

단일주파수 GNSS 수신기를 위한 전리층 모델 비교

Comparison of Ionosphere Models for Single Frequency GNSS Receiver

이창문¹⁾ · 박관동²⁾

Lee, Chang Moon · Park, Kwan Dong

¹⁾ 교신저자 · 정회원 · 인하대학교 대학원 지리정보공학과 석사과정(E-mail:cm_lee@inha.edu)

²⁾ 정회원 · 인하대학교 지리정보공학과 부교수(E-mail:kdpark@inha.ac.kr)

Abstract

Ionospheric delay is the largest error sources in GNSS positioning. The single frequency receiver user needs an ionospheric model like the Klobuchar model or NeQuick model to eliminate the ionospheric error. In this study we estimated VTEC(Vertical Total Electron Content) over DAEJ station using the two models in each season. We compared the results with Global Ionosphere Maps and International Reference Ionosphere model predictions. As a result, the NeQuick model was more accurate than Klobuchar model.

▶ Keywords : Ionosphere, Klobuchar, NeQuick, GPS, Galileo

1. 서론

GNSS를 이용한 측량은 3차원 위치정보를 얻을 수 있는 주요한 측량 방법으로써 미국의 GPS(Global Positioning System)와 유럽의 Galileo 등이 대표적인 예이다. 신뢰도 높은 GNSS 측량 결과를 확보하기 위해서는 전리층에 의한 신호지연오차를 반드시 제거해야 한다(Hofmann-Wellenhof et al. 2007). 이중주파수 수신기는 무전리층 조합을 이용하여 전리층 오차를 대부분 제거할 수 있지만 비교적 가격이 비싸다는 단점이 있다. 따라서 고정밀의 측위 결과를 요구하지 않는 분야에서는 단일주파수 수신기를 이용한다. 단일주파수 수신기 사용자는 전리층 모델을 이용하여 전리층 오차를 추정하며 대표적으로 GPS의 Klobuchar 모델과 Galileo의 NeQuick 모델이 있다. 현재 연구개발되고 있는 GNSS 수신기는 GPS와 Galileo의 신호를 모두 수신할 수 있도록 설계되고 있기때문에 하나의 수신기에서 Klobuchar 모델과 NeQuick 모델을 선택적으로 이용할 수 있다. 그러므로 상황에 따라 보다 효율적으로 전리층 오차를 제거할 수 있는 전리층 모델을 파악하는 것이 중요하다. 이 연구에서는 Klobuchar 모델과 NeQuick 모델을 이용하여 대전 상시관측소 상공의 연직방향 총 전자수(VTEC)를 계절별로 산출하였으며 그 결과를 전지구 전리층모델(GIM, Global Ionospheric Maps)과 IRI(International Reference Ionosphere)의 총전자량(Total Electron Content, TEC)과 비교하였다.

2. 단일주파수 GNSS 수신기 전리층 모델

2.1 Klobuchar 모델

Klobuchar 모델은 GPS 위성과 GPS 수신기 사이의 총전자량을 산출하여 전리층 오차를

추정하며, 지역에 따라 총 전리층 오차의 약 50·60%까지 제거할 수 있다(Komjathy et al. 1997). Klobuchar 모델을 이용하기 위해서는 자유전자가 350km 상공의 두께가 0인 가상의 단일층에 밀집되어 분포하고 있고, 총전자량은 현지시각(local time)으로 오후 2시에 가장 높으며, 22시에서 06시 사이의 총전자량은 9.24 TECU(TEC unit)로 일정하다고 가정한다(Klobuchar 1987).

Klobuchar 모델은 방송궤도력을 통해 제공되는 전리층 오차 보정 파라미터 α_n, β_n ($n=1\sim 4$)을 이용하여 총전자량을 추정한다. 여기서 α_n 과 β_n 은 각각 수직방향 지연과 Klobuchar 모델의 주기를 계산하기 위한 방정식의 계수이다(서윤경 1987). GPS 주제어국(Master Control Station)은 관측일과 태양 속(flux)값을 고려하여 α_n 과 β_n 을 선정한 후 이를 위성의 항법 메시지에 실어 제공하고 있다.

2.2 NeQuick 모델

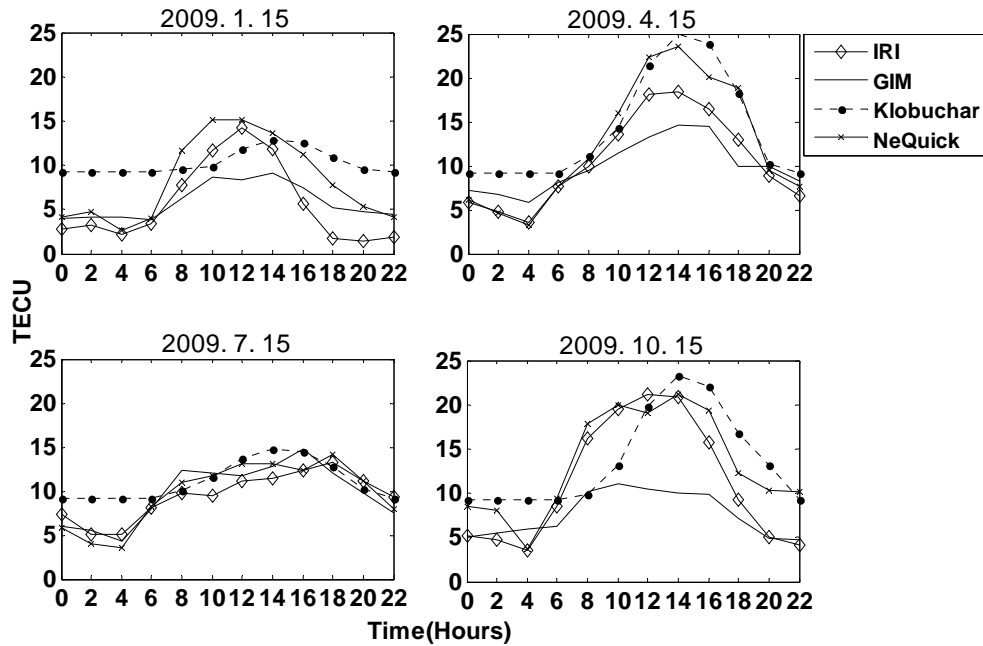
NeQuick 모델은 사용자가 원하는 시간과 위치에서의 전리층내 전자밀도(electron density)를 산출한다. NeQuick 모델은 전리층을 구성하고 있는 E, F1, F2 레이어 각각의 최대 전자밀도 분포 고도(peak height)와 최대 전자밀도(peak electron density)를 기본 입력값으로 이용한다. 또한 태양활동지수를 나타내는 값인 10.7cm radio flux를 고려한다. 이 값은 태양에서 방출하는 10cm 길이 파장의 전파 강도를 측정한 값으로써 태양 흑점 개수와 연관되어 있다. NeQuick 모델은 F2 레이어의 최대 전자밀도 분포 고도를 기준으로 윗 영역을 topside, 아래 영역을 bottom side로 구분하여 전자밀도를 계산한다. 따라서 전자밀도 산출 고도에 따라 다른 모델식이 적용된다(Nava et al. 2008).

3. Klobuchar 모델과 Nequick 모델을 이용하여 산출한 전리층 오차 비교

이 연구에서는 Klobuchar 모델과 NeQuick 모델을 이용하여 전리층 오차를 산출하였다. 이를 위해 2009년에 제공된 IGS(International GNSS Service)의 항법메시지 BRDC(BRoADCast ephemeris)와 NOAA(National Ocean Atmosphere Administration)의 우주기상 예측센터(SWPC, Space Weather Prediction Center)에서 제공하는 DSD(Daily Solar Data)를 이용하였다. BRDC는 현재 운용중인 모든 GPS 위성의 방송궤도력을 제공하며 헤더부분에 전리층 오차보정 파라미터 α_n, β_n ($n=1\sim 4$)을 포함하고 있다. DSD는 해당일의 태양활동과 관련된 정보를 제공하며 이 연구에서는 10.7cm radio flux값을 이용하였다.

Klobuchar 모델과 NeQuick 모델의 시간과 계절에 따른 전리층 오차 산출량을 비교하기 위하여 2009년 1월 15일, 4월 15일, 7월 15일, 그리고 10월 15일을 대상으로 대전 상시관측소의 VTEC을 산출하였다. 그리고 그 결과를 전지구 전리층 모델인 GIM과 IRI의 총전자량과 비교하였다. GIM은 위도 2.5°, 경도 5° 간격의 TEC을 제공하기 때문에 대전 상시관측소의 경위도와 가장 가까운 위도 37.5°, 경도 125°의 TEC을 이용하였다.

[그림 1]은 계절에 따른 4가지 전리층 모델의 하루간 총전자량 변화를 2시간 간격으로 나타낸 것이다. 그 결과 GIM을 제외한 모든 모델의 총전자수가 겨울과 여름에 비하여 봄과 가을에 더 높게 나타났다. 이러한 결과는 일반적으로 알려진 전리층내 총전자수의 분포 경향과 일치한다. Klobuchar 모델의 경우 14시에 최대값을 나타냈으며 22시부터 06시에 총전자량이 9.24 TECU로 일정하게 나타났다. 따라서 22시부터 06시까지는 Klobuchar 모델보다 NeQuick 모델을 사용하여 전리층 오차를 추정하는 것이 적합하다고 판단된다. NeQuick 모델과 IRI 모델은 변화 경향이 비슷하게 나타났으며 이는 두 모델의 입력 자료와 계산과정의 거의 유사하기 때문이라고 판단된다.



[그림 1] 계절에 따른 Klobuchar, NeQuick, GIM, IRI 모델의 일일 총전자수 변화

[표 1]은 [그림 1]의 결과를 정량적으로 정리한 것으로써 각 날짜에서의 모델별 평균 TECU와 GIM을 기준으로 하여 계산된 Klobuchar 모델과 NeQuick 모델의 RMS 차이를 나타낸 것이다. 이 연구에서는 RMS 차이를 계산하기 위하여 GIM을 참값으로 가정하였다. GIM은 단일주파수 수신기에서 사용하는 전리층 모델보다 높은 정밀도를 나타낸다(최병규 2009). [표 1]에서 보면 Klobuchar 모델은 봄철인 4월 15일에 14.2 TECU로 최대값을 나타냈으며 NeQuick 모델의 경우 가을철인 10월 15일에 13.3 TECU로 가장 높은 값을 나타냈다. GIM과 Klobuchar 모델 사이의 RMS 오차는 가을철에 7.34 TECU로 가장 크게 나타났다. 보통 1 TECU는 약 0.163m의 거리오차로 간주하기 때문에 7.34 TECU는 약 1.2m의 거리오차로 환산할 수 있다. GIM과 NeQuick 모델의 RMS 차이는 사계절에서 모두 Klobuchar 모델보다 낮게 나타났다. 따라서 우리나라의 중부 지방에서는 NeQuick 모델을 사용하여 전리층 오차를 추정하는 것이 적합하다고 판단된다.

[표 1] 각 전리층 모델의 VTEC 평균과 GIM과 Klobuchar 모델, NeQuick 모델간 RMS 차이 [TECU]

날 짜	평균 VTEC				RMS 차이	
	IRI	GIM	Klobuchar	NeQuick	GIM-Klobuchar	GIM-NeQuick
2009. 1. 15	5.65	5.85	10.26	8.28	4.57	3.68
2009. 4. 15	10.54	9.91	14.20	12.52	5.56	5.08
2009. 7. 15	9.44	9.72	11.16	6.67	2.34	1.23
2009. 10. 15	11.15	7.60	13.68	13.30	7.34	6.73

4. 결 론

이 연구에서는 단일주파수 GNSS 수신기에서 이용되는 전리층 모델인 Klobuchar 모델과 NeQuick 모델을 이용하여 산출한 대전 상시관측소 상공의 VTEC을 비교하였다. 그리고 산출

된 VTEC를 전지구 전리층 모델인 GIM과 IRI의 총전자량과 비교하였다. 그 결과 모든 계절에서 Klobuchar 모델의 VTEC이 NeQuick 모델의 VTEC보다 항상 크게 나타났다. 참값으로 가정한 GIM의 총전자량과의 RMS 차이는 NeQuick 모델이 Klobuchar 모델보다 1 TECU 내외로 작게 나타났다. 이는 NeQuick 모델의 전리층 보정 효과가 더 효과적이라는 것을 의미한다. 그러나 이 연구는 한지점을 대상으로 진행되었기 때문에 향후 연구에서는 다양한 지역과 시간 그리고 태양활동 극대기를 대상으로한 연구를 진행해야 할 것이다.

참고문헌

- 서윤경 (1994), GPS의 P코드를 이용한 이온층의 총전자수 측정, 석사학위논문, 경희대학교, p. 39.
- 최병규 (2009), 중거리 기선 측지 성능 개선을 위한 지역 전리층 모델개발, 박사학위논문, 충남대학교, p. 7.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Wasle, E. (2007), GNSS-Global Navigation Satellite System, Springer Wien New York.
- Nava, B., Coisson, P., Radicella, S. M. (2008), A new version of the NeQuick ionosphere electron density model, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 70, pp. 1856-1862.
- Klobuchar, J. (1987), Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users, *IEEE Transactions Aerospace Electronic Systems* AES-23, pp. 325-331.
- Komjathy, A., Wilson, B. D., Runge T. F., Boulat, B. M., Mannucci, A., J., Sparks, L., and Reyes, M. (2002), A new ionospheric model for wide area differential GPS : The multiple shell approach, Presented at the ION National Technical Meeting, San Diego, CA, January, pp. 28-30.