

수평정치 가능여부 판단을 위한 LNS 항법정보 활용방안 연구

A Study on the Utilization of LNS's Navigation Data to Decide the Possibility of a Vehicle's Leveling

황 찬 오*	유 창 석*	박 윤 호*	이 정 훈*
Chan-Oh Hwang	Chang-Seok You	Yun-Ho Park	Jeong-Hun Lee

Abstract

This paper presents a new method of measuring the ground's gradient using LNS(land navigation system) navigation data. When a vehicle equipped with LNS arrives at any place, LNS provides its navigation data which contain the information on vehicle's motion. We developed some formulas which can explain correlation between the vehicle's motion and ground's gradient. The proposed method using those formulas is shown to be accurate and convenient.

Keywords : Land Navigation System, Navigation Data, Vehicle's Motion, Ground's Gradient

1. 서론

일반적으로 발사준비 과정에서 수평정치가 요구되는 발사차량의 경우, 차체에 장착된 수평계의 수직구동을 통하여 수평제어를 실시하게 되며, 이러한 제어방식은 수평계의 최대 인출길이 한계에 의해서 수평제어가 가능한 지면경사 범위가 존재하게 된다. 따라서 운용자가 임의지역에서 수평제어를 실시하고 저 할 때 현재 위치의 지면경사도를 신속하고 정확하게 파악하는 것은 작전반응시간 최소화와 원활한 발사준비 수행을 위한 매우 중요한 요소이다.

기존 발사차량의 경우 차체에 장착된 경사계를 활용하거나 운용자의 경험에 의한 육안확인으로 지면경사도를 추정하였으나 경사계를 활용한 방식은 차량의 측하중 변화에 의해 나타나는 차체 기울기 변화가 실제 지면기울기를 그대로 표현할 수 없다는 한계가 존재하였으며, 운용자 육안확인 또한 신속하고 정확한 지면기울기 확인이 불가능하였다. 이러한 제한사항 때문에 지면기울기가 일정하게 유지되는 한정된 지역에서만 장비운용이 가능하였다¹⁾. 만약 발사차량에 지상항법장치가 장착된 경우, 지상항법장치로부터 획득된 차량의 자세정보(상하각, 회전각)를 지면기울기 확인에 적용할 수 있다면 보다 정확하고 신속한 확인이 가능할 것이다.

본 논문에서는 지상항법장치에서 제공되는 차량 자세정보와 실제 지면기울기와의 상관관계를 일반화할

† 2011년 3월 31일 접수~2011년 5월 27일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 황찬오(elecs@hanafos.com)

공식으로 정의하고 이를 발사차량의 수평정치 가능여부 판단기능으로 구현하였다. 구현된 모든 기능들은 실제 발사차량에 적용하여 군 운용시험을 통해 정상 동작됨을 확인하였다.

2. 지상항법장치 개요

지상항법장치는 차량의 자세정보 획득을 목적으로 차체에 장착되며^[2], 만약 GPS기능이 내장된 지상항법장치인 경우 차량의 위치정보 획득도 가능하다^[3]. 지상항법장치가 탑재된 차량형상을 Fig. 1에서 나타내고 있다. 지상항법장치는 차량이 이동하기 이전에 정차상태에서 조준정렬이 완료되어야하며 이동 간 또는 이동 후 차량의 위치정보(위도, 경도, 고도)와 자세정보(pitch, roll, yaw)를 운용자에게 제공할 수 있다.

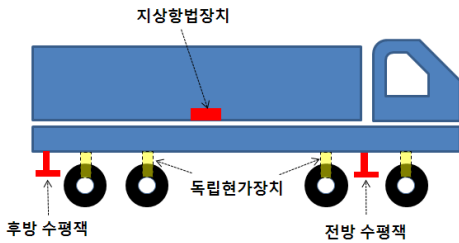


Fig. 1. LNS가 장착된 차량형상

3. 지면경사에 의한 차량 자세정보 특성

Fig. 1에서 표현된 것과 같이 차량에 장착된 지상항법장치에서 제공하는 차량의 자세정보는 지면 상하각 또는 회전각 변화에 의해 발생하는 차량의 하중변화와 독립현가장치의 변형특성 등이 모두 포함된 결과이므로 실제 지면 경사각과는 차이가 존재하게 된다.

가. 지면 상하각 변화에 의한 차량자세 특성

차량이 Fig. 2와 같은 양의 지면 상하각(positive pitch angle) S_p 를 갖는 지면에 정차할 경우, 차량 하중은 후방으로 이동되게 되고 차량 전후방 독립 현가장치의 압축력 차이에 의해 차량은 L_p 의 상하각을 가지게 된다.

이때 차량에 장착된 지상항법장치의 항법데이터는 차량 상하각(pitch angle) $+L_p$ 값을 제공하게 되며 이는

식 (1)에서 표현된 것과 같이 실제 지면 상하각(S_p)에 비해 $+\alpha$ 만큼의 오차를 가지게 된다.

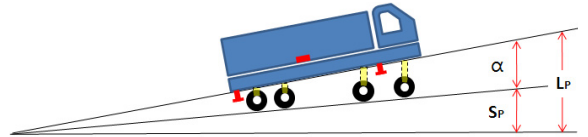


Fig. 2. 양의 상하경사지면

$$\angle L_p = \angle S_p + \alpha \quad (1)$$

만약 차량이 동일 지면 상하각 S_p 에 대하여 Fig. 3과 같이 반대방향으로 정차할 경우, 지상항법장치의 항법데이터는 상하각(pitch angle) $-L_p'$ 값을 제공하게 되며 이는 식 (2)에서 표현된 것과 같이 지면 상하각(S_p)에 비해 $+\beta$ 만큼의 오차를 가지게 된다.

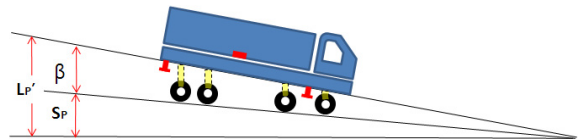


Fig. 3. 음의 상하경사지면

$$\angle L_p' = \angle S_p + \beta \quad (2)$$

또한 차량의 무게중심 위치에 따라서 식 (1)과 식 (2)에 나타난 오차각 α 와 β 의 크기는 차이가 발생할 수 있다. 즉 차량의 하중분포가 Fig. 4와 같이 일정하게 존재하여 무게중심이 차량 정중앙에 위치할 경우 동일 지면 상하각 S_p 에 대한 차량 오차각 α 와 β 의 크기는 동일하므로 식 (1)과 식 (2)의 관계식은 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$\angle L_p = \angle L_p' , (\alpha = \beta) \quad (3)$$

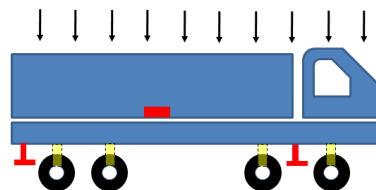


Fig. 4. 무게중심이 중앙에 위치한 경우

그러나 Fig. 5 또는 Fig. 6과 같이 차량의 하중분포가 전방 또는 후방으로 편중되어 무게중심이 차량 중앙에서 전후로 위치할 경우 식 (1)과 식 (2)의 관계식은 각각 식 (4), 식 (5)로 표현될 수 있다.

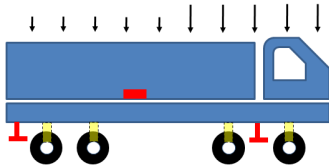


Fig. 5. 무게중심이 전방에 위치한 경우

$$\angle L_P < \angle L_P', (\alpha < \beta) \quad (4)$$

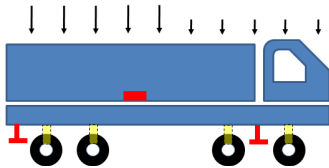


Fig. 6. 무게중심이 후방에 위치한 경우

$$\angle L_P > \angle L_P', (\alpha > \beta) \quad (5)$$

나. 지면 회전각 변화에 의한 차량자세 특성

차량이 Fig. 7과 같은 양의 지면 회전각(positive roll angle) S_R 을 갖는 지면에 정차할 경우, 차량 하중은 우측으로 편중되게 되고 좌우 독립 현가장치의 압축력 차이에 의해 실제 차량은 $+L_R$ 의 회전각을 갖게 된다.

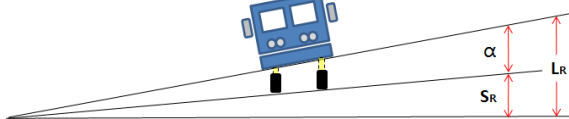


Fig. 7. 양의 회전경사지면

이때 차량에 장착된 지상항법장치의 항법데이터는 회전각(roll angle) $+L_R$ 값을 제공하게 되며 이는 식 (6)에서 표현된 것과 같이 지면 회전각(S_R)에 비해 $+\alpha$ 만큼의 오차를 가지게 된다.

$$\angle L_R = \angle S_R + \alpha \quad (6)$$

만약 차량이 Fig. 8과 같이 음의 지면 회전각(negative

roll angle) S_R 을 갖는 지면에 정차할 경우, 지상항법장치는 회전각(roll angle) $-L_R'$ 값을 제공하게 되며 이는 식 (7)과 같이 지면 회전각 보다 $+\beta$ 만큼의 오차를 갖게 된다.

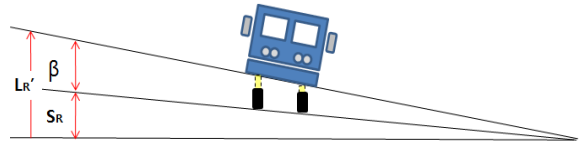


Fig. 8. 음의 회전경사지면

$$\angle L_R' = \angle S_R + \beta \quad (7)$$

일반적으로 차량 설계 시 좌우 하중분포는 전후 하중분포에 비해 비교적 일정하게 유지되게 되어 무게중심이 중앙에 위치하게 되므로 동일한 지면 회전각 S_R 에 차량이 정차될 경우 식 (6)과 식 (7)의 관계식은 식 (8)로 표현할 수 있다.

$$\angle L_R = \angle L_R', (\alpha = \beta) \quad (8)$$

그리고 차량 좌우 바퀴간격은 전후 바퀴간격에 비해 상대적으로 짧기 때문에 동일 지면경사각 S_L 에 대하여 Fig. 9(b)와 같은 회전지면경사에 의한 좌우바퀴 높이차 β 는 Fig. 9(a)와 같은 상하지면경사에 의한 전후바퀴 높이차 α 에 비하여 상당히 작은 값을 가진다. ($\beta \ll \alpha$) 그러므로 실제 지면의 회전각과 차체의 회전각은 거의 동일하다고 가정할 수 있다. 결과적으로 차량 자세정보와 지면 경사각간의 오차발생 주요요인은 회전각(roll angle)보다는 상하각(pitch angle)임을 알 수 있다^[4].

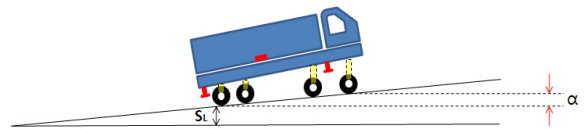


Fig. 9(a). 지면경사 S_L 에 대한 전후바퀴 높이차(α)

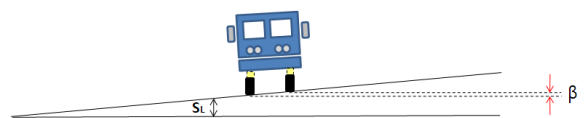


Fig. 9(b). 지면경사 S_L 에 대한 좌우바퀴 높이차(β)

4. 측정 및 분석

가. 지면 상하각 변화에 의한 차량자세 측정

지상항법장치에서 제공하는 상하각과 지면 상하각과의 상관관계를 측정하기 위하여 Fig. 10과 같은 경사면에 차량을 수평 정지한다.

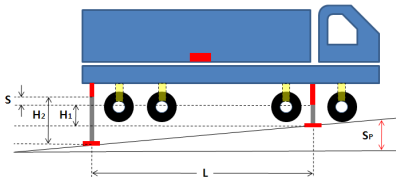


Fig. 10. 양의 상하경사지면에 수평정지된 차량

Fig. 10에서 전후방 수평축의 초기 장착높이 차이를 S, 전방수평축 구동길이를 H₁, 후방수평축 구동길이를 H₂, 전후방 수평축간 거리를 L이라고 하면 지면 상하각 S_p는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\angle S_p = \tan^{-1}\left(\frac{H_2 - (H_1 + S)}{L}\right) \quad (9)$$

실제 차량을 이용하여 지면 상하각 변화에 의해 계산된 $\angle S_p$ 값과 지상항법장치에서 표시되는 상하각의 측정결과는 Table 1과 같고 Table 1의 데이터를 그래프로 표현하면 Fig. 11과 같다.

Fig. 11에 나타난 그래프의 기울기 특성을 살펴보면 지상항법장치 상하각이 0° 지점을 중심으로 좌우 구간의 기울기가 Fig. 12와 Fig. 13에 나타난 것과 같이 서로 상이함을 알 수 있다.

Table 1. 지면 상하경사각과 LNS 상하각 비교

LNS PITCH (degree)	LAND PITCH (degree)	LNS PITCH (degree)	LAND PITCH (degree)
-2.5	-3.37	+1.0	+0.31
-2.0	-2.82	+1.5	+0.70
-1.5	-2.25	+2.0	+1.10
-1.0	-1.70	+2.5	+1.48
0.0	-0.47	+3.0	+1.87
+0.5	-0.08	+3.5	+2.26

※ 실험차량 L = 7,792mm, S = 284mm

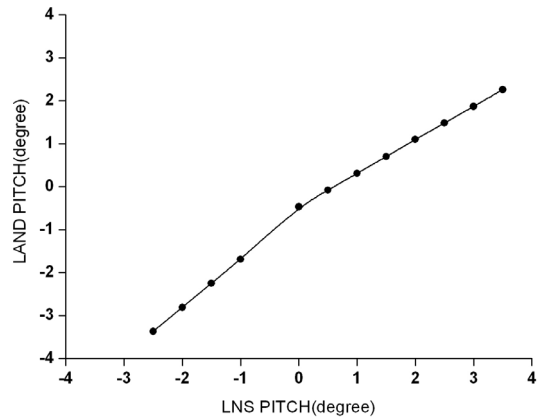


Fig. 11. 지면 상하경사각 변화에 대한 LNS 상하각 변화

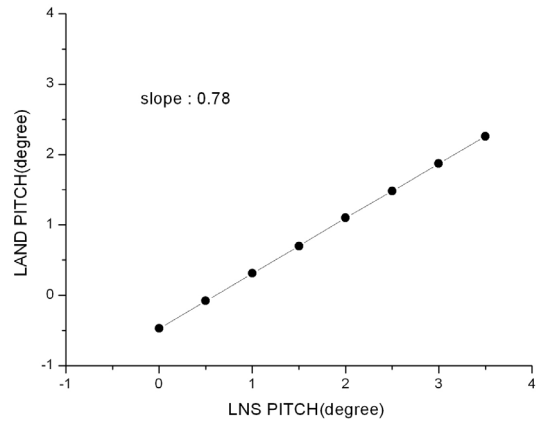


Fig. 12. 양의 지면 상하경사각 변화에 대한 LNS 상하각 변화

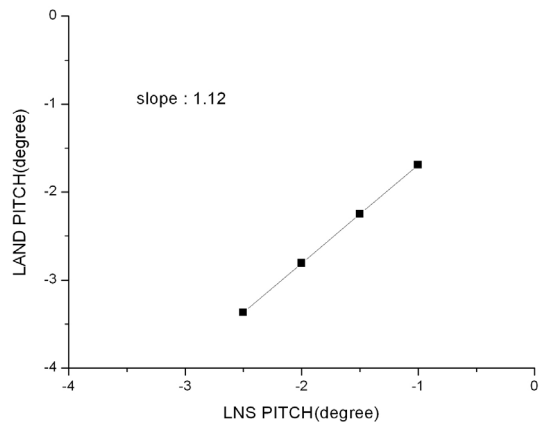


Fig. 13. 음의 지면 상하경사각 변화에 대한 LNS 상하각 변화

이러한 결과는 Fig. 5에서 표현된 것과 같이 차량의 무게중심이 후방으로 편중되어 있을 경우 식 (4)와 같이 $\angle L_p'$ 값이 $\angle L_p$ 보다 크게 되어 결과적으로 Fig. 11과 같은 결과를 얻게 된다^[4]. 그러므로 본 논문의 실제 측정을 위해 적용된 차량은 무게중심이 정중앙으로부터 후방으로 위치해 있음을 알 수 있으며 측정된 데이터를 통하여 지상항법장치에서 제공하는 상하각과 실제 지면 상하각과의 관계식을 식 (10)과 식 (11)과 같이 표현될 수 있다^[3].

$$S_p = 0.78L_p - 0.47, (L_p \geq 0) \tag{10}$$

$$S_p = 1.12L_p - 0.58, (L_p < 0) \tag{11}$$

식 (10)과 식 (11)을 활용하여 지상항법장치에서 표시되는 상하각을 지면 상하각으로 환산하면 Table 2와 같이 나타낼 수 있다. 만약 실험에 적용된 차량이 수평책 구동길이 제한으로 인해 수평정치 가능구간이 지면 상하각 $\pm 2^\circ$ 범위라고 가정할 경우, Table 2의 결과를 기준으로 볼 때 지상항법장치에서 표시되는 수평정치 가능 상하각(LNS PITCH) 구간은 -1.27° 에서 $+3.17^\circ$ 범위에 해당함을 알 수 있으며 이러한 정보를 운용자에게 제공할 경우 지상항법장치를 이용한 지면상하각 확인이 가능하게 된다^[4].

Table 2. LNS 상하각을 이용한 식 (10)과 식 (11)의 계산결과

Lp (degree)	Sp (degree)	Lp (degree)	Sp (degree)
-4.5	-5.62	0.0	-0.47
-4.0	-5.06	+0.5	-0.08
-3.5	-4.50	+1.0	+0.31
-3.0	-3.94	+1.5	+0.7
-2.5	-3.38	+2.0	+1.09
-2.0	-2.82	+2.5	+1.48
-1.5	-2.26	+3.0	+1.87
-1.27	-2.00	+3.17	+2.00
-1.0	-1.70	+3.5	+2.26
-0.5	-1.14	+4.0	+2.65

나. 지면 회전각 변화에 의한 차량자세 측정

Fig. 14와 같이 회전각이 존재하는 지면에 차량을 정차한 상태에서 지상항법장치에서 표시되는 회전각 L_R 을 확인한다.

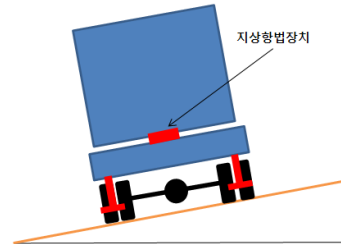


Fig. 14. 회전경사지면에서의 차량

Fig. 15와 같이 차량의 수평정치가 완료된 상태에서 전후방 수평책의 구동길이 H_{max} 와 H_{min} 을 각각 측정하고 식 (12)에 대입하여 실제 지면 회전각 S_R 을 계산할 수 있다.

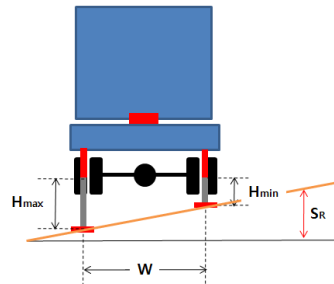


Fig. 15. 회전경사지면에서 수평정치된 차량

$$\angle S_R = \tan^{-1} \left(\frac{H_{max} - H_{min}}{W} \right) \tag{12}$$

Table 3은 실제차량을 이용하여 측정된 LNS 회전각 L_R 과 식 (12)에 측정치를 대입하여 계산된 결과 값 S_R 을 각각 나타낸다. 측정방법은 두 종류의 서로 다른 회전경사지면에 Fig. 14에서 표현된 것과 같이 차량을 정차시킨 후 지상항법장치에서 표시되는 회전각을 기록한 후 Fig. 15에서 표현된 것과 같이 차량을 수평정치한 이후의 책 구동길이를 측정하여 실제 회전경사지면의 회전각을 계산하였다. 확인된 회전각과 수평책 구동길이변화를 이용한 실제 지면회전각의 계산결과 간에는 $0.2^\circ \sim 0.4^\circ$ 정도의 오차가 발생됨을 확인할 수 있다.

Table 3. 지면 회전경사각과 LNS 회전각 비교

L _R (degree)	전방책 구동길이(mm)		후방책 구동길이(mm)		S _R (degree)
	좌	우	좌	우	
-2.18	572	492	872	795	-1.93(전방책) -1.86(후방책)
+1.96	530	598	830	892	+1.56(전방책) +1.50(후방책)

※ 실험차량 W = 2,365mm

실제로 차량이 동일지점에서 수평정지를 위한 수평책 구동을 반복 실행한 결과, 매회 지상항법장치에서 표시되는 회전각의 오차가 약 ±0.2° 범위를 감안할 때 지상항법장치에서 표시되는 회전각은 실제 지면의 회전각과 거의 동일함을 알 수 있다.

다. 복합 지면경사각 변화에 의한 차량자세 측정

상하경사각과 회전경사각이 함께 존재하는 지면을 복합지면이라고 할 때 Fig. 16과 같은 차량 평면도를 기준으로, 전방 수평책 1번만 상승하는 복합지면과 후방 수평책 2번만 상승하는 복합지면에서 각각 지상항법장치 자세정보와 실제 지면경사도를 계산하였다.

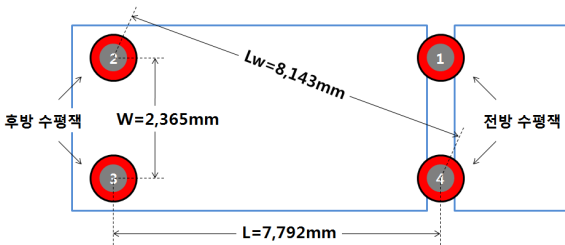


Fig. 16. 차량 평면상의 수평책위치 및 거리

실험은 2가지 복합지면에서 2대의 차량을 이용하여 각각 측정하였으며, 지상항법장치 자세정보와 수평책 길이측정을 통한 지면경사각 계산결과는 Table 4와 같다. 지면경사각 계산식은 회전각의 경우 식 (12)를 그리고 상하각의 경우 식 (9)을 각각 적용하였다.

차량이 위치한 지면의 복합지면 경사각은 식 (13)과 식 (14)로 나타낼 수 있다.

$$\angle S_{om} = \tan^{-1}\left(\frac{Z}{L_W}\right) \tag{13}$$

Table 4. 복합지면경사에서 지면 상하경사각과 회전경사각에 대한 LNS 경사각과 회전각 비교

구동책 번호	LNS 자세정보		지면경사각 계산값		책 구동길이(mm)			
	L _R	L _P	S _R	S _P	1	2	3	4
1번책 상승	3.44	0.70	4.64	1.27	553	1010	1013	745
2번책 상승	3.09	-1.42	3.26	-1.19	782	904	1039	796
1번책 상승	2.64	0.35	2.25	0.69	570	949	944	663
2번책 상승	2.93	-0.90	5.54	-1.63	759	821	1047	750

$$Z = [L \times \tan(|S_P|)] + [W \times \tan(|L_{R'}|)] \tag{14}$$

식 (13)에서 L_w는 복합지면 경사각 계산 시 필요한 수평거리로서 Fig. 16에 나타낸 것과 같이 대각선 방향 수평책간 거리에 해당하며, Z는 복합경사각 계산 시 필요한 수직높이로서 지면 상하각 기울기에 의한 높이 변화와 지면 회전각 기울기에 의한 높이변화를 합한 값으로서 Fig. 10과 같이 지면 상하각에 의해 나타나는 높이변화는 식 (14)의 첫째항과 같이 표현될 수 있고 지면 회전각 기울기에 의해 나타나는 높이변화는 3절 나항에서 표현된 것과 같이 지면 회전각 S_R과 지상항법장치 회전각 L_R이 동일하다고 가정할 경우, Fig. 15와 같은 지면에서의 높이변화는 식 (14)의 둘째 항으로 표현할 수 있다. 결론적으로 복합지면 경사각 계산을 실제 차량에 반영 시, 지면상하각 계산을 위한 관련식이 필요하며, 지면회전각 계산은 별도의 수식 없이 지상항법장치 회전각을 그대로 활용할 수 있음을 의미한다.

5. 운전자화면 구현

실제 지면경사도와 지상항법장치 자세정보와의 상관관계를 차량 운전자화면에 반영하므로 지상항법장치 자세정보를 통해 실제 지면경사도를 파악할 수 있으며, 결과적으로 지상항법장치 자세정보를 이용한 차량의 수평정지 가능유무를 판단할 수 있음을 확인하였

다. Fig. 17은 차량에 적용된 지상항법장치 세부정보에 대한 운용자화면이다.

Fig. 17의 “지상항법장치 자세정보 표시창”에 표시되는 값들은 식 (10), 식 (11)에 적용하여 실제 지면상하각으로 계산되고 수평책 구동한계에 의해 결정된 수평정치 가능 복합경사각 $\pm 2^\circ$ 이내에 존재할 경우 “정치 가능 지역”으로, 이 범위를 벗어날 경우 “정치 불가 지역”으로 수평정치 가능유무 표시창에 각각 표시하였다.

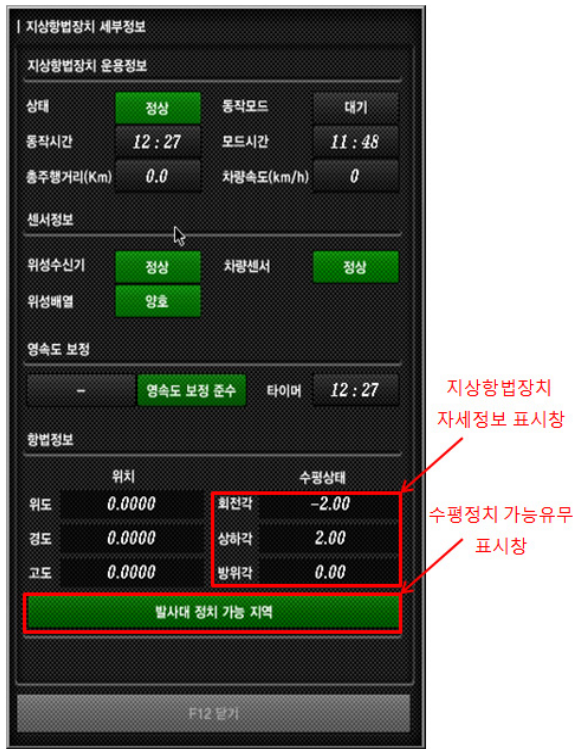


Fig. 17. 지상항법장치 세부정보창

Fig. 18은 지상항법장치 자세정보를 이용한 수평정치 가능유무 판단기능 구현을 위한 데이터 처리과정을 나타낸다.

지상항법장치로부터 수신된 지면 상하각은 식 (10) 또는 식 (11)을 이용하여 실제 지면상하각으로 계산되며 지상항법장치 회전각과 함께 식 (13)과 식 (14)에 대입하여 복합지면 경사각을 얻을 수 있다. 최종적으로 차량의 복합경사 구동범위와 계산에 의해 얻어진 복합지면 경사각을 비교하여 차량의 수평정치 가능유무를 판단한다.

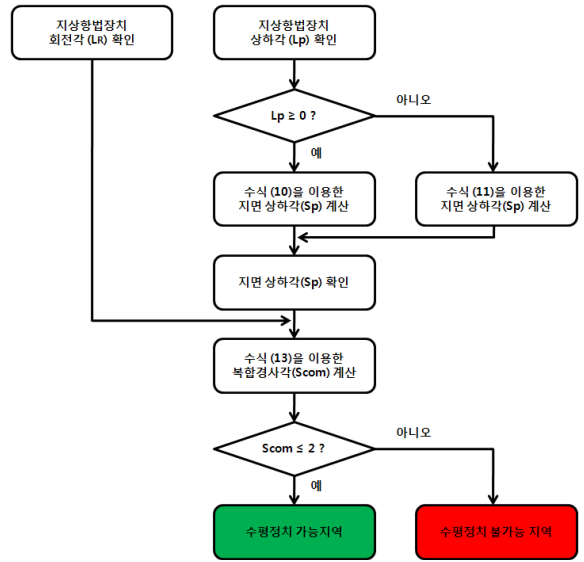


Fig. 18. 복합지면경사각 계산 및 표시 흐름도

Fig. 19, 20은 지상항법장치의 회전각, 상하각 변화와 이에 의해 계산된 복합지면 경사각을 이용한 수평정치 가능유무를 판단하는 실제 운용 예를 보여준다.



Fig. 19. 수평정치 가능 표시 예

차량의 수평책 구동한계에 의해 결정되는 수평정치 가능 복합경사각 범위가 $\pm 2^\circ$ 일 경우, Fig. 19에서와 같이 지상항법장치 회전각 $L_R = -2.0^\circ$, 상하각 $L_P = 2.0^\circ$ 인 경우, 식 (10)에 의한 지면경사각 $S_p = 1.09^\circ$ 이며, 식 (14)에 의한 기울기 높이 $Z = 230.84\text{mm}$ 이므로 식 (13)에 의한 복합경사각 $S_{com} = +1.62^\circ$ 이다. 이는 수평책 구동한계에 의해 결정된 수평정치 가능 복합경사각 $\pm 2^\circ$ 범위이내에 존재하므로 “정치 가능 지역”으로 표시된다.

Fig. 20에서와 같이 지상항법장치 회전각 $L_R = 2.0^\circ$, 상하각 $L_P = -1.0^\circ$ 인 경우, 복합경사각 $S_{com} = +2.2^\circ$ 이다. 이는 수평책 구동한계에 의해 결정된 수평정치 가능 복합경사각 $\pm 2^\circ$ 범위를 벗어나므로 “정치 불가 지역”으로 표시된다.



Fig. 20. 수평정치 불가능 표시 예

앞에서 언급된 내용들을 종합해 볼 때, 지상항법장치에서 제공하는 차량의 자세정보(상하각, 회전각)를 이용하여 실제 지면경사각 계산이 가능하며 이를 활용하여 차량이 정착된 지역의 수평정치 가능유무를 판단할 수 있음을 확인하였다.

6. 결론

본 논문에서는 차량이 위치한 지역의 지면 경사각을 차량에 장착된 지상항법장치를 활용하는 확인할 수 있는 방안을 제시하였다. 지상항법장치에서 제공하는 차량 자세정보와 실제 지면경사도 사이에 발생하는 오차의 원인과 상호 관계식을 실제 차량을 적용한 실험을 통하여 확인하였으며 차량의 무게중심 위치에 따라 지면 상하각이 양의 값일 때와 음의 값일 때의 오차비율이 달라짐을 확인할 수 있었다. 또한 이러한 오차 발생량의 대부분이 회전각보다는 상하각에 의한 것임을 확인하였으며 실험을 통하여 획득된 관계식을 실제 차량화면으로 구현하여 지상항법장치를 활용한 지면경사도 확인과 수평정치 가능유무 판단기능이 가능함을 확인하였다.

References

- [1] 정재욱, “유도무기 발사대의 자동수평시스템 설계 및 해석”, 국방과학연구소, 2000. 9.
- [2] Richard Tranfield, “INS/GPS Navigation Systems for Land Applications”, Position Location and Navigation Symposium IEEE, pp. 391~398, Apr. 1996.
- [3] P. H. Dana, “Global Positioning System Overview”, University of Texas, 1994.
- [4] 황찬오, “지면경사도 확인을 위한 지상항법장치 활용방안 연구”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회 논문초록집, p. 255, 2010. 6.