

발사플랫폼의 운용성 확장을 위한 지면기울기 보상기법

Development of an Algorithm for Compensating Ground Inclination to Expand an Operational Field of a Missile Launcher

정재욱* 김룡*
Jae-Wook Chung Yong Kim

Abstract

When missile is launched, a launcher needs to be leveled with accuracy to avoid the systems's instability. In general, a launcher is leveled by adjusting the stroke of leveling jacks; however, it is still challenge to control the leveling jacks fast and accurately. This paper thus proposed an innovative algorithm for compensating ground inclination of a missile launcher to expand operational field of a missile launcher.

Using two inclinometers attached on a launcher, a base jack for leveling is selected and the mixed gradient where launcher stands on can be estimated. Due to the limited stroke, the launcher can compensate its ground inclination within maximum stroke margin. Then, the ground inclination of a launcher can be compensated by calculated angle using weighting factors. The effectiveness of proposed algorithm is proved with a prototype missile launcher.

Keywords : Missile Launcher(유도탄 발사대), Ground Inclination(지면기울기), Compensation Algorithm(보상기법), Weighting Factor(가중요소)

1. 서론

탑재되는 유도탄의 하중과 발사추력으로 인해 이동식 발사플랫폼에 외력이 가해질 경우, 발사플랫폼을 지지하는 현수장치 및 타이어의 진동으로 인해서 발사플랫폼의 안정성이 저해될 우려가 있다. 이동식 유도탄 발사플랫폼을 안정적으로 운용하기 위해서는 발사플랫폼이 운용지역으로 이동하고 난 후, 먼저 발사

플랫폼에 부착된 지지책을 사용 플랫폼의 하중을 단단히 지지하여 외력에 의한 타이어 및 현수장치의 가진 영향을 줄여주어야 한다. 또한 발사플랫폼에 장착되어 운용되는 유도탄의 발사 초기 안정성을 위해 필요한 발사플랫폼의 수평정밀도를 확보하기 위해 지지책을 조절하여 지면기울기를 보상하여야 한다.

발사플랫폼에 장착되는 지지책의 작동길이가 길수록 보상할 수 있는 지면기울기의 범위는 늘어나지만, 발사플랫폼의 지면이탈각이 줄어들 수 있고 지지책이 부착되는 위치에 따라 탑재구조물과 간섭이 발생할 수 있기 때문에 지지책은 작동길이에 제한을 가지게 된다. 또한 지지책의 작동길이가 길어지면 횡방향으로

† 2011년 9월 30일 접수~2012년 1월 27일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 정재욱(cjw5508@add.re.kr)

부가되는 하중에 매우 취약해져 구조적 안정성을 확보하기 위해 지지책의 직경이 필요이상으로 커져야 한다. 따라서 지지책의 작동길이 선정은 발사플랫폼의 지면이탈각, 구조물과의 간섭, 최대지지 하중, 지지책의 무게 및 최대 지면기울기 보상각도 등을 고려해야 한다.

조성래^[3]는 발사플랫폼의 수평제어를 위해 LQG/LTR 제어기를 설계하고 ADAMS를 사용한 전산해석을 통해 성능을 입증하였다. 홍길호^[6]는 발사플랫폼의 수평안정화를 위해 시간지연제어기(LSTDC)를 설계하고 실험장치를 통해 성능을 입증하였다. 기존 연구에서는 지지책의 작동길이, 지지력 및 지면기울기 같은 발사플랫폼의 상태정보가 충분하였다.

본 논문에서는 지지책의 작동길이 제한된 발사플랫폼의 운용 가능지역 확장을 위한 지면기울기 보상기법을 제안하였다. 발사플랫폼에 부착된 기울기 센서 정보를 이용하여 운용자가 작전 가능한 지면경사 여부를 판단할 수 있는 기준을 제시했으며 지지책의 제한된 작동길이를 고려하고 사격에 필요한 방향의 지면 기울기를 보상을 할 수 있도록 가중요소를 적용한 함수를 설계하였다. 제안된 기법과 함수는 실제 발사플랫폼에 적용되어 그 유효성을 입증하였다.

2. 본 론

발사플랫폼이 운용을 위해 정차한 지역의 지면기울기가 플랫폼에 부착된 지지책의 작동길이를 보상가능하면, 플랫폼 상면을 기준으로 지면기울기를 영으로 보상하고 지면기울기가 지지책의 작동길이를 초과하는 경우, 작동길이 범위에서 유도탄이 요구하는 각도이내로 지면기울기를 보상하는 절차를 수평정치라 정의하였다.

발사플랫폼의 수평정치 정밀도가 크게 중요하지 않은 경우, 일반적으로 운용자가 플랫폼에 장착된 수평용 지지책을 직접 조작하여 지지책을 지면에 착지시키면서 플랫폼의 수평상태를 육안으로 확인한다. 이 방식은 운용자의 숙련도에 의해서 플랫폼의 정치완료 정밀도와 작동완료 시간이 크게 좌우되며, 운용자가 탑승차량에서 반드시 내려야 한다는 제약이 있다. 화생방 및 세균오염 지역에서 작전을 수행할 경우, 운용병이 오염에 노출되는 것을 피하고 운용자의 숙련도

와 무관하게 높은 수평정밀도 달성을 위해서 기울기 센서, 지지책 및 제어기로 구성된 발사플랫폼의 수평 제어시스템을 설계하였다.

발사플랫폼의 수평제어시스템 구성에 있어 가장 먼저 고려되어야 할 사항은 탑재되는 유도탄의 수평정밀도 요구조건 및 운용특성이다. 탑재유도탄의 구동시 시스템의 무게중심 변화가 적은 경우에는 수평정치를 위해 3개의 지지책을 사용해도 되지만, 탑재유도탄의 작용하중이 커서 초기위치에서 발사가 가능 위치로 이동할 때, 시스템의 무게중심이 많이 변할 경우에는 3개 이상의 지지책을 사용해야 한다. 또한 발사추력이 크고, 특히 경사형 발사방식의 경우에는 아웃트리거 형태의 지지책 부착방식을 검토하는 것이 필요하다.

발사플랫폼의 기울기를 측정하기 위한 기울기센서는 구조변형이 일어나지 않는 강성이 높은 부위를 선택해야 한다.

본 논문에서는 위와 같은 사항들을 고려하여 Fig. 1과 같이 네 개의 지지책을 발사플랫폼의 전/후/좌/우로 부착하였으며 신호출력 연관성을 없애기 위해 두 개의 기울기 센서를 직교하게 부착하였다. 발사플랫폼의 전/후방향의 기울기는 피치로 정의하였고 좌/우방향의 기울기를 롤로 정의하였다.

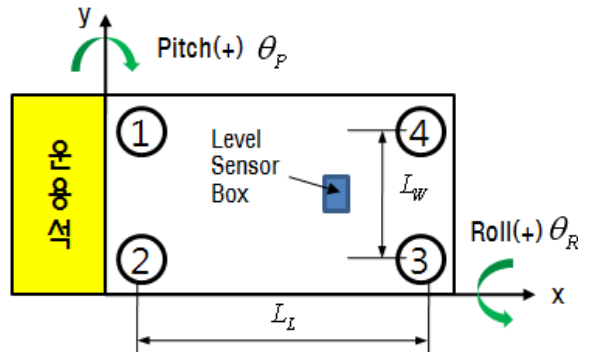


Fig. 1. 기울기센서 및 지지책 위치

가. 기준 수평책 선정 및 보상길이 계산

발사플랫폼에 장착된 지지책을 지면에 착지시키고 타이어 및 현수장치에 의한 영향을 줄이기 위해서 네 개의 지지책 모두 일점크기 이상의 하중을 지지하도록 하였다. 지지책의 플랫폼 지지과정이 완료된 후, 수평정치를 수행하기 위한 기준 지지책 선정이 가장 먼저 수행되어야 한다.

Fig. 1과 같이 장착된 기울기센서의 출력을 조합하면 Table 1과 같이 모두 아홉 가지의 조합을 얻을 수 있다.

피치와 롤 방향의 기울기 값이 존재할 경우, 발사플랫폼의 상면을 기준으로 가장 높은 위치에 존재하는 지지책이 분명하게 구별될 수 있으며, 그 책을 수평정치를 위한 기준 지지책으로 선정하였다. 피치 또는 롤 방향의 기울기 값이 영인 경우는 발사플랫폼의 상면을 기준으로 동일한 위치에 두 개의 지지책이 존재한다. 이 경우에는 개발자의 편의성에 의해 두 개의 지지책 중 하나를 기준 지지책으로 선정하였다. 지지책의 하중지지 작동이 완료된 후, 피치와 롤 방향의 기울기 값이 모두 영이면 수평정치가 완료된 것으로 판단하여 지면기울기 보상과정을 종료한다.

Table 1. 기준 지지책 선정기준

순번	θ_R	θ_P	기준 책	비 고
1	0	0		수평정치 완료
2	+	+	1	
3	+	0	4	1번, 4번 같은 높이
4	+	-	4	
5	-	+	2	
6	0	+	2	1번, 2번 같은 높이
7	-	-	3	
8	-	0	3	2번, 3번 같은 높이
9	0	-	3	3번, 4번 같은 높이

발사플랫폼이 완전 강체이면 기준 지지책을 제외한 나머지 세 개의 지지책이 선정된 기준 지지책과 동일한 높이가 되도록 길이를 조절하면 발사플랫폼은 지면기울기를 완전히 보상하게 된다. 발사플랫폼이 피치와 롤 방향으로 동시에 기울어진 경우, 기준 지지책과 동일한 높이가 되기 위한 나머지 지지책들의 작동길이는 오일러 각도 계산으로 얻어진 식 (1)의 매트릭스 연산을 통해서 얻게 된다.

복합기울기에 의해 발사플랫폼은 x, y방향의 움직임도 발생하지만 그 양이 적기 때문에 무시하였고, 지지책의 이동길이 방향인 z방향의 계산식을 사용하여 지면기울기 보상을 위한 정보를 획득하였다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \cos\theta_P & 0 & \sin\theta_P \\ \sin\theta_R \sin\theta_P & \cos\theta_R & -\sin\theta_R \cos\theta_P \\ -\cos\theta_R \sin\theta_P & \sin\theta_R & \cos\theta_R \cos\theta_P \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{bmatrix} \quad (1)$$

Fig. 2는 기준 지지책이 1번일 경우, 나머지 지지책들의 좌표를 나타내며, 이 좌표값을 식 (1)에 대입하여 발사플랫폼의 상면이 수평이 되기 위해 이동해야 할 길이가 계산된다. 식 (2)는 기준 수평책이 1번일 경우, 나머지 책들이 이동해야할 길이를 계산하는 공식이다.

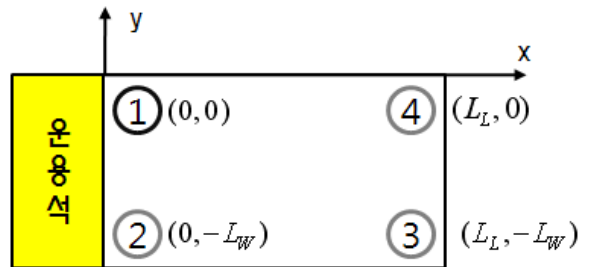


Fig. 2. 기준 지지책 1번시 지지책 좌표

- 책 2 : $L_W * \sin\theta_R$
- 책 3 : $L_L * \cos\theta_R * \sin\theta_P + L_W * \sin\theta_R$
- 책 4 : $L_L * \cos\theta_R * \sin\theta_P$

나. 복합 지면기울기

발사플랫폼의 수평정치를 위해 장착된 지지책은 작동길이의 한계가 존재하며 이러한 작동길이 한계로 인해 수평정치가 가능한 지면 기울기 범위가 존재한다. 발사플랫폼이 운용을 위해 임의지역에 정착할 경우, 운용자는 차량이 정착한 지역이 수평정치가 가능한 경사도 지역인지를 판단해야 한다.

일반적으로 이동식 발사플랫폼의 현가장치와 타이어 형상은 발사플랫폼의 하중변화에 따라 변위가 발생되며, 발사플랫폼이 경사지면에 진입하게 될 경우, 지면기울기 변화에 의해 발생하는 축 하중 변화만큼의 추가적인 변위가 현가장치와 타이어에 발생하게 된다. 하지만, 현가장치 및 타이어의 변위가 크지 않고 발사플랫폼이 정착된 지면이 국소 파임 또는 돌출과 같은 급격한 변화가 없이 평평하다면 발사플랫폼에 장착된 기울기센서의 출력을 사용하여 지면기울기 예측할 수 있다.

정차지역의 작전 가능 여부를 판단하기 위한 발사

플랫폼의 복합 지면기울기는 다음과 같이 정의하였다. Fig. 3과 같이 지지책의 장착거리를 기준으로 폭 L_W , 길이 L_L 인 발사플랫폼이 피치와 롤 방향으로 동시에 기울어졌다면 기준 지지책과 가장 낮은 위치의 지지책은 L_H 의 높이차를 갖는다. 발사플랫폼의 대각선 방향 길이 L_S 와 책 사이의 높이차 L_H 의 기하학적 관계를 통해서 복합 지면기울기 θ_{MA} 를 정의하였다.

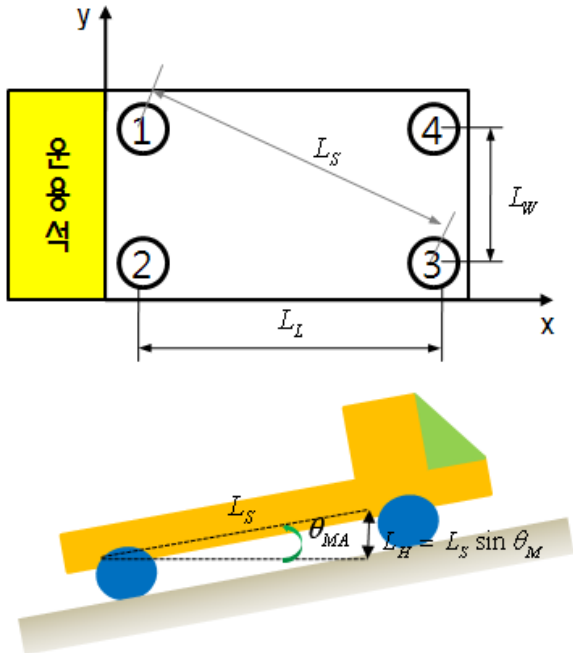


Fig. 3. 복합 지면기울기

기준 지지책이 1번일 경우, 복합 지면기울기 계산은 식 (2)의 값을 통해서 산술적으로 구해진다. 기준 지지책이 1번일 경우, 가장 장착 위치가 낮은 지지책은 3번이다. 식 (2)의 지지책 3번의 이동거리가 높이차 L_H 가 되며, 이를 통해 복합 지면기울기는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$L_H = L_L * \cos\theta_R * \sin\theta_P + L_W * \sin\theta_R$$

$$L_S = \sqrt{L_L^2 + L_W^2}$$

$$\therefore \theta_{MA} = \sin^{-1}\left(\frac{L_H}{L_S}\right) \quad (3)$$

실제 지면기울기를 보상할 수 있는 범위는 지지책

의 작동길이와 높이차 L_H 의 관계를 통해서 결정된다. 작동길이에 해당되는 L_H 가 결정되면 발사플랫폼의 지면기울기 보상 가능한 복합 지면기울기가 결정된다.

다. 지면 기울기 보상기법

발사플랫폼의 수평정치를 위한 지지책은 구조가 단순하고 큰 힘을 발생할 수 있는 유압실린더를 사용하였다. 작동길이가 짧은 유압실린더는 로드내부에 위치 측정용 센서를 부착하여 작동길이를 측정할 수 있지만, 작동길이가 긴 유압실린더는 로드내부에 위치 측정용 센서를 부착하기 어려우며 많은 비용이 소요된다. 위치 측정용 센서를 부착하지 않은 유압실린더의 작동길이를 예측하기 위해 본 연구에서는 발사플랫폼이 강체이고 지지책용 유압실린더는 운용시 지면과 밀착되어 있다는 가정을 하고 식 (2)를 사용하여 유압실린더의 작동길이를 예측하였다. 발사플랫폼의 기울기를 측정하기 위한 기울기 센서는 지지책용 유압실린더의 응답특성 실험결과를 기반으로 실린더보다 7배 이상의 응답특성을 갖는 미국 Jewell사의 LSO±14.5 기울기 센서를 선정하였다.

발사플랫폼에 4개의 지지책이 장착되어 있을 경우, 무게중심 변화가 없는 발사플랫폼의 수평정치에 필요한 수평책의 수량보다 많은 여유자유도를 가지고 있다. 따라서 발사플랫폼 상면의 기울기는 수평정밀도를 만족해도 지지책 한 개가 지면에서 떠 있을 수 있다. 이런 현상을 방지하기 위해서는 통상 제어를 수행하는 세 개의 책 중, 두 개는 위치제어 한 개는 힘 제어를 수행한다. 그러나 지면 기울기에 따라 지지책의 힘 제어의 기준값이 변화되어야 하며 지지책의 힘을 정확히 측정해야 할 센서가 필요하다. 본 연구에서는 비용을 절감하고 시스템 구성을 단순하게 하기 위해서 힘 제어를 적용하지 않았고 착지완료시 지지책의 지면 이탈 여부를 확인하기 위해서 실린더 내부에 압력스위치 부속하였다.

Fig. 4는 지면기울기 보상을 위한 제어알고리즘 블록도이다. 발사플랫폼의 수평정치를 위해 위치명령을 입력으로 하는 PD제어기를 사용하였다. 수평정치를 위한 기준 지지책 선정이 먼저 된 후, 식 (2)를 통해 계산된 다른 책들의 이동길이가 제어입력이 되기 때문에 제어명령에 의해 나머지 지지책의 움직임이 Overshoot가 되어 기준책보다 높게 위치한다면 수평정치 알고리즘이 정상적으로 작동되지 못하게 된다. 이런 현상

을 방지하기 위해 많은 시험을 통해 얻은 지지재용 구동장치의 특성을 분석하였다. 또한 지지재의 움직임이 Overshoot가 발생하지 않도록 시행착오(trial & error)를 통해 제어기의 계인을 선정하였다.

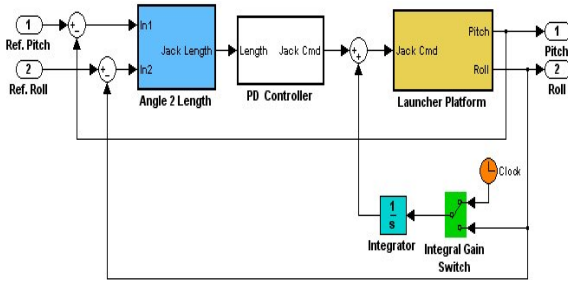


Fig. 4. 발사플랫폼의 기울기보상 알고리즘

기준 입력의 크기가 상대적으로 작은 롤 방향은 제어출력 크기가 작아 지면기울기에 따라 지지재가 발사플랫폼의 하중을 수평정치 완료범위까지 밀어 올리지 못하는 경우가 발생한다. 운용 및 환경조건에 따라 지지재의 출력특성이 조금씩 변화하기 때문에 계인을 조절하여 모든 조건을 만족하기 어렵다. 대신 적분요소를 추가하여 제어출력을 증가시키는 방법을 사용하였다. 일정 시간 지난 후에도 제어알고리즘을 통해 수평정치가 완료되지 못하면서 센서 출력이 일정시간 이상 일정하게 유지될 경우, 제어출력이 부족한 것으로 판단하여 적분요소가 작동하도록 하였다.

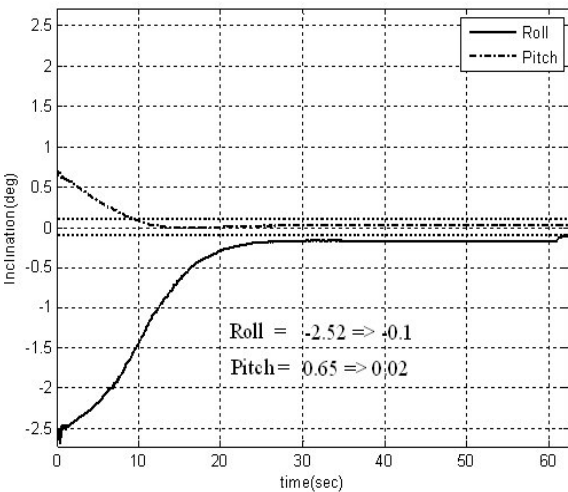


Fig. 5. 기울기보상 알고리즘 시험결과

Fig. 5는 기울기보상 알고리즘을 적용한 시험결과이다. 그림 중앙의 점선은 수평정치 완료가 되는 기준이다. 제어명령을 받은 지지재의 움직임에 의해 발사플랫폼은 Over-damped 거동을 한다. 알고리즘 작동 60초가 지난 후, 수평정치가 이루어지지 않았고 롤 방향 센서 출력이 일정시간동안 일정하게 유지되어 적분요소가 작동했음을 확인할 수 있다. 적분계인의 크기에 따라 발사플랫폼을 가진시키는 악영향을 줄 수 있기 때문에 계인은 실험을 통해 적절히 선정하였다. 이로 인해 적분요소가 작동된 후, 발사플랫폼은 부드러운 거동으로 수평정치 완료범위로 수렴함을 알 수 있다.

라. 지면 기울기 보상범위 선정

발사플랫폼이 보상할 수 있는 최대 지면기울기는 지지재의 작동길이와 지지재 장착위치에 의해서 결정된다. 지지재의 작동길이에서 지면착지를 위해 사용되는 길이를 제외한 나머지 길이는 식 (3)의 L_H 로 간주할 수 있으며 또한 플랫폼의 지지재 장착위치에 따른 길이 L_S 의 관계를 통해 δ 도의 복합 지면기울기를 보상할 수 있다.

타이어와 현수장치의 영향을 배제하기 위한 발사플랫폼의 지면착지는 지지재가 일정크기 이상의 하중을 지지해야 완료되기 때문에, Fig. 6과 같이 발사플랫폼이 작전을 위해 진입한 지면의 기울기가 반영된 발사플랫폼의 상면기울기와 지면착지 완료 후의 발사플랫폼 상면기울기는 다르게 변화된다. 착지 전의 지면기울기와 착지 완료 후의 발사플랫폼 기울기를 비교하여 기울기가 개선되는 경우는 착지완료 후의 개선된 기울기를 기준으로 δ 도를 보상한다. 착지완료 후 기울기가 더 나빠지는 경우는 초기 지면기울기 대비 δ 도를 보상하기 위해서 초기 지면기울기보다 나빠진 경사기울기의 차에 δ 도를 합한 기울기를 보상하도록 보상각도를 계산하였다. 따라서 발사플랫폼은 초기 지면기울기보다 δ 도 이상 기울기가 보상된다.

복합 지면기울기는 롤 및 피치방향의 지면기울기가 복합되어 있기 때문에 복합기울기 δ 도를 보상하기 위한 기준은 여러 가지가 있을 수 있다. 피치만을 보상해서 δ 도를 만족할 수도 있고, 롤만을 보상해서 δ 도를 만족시킬 수 있다. 또한 피치와 롤을 적당한 비율을 가지고 보상해서 만족시킬 수 있다. 본 연구에서는 롤과 피치 방향의 보상정도를 가중요소 α, β 를 사용하여 각 방향의 보상기울기를 계산하는 함수를 제안하였다.

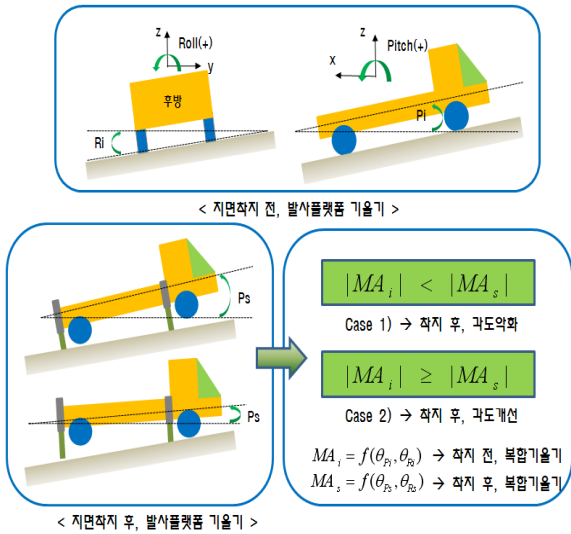


Fig. 6. 지면착지 전/후의 발사플랫폼 기울기변화

복합 지면기울기가 지지책의 제어가능 길이이내이면 가중요소 α 와 β 는 0으로 설정하여 지면기울기를 0이 되도록 보상한다. 그러나 복합 지면기울기가 제어 가능 범위를 벗어나면 탑재되는 유도탄의 요구조건을 만족할 수 있도록 롤과 피치 방향의 기울기를 선택적으로 조절할 수 있도록 가중요소 α 와 β 를 조절한다. α 와 β 는 $\alpha + \beta = 1$ 의 관계를 가지며 롤 방향 기울기를 0도로 보상하기 위해서는 α 를 0으로 설정하고 보상각도를 계산하며, 피치 방향의 기울기를 0도로 보상하기 위해서는 β 를 0으로 설정하면 된다. 식 (4)은 기준 수평책이 1일 경우, 보상해야 할 롤과 피치각도를 계산하기 위해 제안된 함수이다. 이 함수 적용을 통해 발사플랫폼은 제한된 작동길이를 갖는 지지책을 장착하였더라도 유도탄의 발사요구조건에 부합하는 범위내에서 작전 가능지역을 확장시킬 수 있다.

$$L_{max} = L_L \cos \theta_R \sin \theta_P + L_W \sin \theta_R$$

$$L_1 = L_W \sin \theta_R \quad , \quad L_2 = L_L \cos \theta_R \sin \theta_P$$

$$L_D = L_{max} - L_S \sin(\delta)$$

$$\tilde{L}_1 = L_1 - \alpha L_D \quad , \quad \tilde{L}_2 = L_2 - \beta L_D \quad (4)$$

$$\therefore \theta_{R_{MAR}} = \sin^{-1} \left(\frac{\tilde{L}_1}{L_W} \right)$$

$$\therefore \theta_{P_{MAR}} = \sin^{-1} \left(\frac{\tilde{L}_2}{L_L \cos \theta_{R_{MAR}}} \right)$$

마. 지면기울기 보상기법 성능시험 결과

발사플랫폼의 수평정치에 대한 흐름도는 Fig. 7과 같으며, 수평정치는 크게 세 가지 절차로 구분된다. 운용지역에 도착한 발사플랫폼은 지면의 복합 기울기를 확인하여 수평정치가 가능 여부를 판단한다. 가능한 기울기에서는 지지책 착지와 기울기 보상을 통해 수평정치를 완료하며, 수평정치가 불가능한 기울기에서는 운용지역을 옮기도록 운용자에게 경고한다. 기울기 보상을 위한 제어알고리즘의 기준입력은 식 (4)의 $\theta_{P_{MAR}}$ 와 $\theta_{R_{MAR}}$ 이다.

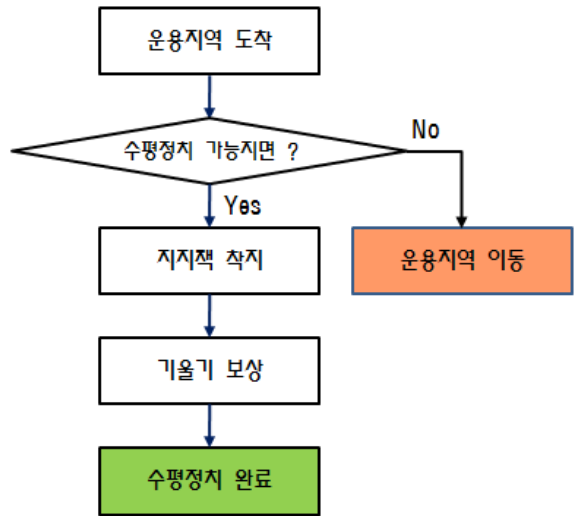


Fig. 7. 발사플랫폼 수평정치 흐름도

개발된 수평정치 기법을 발사플랫폼에 적용하여 수평정치 성능을 확인하였다. Table 2는 한 예로 복합 지면기울기 보상각도가 2°일 경우, 발사플랫폼에 대한 실험결과이다. 운용지역에 정지된 발사플랫폼의 초기 복합 지면기울기와 수평정치가 완료된 후, 복합 지면기울기를 비교해보면 2°이상의 기울기를 보상한 것을 알 수 있다. 초기 복합 지면기울기가 2°미만인 경우, 수평정치 완료 기준은 복합경사 0.15°이하이다. Fig. 8은 앞 절에서 기술한 지지책 착지완료에 의해 복합기울기가 초기 지면기울기보다 나빠진 경우에 대한 시험결과이다. 기울기가 피치 -1.78°, 롤 -0.31°로 복합경사가 1.791°인 발사장에 정지된 발사플랫폼은 지지책 지면착지를 통해 복합기울기가 2.274°로 초기보다 더 나빠졌다. 그러나 지면의 초기 복합기울기가 1.791°이었기 때문에, 수평정치 보상각도는 2°미만의 완료기준

이 적용되어 수평정치 정밀도는 0.106°의 복합경사가 됨을 확인 하였다.

Table 2. 발사플랫폼 수평정치 실험결과

순번	지면기울기			수평정치 완료		
	피치	롤	복합 기울기	피치	롤	복합 기울기
1	5.45	-0.05	5.21	3.20	-0.0	3.05
2	3.35	0.03	3.21	1.13	-0.06	1.10
3	2.54	-0.11	2.46	0.33	0.09	0.34
4	-4.28	-0.12	4.12	-1.67	0.00	1.60
5	-3.89	0.00	3.71	-1.68	0.00	1.61
6	-2.89	0.12	2.80	-1.07	0.01	1.03
7	-1.97	0.01	1.88	-0.06	0.01	0.06
8	-1.67	0.10	1.63	-0.10	0.01	0.10
9	-0.06	-5.47	1.64	-0.05	-0.09	0.07
10	-0.40	5.63	2.01	0.06	0.11	0.09
12	0.84	5.96	2.53	0.57	0.12	0.58

3. 결론

본 논문에서는 발사플랫폼의 지면기울기 보상을 위한 시스템 구현 및 알고리즘을 제안하였다. 오염지역 운용시, 운용자의 안전을 위해서 지면착지와 수평제어로 구성된 수평정치절차를 자동화하였다. 발사플랫폼에 부착된 두 개의 기울기센서를 이용하여 수평제어를 위한 기준 수평책 선정 및 운용가능 지역을 예측할 수 있는 복합 지면기울기를 정의하였다.

발사플랫폼에 장착된 수평책의 구동길이를 고려하여 최대보상 각도를 설정하였고, 가중요소를 적용하여 발사플랫폼의 롤과 피치방향의 보상비율을 조절할 수 있도록 하였다. 개발된 자동수평정치 기법은 발사플랫폼에 적용되어 그 성능을 입증하였다.

References

- [1] Richard Tranfield, "INS/GPS Navigation Systems for Land Applications", Position Location and Navigation Symposium IEEE, pp. 391~398, Apr. 1996.
- [2] P. H. Dana, "Global Positioning System Overview", University of Texas, 1994.
- [3] 조성래, 김희창, 전혁수, 김준호, "3자유도 수평플랫폼의 LQG/LTR 제어기 설계", KACC 논문집, pp. 792~795, 1995. 10.
- [4] 황찬오, "지면경사도 확인을 위한 지상항법장치 활용방안 연구", 한국군사과학기술학회 종합학술대회 논문초록집, p. 255, 2010. 6.
- [5] 정재욱, "발사플랫폼의 자동수평정치 기법", 한국군사과학기술학회 종합학술대회 논문초록집, p. 222, 2010. 6.
- [6] 홍길호, 정경민, 김준식, 오준호, "루프형성 시간제어를 이용한 플랫폼 수평제어", 한국자동제어학회 대회논문집, pp. 1025~1030, 1994. 10.

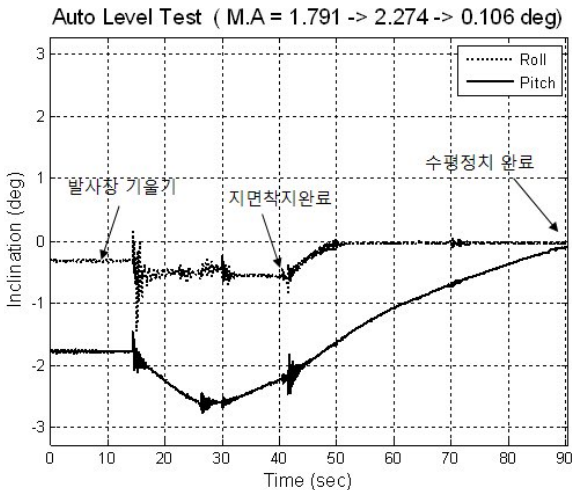


Fig. 8. 발사플랫폼 수평정치 시험결과