

# 적외선 호밍 유도탄의 조준축 정렬에 관한 연구

## A Study on the Alignment of Aiming Sight Unit for Infrared Homing Missile

정영숙\*  
Jung, Young-Sook

### ABSTRACT

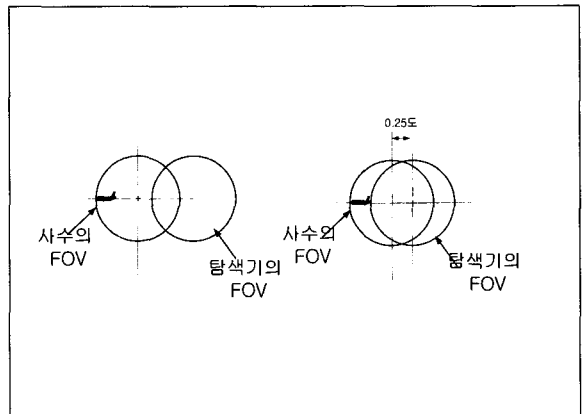
For a proper operation of portable air defense IR terminal homing missile to the rapid intruding target, the boresight of an IR seeker of the missile should be accurately aligned with the gunner's aiming sight. Before a gunner fires the missile, he tries to keep the target within the circle of ASU ensuring the seeker to lock on the target correctly. In this paper, using an electrical seeker caging loop and IR detector signal characteristics, a precise aligning method between the seeker boresight and the LOS(Line of Sight) of ASU(Aiming Sight Unit) was studied. Although every seeker has slightly different SLA (Signal of Look Angle) output, we can get negligible alignment error through a fine tuning method of electrical caging signal. This alignment procedure was also adopted in K-PSAM system.

주요기술용어(주제어) : Field of view(시계), Cage(구속), Lock-on(표적 포착), Cage Tuning Board(구속정렬 회로), Line of Sight(시선), Aiming Sight Unit(조준기)

### 1. 머리말

휴대용 대공유도무기는 사수가 표적을 인지하고 조준하면 유도탄이 표적을 포착하게 되는 시스템이다. 이때 사수는 표적 포착을 확인한 이후에 유도탄을 발사한다. 적외선 탐색기를 사용하는 유도무기의 경우 표적을 인지한 사수가 유도탄을 즉시 발사하기 위해서 유도탄의 탐색기가 신속하게 표적을 포착해야하는데, 이를 위해서는 사수의 시선과 탐색기의 시계(FOV : Field of View) 중심이 일치하는 것이 매우 중요하다. 예를 들어 최대 포착거리 5km에서 크

기가 약 22m인 표적(전투기)을 포착하기 위한 최대 구속 오차가 ±0.25도 이내 이어야 사수가 바라보는



[그림 1] 구속 오차

† 2004년 7월 2일 접수~2004년 9월 10일 심사완료  
\* 국방과학연구소(Agency for Defense Development)  
주저자 이메일 : jysooks@yahoo.co.kr

표적을 탐색기가 포착할 수 있게 된다.

또한, 이동표적의 획득 과정 중에 탐색기의 시선축을 조준기의 조준축에 예속시키기 위해서는 유도탄에 대한 탐색기의 구속기능이 필요하다. 구속기능은 탐색기의 자이로가 움직이는 특성을 이용하여야 하므로 자이로의 회전 주파수와 일치하는 구속용 신호를 생성하기 위하여 같은 주파수의 시각 신호와 기준신호를 사용한다. 이렇게 구성된 전자기적인 구속회로는 각각의 유도탄 마다 미세한 차이를 갖는 시각 신호의 특성에 의한 전기적인 오차와 발사대와 유도탄, 발사대와 조준기 사이의 기계적인 조립 오차를 가지게 된다. 이러한 오차를 줄이기 위해 본 논문에서는 발사관에 장착된 구속정렬 회로(CTB : Cage Tuning Board)를 사용하여 기준신호를 보정하는 방식을 제안하였다.

정렬용 기준신호를 생성하기 위해서 자이로의 자전 주파수와 동일한 신호가 필요하다. 이 신호를 생성하는 데에는 발사관 외부에 코일몽치(ECA : External Coil Assembly)를 부착하는 방식과 탐색기 내부의 기준신호(RVG : Reference Voltage Generator)를 사용하는 방법이 있다. 외부코일 몽치 ECA를 사용하게 되면 자이로 구동에 의한 전자기적인 간섭이 비교적 낮은 신호를 생성할 수 있으나, 장입탄 전반부의 무게가 증가하므로 빠르게 기동하는 표적의 경우 사수의 표적 포착이 힘들고, 코일의 부착 위치가 정밀해야 하므로 제작이 까다롭고 비용이 많이 드는 단점이 있다.

이에 반해 자이로 구동 코일과 수직방향으로 부착된 RVG 코일을 사용하면 전자기적인 간섭은 ECA보다 약간 크지만 별도의 코일을 사용하지 않아도 되는 장점이 있다.

## 2. 구속 오차 요인 분석

그림 2는 유도탄 내의 탐색기 자이로 구속 루프이다. 탐색기의 구속루프는 유도탄의 동체축과 탐색기 시각의 오차가 줄어드는 방향으로 자이로를 움직이려 하는 Type I 시스템이며<sup>[2]</sup>, 탐색기의 시계 중심이 조준선과 일치하기 위해서는 구속회로에 정확한 기준신호( $\theta_{CCMD}$ )를 입력하여야 한다.

신궁 유도탄의 경우 정지상태에서 수직 방향 -10도, 수평방향 0도의 기준 신호를 사용한다.

그림 2에서  $\theta_{CCMD}$ 와  $\theta_L$  관계식은 다음과 같다.

$$\theta_L = \frac{K}{S-K} \theta_{CCMD} - \frac{S}{S-K} \theta_M \quad (1)$$

여기에서,

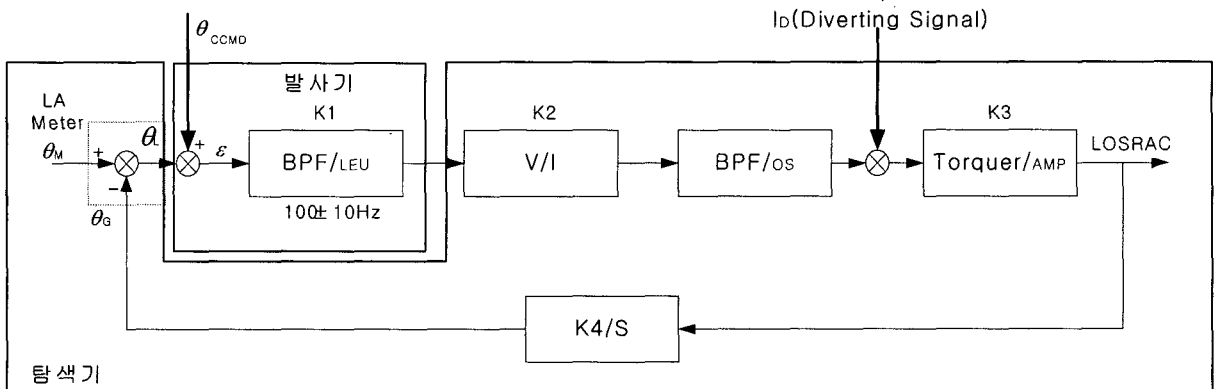
$$K = K_1 K_2 K_3 K_4$$

$\theta_M$  : Angular Position of Missile,

$\theta_G$  : Angular Position of Gyro,

$\theta_{CCMD}$  : Angular Position of Cage Command

이다.



[그림 2] 구속 루프

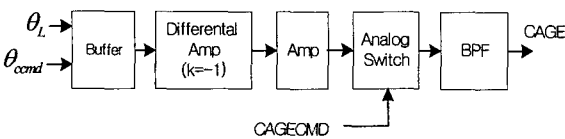
$\theta_{CCMD}$ 가 위치입력(정지 표적)일 경우 정상상태 오차는 '0'이며,  $\theta_{CCMD} = rt$ (일정 속도로 움직이는 표적)일 경우 정상상태 오차는  $r/K$ 이다. ( $r$ : 선회각 속도 [도/초])

발사기는 탐색기의 시각 신호와 기준 신호를 오차 검출기 및 필터 처리하여 탐색기 세차 증폭기 입력단에 인가한다. 즉, 발사기의 구속회로에서는  $\theta_L$ (탐색기 자이로 시각 신호)와  $\theta_{CCMD}$ (구속 명령각, 수직 -10도, 수평 0도)의 차이를 증폭하며, 외부에서 구속 명령이 인가되면 스위치를 거쳐 탐색기로 구속 신호를 보내준다. 탐색기에 구속 신호를 인가하면 탐색기 내의 구속 회로는 두 신호의 차가 0이 될 때까지 궤환 회로를 통해 자이로 구동용 세차신호를 계속 생성한다. 구속 신호는 탐색기의 세차 코일로 인가되어 자이로가 보는 각도를 조정한다. 이때 탐색기의 시각 신호가 기준 신호와 같아지는 방향으로 자이로가 움직이게 된다.<sup>[3][4]</sup>

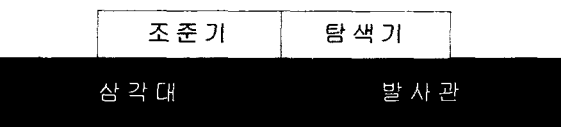
구속 명령각 기준신호( $\theta_{CCMD}$ )는  $\theta_L$  신호와 동일한 주파수를 가진 RVG(Reference Voltage Generator) 신호를 이용하여 생성한다.

RVG 신호는 탐색기 내부의 자석의 움직임에 따라 코일에 유기되는 유기전류이므로 코일의 위치 및 전자기력의 차이에 따라 매 탐색기마다 신호의 위상과 크기의 차이가 발생하게 되며, 기계적으로 정렬이 맞지 않을 경우 탐색기는 원하지 않는 방향을 주시하게 된다.

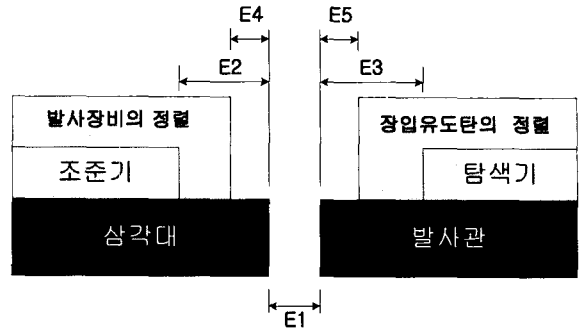
그림 6과 7은 탐색기와 조준기 사이에서 발생할 수 있는 구속 오차의 도해이다.



[그림 3] 구속회로



[그림 4] 구속 오차가 없는 경우



[그림 5] 구속 오차

그림 4는 구속오차가 없다고 가정하였을 때의 체계 결합도이다. 그러나 실제로 아래와 같은 오차가 발생한다.

- E1 : 장입유도탄과 삼각대의 결합오차
- E2 : 조준기 조준축과 삼각대의 정렬기준축의 오차
- E3 : 탐색기 시선축과 발사관의 정렬기준축의 오차
- E4 : 발사장비 정렬 후 정렬오차
- E5 : 장입유도탄 정렬 후 정렬오차

이중 정렬 전 구속 오차는 E1, E2, E3의 합이 되며 정렬 후 구속 오차 즉 E1, E4, E5의 합이  $\pm 0.25$ 도 이내이어야 한다. 각 오차에 대해 설명하면 다음과 같다.

가. 장입유도탄과 삼각대의 결합오차

발사대에 장착되어지는 발사관은 3축이 고정되어 장착되므로 기계적으로 발생하는 오차는 도면에서 주어진 공차 이내로 조립된다. 3축이 고정되어 장착되는 면을 정렬 기준면 이라 한다.

나. 조준기와 발사대의 기계적 오차

조준기와 발사대 기준면 사이에 기계적인 오차가 발생하며 조준기와 발사대의 정렬(발사장비 정렬)을 통해서 줄어든다. 조준기의 장착 어댑터에 조정구조를 구현하여 피치 및 요 방향으로 미세회전이 가능하도록 하였다.

다. 발사관 장입오차

유도탄이 발사관에 장입하였을 경우에 발생하는 발사관 기준면에 대한 탐색기 시선축의 오차이다. 정렬 기준면에서 탐색기 축까지의 형상 및 조립에 의해 누적되는 오차와 탐색기의 전기적 신호 오차까지 포함한다. 이 오차는 장입유도탄 정렬을 통해서 줄일 수 있다.

3. 장입유도탄 정렬 기법 연구

신궁 탐색기의 적외선 검출기는 자이로 위에 부착되어 있으며, 회전하면서 표적을 검출한다<sup>[1][2]</sup>. 검출기의 부착 모양을 보면 FOV 중심에는 표적이 검출되지 않는 비반응 영역(NSZ : Non Sensitive Zone)이 존재한다. 만일 표적이 FOV 상의 NSZ에 존재하는 경우 검출기의 신호는 출력되지 않는다. 이 검출기 신호가 발생하지 않는 구간내에 항상 표적이 존재하도록 유도탄을 정렬하면 발사관 장입오차는 비반응 영역 이하의 크기로 미세한 정렬이 가능하다. 또한 수신호 검출기는 신호 검출을 위해 검출기의 냉각이 필요하나 보조 신호 검출기의 경우 냉각을 하지 않은 상태에서 사용하므로 별도의 냉각장치가 필요하지 않다.

검출기 출력 신호의 파형은 표적이 비반응 영역 내로 들어갈수록 즉, 오차 각이 줄어들수록, 신호의 크기는 작아지고 신호의 폭이 길어지는 특성을 가지고 있다. 이러한 신호 특성을 이용하여 정렬하면 장입유도탄 정렬의 전기적 정렬 오차는 표 1의 조건을 만족할 수 있다.

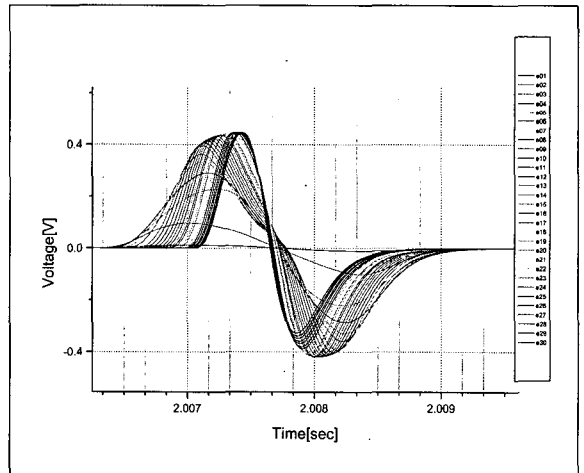
그림 7은 장입유도탄의 정렬 개념도이다. 그림에서

[표 1] 오차 크기

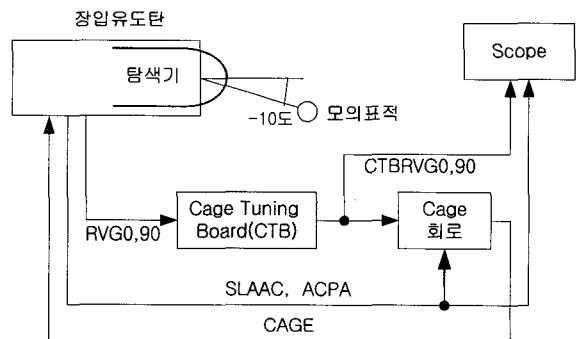
기호	측정	정렬 후 오차
E1	도면 내 공차	±0.07 이내
E4	3차원 측정	±0.08 이내
E5	전기적 측정 및 3차원 측정	±0.08 이내

탐색기 구속회로의 정렬은 탐색기를 구속시킨 상태에서 발사관의 기준면에 대한 탐색기 자이로의 구속 오차를 보정하는 방법으로 실시한다. 기계적으로 발사관의 정렬 기준면에 대하여 유도탄 수직 방향 -10도에 모의표적(콜리메이터)을 두고, 구속 회로를 통해 출력 되는 구속 명령으로 탐색기를 구속시킨다. 탐색기를 구속 상태에서 -10도의 모의표적을 보도록 조정한다. 이 조정에 사용되는 것이 구속오차 보정회로인 Cage Tuning Board(이하 CTB)이다. CTB는 탐색기의 자이로가 보는 방향을 발사관과 정렬시키기 위한 조정 회로이다.

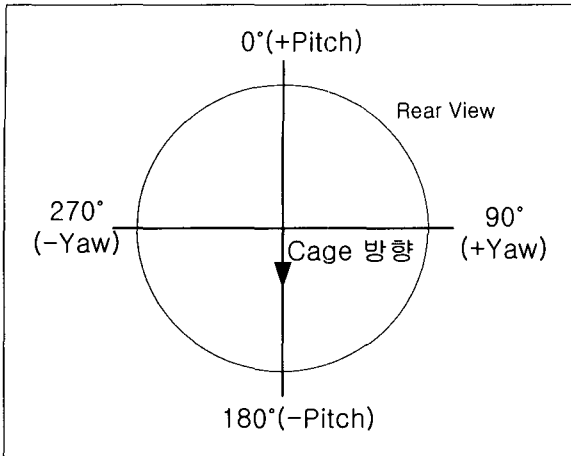
모의표적에 의한 탐색기 검출기의 출력 신호 파형을 관찰하면서 오차가 최소가 되는 방향으로 CTB의 가변저항을 조정한다.



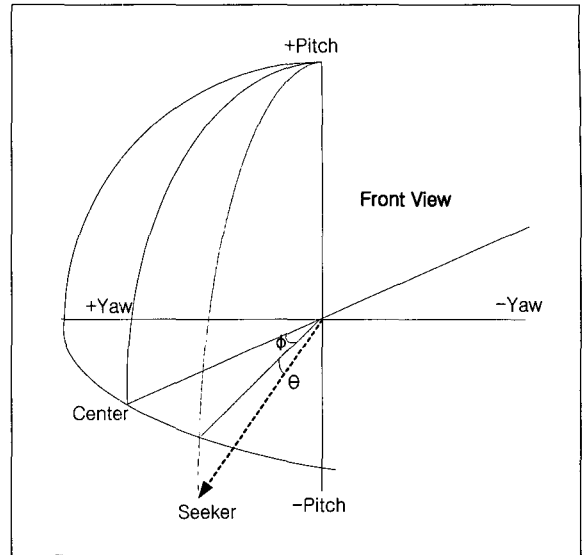
[그림 6] 오차각에 따른 보조 신호



[그림 7] 장입유도탄 정렬 개념도



[그림 8] 탐색기 좌표[Rear View]



[그림 9] 탐색기 좌표[Front View]

[표 2] 신호 특징

신호명	설명	특징
SLAAC	Seeker Look Angle AC	Sine Wave, 시각에 따라 크기와 위상이 변함
RVG0	Reference Voltage Generator 0	Sine Wave, 그림 12의 0도/180도에서 크기가 최대/최소이며, SLA 신호와 위상이 일치
RVG90	Reference Voltage Generator 90,	Sine Wave, 그림 12의 0도/180도에서 크기가 최대/최소, SLAAC 신호와 위상이 90도 차
ACPA	Auxiliary Channel Pre-Amp	Pulse, 보조 검광기 전치증폭기 출력
CTBRVG0	CTB Tuned RVG0	CTB에 의해 위상과 진폭이 조정된 RVG0 신호, Sine Wave
CTBRVG90	CTB Tuned RVG90	CTB에 의해 위상과 진폭이 조정된 RVG90 신호, Sine Wave

구속에 사용되는 신호는 표 2와 같다. SLAAC 신호는 탐색기의 시선을 나타내는 신호로 탐색기 내의 자이로 자석의 회전에 의하여 LA(Look Angle) 코일에 유기되는 전류에 의해 생성되는 신호이며, 내부 자이로 자석이 특정 방향으로 시각이 커질 때 크기가 점점 커지고 자이로가 회전하므로 사인파가 생성되게 된다. SLAAC 신호의 크기는 약 0.18[V/deg]이나, 매 탐색기 마다 약 10% 이내의 오차를 포함하고 있다.

식 (2)와 같이 SLAAC 신호에서 pitch 각의 변화는 신호의 크기로, yaw 각의 변화는 신호의 위상으로 표현된다.

$$SLAAC = A \sin(2\pi ft + \phi + \epsilon_L) \quad (2)$$

$$RVG0 = B \sin(2\pi ft + \epsilon_{R0}) \quad (3)$$

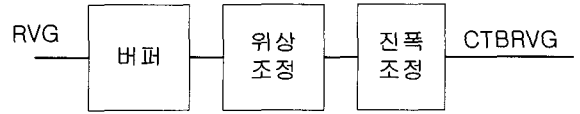
$$RVG90 = C \cos(2\pi ft + \epsilon_{R90}) \quad (4)$$

$$A = 0.18 \times \theta + \alpha \quad (5)$$

여기서,

$\alpha$  : SLAAC 신호크기의 오차

$\epsilon_L$  : SLAAC 신호의 위상 오차  
 $\epsilon_{R0}$  : RVG0 신호의 위상 오차  
 $\epsilon_{R90}$  : RVG90 신호의 위상 오차이다.



[그림 10] CTB 회로 블록도

$$CAGE = SLAAC - CTBRVG0 \quad (6)$$

위에서 설명한 바와 같이 구속명령을 주면 CAGE 신호가 0이 되는 방향으로 탐색기 자이로의 시각이 움직이므로 정확한 정렬을 위해서 CTBRVG0 신호는 탐색기의 절대 시각(수직 -10도, 수평 0도)에서의 SLAAC 값과 동일하도록 조정해야 한다. CTB에서 출력되는 신호는 구속 회로로 입력되는 기준신호이며 이는 탐색기 내부의 RVG 신호의 위상과 진폭을 조정하여 생성할 수 있다.

#### 4. CTB 설계

CTB 회로는 탐색기에서 출력되는 RVG 신호를 유도탄의 시각 수직방향 -10도, 수평방향 0도에서의 SLAAC 신호와 동일하도록 조정하는 역할을 한다.

[표 3] 오차 분석

항목	오차 값	환산오차
RVG 코일의 가스 주입구에 대한 기계적 조립오차	± 5도	위상조정인자 : ± 5도
RVG0, RVG90 신호크기 오차	시각 10도에서 5% 감소	크기조정인자 : 5.7Vp (= 6.0 - 0.3)
SLAAC 신호크기 오차	시각 10도에서 1.8 ± 0.18 Vp	크기조정인자 : 1.8 ± 0.18 Vp
정렬 기준축에서 탐색기 시선축까지의 기계적 조립오차	-피치 ± 0.1도	크기조정인자 : ± 0.018 Vp
	요 ± 0.15도	위상조정인자 : ± 0.864도

CTB 회로에서 조정해야할 오차를 분석하여, 분석한 기계 및 신호 오차를 위상 및 크기 오차로 환산하면 표 3과 같다.

표 3에서 나타난 위상 및 크기에 대한 오차의 여유를 20%로 가정하면, RVG 위상의 가변범위는 (±5도 ±0.864도) × 1.2 = ±7.0도가 된다.

RVG 신호 크기의 가변범위는 다음과 같이 계산된다.

$$g1 \times 5.7 = 1.8 - 0.18 - 0.018, \quad g1 = 0.28$$

$$g2 \times 5.7 = 1.8 + 0.18 + 0.018, \quad g2 = 0.35$$

$$G1 = g1 \times 0.8 = 0.22$$

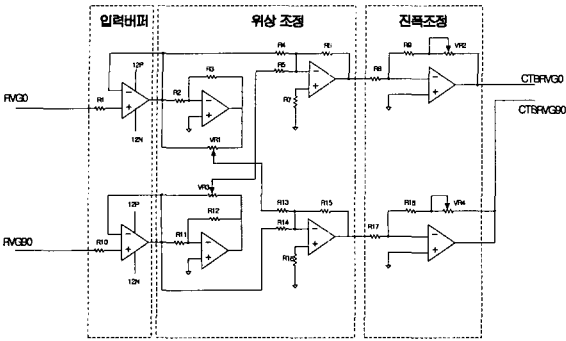
$$G2 = g2 \times 1.2 = 0.42$$

위의 결과로 설계된 구속정렬회로(CTB)의 조정범위는 다음과 같다.

[표 4] CTB 조정범위

항 목	범 위
위상 조정범위	±7.0도 이상
진폭 조정범위	0.2 이하 ~ 0.5 이상

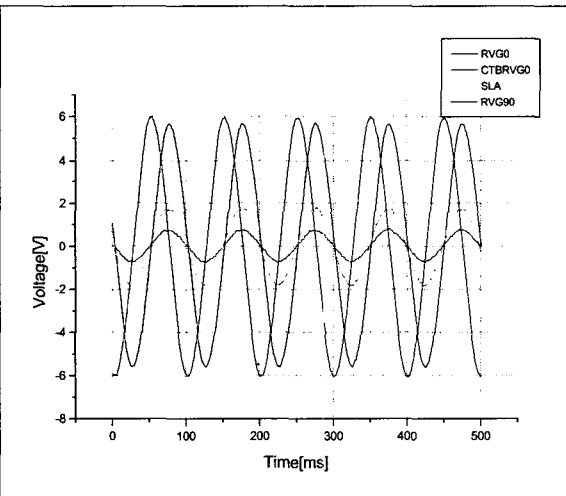
각 유도탄마다 각각 다른 오차를 가지고 있으므로 CTB는 유도탄 마다 정렬이 필요하며, 유도탄 조립점검 공정에 포함되어야 한다. 따라서 CTB는 발사기 내부에 포함될 수 없으므로 발사관 내에 장착하여야 한다. 그러나 발사관 내의 공간상 제약<sup>[5]</sup>으로 인해 회로는 소형화 되어야 하며, 무기 체계에 주어진 광범위한 외부 환경 변화(온도 변화)에 민감하지 않아야 한다. CTB는 온도에 비교적 민감한 capacitor보다는 비교적 온도 계수가 낮은 저항만으로 회로를 구성하여 온도에 따른 조정 오차가 작다. 사용된 모든 저항은 0.1% 이내의 오차범위를 갖는 것으로서 조정된 값의 정확도를 꾀하였다.



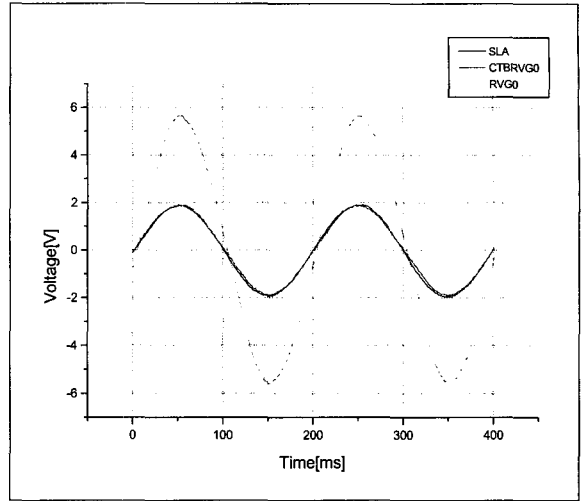
[그림 11] CTB 회로

5. 실험 및 결과

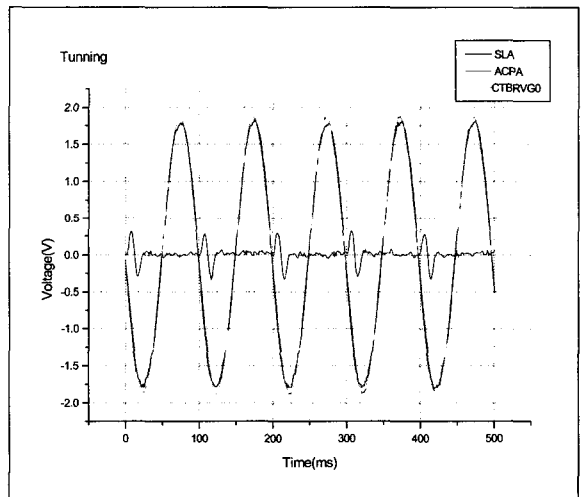
실험을 위해 그림 7과 같이 구성하고 제작된 CTB와 구속회로를 이용하여 정렬을 확인하는 시험을 실시하였다. 모의 표적은 적외선 램프와 콜리메이터를 이용하여 탐색기의 검출기에 점표적을 형성하는 원거리 표적을 모의한다. 오실로스코프를 이용하여 탐색기의 시각 신호, 기준신호, 조정된 구속용 기준 신호, 그리고 적외선 검출기 출력 신호를 측정한다. 유도탄에 전원을 인가하고 탐색기 자이로의 자전 기동이 끝난 후 -10도 구속을 하면 그림 12와 같은 신호가 나타난다.



[그림 12] 정렬 전 -10도 구속 시 신호 파형



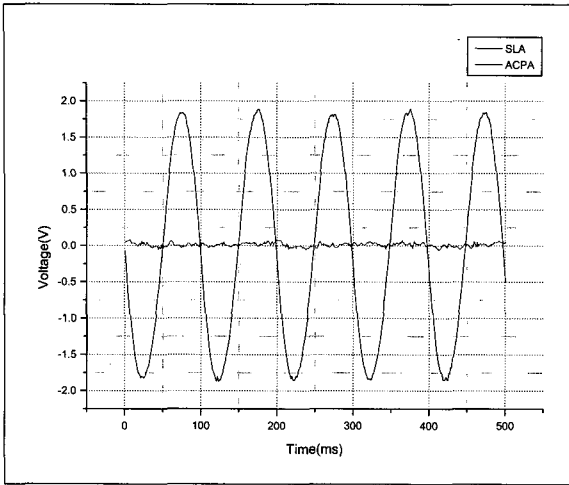
[그림 13] 정렬 중 신호 파형1



[그림 14] 정렬 중 신호 파형2

CTB 회로의 위상, 진폭 가변저항을 이용하여 SLAAC 신호를 측정하여 CTBRVG0 신호를 조정한다.(그림 13), 탐색기 검출기의 출력 신호가 '0'이 될 때까지 가변저항을 조정한다.(그림 14, 그림 15)

그림 15에서 보는 바와 같이 탐색기 검출기 출력 신호가 거의 '0'이 되면 정렬 오차는 표 1의 E5 이내로 정렬된 것을 알 수 있다.



[그림 15] 정렬 후 신호 파형

## 6. 맺음말

적외선 탐색기를 사용하는 휴대용 유도무기 체계의 조준축과 탐색기 구속회로를 정확하게 정렬하는 방법에 관하여 연구하였다. 본 논문에서는 유도탄 내부 RVG 신호를 사용하여 정렬 보정용 기준 신호를 생성하는 CTB 회로를 설계하였다. 탐색기 검출기의 출력 신호 특성을 이용하여 보다 정밀한 정렬 방법을

제시하였으며, 설계된 정렬 방법은 매 유도탄마다 기계적 전기적인 누적공차를 최소화 할 수 있는 것임을 실험을 통해 증명하였다. 이러한 정렬 기법은 신궁 유도탄의 조준축 정렬에 적용하고 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 윤재룡, "PSAM 탐색기 개념 설계", 연구보고서, MSDC-516-971072, 국방과학연구소, 1997. 9, pp.9~29.
- [2] 윤재룡, 유인익, 지준근, "신궁탐색기 설계 종합", 연구보고서, TEDC-516-031213, 국방과학연구소, 2003. 12, pp.21~52.
- [3] 이원상, 이기승, 윤석구, 임훈철, "휴대용 대공유도무기용 발사기", 연구보고서, MSDC-416-970538, 국방과학연구소, 1997. 5, pp.15~16.
- [4] 이상국, 강설목, 임훈철, 정영숙, "신궁 발사기 개발", 연구보고서, MADC-416-000821, 국방과학연구소, 2000. 8, pp.67~94.
- [5] 홍길호, 하재훈, 김지철, "신궁 발사관 조립체 연구" 연구보고서, MADC-416-020586, 국방과학연구소, 2002. 8, pp.58.