡음비가 5 dB 이며 잡음지수는 LNA 전단의 송수신장치와 수신안테나간 케이블 손실을 고려하여 6.95 dB로 계산하였다.

이 경우 MDS 레벨은 -85.05 dBm이다. 이 값은 표적과의 거리가 10 m 일 경우, 최소 표적(Cruise missile일 경우)에 대한 최소 수신전력(-73 dBm)과 비교하여 약 12 dB의 여유가 존재한다.

5. 결 론

본 논문에서는 표적위치식별 신관센서 송수신장치의 설계를 위해 우선 기본적인 신관센서의 작동개념과 코드상관방식의 개념 등을 살펴보고, 표적과의 거리 및 방향을 탐지하기 위한 알고리즘을 제시하였다.

이를 토대로 송수신부를 설계/제작하였으며, 보완설계와 이에 대한 송수신부의 각종 설계 변수들을 계산하고 성능을 예측하였다. 그 결과 최소 표적에 대한 수신전력과 비교하여 MDS 레벨이 약 12 dB 마진이

있어 신관센서 송수신장치의 요구성능을 만족하는 결과를 나타내었다.

현재 운용환경에 적용 가능토록 송수신장치를 제작하는 중이며, 향후 병렬상관 신호처리부와 연동 실험을 통한 거리감지 및 방향탐지 알고리즘의 성능을 확인 할 계획이며, 이를 바탕으로 실제 표적에 대한 조우시험을 통하여 본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하고, 도출된 문제점을 해결하기 위한 연구가 계속 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Robert C. Dixon, "Spread Spectrum Systems with Commercial Applications", 3rd ed., Wiley Interscience, pp.297~312.
- [2] M. I. Skolnik, "Radar Handbook", 2nd ed. McGraw-Hill, 1990.
- [3] G.W.Stimson, "Introduction to airborne radar", Huges Aircraft Co. Radar Systems Group, 1983.
- [4] Kai Chang, "Microwave Solid-State Circuits and Applications", Wiley Interscience, 1994, pp.143~201.