KIGAS Vol.3, No.2, July, 1999
(Journal of the Korean Institute of Gas)

GPS를 이용한 가스설비 침하 감시 기술 연구

조 성 호 · 전 경 수 · 박 필 호* · 박 종 욱* · 조 정 호*
한국가스공사 연구개발원, 천문대*
(1999년 4월 16일 접수, 1999년 9월 14일 채택)

A study on monitoring the subsidence of the gas utilities using GPS techniques

S.H. Cho, K.S. Jeon, P.H. Park*, J.U. Park* and J.H. Joh*
*R&D Center, Korea Gas Corporation, Korea Astronomy Observatory**
(Received 16 April 1999 ; Accepted 14 September 1999)

요 약

가스설비의 안전성을 위협하는 여러 요소들 중의 하나는 지반 침하 현상이다. 지반 침하는 천연가스 공급배관 뿐 아니라 인수기지 및 공급관리소 등 당 공사 전 설비에 공통적으로 적용되는 위험 요소이다. 따라서 본 연구에서는 침하를 감시하기 위하여 GPS(Global Positioning System) 기술을 적용코자 하였다. GPS기술을 당 설비에 적용하기 전에 GPS의 정밀도와 현장적용 타당성을 검증하기 위하여 모의 시험장치를 이용하여 변위측정 능력 및 정밀도를 측정하여 보았다. 그 결과 수 mm급의 3차원 변위 측정이 가능하다는 것이 입증되었다. 한국가스공사에서 운영하고 있는 가스공급관리소 중 침하가 우려되는 2곳에 GPS 설비를 설치하여 수개월간 배관의 변위량을 측정하여 본 결과, 연간 수 mm의 움직임이 있음을 확인하였다. 실험결과로 부터 GPS 시스템이 가스설비의 침하 및 변형감시 현장 업무에 적용 가능하다는 결론을 얻었다.

Abstract - The safety of gas utilities is intimidated by many causes. Among them, subsidence is a dominant cause to decrease the safety of gas utilities. So it is very important to monitor the displacement of subsidence.

The purpose of this study is to on-line monitor the subsidence of gas utilities using Static GPS(Global Positioning System)technique. Static GPS technique, which is one of various GPS techniques and originally applied to monitor the crustal activity, was applied for two gas station in Korea Gas Corporation.

Prior to applying this technique to the field, i.e, gas station, a preliminary test was performed to confirm the accuracy of this technique. As a result, it was proved that this technique can measure the displacement of gas utilities three dimensionally by sub-millimeter. After getting confirmation of GPS technique, we applied this technique for two gas stations and monitored the amount of subsidence during 5 months. As a result of field test, we can conclude that the gas stations was subsiding several millimeters in a year.

Key words : Subsidence, Global Positioning System(GPS), Gas station, Displacement

†주저자 : shcho@kogas.re.kr

1. 서 론

천연가스는 그 특성상 전기나 상, 하수도에 비해 상대적으로 큰 위험성을 내포하고 있으므로, 가스공급 시스템의 안전관리는 무엇보다도 중요한 과제라고 할 수 있다. 가스설비의 안전성을 위협하는 여러 요소들 중의 하나는 지반 침하 현상이다. 지반 침하는 천연가스 공급 배관 뿐 아니라 인수기지 및 공급관리소 등 당 공사 전 설비에 공통적으로 적용되는 위험요소이다[1) 2)].

따라서 본 연구는 침하 우려 지역의 설비 침하를 상시 감시할 수 있는 기술을 개발하는 데 초점을 맞추었다.

설비 침하를 감시하는 기존의 기술로는 수준측량을 꼽을수 있다. 기준이 되는 기준점을 측량하고자 하는 설비 인근까지 이동시킨 후 주기적으로 측량하는 것인데, 설비의 상하 움직임만 측량할 수 있다. 따라서 이 방법으로는 3차원적인 측량이 불가능하고, 상시 감시도 불가능하다. 본 연구에서는 이를 동시에 해결할 수 있는 기술을 개발하고자 하였으며, 이를 위하여 GPS(Global Positioning System) 기술을 접목하고자 하였다.

대개 GPS 기술은 상업적으로는 자동항법장치 혹은 차량용 navigation system에 적용되고 있으며, 학술적으로는 지층의 미세한 움직임 측정에 이용되기도 한다. 본 연구에서는 실시간 측정은 안되지만 mm 단위까지 정밀 측정할 수 있는 학술용 GPS 기술(일반적으로 Static GPS라 부름.)을 당 공사 설비에 접목하여 설비와 지반의 미세한 움직임 까지도 측정해 보고 이 기술의 타당성 여부를 검토하고자 하였다.

2. GPS를 이용한 설비 침하 감시 예비 실험

2.1. Static GPS란

한 대의 GPS 수신기를 이용하여 위치측정을 수행할 경우, 위치결정 정밀도는 수신기의 능력에 의해 좌우된다. GPS 신호의 부호체계 중 C/A코드를 이용하여 수신자의 위치를 결정하는 저가의 상용 수신기는 그 정밀도가 수 십 미터에서 수백미터에 이르며,, 암호화된 P코드를 사용하는 수신기의 경우에도 1m 이하의 정밀도를 갖기가 어렵다. 측지 및 측량, 지각변동의 감시등과 같이 수 cm 이하의 고정밀 위치결정이 요구되는 분야에서는 단독측위에 따른 GPS의 위치결정 한계를 극복하기 위하여 Static GPS(후처리 상대측위)기법을 사용한다. 이 기법은 정밀한 위치를 알고 있는 지점과 위치측정이 요구되는 지점에서 동시에 GPS 관측을 수행하고, 두 수신기에 수신된 고주파 확산 스펙트럼 형식인 반송파를 이용한 자료처리로 정밀도를 현격히 증가시키는 방법이다.

2.2. GPS 관측 시스템의 구성

본 연구를 수행하기 위해서 구성된 GPS 관측 시스템은 2개의 GPS 기준점과 4개의 GPS 관측지점에 설치된 수신기, 안테나, 모뎀등을 포함하는 GPS 관측부분과 수신기에 저장된 관측데이터를 자료처리용 컴퓨터에 옮기고, 자료처리에 필요한 IGS 정밀궤도력, 지구 회전상수(ERP : Earth Rotation Parameter)등의 외부자료를 수집하는 자료수집부분 그리고 수집된 자료들을 이용하여 고정밀 GPS 자료처리 프로그램을 이용하여 최종결과를 얻고, 수치해석 작업을 수행하는 자료처리부분으로 크게 나눌 수 있다. Fig. 1은 본 연구를 수행하기 위하여 사용된 GPS 관측시스템의 구성 내용을 간략히 보여준다[3) 4)].

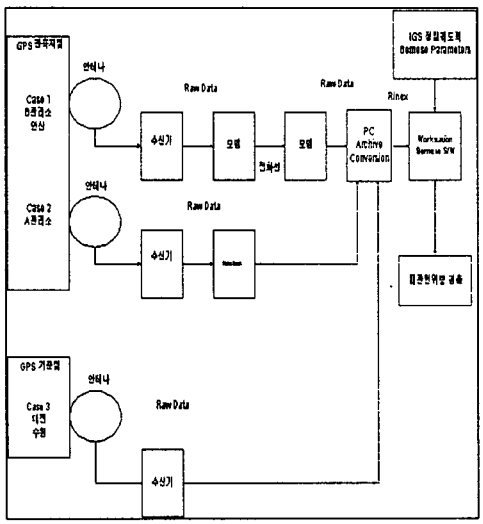


Fig. 1. GPS survey system

2.3. GPS의 변위 측정 능력 검증 실험

GPS의 변위측정 능력 및 정밀도를 검증하

기 위해 안산에 위치한 연구개발원에 GPS 시험대(test bed)를 설치하여 관측하였다. Fig.2에서 연구개발원에 설치된 시험대와 그 위에 고정된 GPS안테나를 볼 수 있다.

시험대는 GPS 안테나를 올려놓은 상태에서 수직방향과 평면의 2방향으로 3축이 최대 40mm의 한도내에서 0.01mm 단위로 이동이 가능하도록 만들어졌으며, 이 때 이동한 양을 정확히 측정할 수 있도록 정밀 계측기(0.01mm 분해능의 마이크로미터)를 부착하여 제작되었다.

따라서 시험대 위에서 관측된 GPS 데이터를 처리하여 얻은 결과와 인위적으로 실제 움직인 양을 비교함으로써 GPS의 정밀도를 검증할 수 있는 것이다.

Fig. 3에는 실제 시험대를 이동한 방향과 순서 그리고, 관측기간이 표시되어 있다. 여기서 관측기간은 성분별로 이동하기 이전 위치에서 고정되어 관측된 기간을 나타낸다.

안산에 설치한 시험대의 GPS 관측자료를 수원 국립지리원 기준점을 기준점으로하여 처리한 GPS 결과값과 시험대의 실제 이동량과의 비교 결과를 Table 1에 실었다. 여기에서 dN, dE, dU는 각각 북쪽, 동쪽, 수직방향의 이동치를 나타낸다.

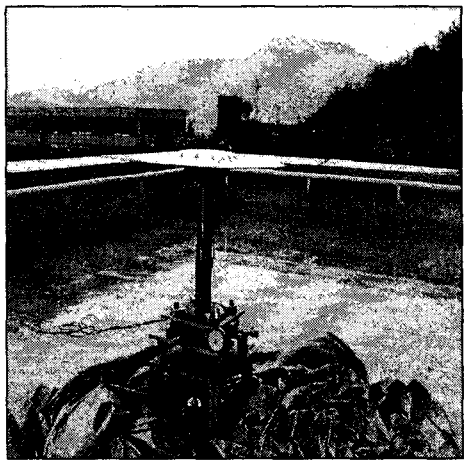


Fig. 2. GPS antenna on a testbed

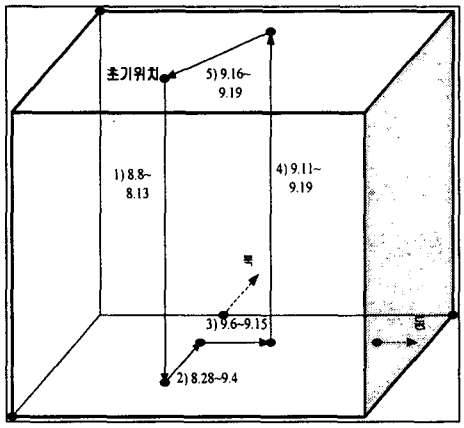


Fig. 3. Test schedule

Table 1에서 보듯이 변환치와 GPS 결과를 비교할 때, 북쪽과 동쪽 성분에서는 최대 2.4mm, 최소 0.1mm의 편차를 보였고, 수직 성분에서는 최대 9.4mm, 최소 4.8mm의 편차를 나타냈다. 한편 각 성분별 표준편차는 수평성분에서는 1.5mm, 수직성분에서는 7.5mm로, GPS 변형측정 능력이 남북, 동서의 수평성분에서는 1.5mm 정밀도를 , 상하 수직 성분에서는 7.5mm의 정밀도를 갖는다는 것이 예비실험을 통하여 입증되었다.

Table 1. Comparision of results for real displacement and GPS result

측정기간	Ⅰ 이동치(mm)			Ⅱ GPS결과 (mm)			Ⅰ-Ⅱ (mm)		
	dN	dE	dU	dN	dE	dU	dN	dE	dU
220~225 (8.8~8.13)	0	0	-40	0	0	-35.2	0	0	-4.8
240~247 (8.28~9.4)	24.2	-6.3	0	21.8	-7.4	0	2.4	1.1	0
249~258 (9.6~9.15)	5.0	19.4	0	4.9	19.5	0	0.1	-0.1	0
254~262 (9.11~9.19)	0	0	40	0	0	49.4	0	0	-9.4
259~262 (9.16~9.19)	-29.2	-13.1	0	-28.3	-10.7	0	-0.9	2.4	0
$(\sqrt{\sum(\text{성분별 } II-III)^2/n})$							1.5	1.5	7.5

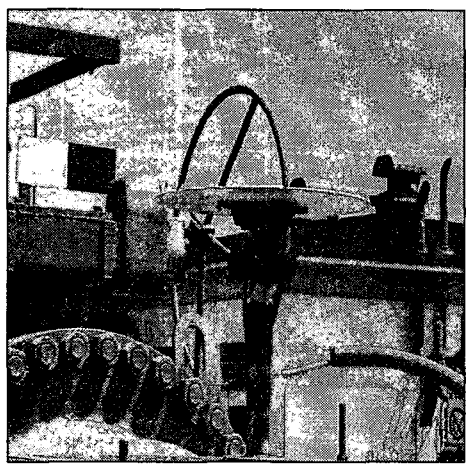
3. GPS를 이용한 설비 침하 감시 현장 적용 실험

3.1. GPS 관측지점의 선정 및 장비설치

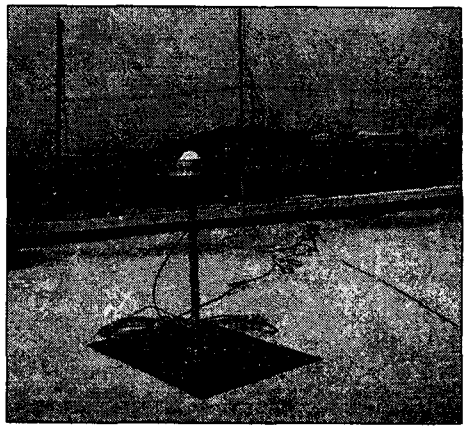
연구의 목적인 가스설비의 변형 및 침하량을 검출하기 위해서는 관측지점의 선정이 매우 중요하다. 따라서 매립지와 같은 연약지반에 건설되어 지반의 침하에 따른 가스배관의 변형이 심하게 일어날 것으로 예상되는 천연 가스 공급관리소를 선정하여 GPS 장비를 설치하였다.

한국가스공사가 운영하는 여러 관리소 중 A 관리소와 B관리소는 매립지 위에 건설되어 침하에 따른 가스배관의 변형이 다른 어떤 기지보다 심할 것으로 예상되었고, 지리적으로도 자료처리에 기준점으로 사용될 대전과 수원과 가까이 있어 단기선 처리가 가능하므로 적절한 관리소라고 판단되었다. Fig.5의 (a)는 A관리소 내 배관위에 설치된 GPS 안테나이고, (b)는 B 관리소내 공급제어실 옥상에 설치된 GPS 안테나이다.

B관리소의 경우 가스공급 시스템이 바다를 매립한 지역에 건설되었기 때문에 어느 관리소보다도 가스배관의 침하 및 변형이 의심되는 지역으로 판단되어 GPS 관측시스템을 노출배관과 배관에서 약 50m 떨어진 공급제어실 옥상등 2곳에 설치하여 지반침하시 지반의 변형과 배관의 변형의 상관성을 비교, 검증하고자 하였다.



(a)



(b)

Fig. 5. (a) GPS antenna on pipeline in A gas station
(b) Choke-Ring antenna on control room in B gas station

3.2. GPS 관측 시스템의 운용

각 지점에서 관측된 GPS 데이터를 관측기간, 자료처리일수, 장비별로 정리하여 Table 2에 나타내었다. 여기서 관측일수는 GPS 장비가 설치된 날부터 철수된 날까지에 해당하는 산술적인 일수이고, 괄호안의 실제일수는 관측이 실제로 이루어진 날만을 계산한 것이다. 관측일수와 실제관측일수간 차이는 주로 통신장애로 인한 원격제어불능 및 정전 또는 수신기의 고장에 의한 임시 철수등과 같은 원인에 의해 발생하였다.

그리고 실제관측일수와 자료처리 일수도 차이가 나는데, 그 이유는 자료처리 도중 GPS 관측에서 발생할 수 있는 여러 가지 오차요인들로 인하여 관측 데이터가 불량한 경우 그 날에 해당하는 데이터를 제거하였기 때문이다. 드물기는 하지만 대전과 수원기준점의 관측 데이터가 없는 경우도 있었는데, 이러한 이유로 대전과 수원기준점으로부터 자료처리된 일수간 차이를 보인다.

각 지점에 설치된 GPS 수신기에는 모뎀을 연결하여 대전 천문대 GPS 관측소에서 전화선을 통하여 수시로 관측자료를 다운로드할 수 있도록 하였고, remote control s/w를 통해 수신기의 원격제어도 가능하도록 하였다. 반면, 모뎀이 설치되지 않은 관측지점은 2주일 간격으로 직접 데이터를 수집하였다.

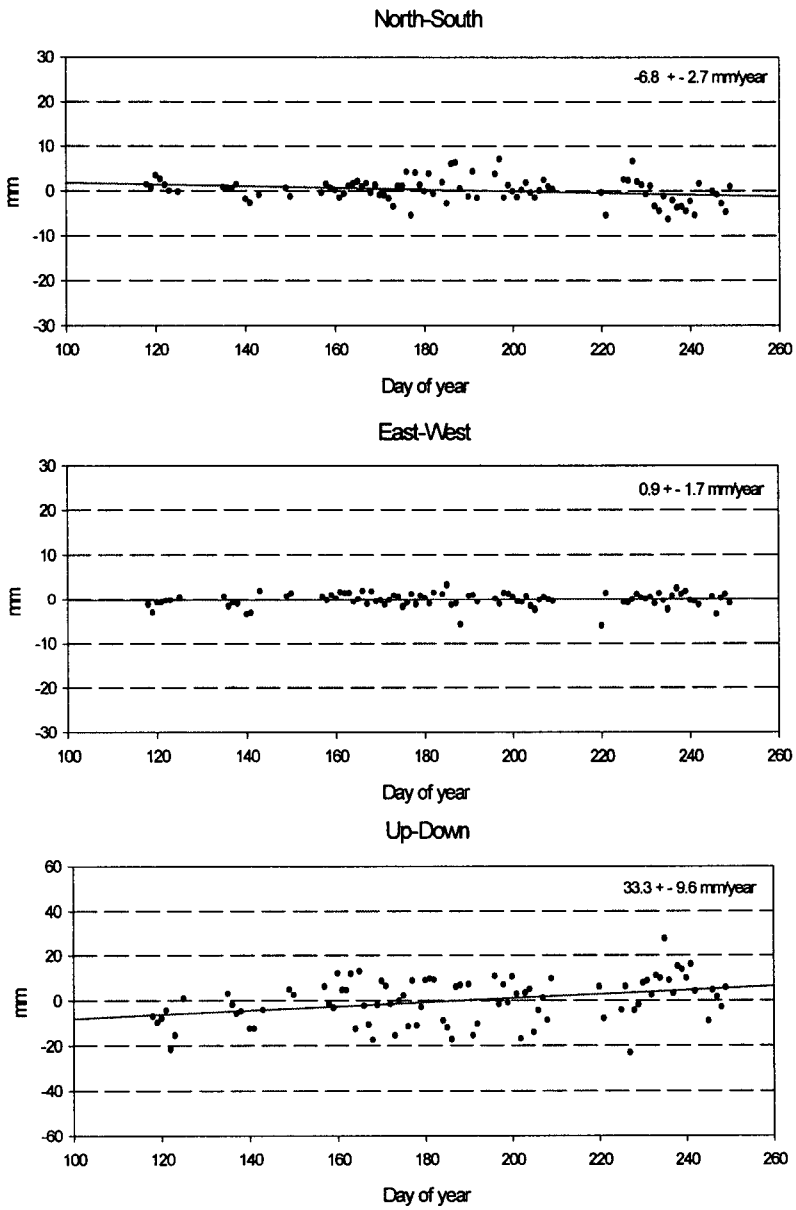


Fig. 6. Displacement of Daejoen-A Station obtained using GPS

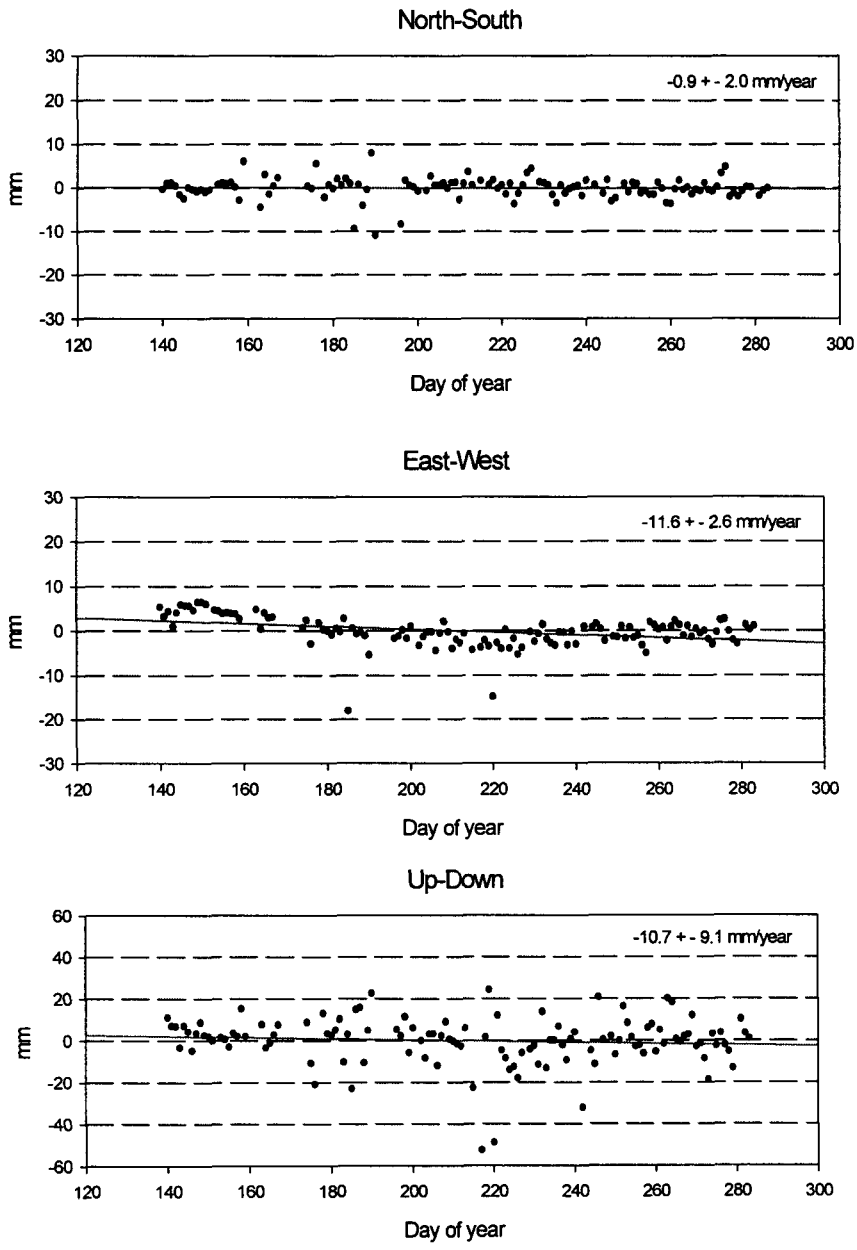


Fig. 7. Displacement of Suwon-B station(pipeline) obtained using GPS

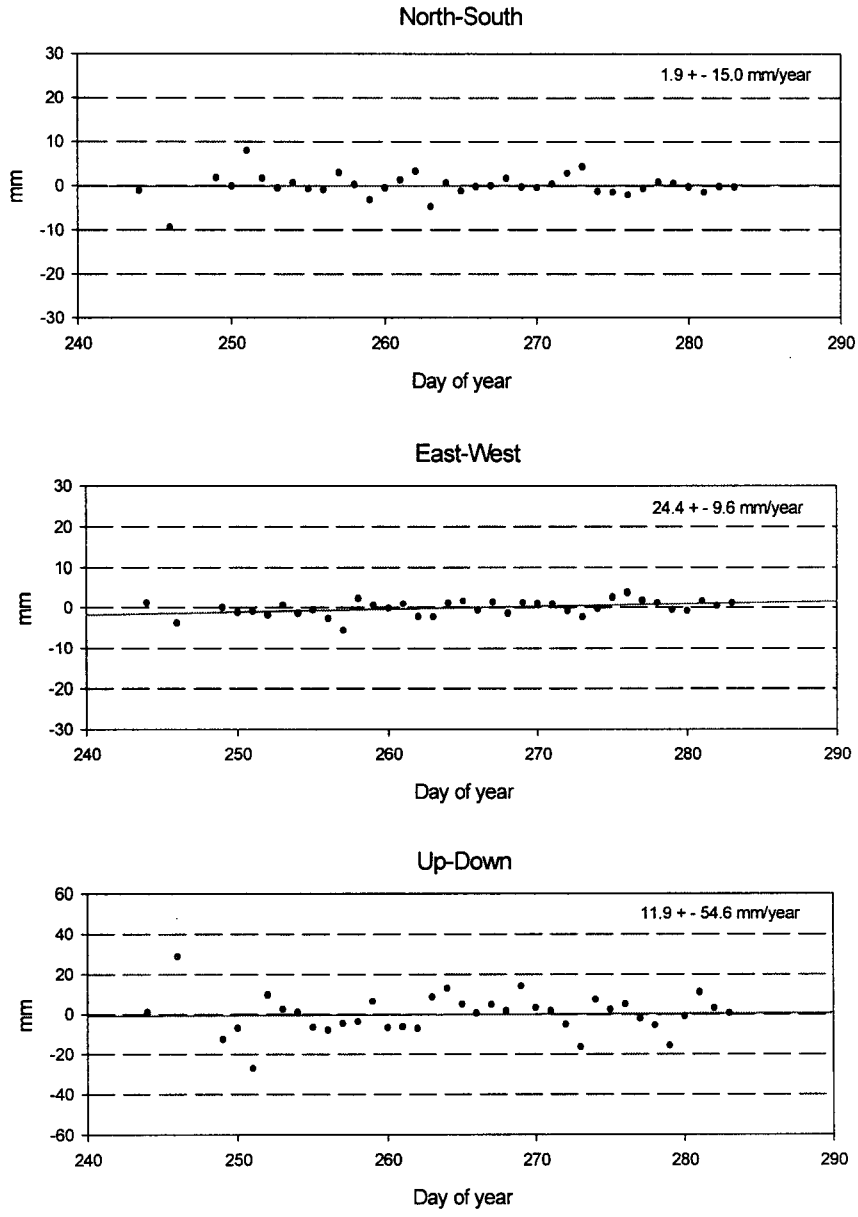


Fig. 8. Displacement of Suwon-B station(control room) obtained using GPS

Table 2. Instrumentation and survey date used in experiment

	관측기간	관측 일수 (실제)	자료처리 일 수		수신기	안 테 나
			대전	수원		
A관리소 (배관)	4.28- 9. 6	132 (103)	89	·	4000SS[1]	Com. L1/L2 w GP[3]
B관리소 (배관)	5.20-10.10	144 (128)	121	122	4000SSI	Com. L1/L2 w GP
B관리소 (건물)	9. 1-10.10	40 (40)	·	37	4000SSI	Choke Ring[4]
대 전 (기준)	4.28-10.10	·	·	·	4000SSI	Com. L1/L2 w GP
수 원 (기준)	4.28-10.10	·	·	·	SNR-8000[2]	Choke Ring

1) Trimble사에서 제작한 수신기
2) Allen Osborne Associates사에서 제작한 수신기
3) Trimble사에서 제작한 안테나
4) Margolin사에서 제작한 안테나

3.3. A관리소 관측 결과

시험대의 자료처리 결과를 바탕으로 A관리소는 대전 기준점에 대해 단기선(25km) 처리하여 최종 결과를 얻을 수 있었다. Fig.6에 대전-A관리소간의 결과가 나타나 있다. 그림에서 보듯이 A관리소가 남쪽으로 연간 6.8±2.7mm 움직이고, 동쪽으로 0.9±1.7mm, 위쪽으로 33.3±9.6mm씩 움직이는 것으로 나타났다. Fig.6에서 연간 움직인 양의 뒤에 붙은 숫자는 움직임의 표준오차(Standard Error)를 의미한다. 각 성분별 표준오차는 수직성분이 수평성분에 비해 약 3배 이상 크게 나타났다.

A관리소에 대한 약 140일간의 GPS 관측자료를 처리하여 구한 결과를 전체적으로 볼 때 동서방향의 움직임이 거의 없고, 남쪽방향으로 연간 약 1cm 이하의 미소 변위를, 위쪽방향으로는 약 3cm 이상의 큰 변위를 보이고 있다.

위쪽으로 1년에 33.3mm정도의 변위가 관측되는 것은 여러가능성이 있을 수 있으나 한 지점만을 관측하였기 때문에 섣불리 관리소의 움직임에 대해 단정짓기는 곤란하다. 좀 더 확실한 결과를 얻기 위해서는 여러 지점에 대해 장기간에 걸친 GPS 관측이 이루어져야 할 것이다.

3.4 B관리소 관측 결과

B관리소의 경우 수원을 기준으로 약 140일치의 GPS관측자료를 처리하여 결과를 얻었다. B관리소(배관)는 가장 침하가 심할 것으로 예상되어 긴 기간동안 GPS 관측을 했고, 그 결과 Fig. 7에서 보듯이 남북방향의 움직임은 거의 없는 것으로 나타난 반면에 서쪽으로는 1년에 11.6mm정도, 아래쪽으로는 10.7mm정도의 움직임을 나타냈다. 특히 상하방향의 움직임은 측정표준오차의 값과 거의 유사하여 B관리소가 실제로 아랫 방향으로 움직인다고 단정할 수 없지만, 서쪽방향으로의 움직임은 뚜렷이 나타나고 있다. 이 사실은 B관리소가 서서히 서쪽(바다쪽)으로 밀려나가고 있는 상태로 해석할 수 있는데, 관리소가 건설된 지역이 서해연안을 매립한 지역임을 감안할 때 가능한 결과로 생각된다. Fig. 7의 두 번째 그림에서 230일을 전후하여 up-turn이 보이는데 그 원인이 매립지의 불안정한 상태 때문인 것인지 아니면 GPS관측에 있어 계절적 변화에 의한 것인지는 현 단계로는 판단하기 어렵다. 보다 장기적인 측정이 이루어진다면 보다 확실한 원인을 파악할 수 있으리라 생각된다.

B관리소(배관)의 이러한 움직임이 배관의 변형에 의한 것인지 B관리소 전체의 움직임에 의한 것인지를 알아보기 위해 B관리소내 공급제어실 옥상에 추가로 GPS 장비를 설치하였고, 약 40일동안의 GPS 관측을 통해 두 지점간의 결과를 비교하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 수원을 기준으로 처리한 B관리소의 배관과 건물 옥상의 결과를 각각 보여준다.

B관리소의 노출배관에 대한 GPS연속관측에 비해 상대적으로 짧은 기간동안 관측된 자료를 처리하여 구한 결과이기 때문에 장기간에 걸친 관측결과에 비해 B관리소의 움직임이 훨씬 크게 나타나는데, 이는 Fig. 8의 결과가 신뢰도면에서 장기간 관측치를 사용한 Fig. 7에 비해 훨씬 못 미치는 사실을 반증한다. 따라서 짧은 기간동안 관측한 자료를 이용하여 구한 결과만을 가지고 직접적인 비교를 한다는 것은 약간 무리라는 점을 간접적으로 시사한다.

이들 그림에서 보듯이 남북방향의 움직임은 표준오차 한계내의 값을 가지며 거의 동일한 반면, 동서방향 움직임을 볼 때 건물이 배관에 비해 상대적으로 북쪽으로 움직이는 경향을 나타내고 있다. 이는 Fig. 7에서 배관이 남쪽으로 움직이는 것과 반대이므로 건물과 배관이 서로

분리되어 움직인다는 사실을 약하게나마 반증하고 있다. 한편 수직방향의 성분은 배관과 건물 모두 오차 한계내에서 움직이므로 서로 비교할 수 없다. 모든 결과를 종합할 때 B관리소의 경우 관리소 전체가 서쪽으로 움직인다고 보기 어렵고 배관자체가 움직이고 있다고 판단된다.

4. 결 론

고정밀 위치결정 시스템인 Static GPS를 이용한 배관 침하 감시기술 연구를 통하여 다음과 같은 결과들을 얻을 수 있었다.

1) GPS의 위치결정 및 변위측정 능력을 검증하기 위한 test bed 실험 결과 동서, 남북의 수평성분은 1.5mm, 수직성분은 7.5mm의 표준편차의 3차원 변위측정이 가능하다는 것이 정량적으로 입증되었다.

2) 이러한 기술적 검증을 통하여 A공급관리소 및 B공급관리소를 대상으로 5개월간의 GPS 측정결과를 분석한 결과, A관리소의 경우 남쪽으로 연간 6.8mm, 위쪽으로 33.3mm씩 움직임이 확인되었다. 한편 B관리소의 경우 서쪽으로 연간 11.6mm씩 움직임이 확인되었다.

3) B관리소의 5개월간 측정 움직임이 배관자체의 움직임인지 아니면 관리소 전체의 움직임인지를 확인하기 위해 실시한 약 40일간의 추가측정 결과, 배관 자체의 움직임 때문이라는 잠정적인 결론을 내렸다. 하지만 40일치의 측정결과로는 명확한 판단을 내릴 수 없었다.

4) Static GPS 시스템이 실시간은 불가능하지만 장기간 측정을 할 경우 배관이나 설비의 침하 및 변형 감시 현장업무에 적용 가능하다는 결론을 얻을 수 있었다. 그러나 정밀한 변위측정을 위해서는 인접한 지역에 위치한 GPS 기준점의 필요성이 대두되었으며, 정밀궤도력의 취득시간 및 자료처리 방법에 의해 짧은 시간동안의 변위에 대하여는 적응이 어렵다는 문제점이 제기되었다.

5) 이를 해결하기 위한 방법으로 실시각 이동측량 기법 및 전국을 커버하는 광역 GPS 기준점 자료의 이용, GPS 위성의 정밀궤도력 자체 생산, 실시각 자료처리 기법의 개발등과 같은 추가적인 연구가 진행되어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 한국가스공사,"공급배관 안전성 향상을 위한 배관 상시 감시 기술 개발", 98-KD-PI-계획-187-00.
2. 한국가스공사,"지하매설물 탐측기법 확립", 97-DD-PI-수시-188-11.
3. 표준과학연구원 부설 천문대, "GPS를 이용한 한반도 주변의 지각운동 측정에 관한 기초 연구".
4. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger H. and Collins, J., 1992, Global Positionig System Theory and Practice, Springer-Verlag(New York).