

# 중거리지대공 유도무기체계 적용을 위한 가시선 분석 알고리즘 연구

## LOS Analysis Algorithm for Mid-range Guided Weapon System

이 한 민\*

Han-min Lee

### Abstract

LOS analysis is used for optimal deployment of mid-range guided weapon system or system engagement effectiveness simulation. Comparing to real-world, LOS analysis includes error sources such as coarse terrain data resolution, refraction of radio waves, and several ideal assumptions. In this research, exact LOS algorithm under assumption of constant earth curvature and error analysis of that is investigated. It proved that LOS algorithm under assumption of constant earth curvature has negligible error in mid-range guidance weapon system's scope.

Keywords : Line-of-sight(가시선) Terrain Data(지형자료) Digital Maps(수치지도) Line-of-sight Analysis(가시선 분석) Earth Curvature(지구곡률), Mid-range Guidance Weapon(중거리지대공 유도무기)

### 1. 서론

중거리지대공 유도무기체계는 표적을 탐지/추적하는 레이더체계, 교전과 관련된 의사결정을 하는 사격통제체계, 그리고 교전을 수행하는 유도탄 체계로 구성되어 있다. 이러한 중거리 지대공무기체계는 지정된 배치조건에서 임무를 수행하는 특징을 가지고 있으며, 체계의 배치에 따라 그 교전의 효과도가 좌우되는 특징을 가지고 있다. 따라서, 이러한 중거리지대공 유도무기체계의 최적 배치를 위하여 수십km내지 수백km에 이르는 레이더 탐지영역의 지형간섭에 의한 가시

범위를 분석하는 가시선 분석은 필수적으로 선행되어야 하는 작업이며, 이러한 가시선 분석은 비단 무기체계의 배치뿐만이 아니라 체계의 교전효과도를 분석하고자 하는 시뮬레이션의 구성에 있어서도 반드시 고려해야 할 요소이다.

가시선(LOS : Line-of-sight) 분석은 레이더의 배치영역 근처의 지형에 의한 레이더 가시영역의 제한을 분석하는 것으로서, 대부분의 경우에 수치지형정보를 바탕으로 기하학적 사실을 고려하여 분석이 수행된다. 가시선 분석에 많이 이용되는 수치지형정보로는 평균해수면을 기준으로 지형고도를 위도, 경도에 따라 매트릭스 형태로 지형정보를 저장한, DTED(Digital Terrain Elevation Data)가 있는데, 이러한 DTED는 해상도에 따라서 Level 0~5까지의 종류가 있으며, 종류별로 오차의 범위가 정의<sup>[1]</sup>되어 있다.

† 2010년 5월 3일 접수~2010년 7월 23일 게재승인

\* 국방과학연구소 전술유도무기체계개발단(ADD)

책임저자 : 이한민(orangeus@add.re.kr)

중거리지대공 유도무기체계에 가시선 분석을 적용하기 위하여는 우선 가시선 분석에서 발생하는 오차를 확인하는 것이 필요하다. 왜냐하면, 가시선 분석에 사용되는 지형데이터의 정밀도 및 적용 알고리즘은 중거리지대공 유도무기체계의 레이더 성능과 관련되어 선택되어야 신뢰성있는 가시선 분석 결과를 산출하기 때문이다. 이를 위하여, 가시선 분석에 이용되는 지형데이터 및 가시선 분석 알고리즘 자체의 오차요인이 파악되는 것이 필요하며, 이러한 오차는 가능한 정량적으로 제시되어야 한다.

가시선 분석에서 포함될 수 있는 오차의 요인은 수치지형정보의 정밀도, 레이더 빔 굴절 현상 및 알고리즘 자체 가정에 의한 오차 등으로 분류할 수 있다. 수치지형정보의 정밀도는 지형정보가 생성되는 단계에서 발생하는 오차요인으로 DTED와 같은 종류는 Level에 따라 정의되어 있는 정밀도 범위를 가지고 있다. 또한, 이러한 수치지형정보를 이용하고 지구 모양의 기하학적 특징을 고려하는 가시선 분석의 방법이 적용되는 경우에는 평균해수면 기준의 지형고도가 지구타원체 기준의 측지고도로 변경되면서 나타나는 연직선 편차 및 지오이드 고도오차의 영향이 추가적으로 발생한다. 이러한 오차의 영향은 참고문헌[4]에서 다루어져 있다.

한편, 가시선 분석을 수행함에 있어 레이더 빔의 굴절에 현상에 의하여 발생하는 오차를 고려하여야 하는데, 이와 관련하여 지형고도의 해상도에 의하여 좌우되는 가시선 분석 결과의 영향이 연구<sup>[8]</sup>된바 있으며, 시간과 장소에 따라 변화하는 대기 굴절율을 보다 정확하게 모델링하고자 하는 연구<sup>[5]</sup>도 수행되고 있다.

마지막으로, 가시선 분석의 결과는 알고리즘 자체의 가정에 의하여 발생하는 오차를 포함하고 있다. 참고문헌[6]에서 언급된 SEEFAR 알고리즘은 ‘Running Horizon’ 방식으로 가시선 자체를 보간하여 진행하는 방식으로써 동일한 가시선의 투영을 보장하지 못하여 오차가 매 단계마다 발생되고 계속적으로 누적되어 이러한 오차의 정도를 예측하기 힘들다는 단점이 있다.

이와 달리, 동일한 가시선을 투영하여 정밀도를 향상시킨 PITMA(Parallel Implementation of the Terrain Masking Algorithm) 가시선 분석 알고리즘<sup>[7]</sup>의 경우는 알고리즘에서 지구모양을 구로 가정하고 알고리즘을 단순화하기 위하여 평행가정이나 직선가정을 적용하였다. 하지만, 이러한 알고리즘은 가정사항에 대한 모

든 오차요소에 대한 분석방안을 제시하지 못하고 있으며, 사용자가 가시선 분석 알고리즘을 선택하여 적용하여야 하는 경우 발생할 수 있는 오차의 범위를 직접적으로 산출하기가 어려운 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 중거리지대공 유도무기체계에 가시선 분석을 적용하는데 있어, 발생하는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 알고리즘의 오차의 정도를 예측할 수 있는 가시선 분석 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제시된 가시선 분석 알고리즘은 동일한 가시선을 계속적으로 투영하는 방식으로 구성되었으며, 기존에 제시된 PITMA(Parallel Implementation of the Terrain Masking Algorithm) 가시선 분석 알고리즘과 달리 평행가정 및 직선가정을 제거함으로써 계산상의 가정을 최소화한 알고리즘이다. 본 논문에서는 제안된 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 기존의 PITMA 알고리즘의 결과와 비교하였으며, 제시된 알고리즘의 오차정도를 제시하기 위하여 기하학적 관계를 이용하여 오차분석 방법을 유도하고 중거리지대공 유도무기체계급 레이더를 고려하여 결과를 제시하였다.

## 2. 가시선 분석 알고리즘

### 가. 가시선 분석 알고리즘 개요

가시선 분석 알고리즘은 레이더가 배치된 위치로부터 일정한 방위각상에 임의의 거리에서 지형에 의한 영향이 없이 관측할 수 있는 최저고도(본 논문에서는 ‘가시선고도’라 정의한다.)를 다음단계로 투영시키는 원리를 바탕으로 계산을 수행한다. 즉, Fig. 1에서와 같이 위치  $S_{i-1}$ 에서 계산된 가시선고도  $L_{i-1}$ 을 이용하여 거리  $\Delta S$ 만큼 떨어진 위치  $S_i$ 에서의 가시선고도를 구하는데,  $L_{i-1}$ 을 위치  $S_i$ 로 투영시킨후 이것을 위치  $S_i$ 에서의 지형고도  $T_i$ 와 비교하여 해당 위치에서의 가시선고도  $L_i$ 를 산출하는 방법을 이용한다. 이러한 방법은 Fig. 2와 같이 거리가 증가함에 따라서 반복적으로 갱신되며, 각각의 방위각에 대하여 동일한 방식으로 계산이 수행된다. 본 논문에 제시되는 가시선 분석 알고리즘은 이러한 방식으로 가시선고도를 산출하면서 지구모양에 대한 가정외에는 어떤것도 사용하지 않았기 때문에, 레이더의 배치 위치로부터 멀리 떨어진 원거리에서도 가시선고도에 대한 해를 수학적으로 엄밀하게 제공하는 장점이 있다.

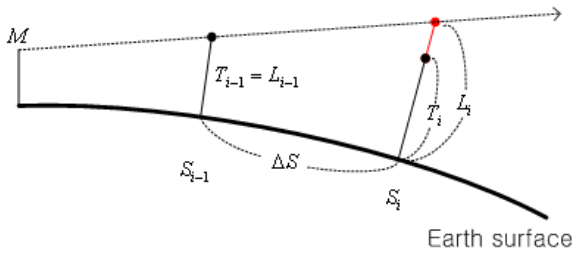


Fig. 1. Concept of LOS analysis

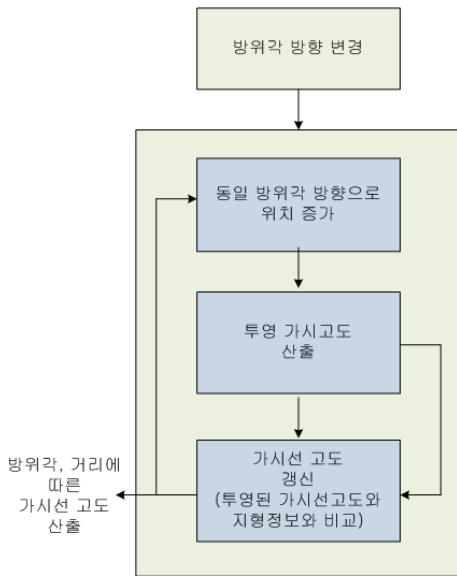


Fig. 2. Flow chart for LOS analysis

나. 투영 가시선고도 산출

본 절에서는 위치  $S_{i-1}$ 에서 산출된 가시선고도  $L_{i-1}$ 로부터 위치  $S_i$ 의 투영된 가시선고도를 산출하는 알고리즘에 대하여 설명한다. 이를 위하여 방위각에 대한 지구단면을 원으로 가정하자. 투영 가시선고도를 산출하기 위하여 우선 위치  $S_{i-1}$ 에서 산출된 가시선고도  $L_{i-1}$ 에 따른 각  $\eta_{i-1}$ 에 대한  $\sin\eta_{i-1}$  및  $\cos\eta_{i-1}$ 를 Fig. 3의 기하학적 특징을 이용하여 산출한다. 이들 값은 식 (1)~(4)와 같이 계산된다.

$$\cos\eta_{i-1} = \frac{r_E + L_{i-1}}{sl} \sin\delta_{i-1} \quad (1)$$

$$\sin\eta_{i-1} = \frac{(r_E + L_{i-1})^2 - (r_0)^2 - sl^2}{2r_0sl} \quad (2)$$

$$sl = \sqrt{r_0^2 + (r_E + L_{i-1})^2 - 2r_0(r_E + L_{i-1})\cos\delta_{i-1}} \quad (3)$$

$$\eta_{i-1} = \tan^{-1}\left(\frac{\sin\eta_{i-1}}{\cos\eta_{i-1}}\right) \quad (4)$$

여기서,  $r_E$ 는 원으로 근사한 지구의 반경에 대기 굴절률에 의한 전파의 굴절을 고려하기 위하여 4/3배 한 값을 적용<sup>[5]</sup>한다.  $r_0$ 는  $r_E$ 에 레이더의 배치고도를 더한 값이다.

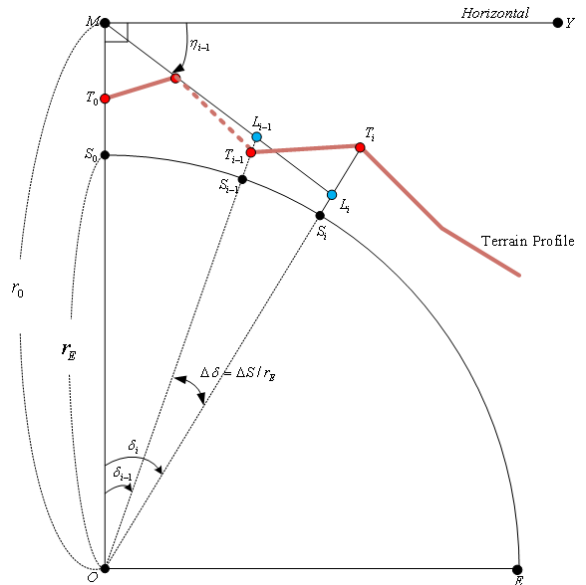


Fig. 3. Geometry of LOS analysis

식 (1)~식 (2)로부터 얻은  $\eta_{i-1}$ 를 이용하여 위치  $S_i$ 에서 투영된 가시선고도  $L_i$ 는 식 (5)와 같이 산출된다.

$$L_i = \frac{r_0}{\cos\delta_i \cos\eta_{i-1} - \sin\delta_i \sin\eta_{i-1}} \cos\eta_{i-1} - r_E \quad (5)$$

다. 가시선고도 갱신

위치  $S_i$ 에 투영된 가시선고도를 이용하여 위치  $S_i$ 에서의 가시선고도를 갱신하기 위하여, 투영된 가시선고도  $L_i$ 와 위치  $S_i$ 에서 지형고도  $T_i$ 와 비교하는 과정을 수행한다. 즉, 지형고도가 투영된 가시선고도보다 크다면 해당 위치에서의 가시선고도는  $L_i = T_i$ 로 수정된다.

라. 수치 시뮬레이션

본 논문에서 제시된 가시선 분석 알고리즘은 산출은 방위각에 따른 지구 단면을 원으로 가정했을때, 해석적으로 엄밀한 해라고 간주할 수 있다. 시뮬레이션을 위하여 한반도 임의의 지역의 지형정보를 이용하였다. Fig. 4는 시뮬레이션위하여 적용한 지형정보이다. 또한, 본 논문에서 제시된 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 논문에 제시된 알고리즘 및 PITMA 알고리즘을 적용하여 수치시뮬레이션 하였다. 두개의 시뮬레이션 모두 방위각 방향 거리증가를 100m로 하여 최대 110km까지 시뮬레이션 하였으며, 방위각 간격은 1도를 적용하였다. Fig. 5는 본 논문에서 제시된 알고리즘 및 기존에 제시된 PITMA 알고리즘을 사용하여 가시선 분석을 한 결과이다. Fig. 6은 두 알고리즘의 가시선고도의 차이를 분석한 것으로써 방위각마다 차이가 있지만 두 알고리즘의 시뮬레이션 결과는 거리 100km에서 최대 1.1m의 오차가 발생하였다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제시된 알고리즘은 기존에 연구된 알고리즘과 유사한 결과를 생성함으로써 그 타당성이 입증되었다. 본 논문에 제시된 알고리즘이 해석적으로 완전한 해라는 것을 가정할 때, 더욱 정밀도 높은 결과를 산출하는 것을 예상할 수 있으며, 시뮬레이션 결과로부터 PITMA 알고리즘의 평행가정 및 직선가정에 의한 오차정도를 예상할 수 있다.

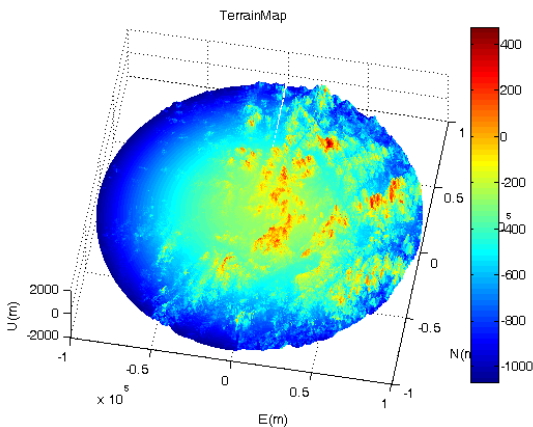


Fig. 4. Terrain profile for LOS analysis

Table 1. Difference of PITMA and LOS at 100km

Max(m)	Min(m)	Mean(m)
1.1	0.1	0.3

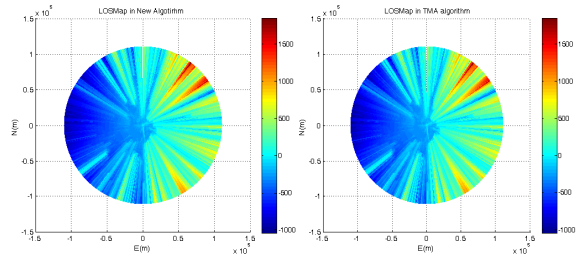


Fig. 5. Line-of-sight height profile

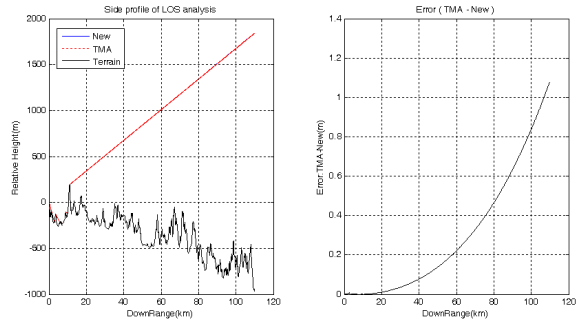


Fig. 6. Side profile and Difference of LOS algorithms

3. 가시선 분석 알고리즘 오차 분석

본 논문에 제시된 가시선 분석 알고리즘은 지구타원체의 단면을 원으로 가정하여, 해석적으로 완전한 해를 도출하였다. 하지만, 본 논문의 알고리즘에서 이용되는 지형정보는 지구타원체를 기준으로 하기 때문에 이와 관련된 오차가 발생되는데, 이러한 오차는 크게 두가지로 요약된다. 하나는 곡률반경의 왜곡에 의한 영향과 일정한 방위각 상의 두점을 지나는 지구타원체상의 법선면 왜곡에 의한 영향이 그것이다. 본 절에서는 이들의 오차의 영향을 파악하기 위한 분석방법을 제시하고 오차에 대한 분석을 수행하였다.

가. 곡률반경 왜곡의 영향

가시선 분석 알고리즘에서는 하나의 방위각에 대한 지구단면을 일정한 곡률을 가지는 원으로 가정하여 가시선 분석을 수행한다. 하지만, 지구타원체에서 임의의 방위각 방향에 대한 단면은 원이 아닌 변화하는 곡률을 가진 곡선을 이룬다. 이러한 요인에 의하여 지구타원체상에서 발생하는 실제 각  $\eta_{TRUE}$ 와 가시선 분석 알고리즘 상에서 원으로 가정되어 계산되는 각  $\eta_M$

은 서로 다른 값을 가지게 된다.

지구타원체상의 한점에서 임의의 방위각 방향의 곡선의 곡률은 변화하기 때문에 직접적으로 계산하는 것이 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 변화하는 곡률이 모유선 곡률반경 및 자오선 곡률반경의 사이에 있게 된다는 사실<sup>[1,2]</sup>을 이용하여, 해당 가정에 의한 오차를 분석하고자 하였다.

Fig. 7에서 점  $O, H, P_A, P_M, P_C, H_A, H_M, H_C$ 은 동일 방위각 방향을 가진다고 가정한다. 여기서,  $R_A$ 는 한반도 위도 범위에서 고려할 수 있는 최소 곡률반경이고,  $R_M$ 은 지구타원체를 구로 근사할 때 사용하는 곡률반경,  $R_C$ 는 한반도 위도 범위에서 고려할 수 있는 최대 곡률반경이다.

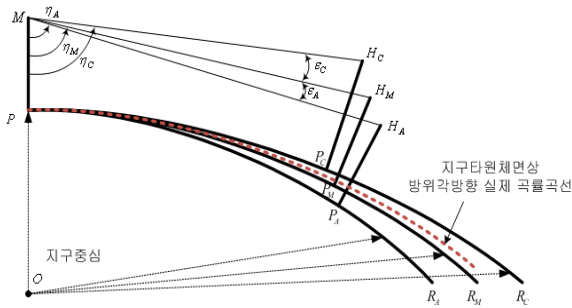


Fig. 7. Earth curvature diagram

가시선 분석에서 사용되는 위치  $S_i$  거리는  $\widehat{OP}_M$ 이며, 동일한 거리를 가지는 지점을 최대 곡률반경과 최소 곡률반경을 가지는 원에도 그대로 적용하여, Fig. 7과 같이  $P_A$ 와  $P_B$ 를 얻는다. ( $\widehat{OP}_A = \widehat{OP}_M = \widehat{OP}_C$ ). 한편, 목표지점에서의 가시선고도를 나타내기 위해 지구타원체상에서의 가시선고도와 같은 크기를 갖는 점  $H_M$ 를 선택하여  $\widehat{P}_M H_M$ 가 지구타원체상의 가시선고도와 같게 한다. 마찬가지로 다른 원에 대해서도 이를 적용하여  $\widehat{P}_M H_M = \widehat{P}_A H_A = \widehat{P}_C H_C$ 를 만족하는 점  $H_A, H_C$ 을 얻는다. 이 경우, 각각의 경우에서 주어진 고도에 대한 가시선 각은  $\eta_M(\angle OMH_M), \eta_A(\angle OMH_A), \eta_C(\angle OMH_C)$ 이다. Fig. 7에서 예상할 수 있듯이, 지구타원체인 경우의 실제 곡률 곡선을 적용하였을 경우 레이더의 위치와 가시선고도가 이루는 각인  $\eta_{TRUE}$ 은 최대곡률로 근사된 구와 최소곡률로 근사된 구에서의 가시선 각 사이에 있게 된다. 즉,  $\epsilon_A, \epsilon_C$ 를 구하면 지

구상타원체상의 실제 값과 가시선 분석 알고리즘의 가정에 의하여 원으로 근사된 경우 얻는 각  $\eta_M$ 와의 차이를 구할 수 있으며, 해당 값  $\eta_{TRUE} - \eta_M$ 은 식 (6)를 만족한다.

$$-\epsilon_A \leq \eta_{TRUE} - \eta_M \leq +\epsilon_C \quad (6)$$

여기서,  $\epsilon_A, \epsilon_C$ 는 곡률반경  $R_A, R_C, R_M$ 을 적용하여 식 (1)~식 (4)로부터 산출된다.

이를 이용하여 레이더 배치위치에서 목표지점까지의 상대거리와 가시선 고도를 변화시켜가면서 오차범위에 해당하는  $\epsilon_A, \epsilon_C$ 를 구하여 보면 Fig. 8, 9와 같다. Fig. 8은 위도가 고정된 상태에서 거리 및 가시고도 변화에 따른  $\epsilon_A, \epsilon_C$  값의 변화이며, Fig. 9는 거리 100km, 가시고도 5km에 대하여 한반도 위도범위를 고려하였을 때  $\epsilon_A, \epsilon_C$  값의 변화를 나타낸다. 이와 같은 오차 분석시에는 대기 굴절률에 의한 전파의 진행 경로를 고려하기 위하여 각각의 곡률반경에 4/3배를 적용하였다.

결과에서 볼 수 있듯이 지구타원체를 구로 근사할 때 이론적으로 발생할 수 있는 오차의 최대, 최소값의 범위는 레이더의 배치 위도, 가시고도, 거리에 따라 각각 다른 값을 가지는데, 위도가 36도로 고정되었을 때 가시고도 및 거리에 따른  $\epsilon_A$ 는 최대 0.01도,  $\epsilon_C$ 는 최대 0.01도로 계산되었으며, 이러한 값은 가시선 고도의 변화에 의한 영향보다는 거리의 증가에 의한 영향이 크게 나타나는 특성을 보이고 있다. 이러한 정도 오차범위는 레이더의 운용범위가 100km라고 가정할 때 해당 거리에서 최대  $\pm 1.7m$  정도의 가시선고도 오차를 유발한다.

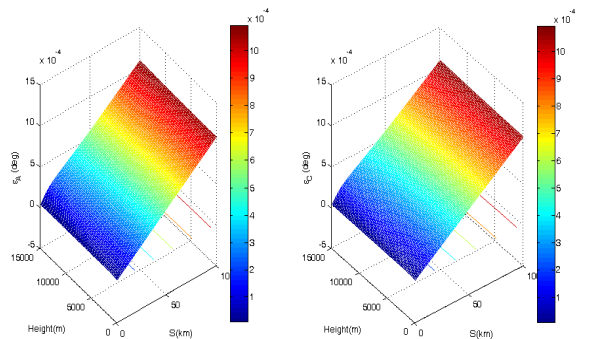


Fig. 8.  $\epsilon_A, \epsilon_C$  according to range and LOS height

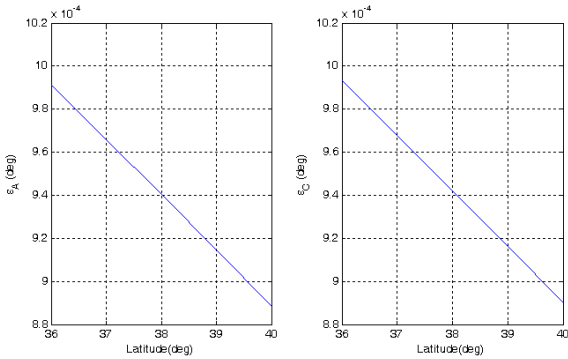


Fig. 9.  $\epsilon_A, \epsilon_C$  according to latitude

나. 법선면 왜곡의 영향

법선면 왜곡의 영향에 따른 오차를 설명하기 위해 Fig. 10에서와 같이 지구타원체상의 위치  $P_1$  상에서 임의의 방위각 방향으로 거리  $\Delta S$  상의 위치  $P_2$ 에서의 가시선 고도를 나타내는 위치  $H_2$ 를 가정한다.

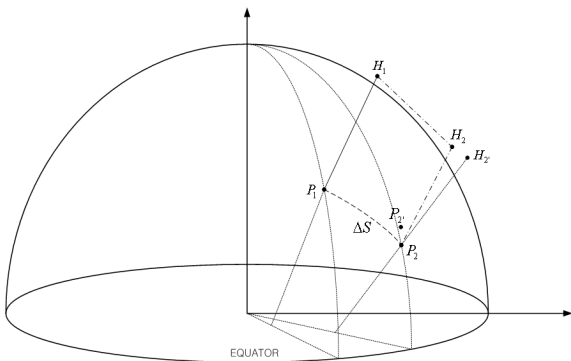


Fig. 10. Discordance normal section between  $P_1$  and  $P_2$

지구타원체의 특성상 네점  $P_1, P_2, H_1, H_2$ 는 동일한 평면위에 위치하지 않는데, 이는 두 점의 법선을 포함하는 면이 지구타원체상에서는 성립할 수 없기<sup>[1,2]</sup> 때문이다. 따라서, 위치  $H_2$ 를 지나고 지구타원체면에 수직한 법선은 위치  $P_2$ 가 아닌 다른 위치  $P_2'$ 를 지나게 된다. 하지만, 가시선고도 산출을 위하여 투영 가시선고도와 비교되는 지형고도는 위치  $P_2$ 에서 지구타원체에 수직한 법선  $\overline{P_2H_2}$  위에 놓이기 때문에 지구타원체상 각각 서로 다른 위치  $P_2, P_2'$  정보를 비교하는 데서 오차가 발생하게 된다. 즉, 지구타원체의 임

의 방향의 단면을 원으로 가정하면 위치  $P_2$  및 위치  $P_2'$ 가 서로 일치하게 되지만, 실제적으로 지구타원체상에서는 다른 위치이기 때문에 가시선 분석 알고리즘에서는 이와 관련된 오차가 발생하게 된다.

본 논문에서는 이러한 오차의 영향을 알기 위하여 지구타원체 가정 때문에 발생하는 위치간 거리  $\overline{P_2P_2'}$ 를 산출하여, 그 영향을 분석하고자 하였다. Fig. 11에서 관측점의 위치를  $P_1$ 에서 위도를  $\phi_1$ 이라고 하자. 그리고, 위치  $P_2$ 에서 위도를  $\phi_2$ 라고 한다.  $\overline{P_2P_2'}$ 의 크기는 Fig. 11에서  $\delta$ 를 이용하여, 식 (7)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\overline{P_2P_2'} \approx \overline{P_2H_2} \cdot \sin \delta \tag{7}$$

이제,  $\delta$ 의 크기를 계산하기 위하여, Fig. 11을 고려한다. Fig. 11과 같이 위치  $P_1, H_1, P_2, H_2, N$ 은 모두 한 평면위에 있으며, 이 경우  $\angle H_2MN = \frac{\pi}{2} + \phi_2$ ,  $\angle MH_2N = \delta$ 이므로,  $\triangle H_2MN$ 에 대한 사인법칙을 적용하면 식 (8)을 얻는다.

$$\frac{\sin \delta}{MN} = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} - \phi_2 - \delta)}{\overline{MP_2'} + \overline{P_2H_2}} \tag{8}$$

식 (8)을  $\overline{MP_2'} \gg \overline{P_2H_2}$ 을 고려하여 정리하면 식 (9)와 같다.

$$\tan \delta = \cos \phi_2 / \left( \frac{\overline{MP_2'}}{MN} + \sin \phi_2 \right) \tag{9}$$

여기서,  $\overline{MP_2'}$ 은 위치  $P_2$ 에서의 모유선 곡률반경이며,  $MN$ 은 위도  $\phi_1, \phi_2$ 의 타원체의 기하학에 따라 모유선 곡률반경으로 표시되며 식 (10)과 같다.

$$\overline{MN} = |v_2 e^2 \sin \phi_2 - v_1 e^2 \sin \phi_1| \tag{10}$$

여기서,  $v_1, v_2$ 는 위도  $\phi_1, \phi_2$ 에서의 모유선 곡률반경이며,  $e$ 는 지구타원체의 이심률이다. 따라서,  $\delta$ 는 위치  $P_1$  및  $P_2$ 에서의 위도에 대한 함수로 나타나며, 그 결과는 식 (11)과 같다.

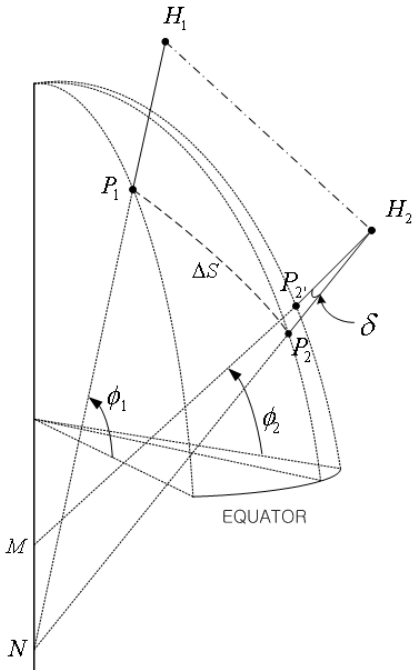


Fig. 11. Distance estimation between  $P_{2'}$  and  $P_2$

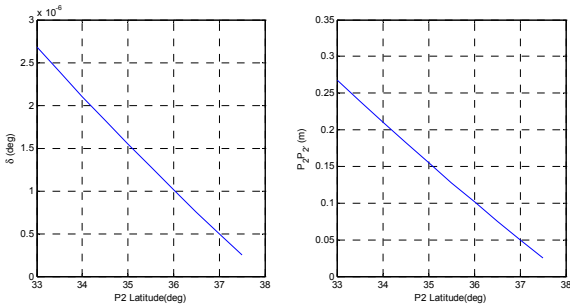


Fig. 12. Distance error according to latitude

$$\delta = \tan^{-1} \left( \cos \phi_2 / \left( \left| \frac{v_2}{\nu_2 e^2 \sin \phi_2 - \nu_1 e^2 \sin \phi_1} \right| + \sin \phi_2 \right) \right) \quad (11)$$

이를 바탕으로 한반도 영역에서의  $\widehat{P_2 P_{2'}}$ 의 크기를 예측하면 Fig. 12와 같다. Fig. 12는 위치  $P_1$ 을 위도 38도로 고정한 상태에서 위치  $P_2$ 를 변화시켜가면서  $\delta$ 를 예측하고, 그에 따라 거리 100km에 해당되는  $\widehat{P_2 P_{2'}}$ 의 크기를 예측한 그림이다. 각각의 시뮬레이션에서는 대기굴절율의 의한 영향을 보정하기 위하여 곡률반경에 4/3배를 고려하였다. 시뮬레이션 결과 Fig.

12에 나타나듯이 해당 오차는 100km에서 최대 1m의 오차를 갖는다. 이것은 가시선 분석 알고리즘에서 사용되는 지형정보의 해상도와 관계없이 100km의 영역에서는 알고리즘 자체의 가정으로 인해 지형정보가 최대 1m의 오차를 항상 수반하는 것으로 해석할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 가시선 분석을 중거리지대공 유도무기체계에 적용하기 위하여, 수치지형정보를 바탕으로 가시선 분석을 수행하는 알고리즘을 제시하였으며, 기존의 PITMA 알고리즘과 비교를 통하여 그 타당성을 입증하였다. 또한, 제안된 알고리즘에서는 기존의 알고리즘과 달리 발생할 수 있는 오차의 정도를 예측할 수 있는 오차 분석 방법을 제공함으로써, 가시선 분석 알고리즘 적용시에 가시선 분석에 발생하는 오차의 정도를 확인할 수 있는 방안을 제시하였다.

본 논문에서 제시된 가시선 분석 알고리즘을 중거리지대공 유도무기체계에 적용하여 가시선 분석을 수행한 결과 100km 영역에서 가시선 고도오차가 최대 1.7m, 지형고도 오차가 최대 1.0m의 성능을 가지는 가시선 분석 알고리즘으로 해석되었다. 이러한 결과로부터, 수치지형정보를 적용한 가시선 분석의 결과가 지형정보 정밀도와 유사한 수준의 신뢰도를 가지는 것을 확인할 수 있으며, 중거리지대공 유도무기체계의 레이다가 수십m에서 수백m의 추적성능을 가지는 것을 고려한다면 이와 유사한 수준의 정밀도를 가지는 지형정보를 사용하여 신뢰할 만한 가시선 분석의 결과를 산출할 수 있다는 것을 간접적으로 증명하였다.

결론적으로, 본 연구를 통하여 수학적으로 가정을 최소화한 가시선 분석 알고리즘을 제시하고 알고리즘의 오차정도를 예측할 수 있는 방법을 제공함으로써, 가시선 분석의 결과에 대한 신뢰성을 확인할 수 있는 방안을 제시하였다.

#### References

- [1] 유복모, 측지학, 동명사, 서울, 2005.
- [2] 건설교통부 국립지리원, 기하측지학, 한국건설기술연구원, 1991.

- [3] Performance Specification of Digital Terrain Elevation Data, MIL-PRF-89020B, 2000. 5.
- [4] Nicholas H. Durland, "Defining mean Sea Level in Military Simulation with DTED", SpringSim, SCS, 2009.
- [5] Gregory A. Robertshaw, "Effective earth radius for Refraction of Radio waves at Altitudes above 1km", IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 34, No. 9, pp. 1099~1105, 1986.
- [6] Broome, B. D., "Seefar; An Improved Model for Producing Line-of-sight Maps", AMSAA-TR-225, 1980.
- [7] Benincasa, M. M., "Parallel Implementation of the Terrain Masking Algorithm", Rome Lab., Griffiss AFB, NY., 1994. 3.
- [8] 어양담 외 4인, "지형고도자료 해상도가 가시선 분석에 미치는 영향", 한국군사과학기술학회지 제 11권 제3호, pp. 99~105, 2008.