

준 실시간 GPS 가강수량 생성을 위한 자료처리 전략

백정호^{1,2†}, 이재원^{1,2}, 최병규¹, 조정호¹

¹한국천문연구원

²과학기술연합대학원대학교

PROCESSING STRATEGY FOR NEAR REAL TIME GPS PRECIPITABLE WATER VAPOR RETRIEVAL

Jeongho Baek^{1,2†}, Jae-Won Lee^{1,2}, Byung-Kyu Choi¹, and Junggho Cho¹

¹Korea Astronomy and Space Science Institute, Yuseong, Daejeon 305-348, Korea

²Korea University of Science and Technology, Yuseong, Daejeon 305-333, Korea

E-mail: llamb@kasi.re.kr

(Received September 14, 2007; Accepted October 12, 2007)

요 약

GPS 신호로부터 획득한 가강수량 정보를 실제 수치예보에 활용하기 위해서는 1시간 이내 대기 시간, 3mm 이내 수준의 정확도를 갖는 결과가 연속적으로 산출되어야 한다. 최근까지 국내에서는 IGS(International GNSS Service) 최종궤도력(final ephemeris)과 하루단위 GPS 자료를 처리하여 기존의 기상관측장비 측정결과와 비교 검증하는 연구가 주로 수행되어왔다. 최종궤도력을 사용할 경우 GPS 관측 후 3주 이후 이용 가능하며 하루 단위로 결과가 생성되므로 준 실시간 자료처리에는 부적합하다. 이 논문은 수치예보모델 자료동화가 가능하도록 1시간 이내 3mm 이내 수준 정밀도의 GPS 가강수량 결과를 산출할 수 있는 기술을 개발하는데 초점을 맞추고 있다. 이를 위해 IGS 초신속궤도력(ultra-rapid ephemeris)과 Sliding Window 기법을 이용하여 준 실시간 GPS 자료처리 전략을 수립하고 결과를 검증하였다. 사계절을 대표해서 2006년 1월, 4월, 7월, 10월의 1일부터 10일까지의 자료를 처리하였으며, GPS 상시관측과 라디오존데 관측이 동시에 이루어지는 속초의 결과를 비교하였다. 비교결과 평균바이어스는 0.8mm, 표준편차는 1.7mm로 자료동화에 필요한 정확도인 3mm 수준의 이내의 결과와 평균 자료처리시간이 3분 43초로서 이 연구에서 수립한 준 실시간 GPS 자료처리전략의 타당성을 확인하였다.

ABSTRACT

For the application to the numerical weather prediction (NWP) in active service, it is necessary to ensure that the GPS precipitable water vapor (PWV) data has less than one hour latency and three millimeter accuracy. The comparison and the verification between the daily products from GPS measurement by using the IGS final ephemeris and the conventional meteorological observation has been done in domestic researches. In case of using IGS final ephemeris, GPS measurements can be only post processed in daily basis in three weeks after the observation. Thus this method cannot be applied to any near real-time data processing. In this paper, a GPS data processing method to produce the PWV output with three mm accuracy and one hour latency for the

†corresponding author

data assimilation in NWP has been planned. For our new data processing strategy, IGS ultra-rapid ephemeris and the sliding window technique are applied. And the results from the new strategy has been verified. The GPS measurements during the first 10 days of January, April, July and October were processed. The results from the observations at Sokcho, where the GPS and radiosonde were collocated, were compared. As the results, a data processing strategy with 0.8 mm of mean bias and 1.7 mm of standard deviation in three minutes forty-three seconds has been established.

Keywords: GPS, PWV retrieval, near real time, sliding window

1. 서 론

대기 중에 포함된 가강수량(Precipitable Water Vapor, PWV)을 결정하는 기존의 방법에는 실측장비인 라디오존데(radiosonde)를 이용하는 방법과 마이크로파 측정기(Microwave Radiometer, MWR)를 통해 시선방향의 수증기량을 관측하는 방법이 있다. 일반적으로 라디오존데는 비용 문제로 인해 하루에 2회나 4회 관측을 실시하므로 시간적 연속성이 떨어지고 풍선을 이용하기 때문에 바람의 영향을 많이 받는다(문용진 1998). MWR의 경우 현재 가장 정밀하게 PWV를 측정한다고 알려져 있으나 비가 오는 날에는 측정이 불가능한 단점이 있다(Bevis et al. 1992). 반면 GPS를 이용하면 날씨에 무관하게 24시간 PWV 생성이 가능하고, 그 정확도도 기존 라디오존데나 MWR과 비교하여 2mm 수준에서 일치하는 것으로 알려져 있어 GPS 상시관측망이 조밀하게 구축되어 있다면 높은 시공간적 분해능으로 GPS PWV를 생성할 수 있는 장점이 있다(Bevis et al. 1992).

선진국에서는 이미 1990년대 초반부터 관련연구를 진행해왔으며 현재는 실제 수치예보모델에 GPS PWV를 적용하여 기상현업적용을 준비하고 있다. 미국의 경우 UCAR(University Corporation for Atmospheric Research)를 중심으로 SuomiNet 프로젝트 수행을 통해 1시간마다 GPS PWV 지도를 웹서비스하고 있고, 유럽에서는 유럽연합을 중심으로 COST-716 프로젝트를 통해 준 실시간으로 GPS PWV를 산출하고 이를 수치예보모델에 적용하기 위한 자료동화를 수행하고 있다(Guerova et al. 2005). 또한 GPS 이중주파수 수신기를 탑재한 저궤도 위성을 이용하는 GPS RO(Radio Occultation)기법의 등장으로 GPS를 이용하여 온도, 습도, 기압 등의 대기연직물리량 파악이 가능해지면서 지상기반의 GPS 기상연구 뿐만 아니라 우주기반 GPS 기상연구도 널리 수행되고 있다.

국내 GPS 기상연구는 선진국에 비해 역사는 짧지만 최근 수치예보모델의 초기치로서 GPS PWV의 적용 가능성이 부각되면서 활발한 연구가 진행되고 있다. 현재까지는 주로 후처리방법을 이용하여 일일 단위의 GPS PWV를 계산하고 이를 라디오존데 자료와 비교 검증하는 연구가 주를 이루었으나 최근에는 수치예보모델에 GPS PWV를 자료동화하려는 시도가 이루어지면서 준 실시간 GPS PWV 생성의 필요성이 높아지고 있다. GPS로부터 얻은 PWV를 자료동화하기 위한 필요조건은 결과의 오차범위가 3mm 이내이고 한 시간 이내 최신결과를 이용할 수 있어야 한다(Gutman & Benjamin 2001). GPS PWV 생성연구에 사용된 전통적인 처리방법은 일별 GPS 자료를 한꺼번에 이용하는 일괄처리방식이다. 이러한 방법은 최종궤도력을 사용하므로 최종궤도력이 공표되기까지 최대 3주 동

안 기다려야하고, 처리결과는 하루 단위로 생성되므로 1시간 이내 결과를 요구하는, 현업적용을 위한 자료동화에 부적합하다.

이 연구의 목적은 실제 수치예보모델에 적용할 수 있도록 1시간 이내 준 실시간 GPS PWV 생성기술을 개발하는 것이다. 1시간 마다 새로운 GPS PWV 결과가 생성되도록 Sliding Window 기법을 적용하였으며 라디오존데 결과와 3mm 이내에서 일치하도록 자료처리 전략 모델을 설정하였다. 계절적 차이를 살펴보기위해 2006년 1월, 4월, 7월, 10월의 1일부터 10일 자료를 사용하였고, 기상대가 위치하여 GPS PWV 계산을 위해 필요한 기상정보가 가장 정확한 지점인 속초, 목포를 선정하였다. 대전(DAEJ), 수원(SUWN), 베이징(BJFS), 우한(WUHN), 쓰꾸바(TSKB), 우수다(USUD) 관측소는 결과의 기준좌표계를 정의하기 위해 사용하였다.

처리결과의 신뢰성을 검증하기 위해 기존 후처리방법을 사용한 결과와 Sliding Window 기법을 사용한 결과를 비교하였다. 두 가지 방법으로 결정된 GPS PWV는 1.1mm 수준으로 일치함을 확인하였다. 그리고 기상학에서 참값으로 간주하는 라디오존데 결과와 Sliding Window 기법으로 처리한 GPS PWV를 비교하여 습윤 바이어스 0.8mm, 표준편차 1.7mm를 얻었고, 처리시간은 평균 3분 43초로 1시간 이내 대기시간 조건을 만족하였다.

2. GPS 가강수량 산출

고도 20,200km 상공의 GPS 위성에서 송신하는 L1(1575.4MHz), L2(1227.6MHz) 신호는 대류층을 거치면서 굴절되어 지연현상이 발생하고 고정밀 자료처리를 통해 mm 급 정밀도로 이 지연량을 추정할 수 있다(Bevis et al. 1992). 총 지연량(Zenith Total Delay, ZTD)은 천정방향 파라미터로 표현되며 GPS 관측소의 건조 기체성분으로 인한 정역학적 지연(Zenith Hydrostatic Delay, ZHD)과 습윤 지연(Zenith Wet Delay, ZWD)으로 구분할 수 있고 표면기압을 사용하여 다음과 같이 두 성분을 계산할 수 있다(Elgered et al. 1991).

$$ZTD = ZHD + ZWD \quad (1)$$

$$ZHD = 2.2768 \times 10^{-3} P_0 / G \quad (2)$$

여기서 P_0 는 표면기압(hPa), $G = 1 - 0.002626 \cos 2\lambda - 0.00028h_0$ 이고, λ 는 위도, h_0 는 해발고도(km)이다. 일반적으로 해수면 기준($h_0 = 0$ m)으로 1기압(1013hPa)을 가정했을 때 천정방향 정역학적 지연량은 약 2.3m의 값을 갖는다. 자료처리를 통해 ZTD를 산출하고 식 (2)를 이용하여 ZHD를 계산할 수 있으므로, 식 (1)을 통해 습윤 지연을 계산할 수 있다. 이로부터 단위면적의 공기기둥에 누적된 총 수증기량(Integrated Water Vapor, IWV)을 식 (3)과 같이 계산할 수 있다(Bevis et al. 1992).

$$IWV = \kappa \cdot ZWD \quad (3)$$

여기서 κ 는 다음과 같다.

$$\frac{1}{\kappa} = 10^{-6} \left(\frac{k_3}{T_m} + k'_2 \right) R_v \quad (4)$$

R_v 는 수증기의 기체상수, $k'_2 = (17 \pm 10) K hPa^{-1}$, $k_3 = (3.776 \pm 0.004) \times 10^5 K^2 hPa^{-1}$ 인 상수 값이고 T_m 은 해당지역 공기기둥의 평균온도이다.

표 1. 기존 GPS 후처리 방법과 준 실시간처리 방법 비교.

	기존 자료처리	준 실시간 자료처리
목적	가장 정밀한 PWV 산출	매시간 정밀한 PWV 산출
GPS 궤도	IGS 최종궤도력	IGS 초신속궤도력
처리 방법	하루단위 자료처리	Sliding Window
장점	이미 검증된 결과	매시간 결과 획득
단점	다음 결과 위해 24시간 필요	자료 품질검증 문제

일반적으로 PWV 계산시 가장 많이 쓰이는 평균온도식은 Bevis et al.(1992)가 제시한 것으로서 미국의 북위 27°에서 65° 부근의 해발고도 0 ~ 1.6km 라디오존데 자료를 이용하였다. 하지만 이 평균 온도식은 미국지역 관측 자료를 이용한 것이므로 국내 라디오존데 자료를 이용한 한국형 평균온도식 연구가 수행되었다(우성호 2003, 송동섭과 윤홍식 2004, 하지현 외 2006). 그 중 하지현 외(2006)는 가장 많은 관측 자료를 이용하여 식을 구하였고 이 논문에 사용되었다(식 (5)).

$$T_m \approx 16.5 + 0.907T_s \quad (5)$$

여기서 T_s 는 지표면 온도이다. 식 (3)에서 얻은 누적강수량을 물의 밀도 ρ 로 나누면 우리가 얻고자 하는 PWV를 얻을 수 있다.

$$PWV = \frac{IWV}{\rho} \quad (6)$$

3. 준 실시간 GPS 자료처리

1일 단위 후처리 전략은 현재 가장 정확한 GPS 위성궤도력인 IGS 최종궤도력과 일별 RINEX (Receiver INdependent EXchange) 파일을 사용한다. 이와 같은 방법은 위성의 궤도오차로 인한 측위 정밀도 저하를 최소화하고 고정밀 처리에 충분한 자료 양을 사용하므로 GPS PWV를 가장 정밀하게 결정할 수 있는 방법이다. 하지만 IGS 최종궤도력은 생성되는데 13일이 걸리고, 주간 단위로 발표되므로 결과를 얻기 위해 최소 2주에서 최대 3주까지 기다려야 한다. 실시간으로 사용할 수 있는 IGS 초신속궤도력을 사용하더라도 일별 자료처리를 수행하므로 다음 결과를 얻기 위해 하루를 기다려야 한다. 따라서 준 실시간 응용을 위해서는 다른 전략이 필요하다. 표 1에서는 기존의 GPS 후처리방법과 이 연구에 사용된 준 실시간 처리방법을 비교하였다.

3.1 Sliding Window 기법

Sliding Window 방법(Feng & Bock 1998)은 기존의 24시간 일괄처리방식과 거의 유사하다(Foster et al. 2005). 차이점은 처리하는 자료묶음이 일별로 고정된 것이 아니라 1시간 혹은 원하는 시간 간격마다 가변적인 점이다. 그림 1은 기존의 GPS 후처리방법과 Sliding Window 방법을 비교한 그림이다. 이 방법은 본질적으로 기존의 GPS 후처리방법과 동일하다. 하지만 최적화된 시간창(time window)을 설정하여 처리하고 새로 수집되는 자료로 창틀을 유지한 채 그대로 이동함으로써 기존방법에서 갖는 결과의 안정성과 새로운 결과를 계속해서 제공할 수 있는 장점을 지닌다. 기존방법은 하루 단위로 처리하므로 최소 하루가 지나야 결과가 생성되지만 Sliding Window를 이용한 경우 1시간마다 새로운 결과가 생성된다. 만약 자료가 30분마다 주어진다면 30분마다 결과산출이 가능하다.

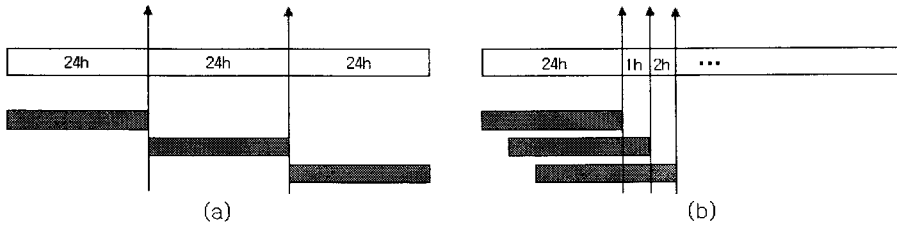


그림 1. 기존 GPS 후처리와 Sliding Window방법 비교. 시간의 흐름은 왼쪽에서 오른쪽 방향임. (a) 기존 GPS 후처리방법. (b) Sliding Window 방법.

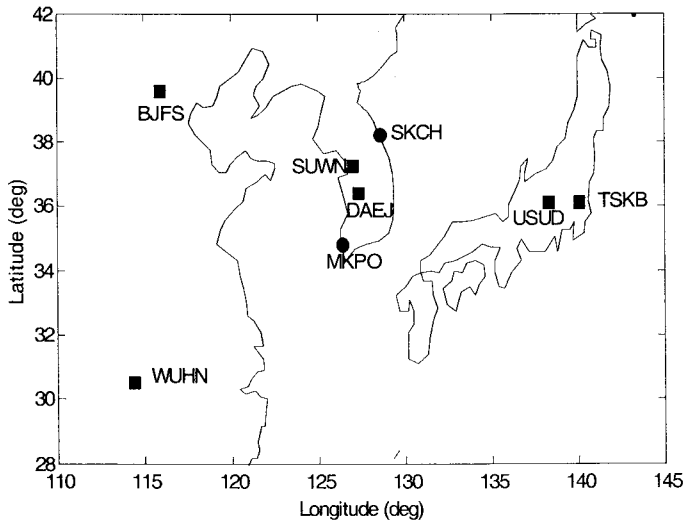


그림 2. 사용된 GPS 상시관측소. ■는 IGS 관측소, ●는 일반 상시관측소.

IGS 최종궤도력은 하루단위로 구성되므로 Sliding Window와 같이 여러 날짜에 걸치는 자료를 처리할 경우 이용이 불가능하다. 현재 IGS에서는 6시간마다 초신속궤도력을 공표하는데, 24시간 관측궤도와 24시간 예측궤도를 포함한다. 따라서 Sliding Window를 사용할 때 IGS 초신속궤도력을 적절히 사용하면 날짜 변경에 관계없이 안정적으로 자료처리가 가능하다.

3.2. 자료처리 전략

측지분야에서 일반적으로 사용하는 GPS RINEX 파일은 하루단위로 생성된다. 하지만 Sliding Window 방법을 사용하기 위해서는 각 파일의 시작 시점이 1시간 단위로 변경되므로 처리할 때마다 새로운 RINEX 파일을 만들어 주어야 한다. 일반적으로 외부 원자시계를 사용하지 않고 수신기 자체 시계를 사용할 경우 시간 드리프트가 발생하므로 아스키모드에서 RINEX 파일을 편집할 경우 시간 드리프트가 왜곡될 수 있다. 따라서 RINEX 파일 생성 이전 GPS 자료파일을 편집하여 RINEX로 변환하여야 한다. 이 논문에서는 Trimble 수신기의 DAT파일을 이진복사(binary copy)하고 이를 TEQC(Estey & Meertens 1999)를 사용하여 RINEX 형식으로 변환하였다.

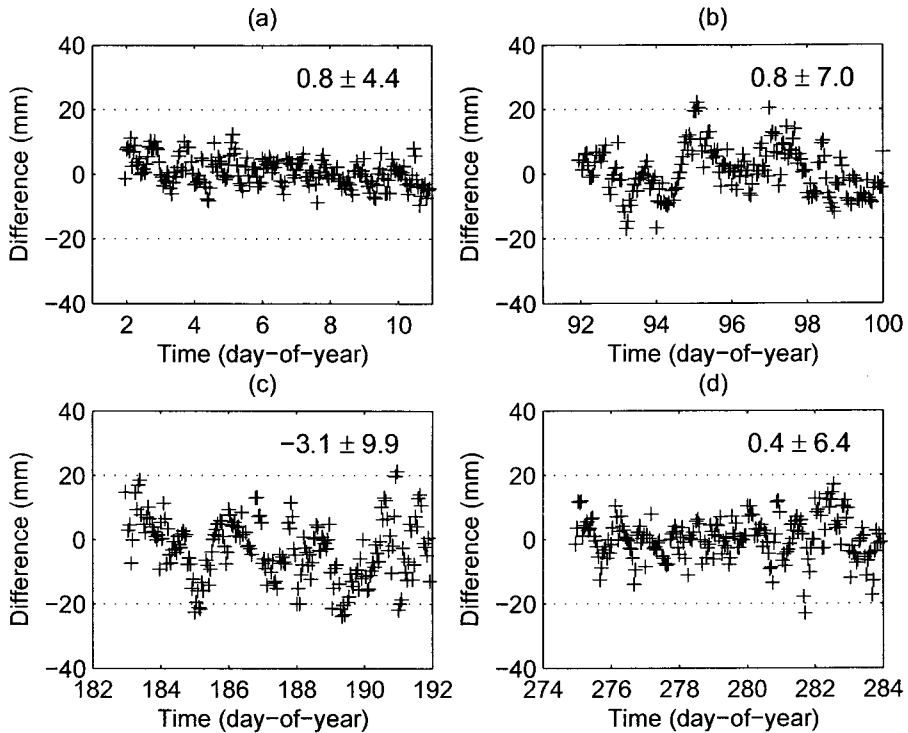


그림 3. 속초 GPS ZTD의 계절별 비교. (a) 1월, (b) 4월, (c) 7월, (d) 10월. 가로축은 시간, 세로축은 후처리 결과와 준 실시간처리 결과 간의 차이를 나타냄.

자료처리는 스위스 베른대학에서 개발한 Bernese 5.0(Dach et al. 2007)을 사용하여 수행하였다. 주요 처리전략은 일반적인 표준모델을 이용하였고, GPS 위성 궤도력은 IGS 초신속궤도력, 대기 상함수는 $1/\cos(z)$ (z 는 경사각, COSZ) 함수를 사용하였다. 그림 2는 자료처리에 사용된 관측소이다.

4. 결과

준 실시간 자료처리 전략을 실험하기 위하여 총 8개의 GPS 상시관측소를 처리하였다(그림 2). 기준계를 정의하기 위하여 한반도와 주변 IGS 관측소인 대전, 수원, 베이징, 우한, 쑤저우, 우수다를 선정하였고, 실제 PWV를 계산하여 비교하기 위해 속초와 목포 관측소를 선정하였다. 속초와 목포 관측소는 기상대내에 위치하고 있어 PWV 계산에 필요한 기압과 온도자료를 공간적 이격 없이 확보할 수 있다.

자료기간은 사계절 모두 고려하기위해 2006년 1월, 4월, 7월, 10월의 1~10일 자료를 사용하였고, 모든 ZTD와 PWV 계산은 1시간 단위로 산출하였다. 그림 3과 4는 속초와 목포 관측소의 후처리 ZTD와 준 실시간 ZTD 결과를 계절별로 비교한 그림이다. 각 그림의 우측상단에 평균 바이어스와 표준편차가 표시되어 있는데 바이어스의 절대값이 0.6~3.1mm 수준으로 전체 ZTD가 약 2300mm임

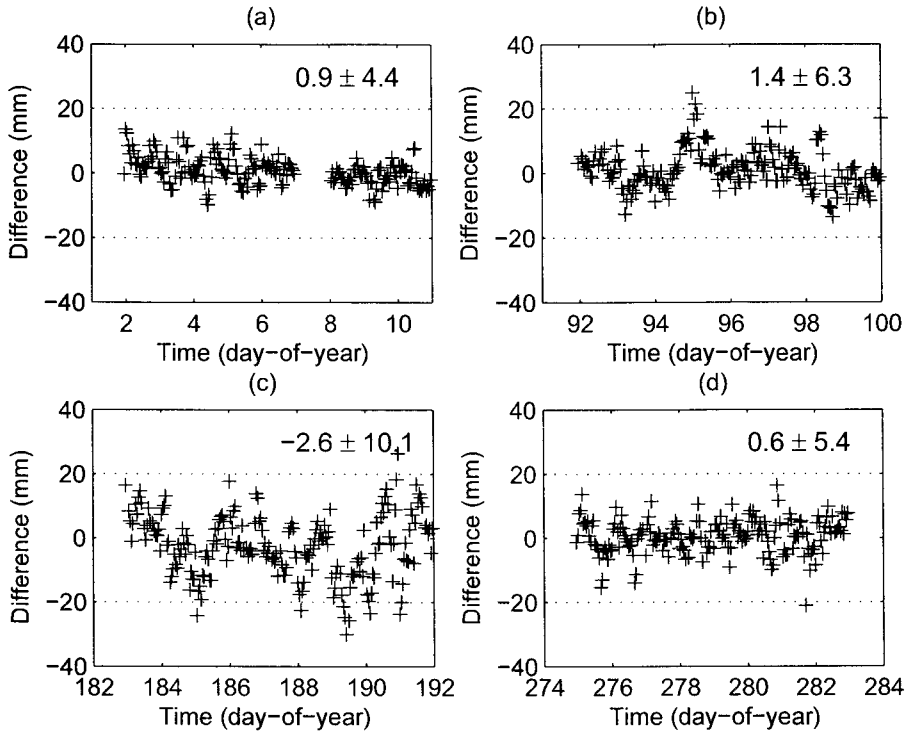


그림 4. 목포 GPS ZTD의 계절별 비교. (a) 1월, (b) 4월, (c) 7월, (d) 10월. 가로축은 시간, 세로축은 후처리 결과와 준 실시간처리 결과 간의 차이를 나타냄.

표 2. 후처리와 준 실시간 처리결과의 계절별 ZTD 및 PWV 차이 표준편차 비교.

	속초관측소		목포관측소	
	ZTD(mm)	PWV(mm)	ZTD(mm)	PWV(mm)
1월	4.4	0.6	4.4	0.7
4월	7.0	1.1	6.3	1.0
7월	9.9	1.5	10.1	1.6
10월	6.4	1.0	5.4	0.9
전체	7.2	1.1	7.0	1.1

을 감안할 때 매우 작은 수준이다. 반면 표준편차는 약 4~10mm 수준으로 바이어스와 비교하면 약 1.1~17배 크다. 따라서 후처리방법과 준 실시간 방법을 이용한 결과는 표준편차에 비해 상대적으로 오프셋(offset)은 거의 차이가 없음을 확인할 수 있다.

그림 3은 속초관측소의 계절별 ZTD(Zenith Total Delay) 지연량 차이이다. 겨울철 결과인 그림 3a가 가장 편차가 작고 여름철 결과인 그림 3c가 가장 편차가 큰 결과를 보여준다. 각 계절별 결과의 표준편차는 1월 4.4mm, 4월 7.0mm, 7월 9.9mm, 10월 6.4mm로 4~10mm 이내 결과를 보여주었다.

그림 4는 목포관측소의 결과이다. 속초관측소의 결과와 유사하며 1월 4.4mm, 4월 6.3mm, 7월

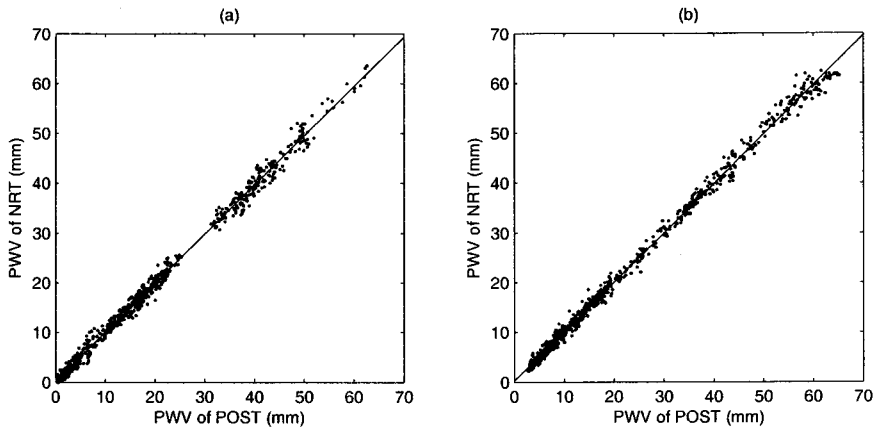


그림 5. 후처리방법(POST)과 준 실시간(NRT) PWV 비교. (a) 속초관측소, (b) 목포관측소. 가로축은 후처리방법, 세로축은 준 실시간 처리방법 결과.

10.1mm, 10월 5.4mm로 속초관측소 결과와 마찬가지로 4~10mm 결과를 보여준다. 이처럼 여름철 결과가 겨울보다 좋지 않은 이유는 여름철에는 대기 중에 수분 함량이 높는데 준 실시간 전략에서 사용한 IGS 초신속계도력의 오차가 자료처리시 사용되는 대기모델의 불완전성과 맞물려 차이가 커진 것으로 추측된다. 사계절 모두를 취합했을 경우 두 관측소의 표준편차는 속초 7.2mm, 목포 7.0mm이다. 표 2는 위 결과를 정리한 것이다.

그림 5는 속초와 목포지역의 기존 GPS 후처리와 준실시간 처리전략을 적용한 GPS PWV를 비교한 결과이다. 실제 표면기압과 표면온도를 사용하여 계산한 PWV값의 표준편차는 속초 1.1mm, 목포 1.1mm로 후처리 결과와 잘 일치한다. 두 결과의 상관계수는 각각 속초 0.995, 목포 0.996으로 매우 높은 상관성을 갖는다.

다음은 기상학자들이 PWV 참값으로 간주하는 라디오존데결과와 비교하였다. 현재 국내 라디오존데는 기상청 4개소(백령도, 속초, 포항, 고산), 공군기상대 2개소(오산, 광주)가 하루 2회에서 4회 운영되고 있다. 이 라디오존데 관측소에 GPS 상시관측소가 위치한 곳은 속초기상대가 유일하며 10m 이내에 서로 위치한다. 따라서 이 연구에서는 준 실시간 처리전략을 통해 얻은 결과를 속초 라디오존데 PWV자료와 비교하여 결과 검증을 수행하였다. 라디오존데 PWV 결과는 미국 와이오밍대학에서 공개하고 있는 자료(<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)를 사용하였다.

그림 6은 속초지역 GPS 사계절결과를 라디오존데와 비교한 그림이다. ‘+’는 후처리결과, ‘●’은 Sliding Window를 이용한 준 실시간 처리결과이다. 그림 5와 비교하여 결과 값의 개수가 상대적으로 매우 적은 것을 볼 수 있는데 그 이유는 현재 속초 기상대에서 GPS PWV는 1시간 마다 생성되지만, 라디오존데는 장마철에는 하루 4회, 그 외에는 하루 2회 관측을 실시함으로써 GPS와 동시에 관측되는 시점은 하루 2회에서 4회에 불과하기 때문이다.

두 결과의 상관계수는 후처리방법이 0.979, 준 실시간 처리방법이 0.980으로 준 실시간 방법이 오히려 더 라디오존데와 유사한 경향을 보였다. 표 4와 5는 후처리결과와 준 실시간 처리결과를 각각 계절별로 비교한 결과이다. 전체적으로 준 실시간 처리결과가 일별 후처리결과보다 좋은 것으로 나

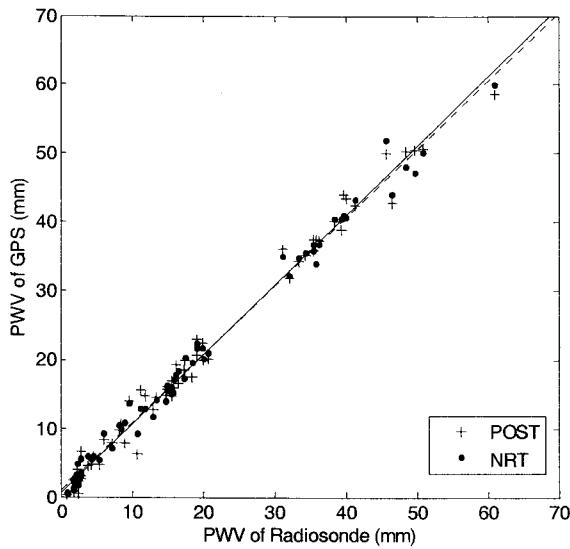


그림 6. 속초지역 라디오존데와 GPS PWV 비교. 가로축은 라디오존데, 세로축은 GPS PWV. ‘+’는 일별 후처리결과, ‘•’은 준 실시간 처리결과이고, 실선과 점선은 각각 후처리결과와 준 실시간 처리결과의 선형회귀선.

표 3. 속초관측소 GPS 자료처리 결과와 라디오존데 결과 비교.

	후처리 결과		준 실시간처리 결과	
	바이어스(mm)	표준편차(mm)	바이어스(mm)	표준편차(mm)
1월	0.1	0.9	0.4	1.0
4월	0.8	2.3	0.8	1.8
7월	1.2	2.4	0.7	2.0
10월	1.3	1.9	1.2	1.1
전체	0.9	1.9	0.8	1.7

타났다. 준 실시간 처리에서 사용한 IGS 초신속궤도력의 정확도가 10cm로 최종궤도력과 큰 차이가 없다. 그리고 후처리방법의 경우 하루 단위로 처리하므로 날짜가 변경될 때 불연속점이 발생하는 반면, Sliding Window를 이용하면 그 차이가 상대적으로 작아서 후처리 결과보다 라디오존데와 더 유사한 결과를 보인 것으로 추측된다. 두 결과의 계절별 및 전체 바이어스와 표준편차에 대한 비교 요약은 표 3에 기술되어 있다.

Baelen et al.(2005)는 GPS PWV를 라디오존데와 비교하였을 때 0.9mm의 습윤 바이어스 결과를 얻었다. 이 연구에서 준 실시간 처리결과는 0.8mm의 습윤 바이어스가 나타났으며 두 결과 차이의 표준편차는 1.7mm로 나타났다. 계절별 결과는 0.4~1.2mm 습윤 바이어스, 1.0~2.0mm의 표준편차를 보여주었다. 결과의 정확도는 앞서 후처리결과와 비교한 것과 마찬가지로 겨울철이 가장 좋고, 여름철이 다소 좋지 못한 결과를 보여주었으나 모두 3mm 이내의 결과로서 실제 수치예보모델에 충분히 자료동화가 가능함을 보여주었다. 그리고 준 실시간 응용에 가장 중요한 요소 중 하나인 자료 처리 시간은 평균 3분 43초로서 1시간 이내 결과를 산출해야하는 조건을 충분히 만족하였다.

5. 결론

이 논문에서는 GPS를 활용하여 수치예보모델 자료동화를 위해 필수적인 준 실시간 자료처리전략을 수립하고 그 결과를 기존 처리결과 및 실측값인 라디오존데 결과와 비교하였다. 준 실시간 처리를 위해 Sliding Window 방법을 사용하였으며 GPS 자료가 존재할 경우 한 시간마다 새로운 결과가 산출되도록 하였다. 준 실시간 PWV 결과를 검증하기 위하여 2006년의 각 계절을 대표하는 1월, 4월, 7월, 10월의 1~10일의 속초와 목포 상시관측소를 처리하였으며 기준계를 정의하기 위해 IGS 관측소인 대전, 수원, 베이징, 우한, 쑤꾸바, 우수다 관측소를 함께 처리하였다. 기존의 후처리결과와 비교하였을 때 ZTD는 약 7.2mm, PWV는 약 1.1mm 가량 차이를 보였으며 계절별로는 ZTD의 경우 여름철이 약 10.1mm로 가장 차이가 크고 겨울철이 약 4.4mm로 가장 좋은 결과를 보였다. 실측값인 라디오존데 결과와 비교했을 때는 습윤 바이어스 0.8mm, 차이의 표준편차는 1.7mm로 자료동화에 충분한 결과를 보여주었고, 자료처리시간은 평균 3분 43초로서 1시간 이내 대기시간 조건 충족에 문제없음을 보여주었다. 현재 한국천문연구원은 지상 GPS 관측소 기반 준 실시간 PWV 생성시스템 개발을 추진 중이다. 이 논문의 결과와 자료처리전략은 현재 개발 중인 시스템의 기본 전략으로 사용될 계획이다. 또한 향후 국내 관련연구가 수행될 때 좋은 비교자료가 될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글: 이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-3104)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 문용진 1998, 석사학위논문, 연세대학교
 송동섭, 윤홍식 2004, 한국측량학회지, 22, 323
 우성호 2003, 석사학위논문, 서울대학교
 하지현, 박관동, 허복행 2006, 한국우주과학회지, 23, 373
 Baelen, J. V., Aubagnac, J. P., & Dabas A. 2005, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 22, 201
 Bevis, M., Businger, S., Herring, T. A., Rocken, C., Anthes, R. A., & Ware, R. H. 1992, JGR, 97, 11787
 Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., & Meindl, M. 2007, Bernese GPS Software Version 5.0 (Bern: Printing Office of the University of Bern), pp.1-612
 Elgered, G., Davis, J. L., Herring, T. A., & Shapiro, I. I. 1991, JGR, 96, 6541
 Estey, L. H. & Meertens, C. M. 1999, GPS Solutions, 3, 42
 Feng, P. & Bock, Y. 1998, Annales Geophysicae, 16, c379
 Foster, J., Bevis, M., & Businger, S. 2005, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 22, 687
 Guerova, S., Bettems, J.-M., Brockmann, E., & Matzler, C. 2005, Meteorology and Atmospheric Physics, 91, 149
 Gutman, S. I. & Benjamin, S. G. 2001, GPS Solutions, 4, 16