

위성기준점 안테나교체에 따른 수직위치 변동량의 정밀산정 Precise Estimation of Vertical Position Displacement by Replacement of CORS Antennas

정광호¹⁾ · 이영진²⁾

Jung, Kwang-Ho · Lee, Young-Jin

Abstract

In order to precisely determine the vertical displacements of CORS antenna phase centers caused by their replacement, intensive research has been carried out in this paper throughout processing GPS measurements made before and after the events. After applying the estimated displacement in the data processing, results show that coordinate repeatability of the vertical component is able to be 7.9mm on average. Comparing with results (e.g., 23.5mm) without applying the displacement, it was possible to conclude that these accuracies are significantly improved, which is equivalent to those before the event of the replacement.

Keywords : CORS, Antenna, Vertical Displacement, Phase Center

초 록

본 연구에서는 위성기준점의 안테나 교체로 인한 수직위치 변동량을 산출하기 위해 위성기준점의 데이터처리 에 의해 산출된 좌표를 이용하는 방법을 사용하였다. 이를 위해 안테나 교체 전과 후의 위성기준점의 데이터를 정밀하게 처리하여 높이좌표를 산출하고, 안테나 교체 전후에 산출된 높이좌표 차이를 계산하는 방법으로 안테나의 수직위치 변동량을 산출하였다. 본 연구에서 산출된 수직위치 변동량을 적용하여 안테나교체 전후의 데이터를 처리한 결과 두 기간동안 산출된 수직좌표의 반복재현성(repeatability)은 평균적으로 7.9mm로 계산되었다. 이는 수직위치 변동량을 적용하지 않은 경우의 23.5mm에 비해 상당히 개선된 결과이며, 안테나의 교체 이전의 데이터처리 결과의 반복재현성과 유사한 수준인 것으로 판단되었다.

핵심어 : 위성기준점, 안테나, 수직위치 변동량, 위상중심

1. 서 론

위성기준점은 1995년부터 GPS측위의 기준점 역할 및 지역 위성기준점의 자료서비스 등을 목적으로 설치, 운영되고 있으며, 국토지리정보원, 한국천문연구원, 지질자원연구원 등에서 약 90여개소가 운영되고 있다. 위성기준점에서 수신된 자료는 온라인을 통해 제공되고 있으며, 제공자료는 원시파일(raw data), SSF 파일, RINEX파일, 위성기준점의 위치좌표, 지구자전 매개변수, 위성궤도 등이다(국토지리정보원, 2010; 이영진, 2010).

국토지리정보원에서는 측량기준점의 역할 및 지각변동 조사 등의 목적으로 1995년 3월 수원에 위성기준점을 최초로 설치한 이후 1998년에 대구 등 5개소, 1999년에 서울 등 5개소, 2000년에 태백 등 3개소를 추가로 설치함으로써 총 14개의 위성기준점을 2008년까지 독자적으로 운영하였다. 국토지리정보원에서 운영된 14점은 수원 위성기준점의 경우 2000년 2월에 AOAD/M_T에서 Trimble Chock-Ring(TRM29659.00 DOME) 안테나 모델(antenna type)로 변경되었고, 수원(SUWN)을 제외한 13개의 위성기준점은 Trimble Chock-Ring(TRM29659.00 DOME)을 지

1) 정희원 · 건설공학부 초빙교수(E-mail:khjeong@kiu.ac.kr)

2) 교신저자 · 정희원 · 경일대학교 건설공학부 교수(E-mail:yjlee@kiu.ac.kr)

속적으로 사용하고 있다.

(구)행정자치부에서는 지적재조사 사업의 일환으로 1999년부터 위성기준점을 구축하기 시작하여 30개를 운영하였다. 2008년 3월 정부조직 개편으로 인한 측량법의 개정에 따라 (구)행정자치부에서 운영 중이던 30개의 위성기준점을 2008년 이후 점진적으로 통합하여 운영/관리하게 되었다. (구)행정자치부에서 운영한 30점의 위성기준점은 2008년 1월에 18개소, 2008년 12월에 6개소, 2009년 3월에 6개소 등 2008년과 2009년에 걸쳐 TRM Microcentered L1/L2 Geodetic Ant(TRM33429.00+GP) 모델에서 TRM Zephyr Geodetic Mark2 Ant(TRM55971.00 DOME) 모델로 안테나를 교체한 이력이 있다(국토지리정보원, 2010; 국토지리정보원 GPS기준점서비스 홈페이지).

안테나를 교체작업에서는 엄밀한 절차와 방법을 동반하지 않을 경우 탈착과정에서 정확한 위치에 안테나를 설치하지 못할 우려가 발생하며, 안테나 교체 이후에도 이전에 산출된 위성기준점의 고시성과를 동일하게 사용하기 위해서는 교체 전후 위성의 신호를 받는 위상중심(phase center)에 물리적인 위치변동이 생기지 않게 주의가 필요하다. 안테나의 위상중심은 GPS위성에서 송신한 신호를 수신하는 부분이며, GPS관측에 의해 계산되는 좌표는 이 부분의 위치를 반영한 결과이다. 신호 수신점인 위상중심의 기하학적 위치에 대한 명확한 정의가 이루어지지 않은 경우 추정위치의 정확도가 낮아질 우려가 있다(Hatanaka et al., 2001).

위상중심은 신호수신의 방향에 따라 변동될 수 있으며, 위상중심이 변하는 오차를 보정하기 위한 보정모델을 제공하고 있으며, 지각변동량 산출, 지구물리연구 분야, 정밀좌표 산출 등에서는 보정모델을 적용한 데이터처리를 실시하고 있다(박준규, 2010; 정광호 등, 2011; 윤홍식 등, 2001).

위상중심변동(PVC, Phase Center Variations)은 수 cm 가량의 수직방향 오차를 유발할 수 있기 때문에 위상중심의 명확한 정의는 매우 중요한 문제이다(Hatanaka et al., 2001). 특히 측지측량 분야에서 상대측위를 위한 기준점의 역할과 지각변동 및 지구물리 연구, 위성기준점 네트워크 기반의 RTK를 위한 보정서비스 제공 등에서 그 활용성이 큰 위성기준점의 경우 더욱 철저한 안테나 위상중심의 관리가 필요하다. 이에 국토지리정보원에서는 위성기준점의 고시성과에 안테나 교체로 인해 발생하는 높이좌표의 오차를 상쇄하기 위한 수직위치 변동량(offset) 수치를 위치좌표 정보와 함께 고시하고 있다(국토지리정보원, 2011).

위성기준점의 안테나 위상중심보정은 로봇팔을 이용한 절대 캘리브레이션 방법과 zero-baseline 등을 기반으로 하는 상대 캘리브레이션 방법 등이 사용될 수 있지만, 안테나교체가 발생한 측점을 대상으로 모든 위성기준점에서 작업을 수행해야 하기 때문에 복잡한 절차와 장기간의 작업기간 소요, 그로 인한 고비용이 발생하게 된다.

본 연구에서는 안테나 교체로 인한 수직위치 변동량을 산출하기 위해 캘리브레이션 방법을 적용하는 대신 위성기준점의 데이터처리에 의해 산출된 좌표를 이용하는 방법을 사용하였다. 이를 위해 안테나 교체 전과 후의 특정기간 동안 위성기준점의 데이터를 정밀하게 처리하여 높이좌표를 산출하고, 안테나 교체 전후 산출된 높이좌표의 차이를 계산하는 방법을 사용하여 안테나의 물리적인 수직위치 변동량을 산정하였다. 그리고, 산출된 수직위치 변동량의 정확도 평가를 위해 산출 좌표의 시계열 및 누적해 차이 분석과 반복재현성(repeatability) 계산을 수행하였다.

2. 안테나교체에 의한 물리적 위치변동 및 고시 수직위치 변동량 점검

(구)행정자치부에서 설치, 운영한 위성기준점들의 안테나 교체 이후에는 물리적 위치이동에 따른 위상 중심의 변동이 발생하였고, 위상중심의 변동에 대한 오차를 상쇄하기 위해 국토지리정보원에서는 2010년 위성기준점의 고시성과에 고시좌표와 함께 안테나교체 이력이 있는 위성기준점에 대해 안테나 수직위치 변동량을 제공하고 있다(국토지리정보원, 고시2010-189호).

안테나를 교체한 이후 데이터의 처리시 정확한 추정위치 특히 수직방향의 정확한 추정위치를 산정하기 위해서는 안테나 수직위치 변동량에 대한 검토가 이루어져야 한다. 이에 따라, 본 연구에서는 안테나의 교체 시점 전후의 변동이력에 대한 조사를 실시하였다.

안테나 교체 후 안테나의 수직방향에 대해 변동량이 발생하는지 여부를 점검하기 위해 안테나 수직위치 변동량을 적용하지 않고, 안테나 교체 전후의 데이터를 선정하여 한반도 주변에 위치한 IGS관측점을 기지점으로 사용하여 데이터를 처리하였다.

표 1은 각 위성기준점별로 고시된 수직위치 변동량을 적용한 경우와 수직위치 변동량을 적용하지 않은 경우 안테나 교체 전후의 높이차를 평균으로 계산하여 나타내고 있으며, 그림 1은 표 1의 내용을 그래프로 나타내고 있다.

그림 2는 안테나 교체 전후 기간 동안 안테나 수직위치 변동량을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 처리결과를 수직방향에 대한 시계열로 나타내고 있으며, 전체 30개의 위성기준점 중 정읍, 김천, 군위, 무주 등 4개 위성기준점의 예를 보여주고 있다.

표 1과 그림 1~그림 2의 결과를 살펴보면 국토지리정보원에서 고시한 수직위치 변동량을 적용하여 데이터를

처리한 경우 수직위치 변동량을 적용하지 않은 경우에 비해 안테나 교체 전과후의 수직방향 높이차의 수치가 상당히 감소하였다. 즉, BOEN, CHSG, DOND 등은 고시 안테나 수직위치 변동량을 적용한 이후 안테나 교체 전후의 높이차가 1cm 이하로 계산됨에 따라 고시 수직위치 변동량의 수치가 정확한 것으로 나타났으나, CHEN, INJE, KUNW 등은 1.5cm 이상의 높이차가 발생하고 있다.

표 1. 고시 안테나 수직위치 변동량 적용여부에 따른 안테나 교체 전후 높이차 비교(단위:mm)

위성기준점	수직위치변동량 미적용	고시 수직위치 변동량 적용	위성기준점	수직위치변동량 미적용	고시 수직위치 변동량 적용
BOEN	31.4	3.5	JEJU	34.3	-0.6
CHCN	-21.7	5.3	JUNG	38.9	-2.2
CHEN	69.7	33.7	KIMC	14.7	-0.3
CHLW	36.0	10.0	KUNW	41.8	22.8
CHNG	51.4	21.5	MUJU	53.6	2.6
CHSG	32.8	1.8	NAMW	13.8	-1.1
CHYG	59.6	2.6	NONS	41.5	-4.5
DOND	34.7	-3.2	PAJU	52.2	12.2
GOCH	48.7	13.7	PUSN	54.2	9.2
GSAN	36.9	2.9	SONC	33.7	5.7
HADG	38.2	4.2	WOLS	20.4	10.3
HONC	58.3	10.2	YANP	35.1	0.2
INCH	72.2	14.3	YECH	45.1	9.1
INJE	9.6	-33.4	YONK	54.6	9.5
JAHG	40.8	5.8	YOWL	38.8	0.8

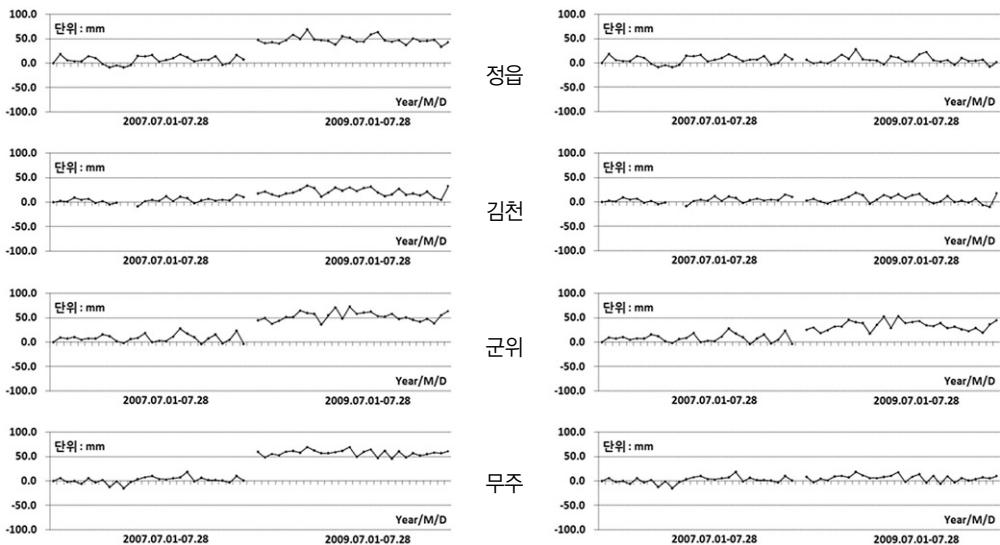


그림 1. 고시안테나 수직위치 변동량 적용 여부에 따른 안테나 교체 전후 높이차표 시계열 (정읍, 김천, 군위, 무주, 좌: 적용전, 우: 적용후)

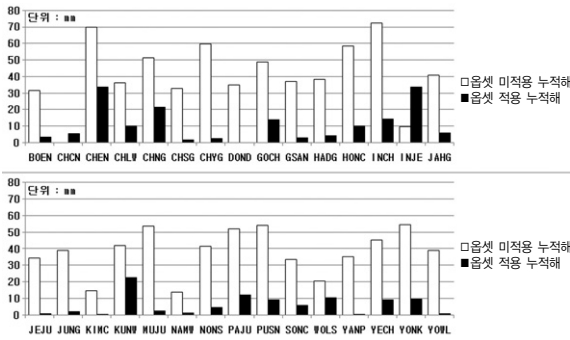


그림 2. 고시 수직위치 변동량 적용여부에 따른 안테나 교체 전후 높이차 비교

3. 안테나 교체에 따른 수직위치 변동량 정밀 산정

3.1 수직위치 변동량 산출 방법

해외에서는 1990년대 초부터 위상중심변동에 관한 다양한 연구가 진행되었고, 2004년 IGS 워크숍에서는 당시까지 진행된 여러 방법들이 발표되었(박관동 등, 2006)으며, Shumid 등(2005)은 각 방법의 특징과 장단점을 비교하였다. 박관동 등(2006)은 안테나 위상중심의 정확도와 보정량의 정확도를 분석하기 위해 상대보정의 경우 NGS모델, 절대보정의 경우 igs05_1365.atx모델을 적용한 데이터처리를 실시하고, 각 보정모델의 정확도를 비교한 바 있다.

위상중심 변동량을 보정하는 방법은 다양하게 제시되었지만 국제적으로 채택된 모델은 미국의 상대보정 방식과 독일의 절대보정 방식이다. 상대보정 방식은 NGS Corbin Facility에서 시행한 방법으로 다중경로 오차를 최소화하여 PVC현상만을 규명하기 위해 설계된 구조물을 설치하고, 한쪽에는 PVC가 없는 것으로 판단되는 안테나를 설치하고 다른 한쪽은 보정대상이 되는 안테나를 설치한다. 그리고, 두 지점의 좌표를 기반으로 L1, L2 데이터를 처리하여 좌표를 산출한 후 다음 매 순간 관측치의 잔차(residual)를 PVC로 간주하는 방식이다. 절대보정 방식은 독일의 하노버 대학과 Geo++사의 공동연구로 시행되었으며, 보정 대상이 되는 안테나를 로봇 팔에 설치한 다음 다양한 고도각과 방위각에서 GPS 신호수신이 가능하도록 로봇 팔을 기울이거나 회전시키면서 관측치를 기록한다. 관측을 통해 수집된 데이터를 처리하는 과정에서 Seeber 등(1998)이 제안한 수식으로 다중경로 오차를 제거한 다음 PCV 보정치를 산출한다(박관동 등, 2006).

본 연구에서는 안테나 교체로 인한 수직위치 변동량을 산출하기 위해 캘리브레이션 방법을 적용하는 대신 위성 기준점의 데이터처리에 의해 산출된 좌표를 이용하는 방법을 사용하였다. 이를 위해 안테나 교체 전과 후의 특정 기간 동안 위성기준점의 데이터를 정밀하게 처리하여 높이좌표를 산출하고, 안테나 교체 전후 산출된 높이좌표의 차이를 계산하는 방법을 사용하여 안테나의 물리적인 수직위치 물리적 변동량을 산정하였다(이영진 등, 2012a; 이영진 등, 2012b). 위성기준점의 데이터처리는 초고정밀 학술용 데이터처리 S/W인 Bernese 5.0을 사용하였으며(Dach et al., 2007), 데이터처리 정확도의 향상과 기선해석 시 오차의 영향을 최소화하기 위해 광역적 전리층 모델, 정밀 궤도력 등을 추가하여 데이터처리를 실시하였다.

본 연구에서는 위상중심의 변동량을 추정하기 위해 정확한 좌표(수직)를 결정하는 것은 중요한 부분이며, 상대측위방법으로 미지점의 좌표를 결정할 경우 기준점의 좌표를 고정하는 방식을 사용한다면 기지점에 포함된 오차로 인하여 추정된 위상중심 변동량의 오차가 상쇄 혹은 증폭되는 현상을 가져올 수 있다. 그러나, 기지점(기준점)을 구속조정하는 constraint 방식에 의한 상대측위방법은 기준점에 포함된 오차가 미지점의 위치추정량에 영향을 최소화 할 수 있다(이영진 등, 1990). 따라서, 데이터처리 방식은 구속조정(constraints)에 의한 상대(relative)측위 방식을 사용하였다.

데이터처리를 통해 안테나교체가 이루어진 위성기준점의 높이좌표 계산을 위한 기지점은 그림 4와 같이 안테나 교체가 이루어지지 않은 국토지리정보원에서 지속적으로 운영되어온 14개의 위성기준점을 사용하였다. 상대캘리브레이션 방법에서 1점의 기지점을 사용할 수 있지만, 단독기지점을 사용하는 경우 특정 지역에 위치한 위성기준점과는 장기선을 처리하여야 할 경우가 발생한다. 따라서, 본 연구에서는 기준점에서 측점이 멀어질수록 기선장에 따른 오차의 요인으로 특히 수직위치 해석정확도가 낮아질 우려가 있기 때문에 전리층 및 대류권 오차 등 기선장에 따른 오차를 최소화하기 위해 안테나교체가 발생하지 않고, 전국적으로 균등한 위치에 설치된 국토지리정보원에서 지속적으로 운영한 14점의 위성기준점을 기지점으로 사용하였다.

안테나 교체시기는 그림 3과 같이 2008년 3월, 2008년 12월, 2009년 3월 등 총 세 기간 동안 부분적으로 1년의 기간 동안 이루어져 왔다. 우리나라의 경우 수직방향의 지각이동량은 극히 미소하지만, 안테나 교체 전후의 기간

동안 산출된 높이차를 계산하여 수직위치 변동량을 산출할 경우 교체 전후 기간 동안 발생할 수 있는 지각변동 등 시간적인 영향이 수직위치 변동량에 포함될 우려가 있다. 따라서 데이터처리 기간을 포함하여 약 24개월의 기간 동안 한반도 수직 좌표변동량을 검토하였다. 그 결과 그림 5, 그림 6은 안테나 교체전과 교체후의 데이터처리 기간이 포함된 24개월 전체 기간동안 6개월 단위로 7일의 데이터 처리에 의해 계산된 일간해 시계열을 의미한다. 이 결과에 의하면 약 24개월 동안의 수직방향 지각변동량은 거의 변화가 없는 것으로 계산되었으며, 수직방향 지각변동량의 영향이 안테나 수직위치 변동량 산출에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 판단할 수 있었다.

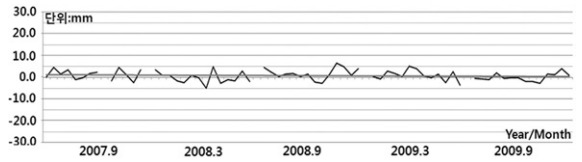


그림 6. 24개월 수직방향 지각변동 시계열(TEGN의 예)

3.2 수직위치 변동량 정밀산정

본 연구에서는 안테나 교체가 이루어지지 않은 국토지리정보원에서 통합 운영/관리 되기 이전에 독자적으로 운영 되어 온 14개의 위성기준점을 기지점으로 사용하여 2008년 3월에서 2009년 3월까지 안테나교체가 이루어진 (구)행정자치부의 30개 위성기준점의 안테나 수직위치 변동량을 산출하였다.

안테나 교체에 의한 수직위치변동량을 계산하기 위한 가장 좋은 방법은 실제로 안테나 교체가 발생한 날짜를 중심으로 데이터처리를 실시하는 것이 가장 바람직하지만, 안테나 교체가 서로 다르게 진행되었고, 안테나 교체 전후에 관측데이터의 수신이 단절된 공백기가 존재한다. 이에 전체 위성기준점의 데이터를 일괄적으로 처리하기 위해서는 44개 위성기준점의 관측데이터가 모두 존재하는 기간에 데이터처리를 실시하여야 한다. 또한, 시간의 흐름에 따른 영향을 최소화하기 위해 가능한 안테나교체 시점에서 가장 인접한 기간의 데이터를 사용하는 것이 바람직하다. 따라서 안테나 교체 이전의 데이터처리 기간은 2007년 7월 1일에서 7월 28일, 안테나 교체 이후의 데이터 처리 기간은 2009년 7월 1일에서 7월 28일 등 각각 28일간의 데이터를 사용하였다.

안테나 수직위치 변동량의 계산은 그림 7~그림 9와 같이 안테나교체 전후 각 28일간의 일간해 데이터를 처리하고, 표 2와 같이 28개 일간해 정규방정식의 누적해를 산출하여 그 높이차를 계산하는 방법으로 산출하였다. 그리고 본 연구에서 산출된 수직위치 변동량을 점검하기 위해 표 2에서는 본 연구에서 산출된 안테나 수직위치 변동량과 국토지리정보원에서 2010년에 고시한 위성기준점의 안테나 수직위치 변동량 수치와의 차이를 함께 계산하였다.

결과를 살펴보면 예비분석에서와 같이 안테나 수직위치 변동량을 적용하지 않은 경우에는 안테나교체 전후의 수직방향 일간해에서는 안테나 교체에 따른 위상중심의 물리적 변동에 의해 높이차이가 발생하였고, 높이차(안테나 수직위치 변동량)는 약 20mm~50mm로 계산되었다. 모든 위성기준점의 안테나 수직위치 변동량은 (+)방향으로 계산되었으나, CHCN의 경우는 (-) 방향으로 계산되었다.

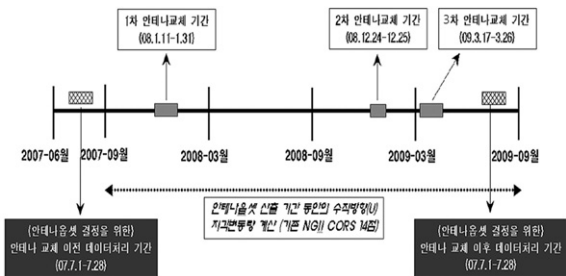


그림 3. 안테나 교체 및 데이터처리 기간

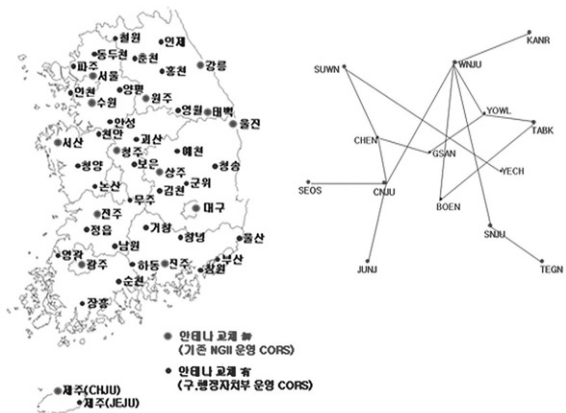


그림 4. 위성기준점 분포도 및 사용 기지점

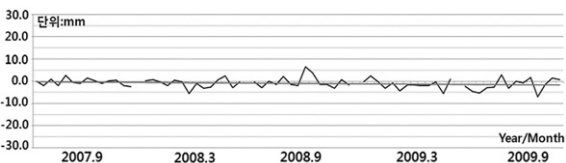


그림 5. 24개월간 수직방향 지각변동 시계열(SUWN의 예)

표 2. 본 연구의 산출 수직위치 변동량과 2010년 고시 수직위치 변동량 차이(단위:mm)

위성기준점	본 연구의 산출 수직위치 변동량	2010년 고시 수직위치 변동량	차 이	위성기준점	본 연구의 산출 수직위치 변동량	2010년 고시 수직위치 변동량	차 이
BOEN(보은)	32.3	28.0	-4.3	JEJU(제주)	34.1	35.0	0.9
CHCN(춘천)	-23.7	-27.0	-3.3	JUNG(정읍)	37.6	41.0	3.4
CHEN(천안)	60.8	36.0	-24.8	KIMC(김천)	15.3	15.0	-0.3
CHLW(철원)	32.6	26.0	-6.6	KUNW(군위)	42.9	19.0	-23.9
CHNG(창녕)	48.8	30.0	-18.8	MUJU(무주)	53.4	51.0	-2.4
CHSG(청송)	30.5	31.0	0.5	NAMW(남원)	16.7	15.0	-1.7
CHYG(청양)	56.6	57.0	0.4	NONS(논산)	43.0	46.0	3.0
DOND(동두천)	36.1	38.0	1.9	PAJU(파주)	45.7	40.0	-5.7
GOCH(거창)	45.1	35.0	-10.1	PUSN(부산)	52.2	45.0	-7.2
GSAN(괴산)	33.6	34.0	0.4	SONC(순천)	34.4	28.0	-6.4
HADG(하동)	39.1	34.0	-5.1	WOLS(울산)	42.7	14.0	28.7
HONC(홍천)	56.8	48.0	-8.8	YANP(양평)	33.6	35.0	1.4
INCH(인천)	74.0	58.0	-16.0	YECH(예천)	47.2	36.0	-11.2
INJE(인제)	7.4	43.0	35.6	YONK(영광)	55.0	45.0	-10.0
JAHG(장흥)	42.2	35.0	-7.2	YOWL(영월)	37.2	38.0	0.8

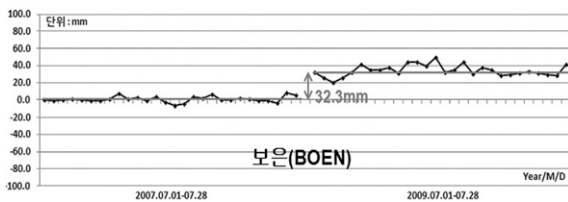


그림 7. 안테나교체 전후 높이차 및 수직위치 변동량 산출(BOEN의 예)

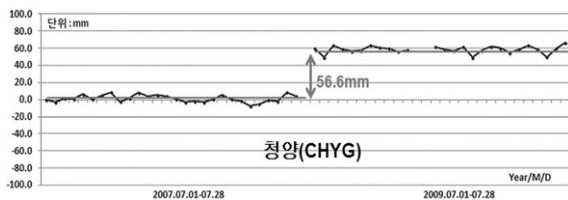


그림 8. 안테나교체 전후 높이차 및 수직위치 변동량 산출(CHYG의 예)

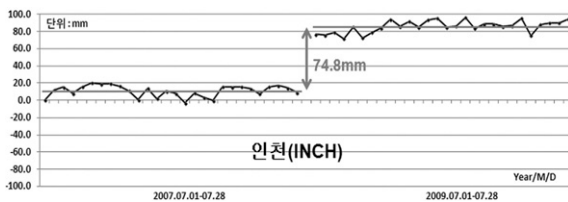


그림 9. 안테나교체 전후 높이차 및 수직위치 변동량 산출(INCH의 예)

그리고 본 연구에서 산출된 안테나 수직위치 변동량은 2010년 고시 수직위치 변동량과는 대부분 10mm 미만의 차이가 발생하였으나, CHEN -24.8mm, CHNG -18.8mm, INCH -16.0mm, INJE 35.6mm, KUNW -23.9mm 등 일부 위성기준점에서는 다소 큰 차이가 발생하였다. 두 결과의 차이가 발생하는 원인은 사용 파라미터 및 옵션 등 해석 기법의 차이, 데이터 처리 시기가 달라 데이터처리에 사용된 데이터의 수신환경 등이 원인인 것으로 판단된다.

4. 산정된 안테나 수직위치 변동량의 정확도 평가

본 연구에서 산출된 안테나 수직위치 변동량의 정확도를 평가하기 위해 한반도 주변 10개의 IGS관측점을 기지점으로 하여 동일한 조건 하에서 수직위치 변동량 미적용, 고시 수직위치 변동량 적용, 본 연구에서 산출된 수직위치 변동량을 각각 적용한 후 안테나 교체 전후 각 28일씩 총 56일 간의 위성기준점 데이터를 처리하여 정밀한 수직좌표를 산출하였다. 본 연구에서 산출된 수직위치 변동량의 정확도 평가는 산출 좌표의 시계열 및 누적해 차이 분석과 산출좌표의 반복재현성(repeatability) 계산에 의한 방식으로 평가하였다.

4.1 좌표차에 의한 평가

그림 10과 그림 11은 안테나 수직위치 변동량을 적용하기 전과 고시 안테나 수직위치 변동량 적용, 그리고 본 연구에서 산출된 안테나 수직위치 변동량을 적용하여 각각 안테나 교체전과 후의 데이터처리에서 산출된 56일간의 일간해 시계열을 동시에 나타내고 있으며, 표 3과 그림 11은 안테나교체 전후 일간해 정규방정식의 누적해 차이를 나타내고 있다. 결과를 살펴보면 안테나 교체 이후 안테나 수직위치 변동량을 적용하지 않은 경우에는 안테나 교체에 의한 위상중심의 물리적 변동에 의한 오차로 인해 20mm-70mm(평균 40.5mm)의 높이차가 발생하였으나, 고시 수직위치 변동량을 적용한 경우에는 안테나 교체 전후의 높이차가 5mm-30mm(평균 8.6mm)로 상당히 감소한 것을 알 수 있었다. 그러나 고시수직위치 변동량의 부정확성으로 인해 일부 위성기준점(CHEN, INJE, KUNW 등)에서는 여전히 안테나 교체로 인한 오차가 존재하고 있는 것으로 나타났다.

그러나 본 연구에서 산출된 안테나 수직위치 변동량을

적용함으로써 안테나교체 전과 후의 수직좌표 차이는 대부분 3.0mm 이내(평균 2.2mm)의 차이가 발생하고 있는 것으로 나타났으며, 고시 수직위치 변동량 적용 후에도 다소 큰 높이차가 발생한 위성기준점에서도 높이차가 상당히 감소한 것을 알 수 있었다. 다만, PAJU와 CHEN은 각각 6.5m, 8.8mm의 차이로 다른 위성기준점에 비해 다소 큰 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

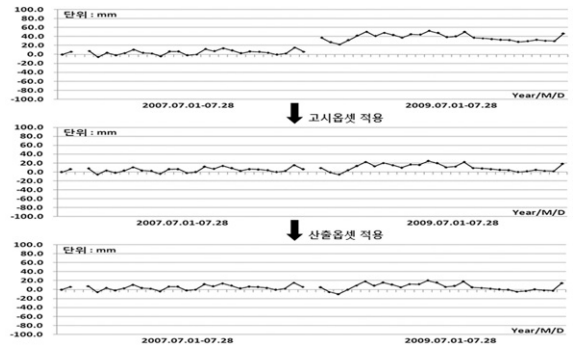


그림 10. 안테나 수직위치 변동량 사용여부에 따른 좌표시계열 (BOEN의 예)

표 3. 안테나 수직위치 변동량 사용여부에 따른 교체 전후 누적해 좌표차(단위:mm)

위성 기준점	수직위치 변동량 미적용 누적해	고시 수직위치 변동량 적용 누적해	산출 수직위치 변동량 적용 누적해	위성 기준점	수직위치 변동량 미적용 누적해	고시 수직위치 변동량 적용 누적해	산출 수직위치 변동량 적용 누적해
BOEN	31.4	3.5	-0.9	JEJU	34.3	-0.6	0.3
CHCN	-21.7	5.3	2.0	JUNG	38.9	-2.2	1.2
CHEN	69.7	33.7	8.8	KIMC	14.7	-0.3	-0.6
CHLW	36.0	10.0	3.4	KUNW	41.8	22.8	-1.1
CHNG	51.4	21.5	2.6	MUJU	53.6	2.6	0.2
CHSG	32.8	1.8	2.2	NAMW	13.8	-1.1	-2.9
CHYG	59.6	2.6	3.0	NONS	41.5	-4.5	-1.5
DOND	34.7	-3.2	-1.3	PAJU	52.2	12.2	6.5
GOCH	48.7	13.7	3.6	PUSN	54.2	9.2	2.0
GSAN	36.9	2.9	3.3	SONC	33.7	5.7	-0.7
HADG	38.2	4.2	-0.9	WOLS	20.4	10.3	3.5
HONC	58.3	10.2	1.5	YANP	35.1	0.2	1.6
INCH	72.2	14.3	-1.7	YECH	45.1	9.1	-2.1
INJE	9.6	-33.4	2.2	YONK	54.6	9.5	-0.5
JAHG	40.8	5.8	-1.5	YOWL	38.8	0.8	1.6

*수직위치 변동량 미적용 : 평균 40.5mm
 고시 수직위치 변동량 : 평균 8.6mm
 본 연구 산출 수직위치 변동량 적용 : 평균 2.2mm

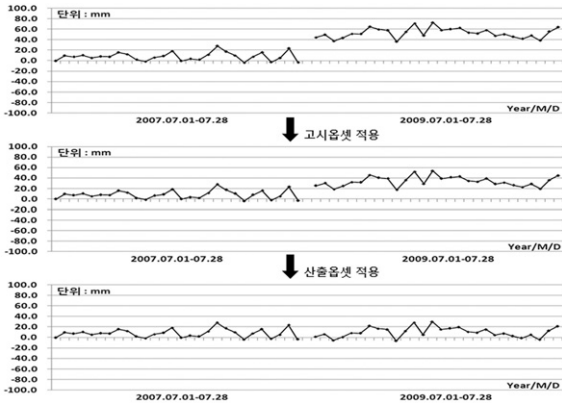


그림 11. 안테나 수직위치 변동량 사용여부에 따른 좌표시계열 (KUNW의예)

따라서 안테나 수직위치 변동량을 적용함으로써 데이터 처리 정밀도에 의한 좌표의 편차는 발생하고 있지만, 안테나교체에 의한 높이차가 발생하지 않은 것과 같은 경향을 나타내고 있으며, 안테나교체 전과 후의 수직좌표 차이는 매우 감소한 것을 알 수 있다.

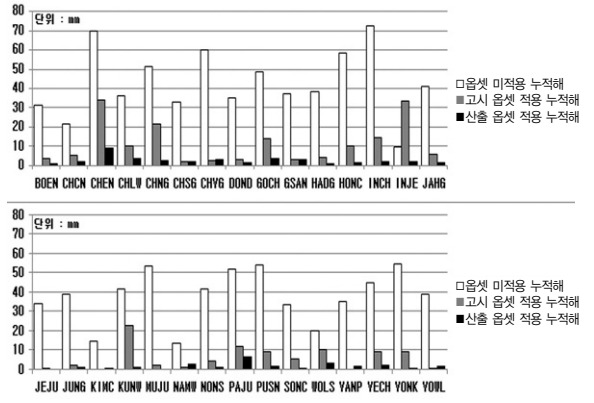


그림 12. 안테나 수직위치 변동량 사용여부에 따른 교체 전후 누적해 좌표차

4.2 반복재현성 계산(정밀도)에 의한 평가

안테나 수직위치 변동량을 점검하기 위한 또 다른 방법으로 일간해의 반복재현성 추정을 통해 정밀도를 평가하는 방법을 사용하였다. 표 4와 그림 13은 수직위치 변동량을 적용하지 않은 상태에서 안테나교체 전후의 전체 데이

표 4. 안테나 수직위치 변동량 사용여부에 따른 높이좌표 반복재현성(단위:mm)

위성 기준점	수직위치 변동량 미적용 누적해	고시 수직 위치 변동량 적용 누적해	산출 수직위치 변동량 적용 누적해	위성 기준점	수직위치 변동량 미적용 누적해	고시 수직위치 변동량 적용 누적해	산출 수직위치 변동량 적용 누적해
BOEN	18.3	7.3	6.7	JEJU	23.0	13.8	13.9
CHCN	14.7	11.0	10.6	JUNG	22.2	7.8	8.0
CHEN	38.4	21.7	13.0	KIMC	10.7	6.7	6.6
CHLW	19.9	8.0	5.8	KUNW	24.2	15.6	8.7
CHNG	28.9	15.2	9.3	MUJU	28.8	6.8	6.4
CHSG	18.8	6.5	6.6	NAMW	10.1	6.0	6.0
CHYG	31.6	6.3	6.4	NONS	23.0	6.2	6.1
DOND	19.6	6.0	6.0	PAJU	28.4	10.6	9.0
GOCH	26.7	10.6	7.4	PUSN	29.6	9.9	8.3
GSAN	20.8	7.0	7.1	SONC	19.6	8.2	7.1
HADG	22.5	9.7	9.1	WOLS	23.5	7.9	3.2
HONC	31.5	10.1	8.2	YANP	19.5	5.0	5.2
INCH	38.7	12.1	8.7	YECH	24.5	8.6	6.6
INJE	11.7	18.4	10.3	YONK	29.5	8.9	6.6
JAHG	23.5	9.6	8.7	YOWL	21.4	5.6	5.7

*수직위치 변동량 미적용 : 평균 23.5mm
 고시 수직위치 변동량 적용 : 평균 9.6mm
 본 연구 산출 수직위치 변동량 적용 : 평균 7.9mm

터처리를 통해 추정된 일간해의 반복재현성과 본 연구에서 산출된 안테나 수직위치 변동량을 적용한 상태에서 안테나교체 전후의 전체 데이터처리를 통해 추정된 일간해의 반복재현성을 나타내고 있다.

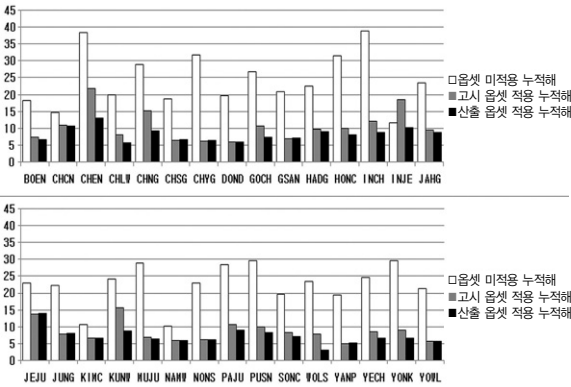


그림 13. 안테나 수직위치 변동량 사용여부에 따른 높이좌표 반복재현성

반복재현성을 통한 정밀도 평가의 결과를 살펴보면 안테나 수직위치 변동량을 적용하지 않은 경우에는 평균적으로 23.5mm로 계산되었으며, 고시 수직위치 변동량을 적용한 경우에는 평균적으로 9.6mm로 크게 감소하였다.

그리고 본 연구에서 산출한 안테나 수직위치 변동량을 적용한 경우에는 평균적으로 7.9mm로 계산되었다. 이는 안테나 수직위치 변동량 수치를 추가하여 보정함으로써 안테나교체에 의한 위상중심의 물리적 변동량이 상쇄된 것으로 판단된다.

2010년 지각변동 연구에서 안테나교체가 이루어지지 않은 2000년에서 2007년까지의 수직방향의 일간해 반복재현성의 결과가 평균적으로 7.8mm이고(국토지리정보원, 2010), 본 연구에서 산출된 수직위치 변동량을 적용한 데이터처리에서 산출된 안테나 교체 전후 전체의 일간해 반복재현성이 7.9mm인 점을 감안한다면 향후 위성기준점의 고시성과를 사용하여 안테나 교체 이후의 위성기준점 성과를 산출할 경우 본 연구에서 산출된 수직위치 변동량을 적용함으로써 안테나교체에 의한 오차요인을 거의 없을 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구에서는 위성기준점의 안테나 교체로 인한 수직위치 변동량을 산출하기 위해 위성기준점의 데이터처리

에 의해 산출된 좌표를 이용하는 방법을 사용하였다. 이를 위해 안테나 교체 전과 후의 위성기준점의 데이터를 정밀하게 처리하여 높이좌표를 산출하고, 안테나 교체 전후에 산출된 높이좌표 차이를 계산하는 방법으로 안테나의 수직위치 변동량을 산출하였다.

안테나교체 전후 산출된 높이좌표의 시계열을 분석한 결과 안테나 수직위치 변동량을 적용하지 않은 경우에는 평균적으로 40.5mm의 높이차가 발생하였으나, 고시 수직위치 변동량을 적용한 경우에는 안테나 교체 전후의 높이차가 평균적으로 8.6mm로 상당히 감소하였고, 본 연구에서 산출된 안테나 수직위치 변동량을 적용함으로써 안테나교체 전과 후의 수직좌표 차이는 대부분 3.0mm 이내의 차이가 발생하고 있는 것으로 나타났다. 그리고, 반복재현성을 통한 정밀도를 평가한 결과 수직위치 변동량을 적용하지 않은 경우에는 평균적으로 23.5mm로 계산되었으며, 고시 수직위치 변동량을 적용한 경우에는 평균적으로 9.6mm로 크게 감소하였다. 그리고 본 연구에서 산출한 안테나 수직위치 변동량을 적용한 경우에는 평균적으로 7.9mm로 계산되어 고시 수직위치 변동량을 적용한 경우와 유사하였지만, 고시 수직위치 변동량을 적용한 경우에도 여전히 안테나교체 전후 높이차가 크게 발생한 일부 위성기준점에서 높이차가 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 안테나 교체에 의한 수직위치 변동량 산정 방식은 고정밀 학술용 데이터처리 S/W를 사용할지라도 수직위치 해석 오차가 포함될 우려가 있다. 따라서, 더욱 정밀한 결과를 산정하기 위해서는 캘리브레이션의 수행이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 상대 캘리브레이션 방법으로 위상중심 변동량을 계산하기 위해서는 기선장에 따른 오차의 최소화는 물론 안테나 위상중심은 다중경로의 영향을 받기 때문에 다중경로의 환경이 유사한 관측소 인근에 기준국을 설치하는 zero-baseline 방식 등 향후 위성기준점의 안테나 교체에 대비하여 안테나 교체방법과 절차를 정립할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

국토지리정보원 (2010), 위성기준점 측량성과 고시, 고시 제2010-189호.
 국토해양부 국토지리정보원 (2010), 위성기준점 활용확대 및 지각변동 연구.
 국토해양부 국토지리정보원 (2011), 동일본 대지진에 따

- 른 지각변동관측 해석기법 연구.
- 박관동, 원지혜 (2006), GPS 안테나 위상중심변동 보정모델 비교, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제24권, 제4호, pp. 319-326.
- 박준규 (2010), 정밀절대측위를 이용한 양산지역의 지각변위 해석, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제28권, 제2호, pp. 289-295.
- 윤홍식, 황진상 (2001), GPS 상시관측소의 절대좌표 산정에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제19권, 제4호, pp. 415-423.
- 이영진, 이석찬 (1990), 직교분해법에 의한 측지망의 조정, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 10권, 제4호, pp. 95-101.
- 이영진 (2010), 국가 CORS와 표석기준점의 통합활용 전략 연구, 한국지적학회지, 한국지적학회, 제26권, 제1호, pp. 253-263.
- 이영진, 정광호, 이명준 (2012a), 동아시아지역의 GNSS CORS 지구관측 네트워크(EAREF) 구성에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제30권, 제2호, pp. 199-210.
- 이영진, 정광호 (2012b), 국제 GNSS관측망에 의한 지각변동관측 데이터의 처리공정(안) 제시, 한국지적학회지, 한국지적학회, 제28권, 제1호, pp. 63-74.
- 정광호, 이흥규 (2011), GPS 측지망 조정을 통한 국가기준점 성과의 상시산정 체계에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 29권, 제 4호, pp. 367-380.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., Mei, M. (2007), *Bernese GPS Software(Version 5.0)*, Astronomical Institute, University of Bern.
- Hatanaka Y., Sawada M., Horita A., and Kusaka, M. (2001), Calibration of antenna-random and monument-multipath effect of GEONET (Part1:Measurement of phase characteristics), *Earth, Planets and Space*, Vol. 53, No. 1, pp. 13-21.
- Schmid, R., Mader, G., and Herring, T. (2005). From Relative to Absolute Antenna Phase Center Corrections, In: Meindl(Ed). *Celebrating a Decade of the International GPS Service - Workshop and Symposium 2004*, pp. 209-219, University of Berne, Switzerland, March 1-5, 2004, IGS.
- Seeber, G., Menge, F., Volkens, C., Wubbena, G., and Schmitz, M. (1998). Precise GPS positioning Improvements by Reducing Antenna and site Dependent Effects. In: Brunner(Ed). *Advances in Positioning and Reference Frames*, IAG Symposia, Vol. 118, pp. 237-244, Rio de Janeiro, Brasil, September 3-9, 1997, Springer Verlag.
- 국토지리정보원, GPS기준점 서비스 홈페이지, <http://gps.ngii.go.kr>.

(접수일 2012. 06. 14, 심사일 2012. 08. 22, 심사완료일 2012. 08. 31)