

태풍 RUSA의 진행에 따른 GPS PWV 변화량 연구 GPS PWV Variation Research During the Progress of a Typhoon RUSA

송동섭¹⁾ · 윤홍식²⁾ · 서애숙³⁾

Song, Dong Seob · Yun, Hong Sic · Suh, Ae Sook

Abstract

Typhoon RUSA, which caused serious damage was passed over in Korea peninsula during 30 August to 1 September, 2002. We estimated tropospheric wet delay using GPS data and meteorological data during this period. Integrated Water Vapor(IWV) gives the total amount of water vapor from tropospheric wet delay and Precipitable Water Vapor(PWV) is calculated the IWV scaled by the density of water. We obtained GPS PWV at 13th GPS permanent stations(Seoul, Wonju, Seosan, Sangju, Junju, Cheongju, Taegu, Wuljin, Jinju, Daejeon, Mokpo, Sokcho, Jeju). We retrieve GPS data hourly and use Gipsy-Oasis II software and we compare PWV and precipitation. GPS observed PWV time series demonstrate that PWV is, in general, high before and during the occurrence of the typhoon RUSA, and low after the typhoon RUSA. GPS PWV peak time at each station is related to the progress of a typhoon RUSA. We got very near result as we compare GMS Satellite image with tomograph using GPS PWV and we could present practical use possibility by numerical model for weather forecast.

요 지

한반도에 막대한 피해를 입힌 태풍 RUSA는 2002년 8월 30일에서 9월 1일간 한반도를 지나갔다. 이 태풍 RUSA가 진행하는 동안 GPS 수신 자료와 기상 자료를 이용하여 대류권에서의 습윤 지연량을 산출하고, 이 습윤 지연량을 천정방향의 수증기량(IWV)으로 환산하여 이 수증기량으로부터 PWV(Precipitable Water Vapor)를 산출하였다. 본 연구에서는 서울, 원주, 서산, 상주, 전주, 청주, 대구, 울진, 진주, 대전, 목포, 속초, 제주의 13개 GPS 상시관측소 데이터를 이용하여 PWV를 산출하였다. 산출한 PWV의 시계열 분석을 통해 실제 강수량과 비교한 결과 태풍 RUSA가 진행하는 동안 PWV가 정점을 보이는 부근에서 실제 강수량이 발생하였다. 또한, 태풍 RUSA의 이동 경로와 PWV가 최고조를 이루는 시간을 분석한 결과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. GPS 자료로부터 산정된 PWV를 이용하여 tomograph를 작성하고 GMS 위성 영상과 비교한 결과 매우 근접한 결과를 얻을 수 있었으므로 기상 예보를 위한 수치예보모델의 활용 가능성을 제시할 수 있었다.

핵심용어(Keywords) : GPS PWV, Tomograph, RUSA

1. 서 론

대류권내의 수증기는 대기중의 에너지 흐름에 핵심적인 인자이므로 기후변화 및 일기예보에 있어서 매우 중요한 요소이다. 또한, 수증기는 전 지구적 기후 시스템에 결정적 영향을 미치는 온실기체인 동시에 구름과 에어로졸의 형성 그리고 대기 하층부의 화학조성에도 관계하고 있다 (Bevis, M., S. Businger, T. A. Herring, C. Rocken, R. A. Anthes, and R. H. Ware; 1992).

이러한 수증기 요소를 탐측하기 위해 우주 측지기술중 하나인 Global Positioning System(GPS)을 통해 GPS 위성으로부터 송신된 신호를 이용하여 대류권 지연량으로부터 가강수량을 도출하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 미국의 NOAA/FSL에서는 약 50개소의 상시관측소를 운영중이며 현재 전 미국의 Precipitable Water Vapor(PWV) 분포도를 작성하고 있고, 기상예보를 위한 수치모델로 이용중이다(<http://www-dd.fsi.noaa.gov/gps.html>). 또한, Texas Austin University의 SRC(우주 연구소)와 UCAR의 GST(GPS

1) 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail:dssong@geo.skku.ac.kr)
2) 성균관대학교 건축·조경·토목환경공학부 조교수(E-mail:yhs@geo.skku.ac.kr)
3) 수원기상청 기상대장(E-mail:assuh@metri.re.kr)

Science and Technology) 프로그램 역시 GPS를 이용한 기상 예측에 노력을 기울이고 있다(http://www.csr.utexas.edu/texas_pwv/midterm/gabor/gabor.html).

일본의 경우에도 1997년부터 GEONET이라는 GPS Meteorology 5개년 연구 프로젝트를 계획하여 2003년에 연구 결과를 발표하기 위한 워크숍을 개최하였다(<http://www.mri-jma.go.jp/>). 본 연구에서는 올해 8월 31일부터 9월 1일 까지 한반도를 강타해 인명피해 184명(사망 122명, 실종 62명), 재산피해 5조516억원의 피해를 입혔던(<http://www.kma.go.kr>) 태풍 RUSA의 진행 기간동안 국내 13개소의 GPS 상시관측소 데이터를 처리하여 얻은 가강수량의 변화를 통해 실제 강수량과 비교하고, 앞서 획득한 PWV를 이용하여 한반도(남한지역) 지역의 PWV Tomograph를 작성하고 GMS기상관측 위성에서 획득한 태풍 RUSA의 진행 과정에 따른 PWV Tomograph의 변화를 비교하여 기상예보를 위한 활용가능성을 고찰하는데 목적이 있다.

2. GPS 관측망 구성

본 연구에서는 2002년 8월 23일부터 9월 3일까지 국립 지리원에서 운용중인 서울, 원주, 서산, 상주, 전주, 청주, 대구, 울진, 진주 상시관측소 9개소와 한국천문연구원

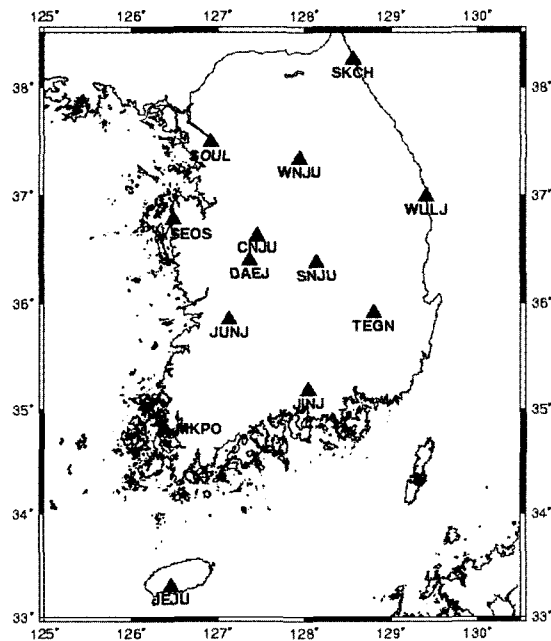


그림 1. GPS 상시관측소의 위치

표 1. 상시관측소 정밀 좌표 성과(ITRF97)

SITE	Latitude(°)	Longitude(°)	Height(m)
SOUL(서울)	37.6296938	127.0797239	59.162
WNJU(원주)	37.3372072	127.9470875	180.244
SEOS(서산)	36.7764093	126.4942017	52.292
SNJU(상주)	36.3791646	128.1444764	111.656
JUNJ(전주)	35.8434521	127.1351242	77.199
CNJU(청주)	36.6268948	127.4612264	93.535
TEGN(대구)	35.9063066	128.8019664	106.429
WULJ(울진)	36.9919765	129.4129944	80.756
JINJ(진주)	35.1730872	128.0496733	122.032
DAEJ(대전)	36.3994295	127.3744768	116.849
MKPO(목포)	34.8168519	126.3814067	64.376
SKCH(속초)	38.2509640	128.5647485	46.043
JEJU(제주)	33.2883446	126.4621738	430.204

대전, 목포, 속초, 제주 상시 관측소 4개소를 이용한 총 13개소의 GPS 상시관측소 데이터를 이용하였다. 그림 1은 본 연구에서 이용한 상시관측소 위치를 나타낸 것이다.

GPS데이터 처리를 통해 산출한 습윤지연량으로부터 가강수량을 도출하기 위해서는 GPS 상시관측소의 정밀성과(위도와 타원체고)가 필요하다(http://www.csr.utexas.edu/texas_pwv/midterm/gabor/gabor.html). 상시관측소 13개소의 정밀성과는 ITRF97좌표계에 준거한 성과를 사용하였으며 각 관측소의 정밀 좌표 성과는 표 1과 같다.

3. GPS 데이터 처리 및 가강수량 산출

본 연구에서 사용한 GIPSY/OASIS-II(GOA II) 프로그램에서는 사용 데이터와 모델링 방법의 차이에 따라 여러 가지 데이터 처리방법을 제공하고 있으나 다음과 같이 크게 두 가지로 나누고 있다.

① 고정점의 좌표를 결정된 ITRF상에 고정하여 처리하는 고정점 방법 (Fiducial Method)

② 고정점을 두지 않고 처리하는 비 고정점 방법 (Non-Fiducial Method)

본 연구에서 사용한 비 고정점 처리 방법은 이미 계산된 ITRF의 좌표를 사용하지 않고 매일의 좌표계의 변화량을 계산하여 그 날의 좌표계를 형성하고 후에 계산된 좌표들을 Helmert 변환법을 이용하여 이미 계산된 ITRF로 변환하여 좌표를 계산해 낸다(<http://gipsy.jpl.nasa.gov/>). 본 연구에서 사용한 정밀 궤도력은 미국의 제트추진연구소

표 2. 정밀궤도력의 종류와 용도

파일명	용도
peci	GPS위성의 정밀궤도력
tpeo.nml	지구 자전량 및 극 운동량 보정
TDPfile	시간에 따른 지각의 변화 보정
Shadow	GPS위성의 shadow event 보정
XFILE	특정 epoch의 지구기준좌표계로의 변환

(JPL)에서 구축한 FLINN 네트워크를 통해 계산된 정밀 궤도력이다. 표 2는 정밀 GPS해석 프로그램인 GOA II에서 사용한 정밀궤도력의 종류와 용도이다.

대류권내 GPS 신호지연 요소를 산출하기 위해서는 apriori 모델에 의한 천정 방향의 건조지연량인 AHD(Apriori Hydrostatic Delay)를 먼저 산출한다. 표준 대기모델 사용시 AHD는 관측소 표고에만 관계가 있고 시간과는 무관하다. 다음의 식을 사용하여 AHD를 산출하였다(http://www.ae.utexas.edu/courses/ase389p_gps/projects99/whitlock/).

$$AHD = 2.29951 \times e^{-0.000116 \times h} \quad (1)$$

여기서, h : 타원체고

AHD를 산출한 후 apriori모델에 대한 맵핑 함수로 산출되는 AWD(Apriori Wet Delay)는 임의로 0.1m로 고정되어 있다. 총 지연량인 Total Zenith Delay(TZD)를 산출하기 위해 가장 중요한 습윤지연에 관계된 ZDC(Zenith Delay Correction)의 경우는 apriori모델에 대한 보정항으로서 시간에 따라 변화하는 양이며, 최소자승법으로 얻어지는 값이다. GPS데이터는 1시간 간격으로 처리하여 총 지연량을 산출하였다. 본 연구에서 적용된 Neill[1996] 맵핑 함수 중 건조 맵핑 함수는 연속 분수함수식을 이용하여 경사 방향의 지연량을 천정방향으로 투영하게 된다(Fritz K. Brunner and Paul Tregoning; 1994).

다음의 식 (2)는 Niell 맵핑 함수의 분수 함수식이다.

$$m(z) = \frac{1 + \frac{a}{1 + \frac{b}{1+c}}}{\sin \epsilon + \frac{a}{\sin \epsilon + \frac{b}{\sin \epsilon + c}}} \quad (2)$$

Niell 맵핑 함수에서 사용되는 평균 계수와 보정 계수는 지면관계상 참고문헌으로 대체한다(http://www-dd.fsi.noaa.gov/gps.html). 대부분의 표준 대류권 지연 모델은 습윤 지

연요소 및 정역학적 기체 평형 상태(건조 지연)에 기초한다. 이를 위한 접근은 단지 기체의 정역학적인 성분의 측정을 통해서도 충분히 구할 수 있다(Torben Schueller, Guenter W. Hein and Bernd Eissfeller). 이를 통해 1시간별 PWV를 산출하기 위해서 지상 관측소에서 측정된 기압과 기온 데이터를 이용해야 한다. 부분적인 건조 지연량(Zenith Hydrostatic Delay)은 Gunter [1993]가 제시하였다(Torben Schueller, Guenter W. Hein and Bernd Eissfeller).

$$dZHD = k_1 \cdot \frac{P_d}{T} \cdot 10^{-6} dh \quad (3)$$

여기서, $dZHD$: 천정방향의 부분 건조 지연량

k_1 : 건조 굴절 상수 (77.6K/hPa)

P_d : 건조 압력 [hPa]

T : 기온 [K]

dh : 타원체고 변화량

정역학적 평형 방정식을 사용하여 식 (3)을 적분하여 건조 지연량을 얻게 된다. 본 연구에서는 많은 과학자들이 사용하고 있는 Saastamoinen 건조 모델식을 통해 건조 지연량을 산정하였는데 이 모델식은 관측소의 기압 데이터와 정밀 해석을 통해 구한 GPS상시관측소의 위도와 타원체고를 이용하게 된다(http://www.csr.utexas.edu/texas_pwv/midterm/gabor/gabor.html).

$$ZHD = \frac{(2.2779 + 0.00024) \cdot P_s}{1 - 0.00266 \cdot \cos^2 \varphi - 0.00028 \cdot h} \quad (4)$$

여기서, ZHD : 천정방향 건조 지연량

P_s : 측정지역의 기압 [hPa]

φ : 측정점의 위도

h : 측정점의 타원체고 [km]

앞서 구한 총 지연량(TZD)으로부터 이 건조 지연량을 빼주어 습윤지연량(ZWD)을 산출하게 되며, 이 습윤지연량을 PWV로 환산하게 된다(Yuei-An Liou and Cheng-Yung Huang; 2000).

$$PWV = \Pi \times ZWD \quad (5)$$

여기서, 습윤지연량을 PWV로 환산하기 위한 Π 는 다음과 같다.

$$\Pi = \frac{10^8}{\rho \cdot R \sqrt{(k_3/T_m) + k_2}} \quad (6)$$

여기서, ρ : 물의 밀도 (kg/m^3)
 R_v : 수증기의 기체상수 ($J/kg-K$)
 k_2 : $22.1 \pm 2.2 (K/mb)$
 k_3 : $(3.739 \pm 0.012) \times 10^5 (k^2/mb)$
 T_m : 평균기온 (K)

Davis[1985]에 의하면 평균온도를 다음과 같이 정의한다(Yuei-An Liou and Cheng-Yung Huang; 2000).

$$T_m = \frac{\int \frac{P_v}{T} dH}{\int \frac{PV}{T^2} dH} \quad (7)$$

4. 태풍 RUSA의 발생과 경로

태풍은 저위도 해역에서 발생하는 저기압 중에서 중심 부근의 최대풍속이 17m/s 이상의 강한 폭풍우를 동반하고 있는 것을 말한다. 2002년 8월 23일 9시에 북위 16.5°, 동경 161.0°인 괌섬 동북동쪽 약 1,800km 부근 해상에서 발생한 태풍 RUSA는 9월 1일 16시 30분에 강원도 속초 북동쪽 130km 부근 해상에서 그 세력을 다할 때까지 한반도에 막대한 피해를 입혔다. 최저 중심 기압이 950hPa, 중심 최대 풍속이 41m/s로써 태풍 강도로는 强颱風으로 기록되었다. 그림 2는 GPS 상시관측소 13개소의 위치와 태풍 RUSA의 이동 경로를 표시한 것으로 기상청에서 관측한 기록을 토대로 일시별로 나타내었다.

5. 비교 고찰

5.1 태풍 RUSA의 진행에 따른 GPS PWV와 실제 강수량 비교

GPS 상시관측소 13개소의 RINEX 데이터를 1시간 간격으로 처리하여 총 지연량을 획득하였다. 또한, 기상청으로

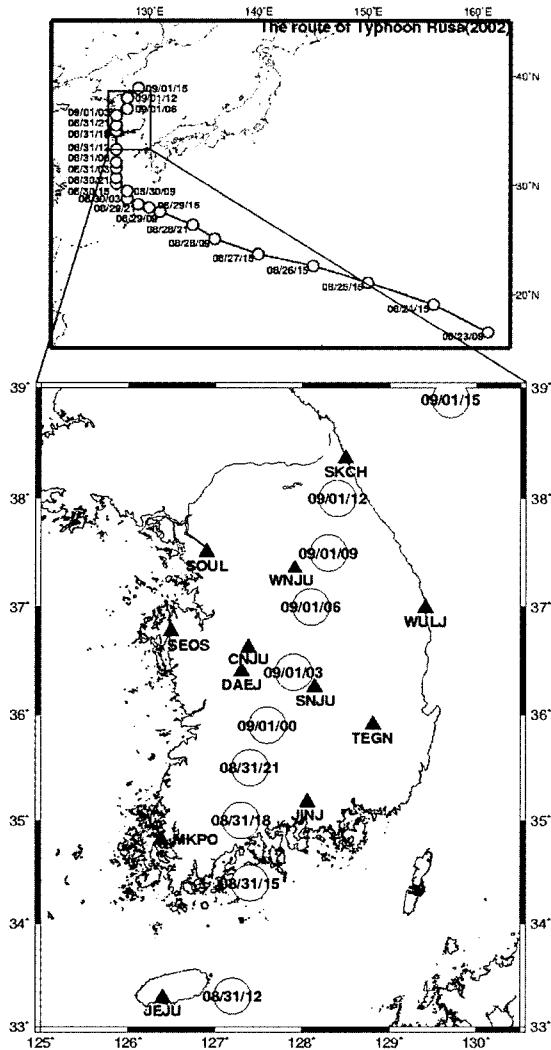


그림 2. 태풍 RUSA의 이동 경로

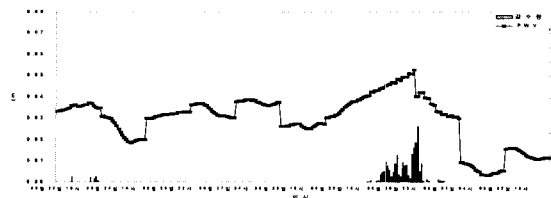


그림 3. PWV와 실제 강수량 비교(제주)

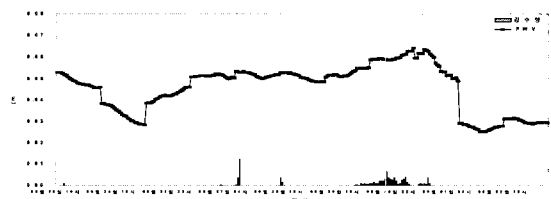


그림 4. PWV와 실제 강수량 비교(목포)

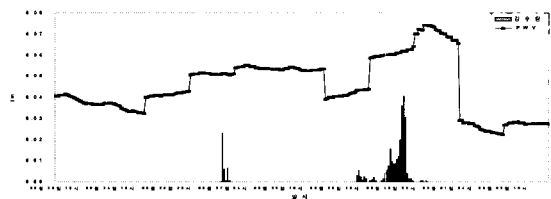


그림 5. PWV와 실제 강수량 비교(진주)

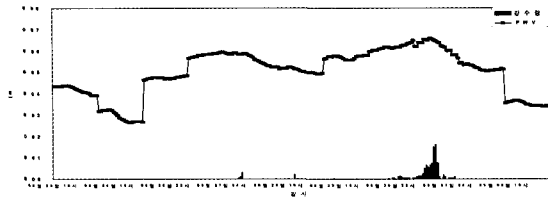


그림 6. PWV와 실제 강수량 비교(전주)

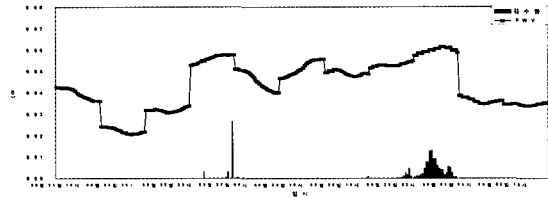


그림 11. PWV와 실제 강수량 비교(서산)

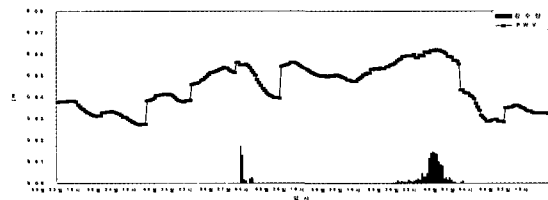


그림 7. PWV와 실제 강수량 비교(대전)

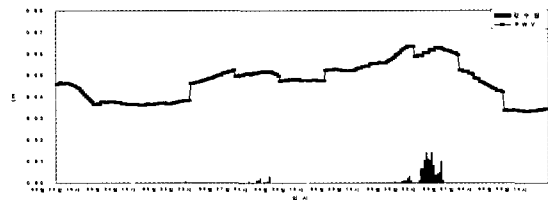


그림 12. PWV와 실제 강수량 비교(울진)

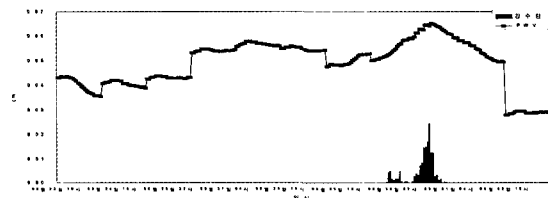


그림 8. PWV와 실제 강수량 비교(대구)

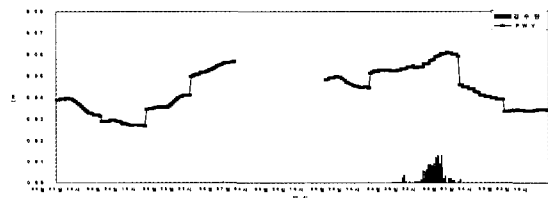


그림 13. PWV와 실제 강수량 비교(원주)

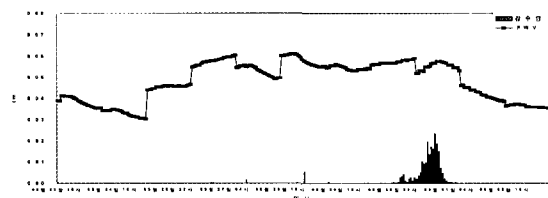


그림 9. PWV와 실제 강수량 비교(상주)

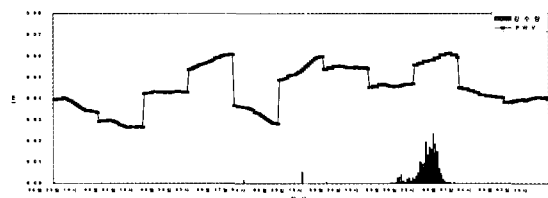


그림 14. PWV와 실제 강수량 비교(서울)

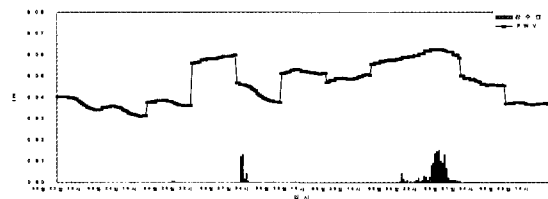


그림 10. PWV와 실제 강수량 비교(청주)

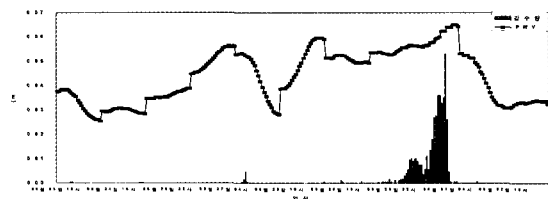


그림 15. PWV와 실제 강수량 비교(속초)

부터 상시관측소 지역의 기상데이터(기온, 기압, 강수량)를 제공받아 건조지연량을 산출하여 앞서 구한 총 지연량에서 건조 지연량을 뺀 후 얻어진 습윤 지연량으로부터 GPS PWV를 획득하였다. 그림 3부터 그림 15는 GPS 상시관측소 13개소에서 획득한 PWV와 실제 강수량을 1시간별로 시계열 분석(Time Series)한 것이다.

시계열 분석한 결과들을 보면 GPS PWV가 정점을 이루는 시점마다 실제 강수량이 발생하는 경향을 보이고 있다. 특히, 태풍 RUSA가 지나가는 8월 31일에서 9월 1일 사이에 많은 강수량을 나타내고 있으며, 이와 비슷한 시간에 GPS PWV도 각 지역별로 정점을 나타내고 있다. 표 3은 GPS PWV와 실제 강수량을 태풍이 지나가는 기간동안 표

표 3. GPS PWV와 실제 강수량 비교

일시	제주		목포		진주		진주		대구		상주		울진	
	PWV(m)	강수량(m)	PWV(m)	강수량(m)	PWV(m)	강수량(m)	PWV(m)	강수량(m)	PWV(m)	강수량(m)	PWV(m)	강수량(m)	PWV(m)	강수량(m)
08월31일03시	0.0490	0.0090	0.0608	0.0025	0.0618	0.0360	0.0624	0.0010	0.0582	0.0000	0.0580	0.0040	0.0616	0.0006
08월31일04시	0.0491	0.0075	0.0611	0.0030	0.0619		0.0625	0.0005	0.0583	0.0005	0.0580	0.0010	0.0623	0.0010
08월31일05시	0.0490	0.0080	0.0613		0.0618	0.0305	0.0626	0.0005	0.0584	0.0005	0.0580	0.0005	0.0627	0.0010
08월31일06시	0.0507	0.0030	0.0627	0.0015	0.0626	0.0040	0.0632	0.0005	0.0591	0.0000	0.0584	0.0020	0.0634	0.0020
08월31일07시	0.0506	0.0015	0.0627	0.0005	0.0626	0.0015	0.0635	0.0005	0.0591	0.0000	0.0584	0.0025	0.0633	0.0030
08월31일08시	0.0505	0.0130	0.0628	0.0000	0.0627	0.0015	0.0637	0.0000	0.0590	0.0005	0.0584	0.0010	0.0633	0.0010
08월31일09시	0.0525	0.0160	0.0641	0.0000	0.0640	0.0005	0.0649	0.0005	0.0596	0.0025	0.0589	0.0025	0.0632	0.0000
08월31일10시	0.0401	0.0185	0.0595	0.0000	0.0701	0.0000	0.0621	0.0005	0.0613	0.0035	0.0520	0.0020	0.0587	0.0000
08월31일11시	0.0401		0.0595	0.0000	0.0701	0.0000	0.0620	0.0010	0.0612	0.0030	0.0520	0.0035	0.0587	0.0000
08월31일12시	0.0418	0.0050	0.0618	0.0005	0.0722	0.0000	0.0639	0.0015	0.0629	0.0070	0.0532	0.0050	0.0592	0.0010
08월31일13시	0.0418	0.0085	0.0617	0.0010	0.0721	0.0005	0.0638	0.0015	0.0628	0.0080	0.0532	0.0100	0.0592	0.0065
08월31일14시	0.0420	0.0005	0.0616	0.0005	0.0719	0.0005	0.0638	0.0025	0.0625	0.0145	0.0531	0.0090	0.0591	0.0065
08월31일15시	0.0395	0.0000	0.0636	0.0010	0.0743	0.0000	0.0655	0.0050	0.0645	0.0150	0.0550	0.0095	0.0605	0.0105
08월31일16시	0.0393	0.0010	0.0631	0.0005	0.0743	0.0005	0.0654	0.0065	0.0646	0.0170	0.0550	0.0195	0.0605	
08월31일17시	0.0391	0.0005	0.0625	0.0035	0.0741	0.0000	0.0650	0.0055	0.0643		0.0550	0.0135	0.0605	0.0110
08월31일18시	0.0367	0.0000	0.0614	0.0010	0.0741	0.0000	0.0660	0.0065	0.0653	0.0125	0.0565	0.0170	0.0618	0.0105
08월31일19시	0.0363	0.0000	0.0606	0.0000	0.0739	0.0000	0.0656	0.0075	0.0650	0.0125	0.0565	0.0160	0.0617	0.0140
08월31일20시	0.0360	0.0000	0.0599	0.0000	0.0735	0.0000	0.0652	0.0150	0.0647	0.0025	0.0565		0.0616	0.0080
08월31일21시	0.0332	0.0000	0.0572	0.0000	0.0721	0.0000	0.0645		0.0641	0.0030	0.0574	0.0185	0.0628	0.0035
08월31일22시	0.0328	0.0010	0.0564	0.0000	0.0719	0.0000	0.0641	0.0075	0.0639	0.0010	0.0574	0.0150	0.0627	0.0040

일시	청주		대전		서산		원주		서울		속초	
	PWV(m)	강수량(m)	PWV(m)	강수량(m)	PWV(m)	강수량(m)	PWV(m)	강수량(m)	PWV(m)	강수량(m)	PWV(m)	강수량(m)
08월31일15시	0.0620	0.0025	0.0610	0.0030	0.0590	0.0045	0.0555	0.0050	0.0576	0.0095	0.0564	0.0055
08월31일16시	0.0620	0.0010	0.0610	0.0045	0.0590	0.0075	0.0556	0.0060	0.0576	0.0195	0.0565	0.0110
08월31일17시	0.0617	0.0025	0.0608	0.0115	0.0589	0.0075	0.0558	0.0085	0.0576	0.0135	0.0566	0.0055
08월31일18시	0.0628	0.0080	0.0618	0.0140	0.0599	0.0125	0.0570	0.0085	0.0581	0.0170	0.0576	0.0135
08월31일19시	0.0626	0.0090	0.0617		0.0599		0.0573	0.0080	0.0581	0.0160	0.0578	0.0180
08월31일20시	0.0624	0.0135	0.0615	0.0140	0.0598	0.0090	0.0575	0.0090	0.0582		0.0580	0.0270
08월31일21시	0.0628	0.0145	0.0621	0.0135	0.0605	0.0090	0.0589	0.0120	0.0592	0.0185	0.0592	0.0275
08월31일22시	0.0626		0.0619	0.0100	0.0605	0.0060	0.0592		0.0593	0.0150	0.0594	0.0360
08월31일23시	0.0625	0.0100	0.0617	0.0085	0.0605	0.0045	0.0593	0.0090	0.0593	0.0070	0.0599	0.0360
08월31일24시	0.0625	0.0090	0.0615	0.0080	0.0612	0.0040	0.0602		0.0607	0.0045	0.0623	0.0330
09월01일01시	0.0622	0.0130	0.0611	0.0020	0.0612	0.0040	0.0603	0.0020	0.0608	0.0020	0.0623	0.0350
09월01일02시	0.0620	0.0065	0.0604	0.0025	0.0612	0.0015	0.0603	0.0030	0.0608	0.0010	0.0623	
09월01일03시	0.0615	0.0020	0.0590	0.0015	0.0607	0.0025	0.0608	0.0000	0.0612	0.0005	0.0640	0.0260
09월01일04시	0.0614	0.0010	0.0589	0.0025	0.0608	0.0055	0.0608	0.0020	0.0613	0.0005	0.0640	0.0045
09월01일05시	0.0613	0.0010	0.0588	0.0015	0.0609	0.0050	0.0608	0.0020	0.0615	0.0005	0.0640	0.0005
09월01일06시	0.0599	0.0010	0.0571	0.0005	0.0596	0.0025	0.0601	0.0010	0.0607	0.0000	0.0648	0.0000
09월01일07시	0.0598	0.0010	0.0570	0.0005	0.0597	0.0005	0.0600	0.0010	0.0606	0.0005	0.0648	0.0005
09월01일08시	0.0599	0.0005	0.0570	0.0000	0.0597	0.0005	0.0601	0.0000	0.0606	0.0000	0.0648	0.0005
09월01일09시	0.0584	0.0005	0.0555	0.0000	0.0586	0.0000	0.0590	0.0005	0.0595	0.0000	0.0644	0.0000
09월01일10시	0.0500	0.0000	0.0434	0.0005	0.0384	0.0000	0.0459	0.0015	0.0452	0.0000	0.0532	0.0000

시한 것이며, 강조되어 표시된 것은 GPS PWV와 실제 강수량의 정점을 나타낸 것이다. 그림 16은 상시관측소 13개소의 GPS PWV가 정점을 이루는 시기를 표시한 것인데 그림 2의 태풍 RUSA의 경로와 비교하여 볼 때 제주, 목포,

진주, 대전, 청주, 원주, 속초지역을 중심으로 확인할 경우 8월 31일 9시경 GPS PWV가 제주와 목포에서 정점을 이루며 9시간 후 전주에서 정점을 이루고 있다. 또한, 3시간 후 대전에서 정점을 나타내며 9월 1일 3시경에 원주에서

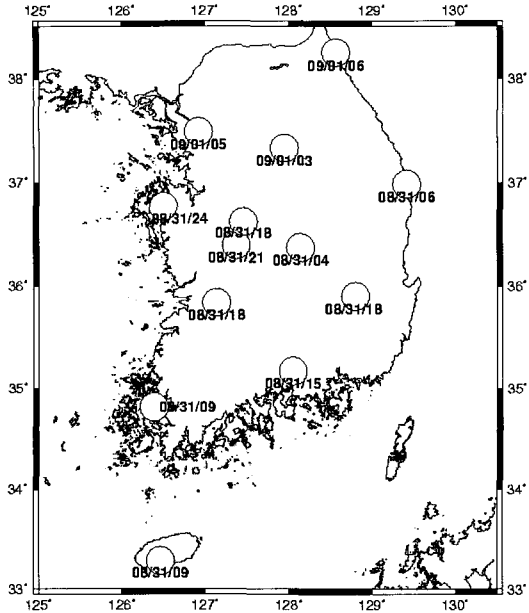


그림 16. GPS PWV의 상시관측소별 정점 시간(Peak time)

정점을 나타내다가 태풍이 소멸되는 지역과 가까운 속초에서 9월 1일 6시에 정점을 나타내었다. 이를 통해 볼 때 태풍 RUSA의 이동 경로에 따라 GPS PWV의 정점을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 태풍의 이동과 GPS PWV가 밀접한 관계에 있다고 판단된다.

5.2 GPS PWV의 Tomograph작성

GPS 관측자료를 1시간별로 처리하여 얻은 PWV를 이용하여 1분 간격으로 격자를 작성하고 tomograph를 제작하였

다. Tomograph 작성에 사용된 프로그램은 GMT(Generic Mapping Tools)이다. GPS PWV가 평균 0.04m에서 0.06m인 점을 고려하여 GPS PWV의 축척의 최저값을 0.03m, 최대값을 0.07m로 하여 작성하였다. 작성한 tomograph와 GMS 위성에서 관측한 태풍 RUSA의 영상을 함께 비교하였다. Tomograph의 축척자는 편의상 cm로 환산하여 나타내었다. 그림 17과 그림 18은 8월 31일 3시경의 태풍 RUSA의 GMS영상과 GPS PWV tomograph를 나타내고 있다. 그림 18의 Tomograph를 보면 PWV가 가장 큰 전주(0.0624m)를 중심으로 그 값이 작아지고 있다. 그림 19와 20은 8월 31일 15시경을 나타내고 있는데 진주지역이 PWV가 0.0743mm로 가장 큰 값을 나타내고 있으며 tomograph에서도 진주지역을 중심으로 PWV 하강분포가 이루어지고 있다.

그림 21과 22는 9월 1일 03시경으로 강원도 지역에 가장 많은 피해를 주었던 시기이다. 이때에는 속초 상시관측소 지역이 0.0640m의 PWV를 보였으나 진주 상시관측소 지역이 0.0688m의 가장 큰 값을 보이며 진주지역을 중심으로 PWV의 분포도가 작성되었다. 이 시기에는 전반적으로 한반도 남한 전체에 GPS PWV가 0.055m이상으로 산출되었으며 실제 강수량 데이터를 통해서 볼 때 한반도 전역에 호우가 지속적으로 내렸다. 태풍 RUSA가 소멸되는 9월 1일 15시경에는 PWV Tomograph에서 보이는 것과 같이 한반도 전역의 PWV값이 감소됨을 알 수 있다. 그러나, 대구 지역이 0.0562m로 비교적 큰 PWV를 나타내는데 이는 15호 태풍 RUSA의 잔존 세력과 그림 23에서 보이고 있는 우측의 16호 태풍 SHINLACU의 접근으로 영향을 받은 것으로 보인다.



그림 17. RUSA GMS 영상(8월 31일 03시)

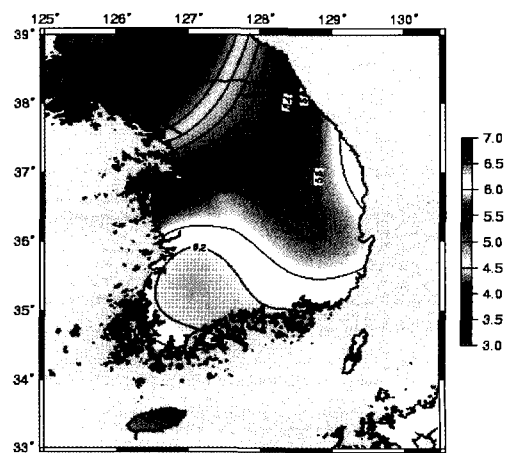


그림 18. PWV Tomograph(8월 31일 03시)

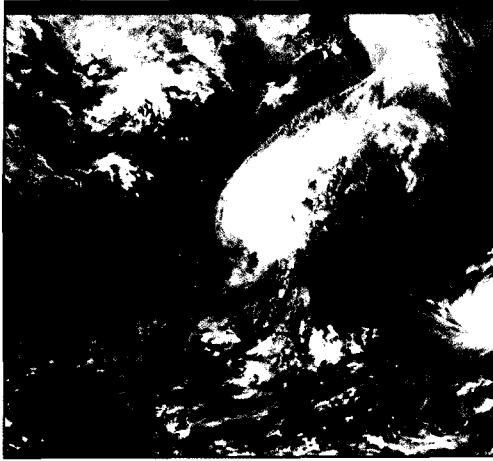


그림 19. RUSA GMS 영상(8월 31일 15시)

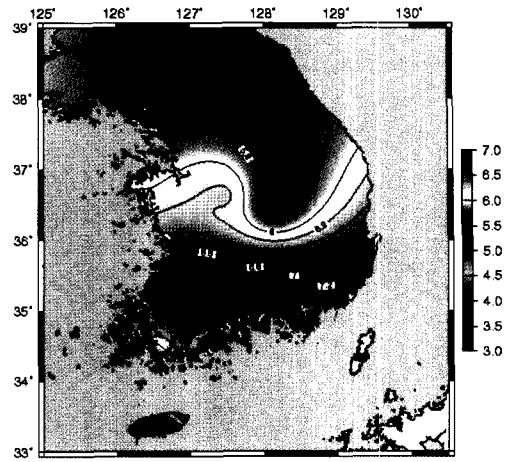


그림 20. PWV Tomograph(8월 31일 15시)

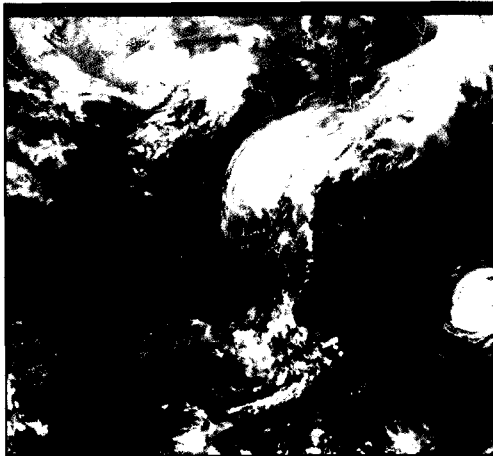


그림 21. RUSA GMS 영상(9월 1일 03시)

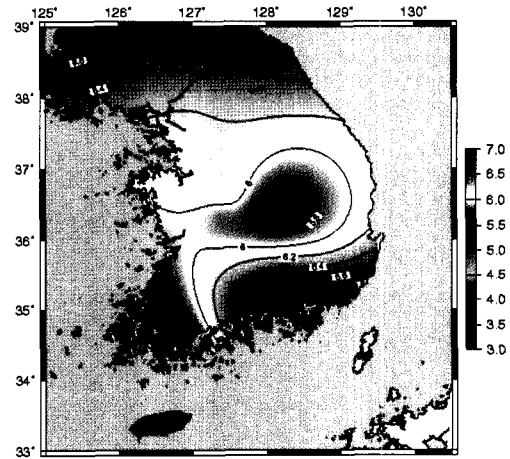


그림 22. PWV Tomograph(9월 1일 03시)

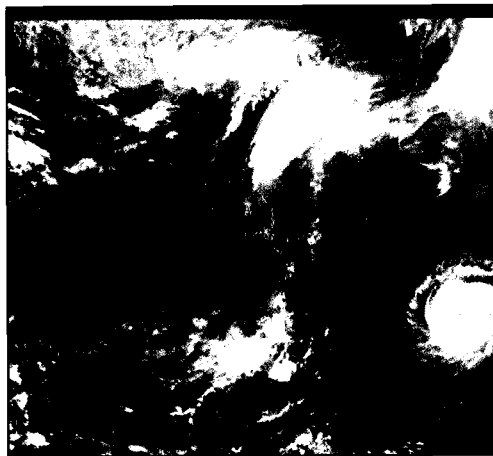


그림 23. RUSA GMS 영상(9월 1일 15시)

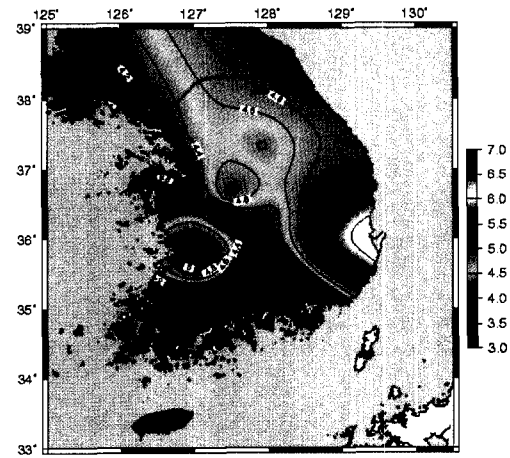


그림 24. PWV Tomograph(9월 1일 15시)

6. 결 론

본 연구에서는 국내 GPS 상시관측소 13개소의 관측 데이터를 정밀 해석 프로그램을 이용하여 대류권의 총 지연량을 산출하고 GPS 상시관측소 지역의 해당 기간별 기상자료를 이용하여 GPS PWV를 산출하여 실제 강수량과 비교하였다. 또한, 태풍 RUSA의 이동 경로에 따라 GPS PWV의 정점 이동 시간을 추이하여 비교하였으며 태풍 RUSA의 GMS영상과 비교하기 위해 GPS PWV의 tomograph를 작성하였다. 그 결과로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, GPS 관측데이터를 정밀 해석하여 대류권의 총 지연량을 산출한 결과를 바탕으로 기상데이터를 이용하여 PWV를 10^{-6} 의 해석정밀도로써 산출할 수 있었다. 또한, 가강수량이 정점을 나타낼 때마다 실제 강수량이 발생하는 결과를 보였다. 이는 GPS 관측 데이터를 이용하여 PWV의 변화량을 추정하면 실제 강수량의 발생정도를 예측할 수 있음을 의미한다.

둘째, 태풍이 진행하는 시기동안 GPS 상시관측소마다 PWV가 정점을 나타내는 시간을 추정한 결과 태풍이 이동하기 전 그 지역의 PWV가 먼저 정점을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이는 GPS PWV의 시간적 추이가 태풍의 이동 경로와 밀접한 관계가 있음을 나타낸 것으로 기존의 RMT(Ridge Modification by TC), RTF(Reverse Trough Formation)등의 종관장 분석 모델과 더불어 태풍 진로 예상에 도움을 줄 수 있으리라 본다.

셋째, GPS 상시관측소 데이터를 해석하여 산출한 PWV를 이용하여 한반도 지역의 Tomograph를 작성한 결과 기상변화에 크게 관계되는 수증기량의 분포도를 확인할 수 있었다. 이는 전국의 GPS상시관측소 데이터를 이용하여 산출한 PWV의 한반도 Tomograph를 거의 실시간적으로 작성한다면 기존의 기상예보를 위한 모델과 더불어 수치예보 모델의 한 자료로써 충분히 활용되어 기상예보의 정확도 향상에 도움을 줄 수 있으리라고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 한국과학재단 특정기초연구2차년도 연구(과제번호 : R01-2001-000-00481-0)의 연구비 지원에 의하여 수행된 연구로써 한국과학재단에 깊은 감사를 드리는 바입니다.

참고문헌

- 송동섭, 윤홍식, 조재명 (2002), "GPS를 이용한 대류권의 수증기량 추정에 관한 연구", 한국측량학회지, 제20권, 제2호.
- Yuei-An Liou and Cheng-Yung Huang (2000), "GPS observation of PW during the passage of a typhoon", Earth Planets Space, 52, pp. 709-712.
- Fritz K. Brunner and Paul Tregoning (1994), "TROPOSPHERIC PROPAGATION EFFECTS IN GPS HEIGHT RESULTS USING METEOROLOGICAL OBSERVATIONS", Aust. J. Geod. Photogram. Surv., No. 60, pp. 49-65.
- Torben Schueler, Guenter W. Hein and Bernd Eissfeller, "Tropospheric Delay Prediction in Wide Area Augmentation Systems Using Numerical Weather Fields".
- Bevis, M., S. Businger, T. A. Herring, C. Rocken, R. A. Anthes, and R. H. Ware, 1992: GPS Meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system, J. Geophys. Res., 97, 15, 787-15, 801.
- URL, 기상청, <http://www.kma.go.kr>
- URL, 중앙재해대책본부, <http://n4000-01.mogaha.go.kr/>
- URL, NOAA/FSL Ground-Based GPS Integrated Precipitable Water Vapor Demonstration Network(GPS-IPW), <http://www-dd.fsi.noaa.gov/gps.html>
- URL, Remote Sensing of Water Vapor From GPS Receivers, http://www.csr.utexas.edu/texas_pvw/midterm/gabor/gabor.html
- URL, Meteorological Research Institute(JMA), <http://www.mri-jma.go.jp/>
- URL, Gipsy-Oasis Home Page, <http://gipsy.jpl.nasa.gov/>
- URL, Real Time Atmospheric Water Vapor from GPS using CORS and FSL sites, http://www.ac.utexas.edu/courses/ase389p_gps/projects99/whitlock/

(2002년 11월 16일 원고접수)