

## DGPS 중파 신호의 지형에 의한 전파 지연

양승철<sup>o</sup> 유동희  
 부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부  
 elleysc@gmail.com<sup>o</sup>, dhyu@cup.ac.kr

### Propagation delay due to irregular terrain of DGPS medium frequency signal

Seungchur Yang<sup>o</sup> Donghui Yu  
 School of Computer information engineering, Catholic University of Pusan

#### 요 약

최근 GPS의 이상 현상에 대한 대비 및 독자 항법 시스템을 구축하기 위해 유럽의 갈릴레오, 일본의 QZSS 등 세계 선진각국의 GPS에 독립적인 위성항법시스템을 구축하고 있으며 GPS의 백업 용도로 지상 항법 시스템인 Loran의 현대화 작업 등이 진행되고 있다. 국내에서도 독자항법에 대한 필요성이 거론되었고 해양수산부는 해상 및 국내 전 지역을 커버할 수 있는 신호 영역을 가진 DGPS 신호의 대체항법 및 시각동기 인프라로서의 활용성에 대해 정책적으로 접근하고 있다. GPS 보정 정보를 방송하는 DGPS 비콘 신호는 중파 대역으로 지표면을 따라 전파되는 특성이 있다. 지표를 따라 전파되는 지표파는 지형의 전도율과 고도에 의해 전파의 전파시 추가 지연이 발생하고 이 추가 지연은 항법 및 시각동기에 오차를 유발하게 된다. 본 논문은 DGPS 신호가 지형의 특성에 따라 지연되는 전파 특성 및 전파지연모형을 소개하고 해당 전파지연모형 구현 결과를 기존 연구결과와 비교·검증하여 그 결과를 제시한다.

#### 1. 서 론

NDGPS망을 대체 항법 및 시각동기망으로 활용하기 위해서는 위치 정확도 및 시각 동기 성능과 직결되어 있는 전파의 지연 특성을 우선적으로 파악해야 한다. 전파지연을 모델링하기 위해서는 NDGPS 망에서 사용되고 있는 전파의 특성을 분석해야 하는데, NDGPS 망은 지표파의 특성을 갖는 중파를 사용한다. 지표파는 지형을 따라 신호가 전파하면서 지형의 '고도 및 전도율 등에 의해 전파 속도에 영향을 미치게 된다. 중파를 이용한 항법 시스템으로는 Loran 이 있으며 영국 웨일즈 대학에서 Loran-C의 전파지연 모형을 8여년에 걸쳐 연구·개발하여 현재 Loran-C 수신기에 적용하고 있다[2][3]. 그러나 이 시스템은 상용화 단계로 국내 Loran-C 수신기에 적용하기에는 비용이 들고 국내 지형 데이터의 활용 및 DGPS 기준국에의 적용 등에 한계가 있다. 따라서 Loran-C 및 중파의 전파지연모형에 대한 기존 연구 내용들을 분석하여, 국내 고도 및 전도율 데이터를 활용한 국내 지형에 의한 DGPS 신호의 전파 지연 모델에 대한 연구가 필요하다. 본 논문은 Loran-C에 적용된 중파 전파지연모형인 몬티스(Monteath) 방법을 소개한다. 또한 지구를 평지 및 구형 모델로 한 구현 결과를 Loran-C 결과와 비교하여 구현 시스템을 검증하였으며 이에 대한 결과를 제시한다.

#### 2. 관련연구

DGPS 신호와 유사한 전파 특성을 갖는 항법 시스템으로 Loran 항법시스템이 있다. Loran 시스템은 주로 연안 및 근해에서의 항법 시스템으로 전세계적으로 GPS 이전부터 사용되고 있는 지상항법시스템이다. Loran 수신기는 전송국으로부터 수신된 신호의 차이를 측정(TDOA)함으로써 자신의 위치를 결정한다[7]. 즉, 수신기는 신호의 고유 전파 속도(PF : Primary Factor, 빛의 속도)를 기준으로 해수면에서의 라디오 신호의 추가 전파 지연 속도(SF : Secondary Factor)를 알고 있으며

로 신호의 시간차를 거리로 변환하고 여기에 해수에서의 추가 지연을 보상하여 위치를 결정하게 된다. 그러나 이 신호가 육지를 통해 전파될 경우, 전파 속도는 육지 지형의 특성에 영향을 받아 전파 속도가 더 느려지는 특성이 있다. 이로 인한 추가의 전송 지연에 의해 실제 수신기의 위치가 정확히 결정되지 못하는 경우가 발생할 수 있으며, 육지에서의 지형의 영향에 의한 전송 지연을 ASF(Additional Secondary Factor)라고 정의하였다. ASF 값은 실측을 통해 정확히 구할 수 있으나, 많은 비용이 든다. 이에, 예측 모델을 통해 예측값을 구하고 몇몇 지점에서 측정을 통해 예측값을 보정하는 방법으로 ASF를 결정한다.

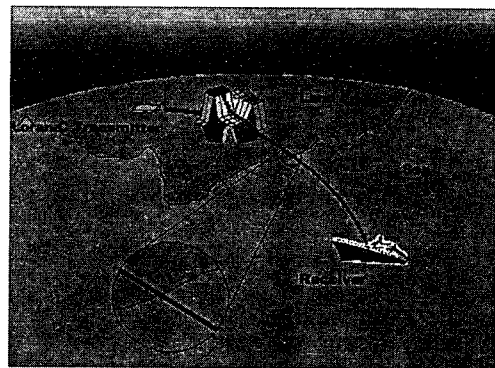


그림 1 지형고도, 도전율을 이용한 Loran-C 위치 측정

중파에 대한 전파지연 연구도 오랜 기간 여러 연구자들에 의해 수행되었다. 초기에는 고도는 고려하지 않고 단지 전도율만을 고려하여 전파지연을 예측하였다. 전도율뿐만 아니라 지형의 고도가 전파지연에 미치는 영향을 고려한 연구는 Hufford, Monteath 등에 의해 각자 정리가 되었으나, 컴퓨팅 환경에 적

합하게 중파 전파지연을 해석한 Monteath의 모델을 Loran-C에서 적용하였다. Hufford의 연구는 지구가 구형인 경우 및 고도에 대한 해석을 서술하고 있으며, 지형의 고도와 관련한 부분은 Monteath 논문에서 활용하고 있다[5].

3. 지형 데이터

지형 데이터는 고도와 전도율로 구성된다. 고도 데이터는 우리나라 수치표고모델을 사용하며, 대한민국 국토에 대한 수치표고모델로 국립지리원에서 규정한 구조와 품질을 갖춘 것으로 정의한다[6]. 대표명칭은 “한국수치표고자료”라 하고, 이를 영문으로는 KDED(Korean Digital Elevation Data)으로 표기한다. KDED의 자료단위명칭은 수치지도(1:5,000) 도엽을 준용하여 그 명칭으로 수치지도 도엽명(8자리 정수)을 사용한다. 격자간격은 자료단위명칭뒤에 아랫줄과 격자간격(m단위)을 3자리의 정수로 부가한다. 표고모델의 종류는 파일의 확장자로 구분한다. KDED의 기하학적 모델은 규칙격자형(regular grid)으로 한다. 전국을 도시지역과 기타지역으로 구분하여 도시지역의 격자간격은 5m, 그 이외 기타지역의 격자간격은 10m로 한다. 향후 2006년까지 6대 도시지역(수도권, 부산권, 대구권, 대전권, 광주권, 울산권)을 격자간격 5m로 구축할 계획이고 2010년까지 6대 도시지역을 제외한 전 국토를 10m 간격으로 구축하는 것이다.

지상파는 전파 경로상의 지면의 전기적 특징에 따라 감쇠 정도에 영향을 받는다. 특히, 3MHz 이하의 주파수 대역에 작용하는 가장 중요한 전기적 특성은 전도율(Conductivity)로 ITU에서 정의하고 있다. 이에 ITU에서 초장파, 중파 대역에서의 전도율 데이터를 전세계 국가를 대상으로 작성하여 라디오 향해에 사용하도록 하고 있다. 표준 전도율 값이 나타내는 범위를 표 1과 같이 정의하고 있다[4].

표 1 전도율 값

표준값(S/m)	범위(S/m)	
	상한값	하한값
5	7	3
$3 \times 10^{-2}$	$5.5 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-2}$
$10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-2}$	$5.5 \times 10^{-3}$
$3 \times 10^{-3}$	$5.5 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-3}$
$10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-3}$	$5.5 \times 10^{-4}$
$3 \times 10^{-4}$	$5.5 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$
$10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$5.5 \times 10^{-5}$
$3 \times 10^{-5}$	$5.5 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-5}$
$10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-5}$	$5.5 \times 10^{-6}$

그림 2는 대한민국의 ITU의 전도율 데이터 부분을 발췌한 것이다. 해수면은 표준 전도율값이 5 S/m의 값을 나타내며, 육지의 경우는 1에서 10 mS/s의 값의 범위를 가지는 것으로 나타나는데, 대부분의 육지의 경우는 주로 3 mS/s의 값을 가진다. 산악의 경우는 전도율이 매우 낮아 전파 지연을 많이 야기할 수 있다. 전도율 값을 전파지연에 많은 영향을 미치기 때문에, DGPS나 Loran 시스템을 항법에 사용하기 위해 정확한 지표의 전도율을 측정 및 보완이 반드시 선행되어야 한다.

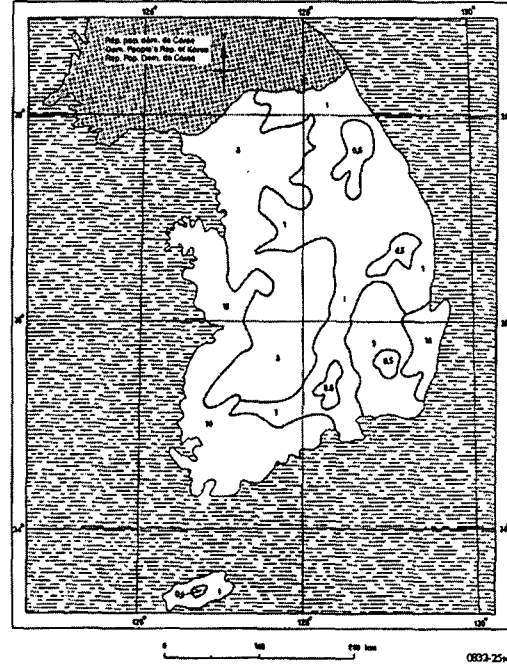


그림 2 ITU P.832-2 남한 전도율 데이터

4. 중파의 전파지연 모델

Monteath는 G를 송신기로부터 거리 R만큼 떨어진 위치에서의 복합 감쇠 계수 G를 지형의 다음과 같이 정의하였다[1].

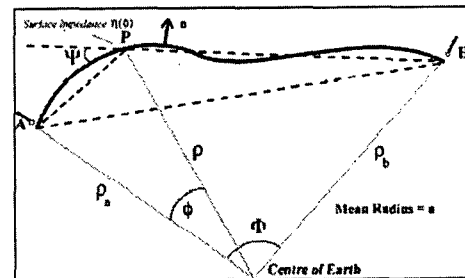


그림 3 Monteath의 integral equation method

$$G(R) = 1 - \sqrt{\frac{j\beta_0}{2\pi} \int_0^R \left(\psi + \frac{\eta}{\eta_0}\right) e^{-\lambda r} \sqrt{\frac{R}{R-r}} G(r) dr. \quad (1)$$

R은 송신기 A와 수신기 B 사이의 거리를 나타낸다. r은 그림 3에서의 P 위치에 해당하고 송신기 A와 수신기 B 사이의 위치 변수가 된다.  $\beta_0$ 는 자유공간전파상수로 단위는 radians/m 이고  $\frac{2\pi}{\lambda}$ 이다. 여기서  $\lambda$ 는 자유공간파장으로 단위는 m이다.

$$\xi = \beta_0[(AP) + (PB) - (AB)], \quad R = a\phi, \quad r = a\phi. \quad (2)$$

지구의 Relative surface impedance인  $\frac{\eta}{\eta_0}$ 는 다음과 같다.

$$\frac{\eta}{\eta_0} \cong (\epsilon_r + 1)^{-\frac{1}{2}} \quad (3) \quad \epsilon_r = k - j \times 1.8 \times 10^{10} \frac{\sigma}{F} \quad (4)$$

k는 비유전율 상수이고 j는 복소수를 나타내며,  $\sigma$ 는 ground conductivity(지표의 전도율)로 단위는 S/m이다. F는 주파수로 단위는 Hz이다.

Monteath는 실제 적분 방정식을 구현이 쉽게 일정 구간으로 나누어 쉽게 계산할 수 있는 방법을 제안하였다. r(ND)을 일정 간격(ID)으로 위치시켜 G(ND)를 다음과 같이 정의하였다.

$$G(ND) = \frac{1 - BD^2 \sum_{I=0}^{N-1} E(ND, ID)C(N, I)G(ID)}{1 + BD^2 C(N, N)E(ND, ND)} \quad (5)$$

식 (5)가 최종적으로 로란 및 DGPS 중파 신호에 대한 지형의 전파지연예측 모델로 사용되었다.

### 5. 구현 및 시뮬레이션 결과

Moneath 모델은 Visual C++로 구현하였으며, 구현 검증을 위해서 Loran에 적용된 영국 웨일즈 대학의 Balor 연구 결과와 Monteath 연구 내용과 동일한 조건으로 시뮬레이션을 하였다. Loran에서 적용된 전파지연예측시스템 역시 몬티스 논문에서 제시한 연구 결과와 비교함으로써 구현 적합성을 검증했다.

표 2는 지구를 평면 모델로 정의하고 시험한 위상지연 결과의 비교이다. 시뮬레이션 조건은 Monteath가 가정한 조건으로, 주파수 1 Mhz, Relative surface impedance는 0.189235 +j0.109355 로 두었다. 전도율은 1.00767 mS/m, 비유전율 상수는 9.47196로 하고 간격은 250m 간격으로 해서 전체 range 값을 250m에서부터 128000m 까지 적용하였다. CUP는 부산가톨릭대학교의 본 연구 결과값이고, Monteath 항은 Monteath 논문에서 제시한 결과값이다. 연구결과가 거의 일치한다.

표 1 Phase 비교 (degree)

Range(m)	Monteath	CUP
250	-32.41	-32.41
500	-45.99	-46.00
1000	-62.05	-62.07
2000	-83.52	-83.54
4000	-106.90	-106.92
8000	-128.46	-128.48
16000	-141.88	-141.89
32000	-147.10	-147.11
64000	-148.96	-148.97
128000	-149.75	-149.75

표 3은 지구를 타원체 모델로 정의한 결과에 대한 ASF 예측 결과 비교이다. 몬티스는 몬티스 논문에서 제시한 결과값을, 로란은 영국 Loran-C 시스템에 적용된 BALOR 시스템 결과값을 나타내며, 부가대는 부산가톨릭대학교에서 구현한 시뮬레이션 결과값을 나타낸다. 이 결과 역시 구현의 적합성을 입증한다.

0.2 Mhz 주파수 대역에서 전도율과 비유전율 상수가 같은 조건에서 같은 range에 대해 서로 다른 interval을 적용한 결과값이 차이가 나는 것을 확인할 수 있으며, 거리에 따라 주파수에 따라 그 결과값이 다를 수 있다. 이 결과값으로 구현

에서의 전파의 경우 송신기와 수신기간의 거리에 따라, 알고리즘을 적용할 때의 간격에 따라 결과 값이 달라짐을 나타내고 있다. 간격을 조밀하게 할수록 더 정확한 전파지연값을 예측할 수 있으나, 실제 그 간격의 조밀성은 결국 프로그램 실행 시간의 연장과 기본지형 데이터의 확보와 연관을 맺는다.

표 3 Smooth earth model에서의 전파지연예측 비교

주파수 (Mhz)	비유전율 상수	전도율 (S/m)	ID (km)	ND (km)	위상각지연(°)					
					몬티스	로란	부가대			
0.2	4	0.003	5	780	-431	-438	-437.5			
				810	-452	-459	-460.4			
			10	620	-329	-327	-327.6			
				780	-432	-440	-440.5			
				806	-453	-456	-455.9			
				850	-482	-492	-493.9			
			20	300	-173	-175	-174.5			
				640	-339	-338	-338.3			
				820	-472	-468	-483.8			
			0.7	4	0.01	3.333	350	-318	-317	-317.2
							380	-343	-342	-342.0
							490	-435	-450	-453.5
1	4	0.003	1	144	-211	-213	-213.7			

### 6. 결론

본 논문은 국가 기간망인 DGPS 망을 항법 또는 시각동기망으로 활용을 위한 연구의 일환으로 DGPS 신호의 특성을 연구하였다. DGPS 신호는 중파로 지표파의 특성을 갖고 지표파는 지형의 고도 및 전도율에 의해 전파 지연이 발생한다. 정확한 위치 측정 및 시각 동기를 위해서 지형에 의해 추가로 발생한 지연 요소인 ASF를 보상해야 한다. 측정에 의한 방법이 정확하나 시각 및 비용 측면에서 예측 모델링에 의한 예측값을 계산하고 특정 지점에서의 측정값과의 비교를 통해 보정하는 방법을 선호하게 된다. 이에 기존 지상파 항법 시스템인 Loran 시스템에서 사용하는 전파지연예측 모델인 몬티스 모델을 소개하고 이를 구현한 결과를 Loran의 연구결과와 비교하여 제시하였다.

### 참고문헌

- [1] G.D. Monteath, O.B.E., D.Sc., F.Inst.P., F.I.E.E., "Computation of groundwave attenuation over irregular and inhomogeneous ground at low and medium frequencies", BBC RD 1978/7
- [2] Paul Williams, David Last, "Mapping the ASFs of the Northwest European Loran-C System", ILA'98.
- [3] David Last, Paul Williams, "Propagation of Loran-C signals in irregular terrain-Modeling and measurements:part 1 : Modelling", International Loran Association Technical Symposium, Washington, DC, Nov. 2000.
- [4] ITU-R P.832-2 World atlas of ground conductivities.
- [5] Geroge Hufford, "An Integral Equation Approach to the Problem of Wave Propagation over an Irregular Earth", Quart. Ap. Math, 9, pp. 391-404, 1952
- [6] 정택영, 이창경, "수치표고모델 구축방안연구"
- [7] Loran navigation