

GPS/MET 기술을 이용한 한반도 수증기 변화량 모니터링(태풍 매미의 경우) Korea peninsula water vapor monitoring using GPS/MET technique (In case of the typhoon MAEMI)

송동섭¹⁾ · 윤홍식²⁾

Song, Dong Seob · Yun, Hong Sic

¹⁾ 정회원 · 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail:dssong@geo.skku.ac.kr)

²⁾ 정회원 · 성균관대학교 토목환경공학과 교수(E-mail:yhs@geo.skku.ac.kr)

Abstract

GPS/Meteorology technique for PWV monitoring is currently actively being researched an advanced nation. We deal with the monitoring of GPS derived PWV during the passage of Typhoon MAEMI. Typhoon MAEMI which caused a series damage was passed over in Korea peninsula from September 12 to September 13, 2003. We obtained GPS-PWV at 17th GPS permanent stations. We retrieve GPS data hourly and use Gipsy-Oasis II software. The GPS-PWV time series results demonstrate that PWV is, in general, high before and during the occurrence of the typhoon, and low after the typhoon.

1. 서 론

수증기는 지구 대기의 가장 중요한 구성 요소중 하나이다. 수증기는 강수량의 근원인 동시에 수증기의 잠열은 대부분의 기상 변화에 있어서 긴요한 성분이다. 온실가스처럼 수증기는 지구의 기상 시스템에 있어서 중요한 역할을 한다. 그렇지만, 수증기의 관측 환경은 매우 낙후되어 있으며, 과거의 지구 대기의 요소의 분석 또한 어렵다. 최근에 들어서 GPS/MET(GPS Meteorology) 기술의 발달로 인하여 GPS 상시관측소 데이터와 정밀 해석 프로그램을 사용을 통해 기본 이론에 입각한 높은 정확도로 결정된 PWV(Precipitable Water Vapor)와 같은 대기 파라미터들의 획득이 가능해졌다. 라디오 존데와 같은 전통적인 수증기 관측시스템과 비교하여 볼 때 GPS 수증기 획득 기술은 저비용, 높은 측정 정확도등의 향상으로 장기간의 관측과 모든 기상 상황에서 더욱 유용한 발전을 거듭하고 있다(Feng et al., 2001).

본 연구에서는 작년 9월 12일부터 9월 13일간 한반도를 강타하여 인명피해 130명(사망 117명, 실종 13명), 재산피해 4조 7,810억원을 입혔던(행정자치부, 2003) 태풍 매미의 경우를 연구 대상으로 결정하였다. 2003년 9월 7일부터 9월 14일까지 총 8일간 국내 GPS 상시관측소 17개소의 GPS 데이터를 이용하여 GPS/MET 기술의 적용을 통해 GPS-PWV를 산출하여, 태풍 매미의 진행에 따라 한반도의 GPS-PWV의 모니터링을 통한 특징을 고찰하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. GPS 데이터 처리 및 GPS-PWV 산출

본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 2003년 9월 7일부터 9월 14일 동안 국토지리정보원에서 운용중인 강릉, 광주, 상주, 서산, 수원, 울진, 원주, 전주, 진주, 청주, 태백의 GPS 상시관측소 11개소와 한국천문연구원 대전, 목포, 서울, 소백산, 속초, 제주의 GPS 상시관측소 6개소 등 총 17개소의 GPS 망을 구성하여 GPS-PWV 결정에 이용하였다. 그림 1은 본 연구에서 이용한 GPS 상시관측소의 위치를 표시한 것이며, 표 1은 각 상시관측소의 ITRF2000 정밀 좌표 성과이다.

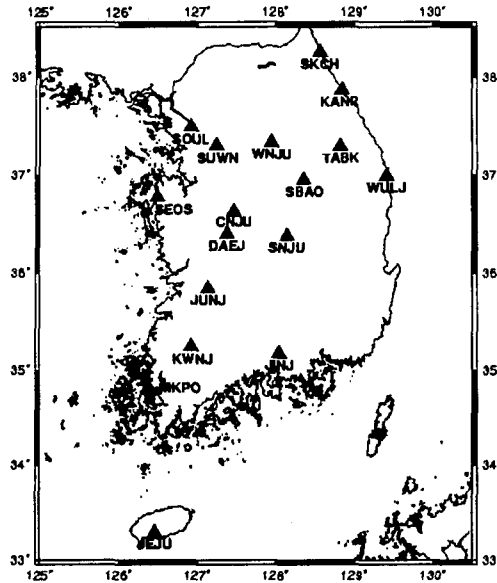


그림 1. GPS 상시관측소의 위치

표 1. GPS 상시관측소의 정밀 좌표 성과(ITRF2000)

SITE	Latitude(°)	Longitude(°)	Height(m)	SITE	Latitude(°)	Longitude(°)	Height(m)
SUWN(수원)	37.2755147	127.0542399	83.816	WULJ(울진)	36.9919764	129.4129951	80.742
WNJU(원주)	37.3372070	127.9470882	180.215	JINJ(진주)	35.1730871	128.0496741	122.013
SEOS(서산)	36.7764091	126.4942024	52.268	DAEJ(대전)	36.3994295	127.3744777	116.840
SNJU(상주)	36.3791644	128.1444770	111.587	MKPO(목포)	34.8168516	126.3814076	64.376
JUNJ(전주)	35.8434522	127.1351247	77.158	SKCH(속초)	38.2509637	128.5647495	46.055
CNJU(청주)	36.6268946	127.4612268	93.503	JEJU(제주)	33.2883443	126.4621747	430.224
KANR(강릉)	37.0770928	128.8682278	57.053	SKMA(서울)	37.4935285	126.9179983	61.697
TABK(태백)	37.1608688	128.9756026	763.237	SBAO(소백산)	36.9842325	128.4569291	1369.346
KWNJ(광주)	35.1783754	126.9102366	71.616				

GPS 위성으로부터 수신기에 이르는 GPS 신호는 지구의 대기의 영향으로 인해 전송 시간에 있어서 지연을 일으킨다. 이온층의 대전된 입자들에 의한 지연은 2주파 수신기의 사용으로 소거할 수 있다. 30GHz 이하의 단일 주파수가 중성 대기를 통과하는 전파 속도는 온도, 압력, 수증기와 관련된 굴절 계수에 의존한다. 중성 대기에서의 GPS 신호의 지연과 굴절로 인해 발생하는 오차를 대류권의 신호 지연이라고 부른다. 이 지연량은 천정방향으로 약 2.0~2.5m 정도이며, $1/(\sin \text{고도각})$ 에 의해 지연량이 늘어나게 되어 약 5° 일 경우에는 20~28m 정도가 된다(Brunner et al., 1993). 경사 방향의 지연량은 맵핑 함수로 표현할 수 있으며, 모든 지연량은 천정 방향으로 산출할 수 있다. 총 천정 대류권 지연량인 TZD(Total Zenith Delay)는 GPS 데이터 처리에서 구할 수 있으며, 각 측정점에 대해 천정 지연량의 시계열 분석 결과를 얻을 수 있다(Rocken et al., 1993). 그림 2는 GOA II를 이용하여 처리한 연구 기간 동안의 대류권내에서의 GPS 위성 신호의 천정방향의 총 지연량을 나타낸다.

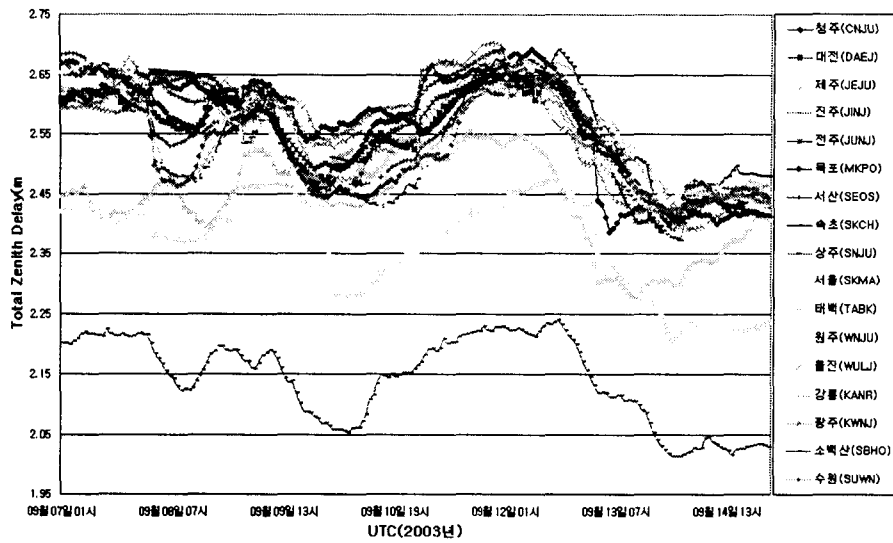


그림 2. 천정 방향의 대류권 총 지연량(TZD)

천정 지연량은 두 부분으로 구분할 수 있는데 건조 공기에 의한 정적 평형 상태의 천정 지연량(Zenth Hydrostatic Delay; ZHD)와 수증기 요소에 의한 습윤 지연량(Zenith Wet Delay; ZWD)이 그것이다(송동섭 등, 2002). 건조 지연량은 관측 표면의 온도와 기압을 이용하여 경험적인 모델에 의해서 계산이 가능하다. 잘 알려진 경험적인 모델은 Saastamoinen 모델, Hopfield 모델, Black 모델 등이 있다(송동섭, 2001).

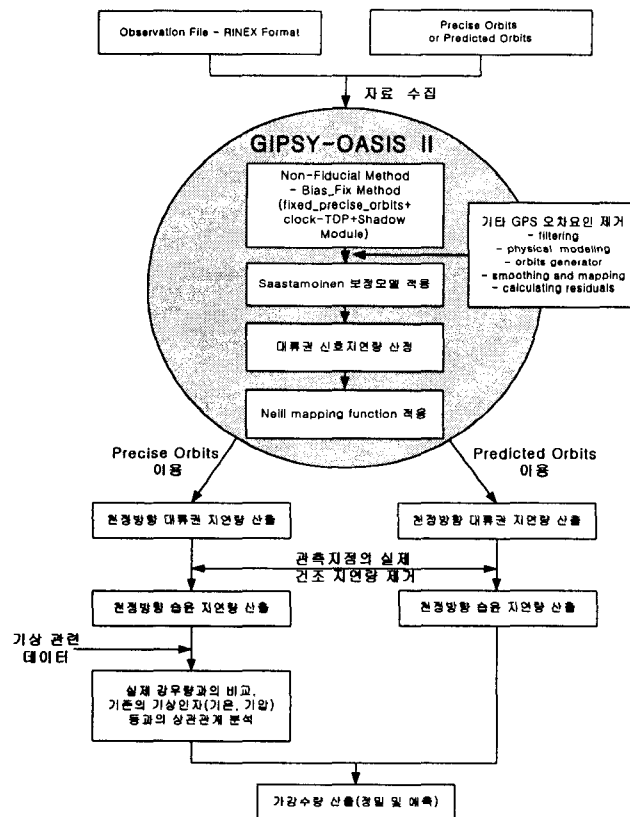


그림 3. GPS-PWV 결정을 위한 처리 순서도

GPS 데이터는 NASA의 제트추진연구소에서 개발한 정밀 GPS 해석 프로그램인 GIPSY-OASIS

II(GOA II)를 이용하여 처리하였다. 처리 epoch는 기상청의 지상 기상 관측소 시스템인 Automated Weather Station(AWS)에서 1시간 간격으로 기상 데이터를 제공하고 있음에 따라, 처리 간격을 3600초를 기준으로 하였으며, 모델에 의한 천정 방향의 건조 지연량과 습윤 지연량도 1시간 간격으로 결정하였다. 본 연구에서 사용된 경험적인 모델은 Saastamoinen 모델이며, GPS 데이터 처리와 GPS-PWV 산출에 대한 처리 순서도는 그림 3과 같으며, 보다 세밀한 처리 알고리즘은 지면상 참고문헌으로 대체한다(송동섭 등 2003).

기상 관측소에서 관측한 GPS 상시관측소 지역의 기압 데이터와 정밀 해석을 통한 GPS상시 관측소의 위도와 타원체고를 이용하여 건조 지연량을 산출하였다. 이 건조 지연량을 총 지연량(TZD)에서 빼주게 되면 실제 습윤 지연량(ZWD)을 얻게 된다. 실제 강수량과의 비교를 위해 여기서 구한 습윤 지연량을 GPS-PWV로 환산하게 된다(Tregoning, 1998).

$$PWV = I \times ZWD \quad (1)$$

여기서, 습윤지연량을 GPS PWV로 환산하기 위한 I 는 참고문헌으로 대체한다(Tregoning, 1998).

3. 태풍 매미의 발생과 경로

제14호 태풍 "매미"는 9월 6일 15시경 괌섬 북서쪽 약 400km 부근 해상(16.0N, 141.5E)에서 발생하여 느리게 북서진 후, 9일 09시경에 태풍(TY)로 발달한 후 11일 09시경에 중심기압이 910hPa로 가장 낮았다. 이 태풍은 11일 09시부터 전향하기 시작하여 12일 06시경부터 북북동진 하면서 빠른 속도로 진행하였고, 12일 18시경 제주도 성산포 동쪽 부근해상을 거쳐 12일 20시경에 경상남도 사천시 부근 해안으로 상륙하였다. 우리나라 육상에 상륙한 태풍은 북북동진하여 경남 함안을 거쳐 13일 02시 30분경에 울진 부근 해안을 통해 동해상으로 진출하였다. 그림 4는 태풍 매미의 이동 경로를 표시한 것이다.

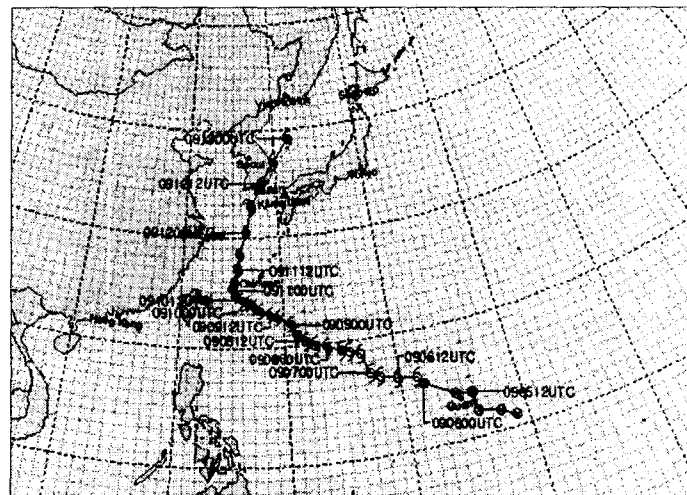


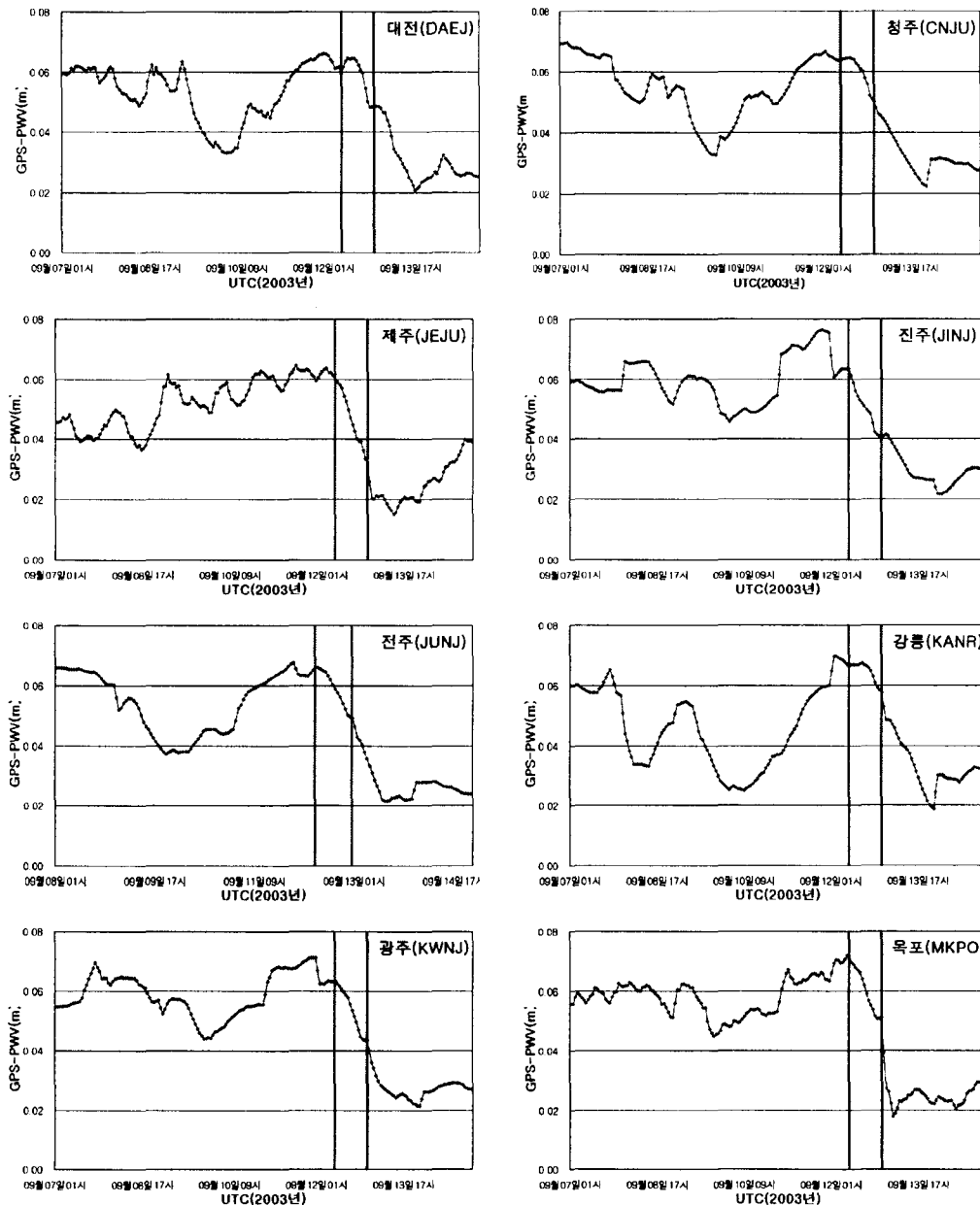
그림 4. 태풍 매미의 이동 경로

태풍 매미가 북상할 때 우리나라 북쪽으로는 대륙고기압이, 동쪽에는 북태평양 고기압이 위치하여 태풍이 발생한 후 속도가 느리게 진행하였고, 우리나라 남해상 부근의 해수면 온도가 28℃ 정도로 높아 태풍의 세력을 계속 유지하면서 북상하여 북위 30도 부근에서도 태풍의 중심기압이 940hPa이었으며, 육상으로 상륙해서도 중심기압이 950hPa로 태풍의 위력이 강하였다. 태풍 매미로 인하여 우리나라 기상 관측 이래 최대순간풍속 극값을 경신한 주된 원인은 우리나라를 통과한 태풍 중 중심기압이 가장 낮았으며, 우리나라를 중심으로 북쪽에는 찬 성질을 가진 대륙 고기압이 위치하고, 남쪽에는 발달한 열대저기압인 태풍이 위치하여 고기압과 태풍간의 대기압력 공간격차에 의하여 나타나는 힘인 기압경도력이 강

하였기 때문이다. 이 태풍이 경남 사천시 부근 해안에 상륙할 때의 중심기압은 950hPa로 분석되며, 중심 부근 최대풍속 40m/s 이었고, 풍속 15 m/s 이상의 태풍중심반경이 약 330km 이내로, 태풍의 강도는 [강], 크기는 [중형]이었다. 한편, 최대 풍속값은 제주도 고산 51.1㎧(중전 43.7㎧), 제주 39.5㎧(중전 36.1 ㎧), 여수 35.9㎧(중전 35.5㎧)로 극값을 경신하였다(기상청, 2003).

4. 태풍 매미의 진행에 따른 수증기량 모니터링

GPS rinex 데이터를 1시간 간격으로 처리하여 얻은 총 지연량으로부터 기상청에서 제공 받은 기상 데이터(기온, 기압)를 경험적 모델에 적용하여 건조 지연량을 결정하여 앞서 구한 총 지연량에서 건조 지연량을 뺀 후 얻게 되는 습윤 지연량으로부터 실제 GPS-PWV를 획득하였다. 그림 5는 GPS 상시관측소 17개소에서 획득한 GPS-PWV의 시계열 분석(Time Series)을 나타낸 것이다. 붉은 색으로 표시된 부분은 한반도에 태풍 매미가 영향을 미쳤던 9월 12일 09시부터 9월 13일 00시(UTC)의 구간을 나타낸 것이다.



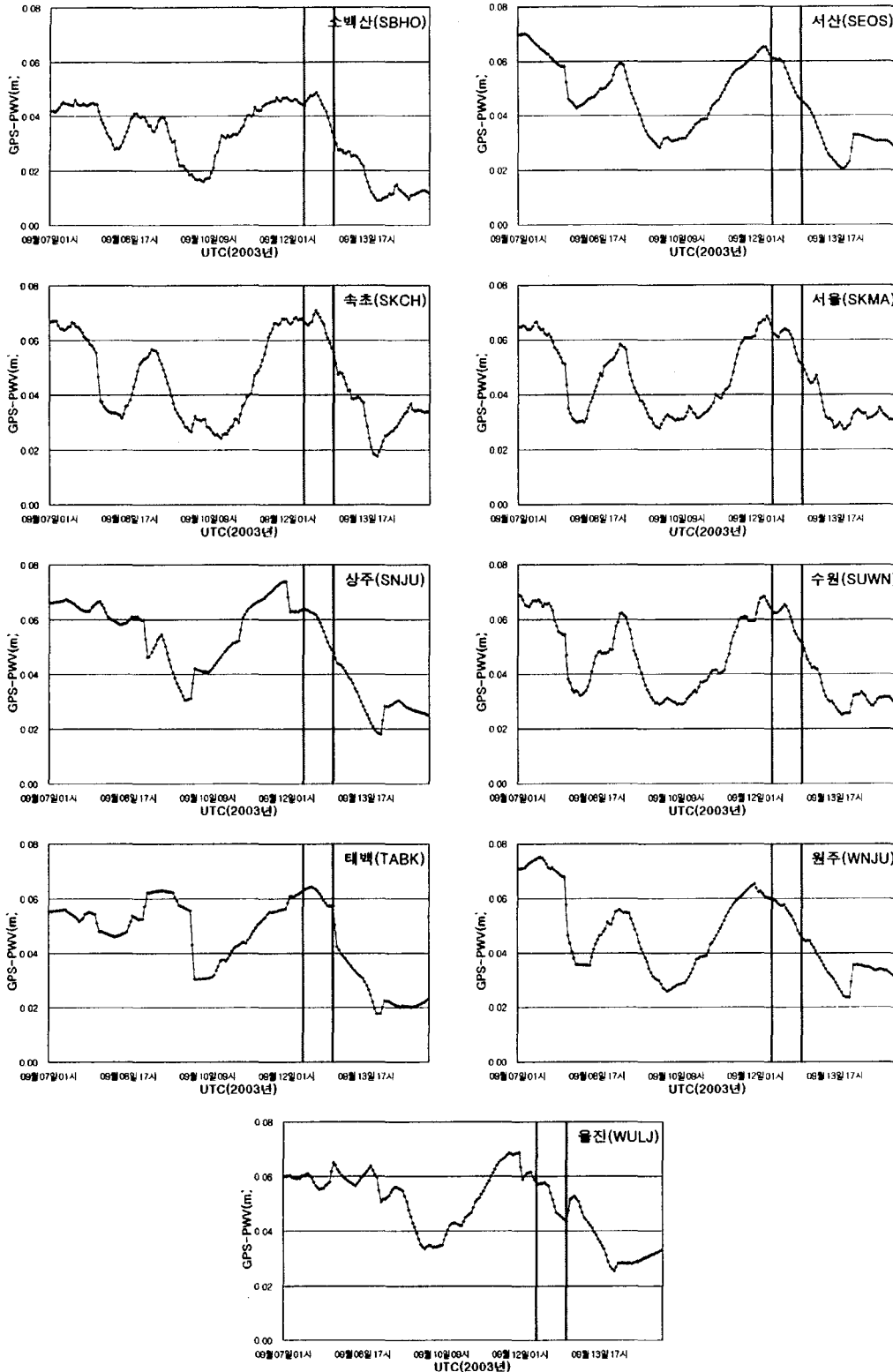


그림 5. 연구기간동안의 상시관측소별 GPS-PWV 모니터링

5. 결 론

본 연구에서는 국내 GPS 상시관측소 17개소의 GPS 관측 데이터를 GPS/MET 기술을 이용하여 태풍 매미의 발생 전과 진행 및 발생 후 동안 한반도 상공의 천정 방향에 대한 GPS-PWV의 변화를 모니터

링 하였다. 전반적으로 태풍의 영향이 미치기 약 12시간 전부터 GPS-PWV가 상승하는 경향을 보였다. 특히, 태풍 매미가 크게 영향을 미쳤던 사천지역과 인접한 진주 상시관측소의 GPS-PWV는 9월 11일 21시(UTC)에 0.076m의 최대값을 나타내었으며, 태풍이 한반도를 빠져나가는 울진 지역의 경우에는 9월 11일 24시경(UTC)에 0.069mm의 최대값을 보이다가 태풍이 완전히 벗어나는 9월 12일 17시경 0.051mm의 값으로 급격히 그 값이 줄어드는 결과를 나타내었다. 전국에 설치되어 있는 GPS 상시관측소의 데이터의 정밀 해석을 통해 거의 GPS-PWV를 관찰한다면 태풍이나 호우 및 폭설 등의 이상 기후 현상에 대한 수증기 변화의 직접 모니터링이 가능하다고 판단된다.

추후 한국의 유일한 고층 기상 관측 기구인 radiosonde와 실제 강수량과의 비교를 통한 GPS-PWV와 의 상관 관계 및 정확도 분석이 필요할 것으로 보이며, GPS-PWV와 MM5와 같은 기상 예측 모델과의 regression equation의 도출, GPS-PWV contour map 작성을 통한 데이터 제공등의 연구에 본 GPS/MET 기술이 탁월한 능력을 제공할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 기상청 (2003), 제 14호 태풍 매미 종합 상황 보도 자료, 기상홍보과.
- 송동섭, GPS를 이용한 대류권의 수증기량 추정에 관한 연구, 석사학위논문, 성균관대학교, pp. 22-27.
- 송동섭, 윤홍식, 조재명 (2002), GPS를 이용한 대류권 수증기량 추정에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제20권, 제2호, pp. 111-118.
- 송동섭, 윤홍식, 서애숙 (2003), 태풍 RUSA의 진행에 따른 GPS PWV 변화량 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제21권, 제1호, pp. 9-17.
- 행정자치부 (2003), 9월 29일 재해·재난 일일상황보고서, 중앙재해대책상황실.
- Brunner, F. K. and W. M. Welsch (1993), Effect of the troposphere on GPS measurements. *GPS World*, 4(1), pp. 42-51.
- Feng, Y., Z. Bai, P. Fang, A. Williams (2001), GPS Water Vapour Experimental Results From Observations of the Australian Regional GPS Network (ARGN), A Spatial Odyssey : 42nd Australian Surveyors Congress.
- Rocken, C., R. Ware, T. Van Hove, F. Solheim, C. Alber, and J. Johnson (1993), Sensing atmospheric water vapor with the Global Positioning System, *Geophysical Research Letters*, 20, pp. 2631-2634.
- Tregoning, P., Boers, D. O'Brien, and M. Hen (1998), Accuracy of absolute precipitable water vapor estimates from GPS observations, *Journal of Geophysical Research*, 103, 28, 701-710.