

동아시아지역의 GNSS CORS 지구관측 네트워크(EAREF 2012.0) 좌표산정 연구

Coordinates Computation of the EAREF 2012.0 for Earth Observations in the East-Asia Region

이영진¹⁾ · 정광호²⁾ · 유인식³⁾

Lee, Young-Jin · Jung, Kwang-Ho · Ryu, In-Sik

Abstract

EAREF(East-Asia Reference Frame) is based on the Eurasian Plate which is considered relatively stable. It is managing the coordinate reference system by a specific epoch through the networking of GNSS CORS of the East-Asia region covering North-east and South-east Asia. Also it'll be the goal to assist integrating the geospatial information management.

This study aims to estimate the precise coordinates of EAREF in the East-Asia region at the epoch of January 1st of 2012 (2012.0) after the Great East Japan Earthquake. It is related to 1st stage study for construction of data sets and made up the data processing techniques through the various experiments to upgrade the accuracy. Based on the results of the study, we calculated the initial precise coordinates of the EAREF network from the 2012.0 epoch covering the East-Asia region. The accuracy of the estimated coordinates was compared with the weekly solution provided by the IGS analysis centre. The differences were 0.004m, 0.007m and 0.009m at the directions of X, Y and Z respectively. In addition, this study reviews the next procedure how to implement and upgrade the EAREF network.

Keywords : EAREF, East-Asia region, GNSS CORS, epoch 2012, precise coordinates

초 록

EAREF(East-Asia Reference Frame)는 지각판이 비교적 안정된 유라시아 플레이트를 기초로 동북아시아와 동남아시아를 포괄하는 동아시아 지역의 GNSS CORS 지구관측 네트워크를 구축하고 특정한 기준시점에서 좌표기준계를 관리하여 공간정보의 통합을 지원하는 것을 목표로 하고 있다.

본 연구에서는 동일본 대지진 이후인 2012년 1월 1일(2012.0) 기준시점에 대한 동아시아 지역의 EAREF의 정밀좌표 산정을 목적으로 하고 있으며, 데이터셋 구축에 대한 1차 연구에 이어 데이터 처리의 정확도 향상을 위한 다양한 실험을 거쳐 데이터 처리 방식을 도출하였다. 그리고 이를 적용하여 동아시아 지역에 위치한 GNSS 상시관측망 EAREF의 2012.0 기준시점에 대한 정밀좌표의 초기결과를 산출하였다. 산출된 EAREF의 2012.0 시점의 정밀좌표는 IGS해석센터의 주간해와 X, Y, Z방향에서 평균적으로 각각 0.004 m, 0.007 m, 0.009 m의 차이가 나타났다. 또한, 향후 진행해야 할 EAREF 네트워크의 구현방향에 대하여 고찰하였다.

핵심어 : EAREF, 동아시아 지역, GNSS 상시관측망, 기준시점 2012, 정밀좌표

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

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

3) 경일대학교 대학원 석사과정 (E-mail : kokoatos@naver.com)

1. 서론

IGS(International GNSS Services)는 IAG와 IUGG의 주도로 200여 개의 측지 및 지구물리분야를 담당하고 있는 국가 기관이 참여하는 비영리 국제기구로서 GNSS 등 위성측지 기술을 활용한 다양한 서비스를 지원하고 있다. IGS는 독자적인 GNSS 상시관측망을 운영하는 것이 아니라 세계 각국의 국가 및 산하 기관과 단체에서 운영중인 GNSS CORS중에서 엄격한 기준을 만족하는 상시관측점을 등록하고 관측데이터를 데이터센터(IGS Data Center)에서 관리하고 있다(IGS, 2012; Park, 2004).

IGS관측점 고시좌표의 기준인 지구기준좌표계(TRS)로서 ITRS(International Terrestrial Reference System)는 1991년 오스트리아의 비엔나에서 개최된 IUGG(International Union of Geodesy and Geophysics) 총회에서 채택된 TRS이며 IERS의 해석센터에서 VLBI, LLR, SLR, GPS 및 DORIS의 우주측지 기술에 의해 ITRF로 구현되었다(Altamini, 2002; Boucher, 1999; Baek, 2009).

ITRF2005는 종전의 ITRF와 달리 우주측지 기술의 시계열 결과를 직접 분석하여 최종 장기해(long term solution)을 만들고 이를 2000년 1월 1일(2000.0)을 기준시점에서 통합한 것이며, 원점은 SLR 시계열, 그리고 스케일은 VLBI 시계열을 사용하여 결정하였다. 최근 2011년 4월 17일부터 적용되고 있는 ITRF2008은 각각 29년, 26년, 12.5년, 16년동안 관측된 VLBI, SLR, GPS 및 DORIS 정보를 사용하여 ITRF2005와 거의 유사한 방법을 적용하여 구현되었으며, 2005년 1월 1일(2005.0)을 기준시점으로 사용하고 있다.

ITRF2005와 ITRF2008은 개념적으로 거의 유사하지만, 원점이동 성분에 대한 차이는 X, Y, Z축에서 각각 -0.5mm, -0.9mm, -4.7mm, 이동속도는 X, Y, Z축에서 각각 0.3mm/yr, 0.0mm/yr, 0.0mm/yr인 것으로 계산된 바 있다(Altamini, 2008).

한편, 유럽대륙의 경우에는 EUREF(European Reference Framework)를 기준좌표계로 채택하고 있으며 이는 2007년부터 유럽 국가지도·지적 관련기관으로 구성된 Eurogeographics와의 협력체제로서 유럽기준계인 ETRS89(European Terrestrial Reference System 1989)와 EVRS(European Vertical Reference System)에 대한 정의, 구현, 유지관리를 담당하고 있다.

ETRS89는 기준시점 1989.0에서 ITRS에 일치하는 것으로 정의되며, EUREF의 골격은 약 250점으로 구성되는 EPN(EUREF Permanent Network)이며 최상위 A급의 경우에는 1 cm의 위치정확도로 유지관리해 오고 있다. 이 ETRS89

는 2007년 유럽연합에서 법률적 기준계로 채택하였으며 최초의 대륙측지계이다(Kutterer, 2012).

또한 아시아-태평양 지역에서 유럽과 유사한 형태의 시도도 진행되고 있으며 2009년 18차 유엔지역지도제작회의(UNRCC)의 채택에 따라 아시아-태평양 전지역을 대상으로 2010년부터 APREF(Asia-Pacific Reference Frame) 프로젝트를 추진하고 있다(Matsuzaka, 2012). 그러나 아시아-태평양 대륙은 유럽의 경우와 달리 동일한 유라시아판에 속해 있지 않고 인도네시아와 호주 사이에 커다란 지각변동이 있어 동아시아 지역과 호주 지역과의 측지계 결합이 쉽지 않다는 어려움이 있다. 또한 IAG의 차세대 GGOS 관측망에서도 아시아-태평양 지역 전체가 아니라 중동-인도지역, 중앙아시아 지역, 동아시아 지역(동북아시아와 동남아시아를 포함), 호주-뉴질랜드 지역, 태평양 지역으로 구분하는 계획(Matsuzaka, 2012)을 갖고 있다.

따라서 한 국가의 세계측지계를 유지관리 뿐만 아니라 지도 등 대륙내의 모든 공간정보를 통합활용하기 위해서는 특정한 시점에서 유럽과 같은 형식으로 대륙의 기준좌표계를 관리할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 비교적 안정된 유라시아 플레이트를 기초로 동북아시아와 동남아시아를 포괄하는 동아시아 지역의 지구관측 네트워크인 EAREF(East-Asia Reference Frame)의 구축을 시도하게 되었다.

즉, EAREF(East-Asia Reference Frame)는 지각판이 비교적 안정된 유라시아 플레이트를 기초로 동북아시아와 동남아시아를 포괄하는 동아시아 지역의 GNSS CORS 지구관측 네트워크를 구축하고 특정한 기준시점에서 좌표기준계를 관리하여 공간정보의 통합을 지원하는 것을 목표로 하고 있다.

그리고 2011년 3월 11일 5시 46분경 M9.0의 동일본 대지진이 발생하여 동북아 지역에 큰 규모의 지각이동이 발생한 것으로 알려졌다(Nishimura, 2011; USGS, 2011; Lee, 2012; NGII, 2011). 따라서 이들 지역에서 지각변동량을 추정할 경우에 대지진 이전인 2005년 1월 1일을 기준시점으로 결정된 IGS08 기준계상의 IGS관측점의 고시좌표 및 속도벡터 보다는 대지진 이후에 특정한 기준시점에서 결정된 IGS관측점의 좌표와 속도벡터를 초기좌표로 사용하는 것을 제안하고 있다(Dach, 2007; NGII, 2010).

본 연구에 앞서 사전연구로서 Lee 등(2012)에서는 기지점수에 따른 영향분석, 기지점과의 거리에 따른 영향분석, 기지점과의 배치에 따른 영향분석, 관측범위에 따른 영향분석 등의 선행 연구를 진행하였으며, 좌표차 비교 및 시계열작성에 의한 경향분석, 반복재현성 평가, 그리고 IGS정밀좌표와의 비교 방법 등을 동시에 사용하여 각각의 결과를 제시한 바

있다(Lee, 2012).

본 연구에서는 동일본 대지진 이후인 2012년 1월 1일 (2012.0) 기준시점에 대한 동아시아 지역의 EAREF의 정밀좌표 산정을 목적으로 하고 있으며, 데이터셋 구축에 대한 1단계 연구에 이어 데이터 처리의 정확도 향상을 위한 다양한 실험을 거쳐 데이터 처리방식을 도출하였다 그리고 이를 적용하여 동아시아 지역에 위치한 GNSS 상시관측망 EAREF의 2012.0 기준시점에 대한 정밀좌표의 초기결과를 산출하고 정확도를 평가하였다. 또한 향후 EAREF의 구현방향을 고찰하였다

2. 좌표산정을 위한 실험 및 분석

동아시아 지역에 위치한 GNSS CORS는 우리나라의 SUWN, DAEJ, 일본의 TSKB, USUD, 중국의 BJFS, SHAO, 몽골지역의 IRKT, ULAB 등이 설치/운영되고 있으며, 관측점간의 거리는 최소 수백 km에서 2,000km의 장기선으로 이루어져 있다.

Lee 등(2012)에서는 동아시아 지역에 위치한 GNSS CORS의 정밀좌표 및 속도벡터를 추정하기 위해서 기지점의 사용수, 기지점과 미지점간의 기하학적 거리, 기지점의 배치 형태, 관측범위 등 관측망의 구성에 따른 다양한 분석을 실시한 바 있다.

본 연구에서는 선행연구 결과를 기반으로 데이터 처리 방법(기선해석 전략), 최저위성고도각, 기지점의 구축에 따른 결과 분석 등 데이터 처리 및 좌표산정 방식에 따른 다양한 데이터셋을 구축하고, 2012년 1월 1일 기준시점에 대한 동아시아 지역 GNSS CORS의 정밀좌표를 산출하기 위한 사전 실험 및 결과분석을 수행하였다.

2.1 기선해석 방식에 따른 실험의 분석

데이터 처리(data processing)은 GNSS CORS의 정밀좌표를 산정하기 위해 필수적인 단계이며, 데이터 처리를 위한 기법(strategy)은 Fig. 1과 같이 관측값이 가장 많은 측정간을 기선해석하는 OBS-MAX 방식, 가장 짧은 측정간의 기선해석을 실시하는 SHORTEST 방식, 그리고 기선해석 처리자의 판단에 따라 수동적으로 기선해석이 가능한 MANUAL 방식 등이 있다.

본 연구에서는 데이터 처리 방법 및 기선해석 전략이 추정되는 좌표 및 결과 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위해 데이터셋을 구성하였고, 각각의 방식을 적용하여 일간 단위로 데이터 처리 및 망구성을 하였다. 단, MANUAL 방식에서는 모든 측정점을 연결하는 폐합형으로 데이터를 처리하였다.

Fig. 2는 각각의 방식을 적용하여 2012년 1월 1일에서 1월 7일까지 7일간의 데이터 처리를 통해 산출된 SHAO와 BJFS의 일간해 시계열을 예로 나타내고 있다. 결과를 살펴보면 OBS-MAX 방식, SHORTEST 방식, MANUAL 방식은 모두 유사한 결과를 산출하는 것으로 나타났다. 그리고, Table 1은 산출된 일간해를 기반으로 각 GNSS CORS의 RMSE를 일자별로 평균계산한 정확도를 나타내고 있으며, 세 방식 모두 0.0010m~0.0020m 수준으로 비슷한 정확도로 산출된 것을 알 수 있다.

이 결과를 종합하면, 동아시아 지역 GNSS CORS의 데이터 처리에서는 어느 방식을 사용하더라도 무방한 것으로 판단된다. 그러나, OBS-MAX 방식, SHORTEST 방식은 자동으로 데이터 처리가 진행되지만 MANUAL 방식은 각 측정점간의 모든 기선 연결을 모두 수동으로 진행하여야 한다. 데이터 처

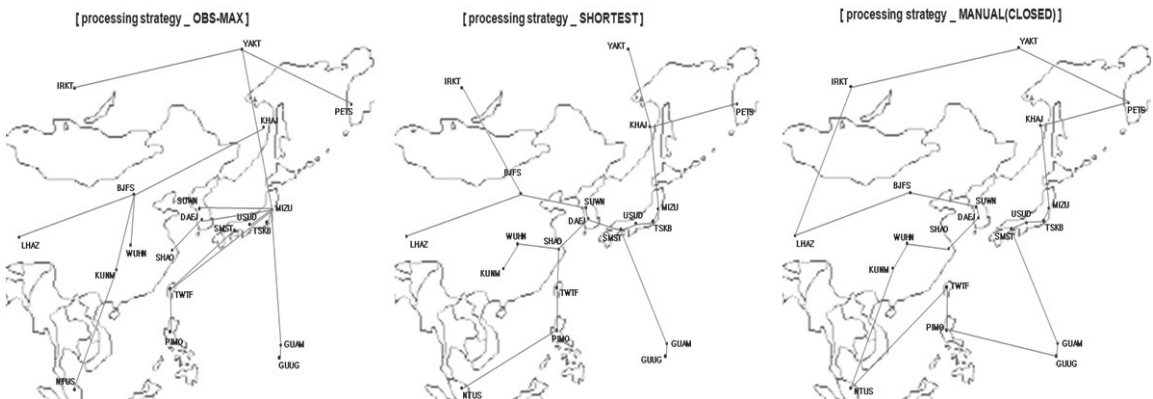


Fig. 1. Configuration types of baseline analysis (left:OBS-MAX, middle:SHORTEST, right:MANUAL)

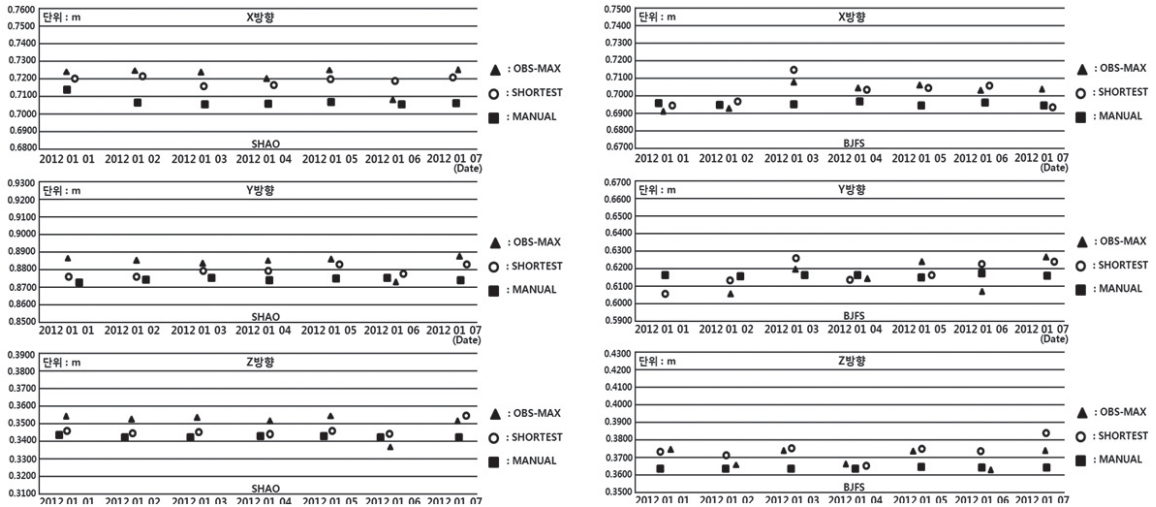


Fig. 2. Example of daily solution(left:SHAO, right:BJFS)

Table 1. Accuracy of daily solution in baseline types(RMSE)

Date	Coord.	OBS-MAX (m)	SHORTEST (m)	MANUAL (m)
2012-1-1	X	0.0015	0.0014	0.0012
	Y	0.0020	0.0019	0.0012
	Z	0.0017	0.0016	0.0012
2012-1-2	X	0.0017	0.0013	0.0012
	Y	0.0019	0.0017	0.0012
	Z	0.0016	0.0014	0.0012
2012-1-3	X	0.0015	0.0014	0.0012
	Y	0.0018	0.0017	0.0012
	Z	0.0017	0.0014	0.0012
2012-1-4	X	0.0016	0.0014	0.0013
	Y	0.0019	0.0017	0.0013
	Z	0.0017	0.0014	0.0013
2012-1-5	X	0.0015	0.0013	0.0012
	Y	0.0020	0.0017	0.0012
	Z	0.0019	0.0014	0.0012
2012-1-6	X	0.0018	0.0014	0.0012
	Y	0.0023	0.0017	0.0012
	Z	0.0018	0.0015	0.0012
2012-1-7	X	0.0015	0.0014	0.0012
	Y	0.0020	0.0019	0.0012
	Z	0.0019	0.0016	0.0012

리를 통해 GNSS CORS의 정밀좌표나 특히 속도벡터를 산출한 경우 다년간 누적된 데이터를 처리해야 하는 점과 처리해

야 할 GNSS CORS의 수가 증가할 경우에는 MANUAL 방식은 데이터 처리에 많은 시간과 인력이 소모되는 단점이 있다.

그리고, OBS-MAX 방식으로 처리된 기선은 SHORTEST 방식으로 처리된 기선에 비해 장기선으로 구성되어 기선장에 따른 오차의 증가가 우려되지만(Park, 2010), 동아시아 지역에서는 OBS-MAX 방식으로 처리된 기선은 대부분 최대 2,000 km를 넘지 않기 때문에 사전 연구결과(Lee, 2012)를 참조한다면 최대 2,500km까지는 기선장에 의한 추정위치 정확도에 큰 문제가 발생하지 않으므로 충분한 자유도를 확보할 수 있는 OBS-MAX 방식으로 데이터 처리(기선해석) 및 망구성을 하는 것이 가장 바람직할 것으로 판단된다.

그러나 관측범위가 동아시아 지역에서 광범위한 지역으로 확대될 경우에는 기선해석 방식에 대한 새로운 검토가 필요할 것으로 생각된다.

2.2 최저 위성고도각에 따른 실험의 분석

동아시아 지역에 위치한 GNSS CORS는 관측점간의 거리가 최소 수 백 km에서 2,000km로 이루어져 있으며, 관측점간의 기선장이 장기선으로 이루어져 있다. 따라서, 추정해를 산정하기 위해서는 수 백 km에서 수 천 km의 장기선에 대한 모호정수(ambiguity)를 결정해야 하며, 계산된 모호정수의 정확도는 데이터 처리에 적용되는 위성의 최저고도각이 중요한 요소가 될 수 있다(Suzuki, 2012).

본 연구에서는 위성의 최저고도각이 모호정수 추정에 미치는 영향을 분석하기 위해 2012년 1월 1일에서 1월 7일까지 7일간 획득한 데이터를 사용하여 실험을 위한 데이터셋을 구성

Table 2. Ambiguity parameters(Para) and fixing ratio(Fix) in satellite elevation

Elevation Date	5 deg		15 deg		25 deg		35 deg	
	Para (mean)	Fix (% , mean)	Para (mean)	Fix (% , mean)	Para (mean)	Fix (% , mean)	Para (mean)	Fix (% , mean)
2012-1-1	25.8	76.8	13.3	86.4	8.6	89.4	5.4	91.7
2012-1-2	26.9	75.9	16.7	83.6	11.9	86.0	9.1	86.7
2012-1-3	27.9	74.6	15.6	84.1	9.4	88.4	8.1	87.8
2012-1-4	24.6	77.2	14.9	84.6	9.9	87.8	6.9	89.5
2012-1-5	23.9	77.3	14.2	84.9	9.9	87.7	7.3	88.8
2012-1-6	25.5	76.6	15.5	84.5	9.5	88.8	7.8	88.5
2012-1-7	26.1	76.7	16.4	83.9	9.5	88.7	5.6	91.4
mean	25.8	76.4	15.2	84.6	9.8	88.1	7.2	89.2

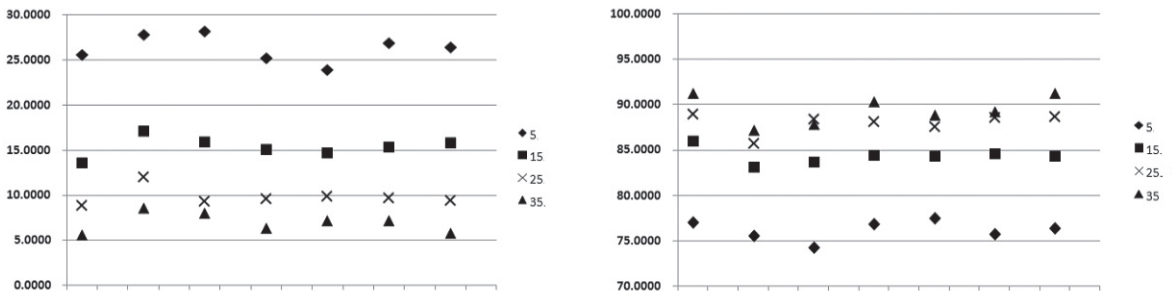


Fig. 3. Ambiguity parameters(left) and fixing ratio(right) in satellite elevation

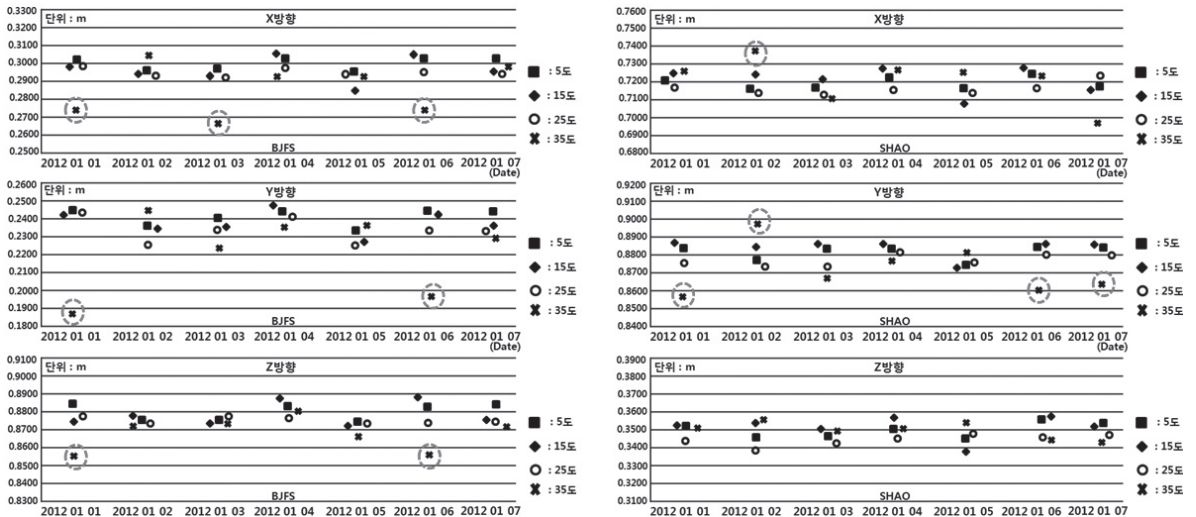


Fig. 4. Example of daily solution in satellite elevation(left:BJFS, right:SHAO)

하였고, 위성의 최저고도각을 5도, 15도, 25도, 35도로 적용하여 일간 단위로 데이터를 처리하였다.

위성의 최저고도각의 설정에 따른 결과를 분석하기 위해 각각 위성의 최저고도각을 적용하여 산출된 결과 중 모호정

수 매개변수, 모호정수 결정률을 사용하였다. 모호정수 매개변수는 관측값 사이에서 공통으로 관측되는 위성의 조합 수를 의미한다.

Table 2와 Fig. 3은 위성의 최저고도각에 따라 계산된 모호

정수 매개변수와 결정률을 나타내고 있다. 결과를 살펴보면 모호정수 매개변수는 5도와 15도의 경우 대부분의 일간해에서 평균적으로 각각 25.8과 15.2로 수치 10을 넘지만, 25도와 35도의 경우 9.8과 7.2로 계산되었다.

일반적으로 모호정수 매개변수는 10을 초과하는 것이 안정된 해를 결정할 수 있는 것으로 알려져 있기 때문에 매개변수에 의한 분석에서는 최저 위성고도각을 15도 이하로 설정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다(Suzuki, 2012).

모호정수 결정률은 최저위성고도각이 15도, 25도, 35도일 경우 85%~90%로 거의 유사하게 모호정수를 결정할 수 있는 것으로 나타나지만, 5도일 경우 약 76%로 모호정수 결정률이 현저히 낮아지므로 모호정수 결정률에 의한 분석에서는 15도 이상의 최저 위성고도각을 사용하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

그리고, 최저 위성고도각의 설정에 따라 산출된 일간해 좌표의 절대정확도를 분석하기 위해 Fig. 3과 같이 각각의 최저 위성고도각에 따른 일간해 좌표의 시계열을 작성하였다. 결과를 살펴보면 5도, 15도, 25도에서 산출된 일간해와 비교하여 35도의 경우 시계열(Fig. 4 참조)에서 점선 원으로 표시한 부분과 같이 일부 날자와 좌표성분에서 좌표의 편차가 크게 나타났다. 이는 위성의 최저고도각을 25도 이상으로 설정한 경우 안정된 일간해 좌표를 산출하는데 한계가 있는 것을 의미한다. Fig. 4에서는 BJFS와 SHAO를 예로 나타내고 있으며, 그 외 다른 CORS에서도 유사한 경향이 나타났다. 위의 세 가지 분석결과를 종합하면 위성의 최저고도각은 15도가 적절할 것으로 판단된다.

2.3 기지점의 구속에 따른 실험의 분석

GNSS CORS의 좌표를 결정하기 위해서는 일반적으로 고정밀 단독측위방식과 상대측위방식이 사용된다. 고정밀절대측위는 개념적으로는 인접한 관측점과 연결하지 않기 때문에 망구성이나 데이터 처리에 있어 간단할 수 있지만, 측지계 정의를 위한 변환계수 산정을 위해서 전 세계적으로 가급적 많은 관측점을 사용하여 동시 처리가 이루어져야 한다는 점, 전통적인 측지측량에서 사용한 관측점 연결을 통한 측지망의 계층구조가 모호할 수 있어 기존 사용자들에게 혼란을 야기할 우려가 있는 점 등의 제약사항이 있다(Jung, 2011).

이에 GNSS CORS의 데이터 처리 및 성과산정에서는 상대측위 방식을 사용하는 것이 바람직해 보이며, 상대측위 방식은 기지점의 적용 방식에 따라 기지점의 분산-공분산행렬(VCV)를 기지점의 정보로 사용하는 제약조정방식(coordinates constrained)과 기지점좌표를 고정하여 결과를 산정하는 좌표고정방식(coordinates fixed) 방식으로 구분될 수 있다(Cross, 1984).

본 실험의 목적은 기지점으로 사용하는 GNSS CORS에 지각변동, 관측소 이전, 고시좌표의 부정확 등 좌표산출에 있어 기지점의 불확실성이 미지점의 추정위치에 미치는 영향을 분석하기 위함이다. 따라서, 기지점으로 사용되는 GNSS CORS의 좌표에 고의로 0cm, 3cm, 5cm의 오차를 부여하고, 제약조정방식과 좌표고정방식으로 각각 데이터 처리를 실시한 후 그 결과를 분석함으로써 기지점의 불확실성이 각 방식으로 산출된 좌표에 어떠한 영향을 미치게 되는지 분석하였다.

Fig. 5는 제약조정방식을 적용하여 7일간 산출된 GNSS

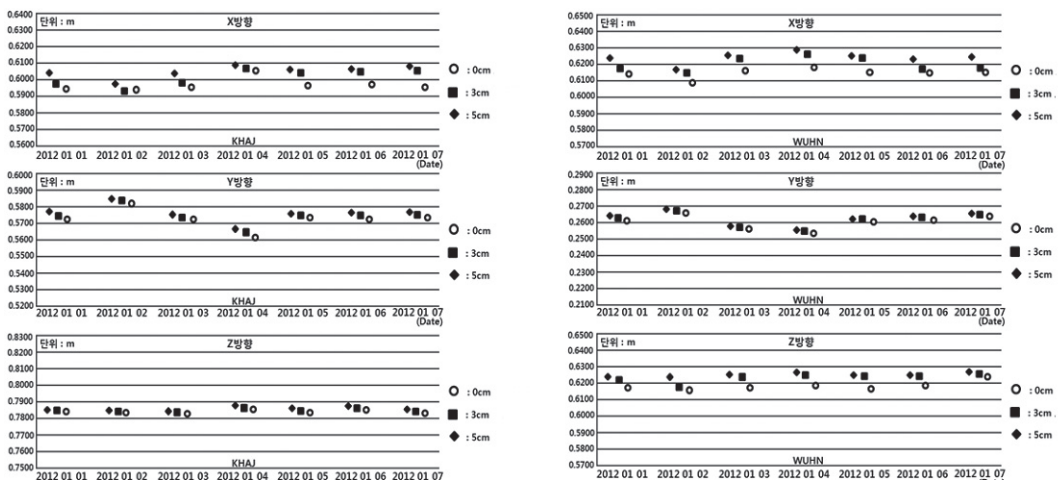


Fig. 5. Example of daily solution by constrained adjustment(left:KHAJ, right:WUHN)

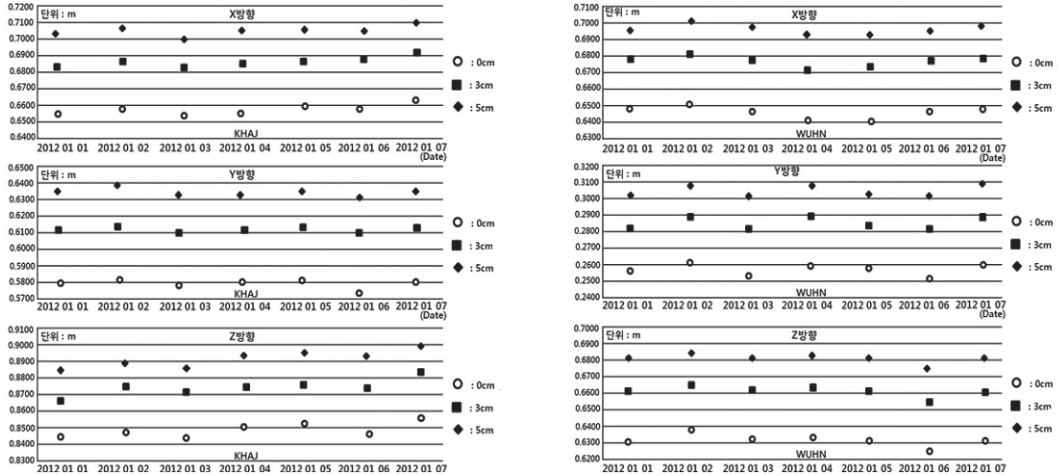


Fig. 6. Example of daily solution by fixed adjustment(left:KHAJ, right:WUHN)

CORS의 좌표시계열을 나타내고 있으며, Fig. 6은 좌표고정 방식을 적용하여 산출된 GNSS CORS의 좌표시계열을 나타내고 있다. 결과를 살펴보면 좌표고정방식으로 산출된 결과는 기지점 좌표에 부여한 오차의 불확실성이 그대로 반영되어 계산되지만, 제약조정방식으로 산출된 결과는 좌표고정 방식에 비해 기지점의 오차불확실성이 미지점의 산출결과에 큰 영향을 주지 않은 것을 알 수 있다. Fig. 5와 Fig. 6에서는 KHAJ와 WYHN을 예로 나타내고 있으며, 다른 GNSS CORS에서도 유사한 경향이 나타났다.

또한, 제약조정방식의 경우 기지점의 초기좌표로 입력된 수치와 조정 후 계산된 좌표가 일정 수준 이상으로 차이가 발생할 경우에는 데이터 처리 소프트웨어에서 자동적으로 해당 기지점의 사용을 제외할 수 있기 때문에 불확실한 GNSS CORS의 기지점 사용을 방지할 수 있다. 따라서 동아시아 지역의 주기적인 정밀좌표 산출과 지각변동량 관측을 위해서는 광범위한 지역의 GNSS CORS 데이터를 사용함에 따라 예상치 못한 기지점의 불확실성을 감지할 수 있기 때문에 제약조정에 의한 상대측위 방식을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3. 기준시점 2012.0의 EAREF 좌표산정 시험

3.1 데이터 처리방안 검토

본 연구에서 EAREF 좌표를 산정하기 위하여 앞서 실시된 실험 및 분석과정의 결과를 실제로 적용하고 좌표를 도출하는 내용을 이하에 설명한다. 이는 데이터 처리방안, 데이터 처리, 좌표산정으로 구분하여 설명한다.

Table 3. Summary of data processing methods

Step	Types of Experiment	Data Processing Methods
Phase 1 study	Number of known points	Minimum 5 points(above 10 point in special case)
	Distance between known points	Maximum 2500km(below 1500km recommended)
	Arrangement of known points	Spatially equal distance
This Study	Baseline processing	OBS-MAX method
	Angle of satellites elevation	Degree 15
	Constraint of known points	Constrained adjustment

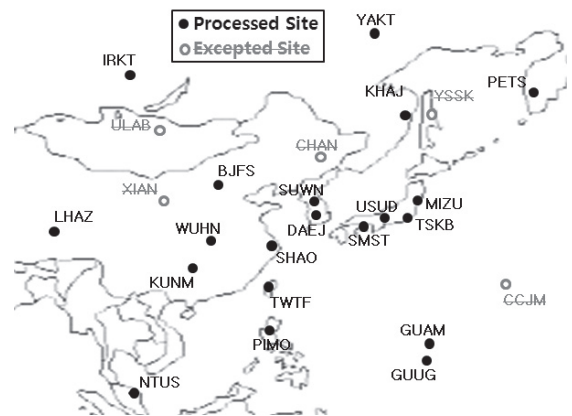


Fig. 7. East-Asia Region's GNSS CORS

이는 Lee 등(2011, 2012)에서 수행한 사전 연구와 본 연구의 다양한 실험과 결과분석에 따르고 있다. 종합해 보면, 장기

Table 4. Options and parameters for data processing

Option/Parameters	Description
Period of data	2011. 12. 25 ~ 2012. 1. 7
Software	Bernese V5.0
CORS stations	20 stations
Data processing	Relative processing by constrained adjustment
Ephemeris	Precise ephemeris
Nutation	IAU2000
planetary orbit	JPL DE200
Graviso	EGM96
Tide	GOT00.2(Onsala Space Observatory)
Troposphere delay	Parameter, observation station based
Ionosphere	L3 parameter
Ambiguity solution	Quasi-Ionosphere Free(QIF)
Differencing	Double difference
Observations	L1&L2, Code and phase measurements

선으로 이루어진 광범위한 지역의 GNSS CORS의 데이터 처리와 결과산출을 위해서는 사전연구 결과와 Table 3에 도출된 데이터 처리방안을 적용하는 적절하다는 결론을 얻을 수 있었다. 이와 같은 방법을 적용하여 동아시아 지역에 위치한 GNSS CORS의 정밀좌표 산출에 반영하고 있다.

3.2 데이터 처리 및 좌표산정

동아시아 지역에서 동일본 대지진 이후 기준시점 2012년 1월 1일에 대한 동아시아 지역의 GNSS CORS의 좌표를 산정하기 위해 2012.0 시점을 기준으로 전후 7일간 총 14일간, 동아시아 지역에 위치한 총 20점의 GNSS CORS의 데이터 처리를 실시하였다.

Fig. 7에서 "excepted site"라고 표시된 GNSS CORS는 실제 동아시아 지역에 위치하고 있지만 데이터 처리 기간에 관측데이터의 제공이 누락되어 제외된 점이다.

데이터 처리의 방안은 Table 3의 내용을 기반으로 실시하였고, 데이터 처리 시 초장기선 해석에서 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위해 정밀궤도력, 광역적 전리층모델, 지구회전 파라미터, 조석모델 등 부가데이터를 적용하여 처리하였다 (Lee, 2012; Jung, 2012).

데이터 처리를 위한 주요 옵션 및 파라미터 등은 Table 4와 같다. Table 4의 내용에 따라 총 14일간의 동아시아 지역 GNSS CORS데이터를 처리하여 일간해를 산정하였다. 추정된 일간해의 정규방정식 누적한 후, Helmert변환을 실시하여

Table 5. EAREF Coordinates (epoch 2012.0)

Station	X(m)	Y(m)	Z(m)
BJFS	-2148744.303	4426641.217	4044655.868
DAEJ	-3120042.181	4084614.806	3764026.861
GUAM	-5071312.702	3568363.597	1488904.367
GUUG	-5070465.194	3576460.257	1472093.805
IRKT	-968332.571	3794425.392	5018167.695
KHAJ	-2995266.653	2990444.545	4755575.823
KUNM	-1281255.949	5640746.101	2682879.867
LHAZ	-106941.771	5549269.827	3139215.108
MIZU	-3857170.035	3108693.339	4004040.462
NTUS	-1508023.002	6195576.589	148799.368
PETS	-3580828.437	1399698.170	5072185.112
PIMO	-3186293.732	5286624.317	1601158.343
SHAO	-2831733.718	4675665.852	3275369.335
SMST	-3822373.345	3699359.943	3507585.763
SUWN	-3062023.069	4055447.917	3841818.200
TSKB	-3957199.763	3310199.089	3737711.570
TWTF	-2994428.367	4951309.165	2674496.786
USUD	-3855263.261	3427432.281	3741020.328
WUHN	-2267749.649	5009154.228	3221290.631
YAKT	-1914999.096	2308241.483	5610225.519

예비로 산출된 주간해 추정좌표와 14개의 일간해 추정좌표를 비교하여 과대오차의 존재여부를 판단하였다. 과대오차로 판단된 위성기준점을 제외한 후 해당 일자의 일간데이터를 재처리하고, 다시 위의 과대오차 검출과정을 실시하였고, 과대오차가 검출되지 않을 때까지 이 과정을 반복하였다.

그리고, 일간해에 대한 시계열 분석을 통해 과대오차로 판단된 해당 일자의 관측 데이터를 제외하고, sequential 최소제곱법의 적용을 통해 14일간의 정규방정식을 누적하여 2012년 1월 1일 기준시점의 정밀좌표를 산정하였다(Cross, 1984).

Table 5는 EAREF를 구성하고 있는 상시관측점에 대한 정밀좌표 결과를 보여주고 있다으며, 이는 EAREF의 초기결과로 활용될 수 있는 수치이다.

4. 분석 및 고찰

4.1 산정 결과의 분석

본 연구에서 산출된 GNSS CORS 좌표의 정확도를 점검하기 위해 IGS해석센터에서 주간 단위로 제공되는 weekly solution(주간해)과 비교하였다. IGS해석센터의 주간해는 IGS해석센터에서 전 세계에 운영 중인 전체 GNSS

CORS의 데이터를 정밀하게 처리하여 산출된 좌표이기 때문에 본 연구에서 산출된 결과의 검증성과의 개념으로 사용하였다. 본 연구에서 사용한 IGS해석센터의 주간해는 전 세계의 IGS해석센터 중 스위스 베른(Bern)대학에서 운영하고 있는 CODE(Center for Orbit Determination in Europe)에서 제공하는 좌표이며, 주간해의 명칭(파일명)은 “COD16697.crd”다.

Table 6은 동일한 기준시점(2012.0)에서 본 연구를 통해 산출된 좌표와 IGS분석센터의 주간해를 비교한 것이다. 단, 전체 20점 중 17점의 GNSS CORS만을 비교한 것은 DAEJ, KUNM, PETS 등 일부 GNSS CORS의 경우 IGS해석센터의 주간해가 누락되었기 때문이다. 결과를 살펴보면, 본 연구에서 산출된 정밀좌표는 IGS해석센터의 주간해와 평균적으로 X, Y, Z방향에서 각각 0.004m, 0.007m, 0.009m의 차이가 나으며, 일부 GNSS CORS에서는 다소 큰 차이가 발생하였다. 이는 데이터의 처리방법, 기지점의 사용, 데이터 처리에 사용된 GNSS CORS의 범위, 사용 파라미터 및 옵션 등의 차이에서 기인한 것으로 판단되므로 향후 개량이 필요하며, 단기적으로 국가측지망 또는 지역측지망의 철저한 유지관리가 필요하다.

그러나 이 차이는 모두 1 cm 이내에 있으므로 EUREF의 A급 기준범위에 있는 결과를 보여 주고 있어 실용적으로 활용이 가능한 수준에 있다.

Table 6. Differences compared to IGS coordinates

Station	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
BJFS	-0.002	-0.003	-0.006
GUAM	-0.001	-0.004	-0.006
GUUG	-0.009	-0.001	-0.004
IRKT	-0.007	0.001	0.006
KHAJ	0.003	-0.006	-0.020
LHAZ	-0.003	-0.005	-0.005
MIZU	-0.006	-0.005	-0.006
NTUS	0.006	-0.011	-0.009
PIMO	-0.002	-0.011	-0.006
SHAO	0.005	-0.015	-0.014
SMST	-0.003	-0.007	-0.006
SUWN	-0.002	-0.001	-0.001
TSKB	-0.002	-0.005	-0.009
TWTF	0.001	-0.009	-0.009
USUD	0.004	-0.011	-0.015
WUHN	0.004	-0.015	-0.005
YAKT	-0.005	0.003	-0.020
mean	-0.002	-0.006	-0.008
S.D.	±0.003	±0.005	±0.006

4.2 IGS08 기반의 2012.0 초기좌표 검토

가장 최근에 발표된 IGS08은 ITRF20008좌표계 상의 IGS08에 기반한 IGS GNSS CORS의 좌표가 제공되고 있으며, IGS08의 기준시점은 2005년 1월 1일(2005.0)이다. IGS08 상의 GNSS CORS의 고시정보를 사용하여 기준시점 이후의 ITRF좌표계상의 실시간 데이터 처리 및 좌표를 산정하기 위해서는 속도벡터를 적용하여 고시좌표를 GNSS CORS 데이터의 수신일자와 데이터 처리가 실시되는 해당 일자로 변환한 좌표를 기지점 정보로 사용하게 된다.

그러나, 2011년 3월 발생한 동일본 대지진으로 인하여 동아시아 일부 지역에서는 급격한 지각변동이 발생함에 따라 2005.0 기준시점의 IGS08좌표와 속도벡터를 이용하여 이 기준시점 이후의 특정시점으로 좌표변환할 경우에는 대지진의 영향이 많을수록 좌표의 편차가 커질 것이다. 따라서 IGS08의 고시좌표와 속도벡터를 이용하여 2005년 1월 1일(2005.0) 기준시점에서 동일본 대지진 이후인 2012년 1월 1일(2012.0) 기준시점으로 좌표변환하고, IGS 주간해와 차이를 비교하였다(Fig. 8).

그 결과를 살펴보면 동일본 대지진의 진앙지에 가장 가까이 위치한 MIZU는 모든 좌표성분에서 1m 이상의 큰 편차를 보이고 있으며, 일본에 위치한 TSKB, USUD 등도 최소 10cm 이상의 큰 편차를 나타내고 있다. 또한, 진앙지 인근에 위치한 YAKT와 SUWN의 경우 특정 좌표성분에서 2cm 이상의 편차가 발생하고 있다.

또한, Fig. 8에서 대지진으로 인해 좌표변동이 크게 발생한 점(MIZU, TSKB, USUD, YAKT)을 제외한 나머지 GNSS CORS의 좌표와 IGS 주간해의 차이를 계산한 결과, Table 7과 같이 평균적으로 X, Y, Z방향에서 각각 0.007m, 0.013m, 0.007m의 차이가 발생하였고, 표준편차에서는 X, Y, Z방향에서 각각 ±0.006m, ±0.007m, ±0.007m의 차이가 발생하였다. 이는 본 연구에서 산출한 정밀좌표와 IGS주간해의 차이(Table 6)에 비해 다소 큰 것으로 판단된다.

따라서 동일본 대지진의 영향을 받지 않은 지역에 비해 일본, 한반도 및 동아시아 일부 지역에서는 동일본 대지진 이전인 2005년 1월 1일을 기준시점으로 결정된 IGS08기준계상의 IGS관측점의 좌표와 속도벡터를 초기좌표(initial coordinates)로 사용하는데 한계가 있음을 확인할 수 있다. 또한 동아시아 지역에서 GNSS CORS 등 위치정보기반을 유지관리에 필요한 관측데이터를 관리하기 위하여 잠정적으로 정한 기준시점2012.0을 기준으로 한 데이터베이스 구축이 필요하므로 본 연구 결과가 기본적인 근거가 될 수 있다고 생각된다.

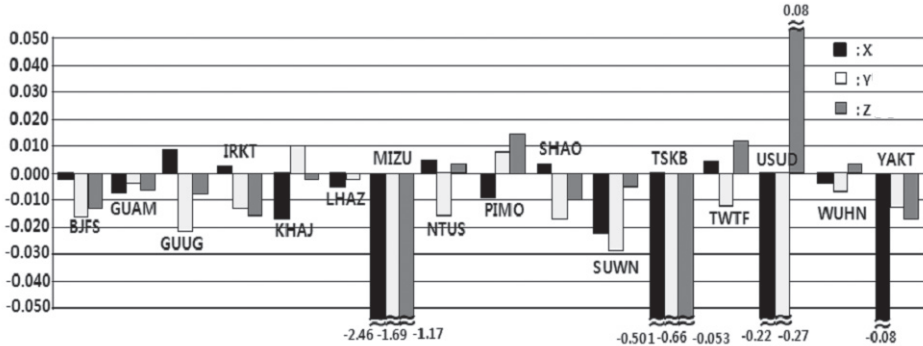


Fig. 8. Differences compared to IGS weekly solution(Transformed 2012.0 coordinate of IGS08)

Table 7. Differences compared to IGS weekly solution (Transformed 2012.0 coordinate of IGS08)

Diff.	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
mean	0.007	0.013	0.007
S.D.	±0.006	±0.007	±0.007

4.3 EAREF의 구현방향 고찰

앞서 언급한 바와 같이, 한 국가의 세계측지계를 유지관리 뿐만 아니라 지도 등 대륙내의 모든 공간정보를 통합활용하기 위해서는 특정한 시점에서 대륙의 기준좌표계를 관리할 필요가 있다. 그 구현사례로서 유럽대륙의 경우에는 EUREF(European Reference Framework)로서 유럽측지계인 ETRS89(European Terrestrial Reference System 1989)와 EVRS(European Vertical Reference System)에 대한 정의, 구현, 유지관리를 담당하고 있다.

ITRF2005의 경우에는 2000년 1월 1일(2000.0)를 기준시점으로 사용하였고, ITRF2008에서는 2005년 1월 1일(2005.0)를 기준시점으로 사용하고 있는데, ETRS89는 기준시점 1989.0에서 ITRS에 일치하는 것으로 정의된다.

또한 아시아-태평양 지역에서는 2010년부터 PCGIAP를 중심으로 APREF(Asia-Pacific Reference Frame) 프로젝트를 추진하고 있으나, 아시아-태평양 대륙은 동일한 유라시아판에 속해 있는 유럽대륙의 경우와 달리 여러 개의 판으로 구성되어 있고 IAG의 차세대 GGOS 관측망에서 보는 바와 같이 (Matsuzaka, 2012) 여러 개의 지역으로 구분하여 처리하려는 계획을 갖고 있다(Fig. 9 참조). 그러나 IAG의 1분과의 소분과인 SC 1.3e에서는 Asia-Pacific 대륙망을 대상으로 PCGIAP(최근 UNGGIM-AP로 개칭함)와 연계하여 활동하고 있다 (IAG, 2012).

본 연구에서 구성하고 있는 동아시아 지역 네트워크는 동

북아와 동남아를 포괄하는 것으로서 GGOS의 일부(sub-network)인 동시에 APREF의 일부(sub-network)인 형태를 취할 수 있다. 다시 말해서 본 연구에서는 비교적 안정된 유라시아지역을 기초로 동북아시아와 동남아시아를 포괄하는 동아시아 지역의 지구관측 네트워크인 EAREF(East-Asia Reference Frame)의 구축을 시도하고 있다.

본 연구는 다양한 시험을 거쳐 도출된 EAREF 구축을 위한 초기 결과를 보여주고 있으며, 앞으로 이와 관련된 관측데이터의 통합과 지역측지망 구현을 위한 기반으로 사용될 수 있을 것이다. 향후 EAREF 2012.0의 구현을 위해서는 IGS관측점 데이터의 안정적인 확보와 함께 고정밀 해석기법의 개발, 그리고 운용기술의 확보가 필요하며 해당 국가별로 상시관측망 데이터의 통합과 함께 공간정보기반의 구축을 위한 좌표계 호환기술 개발이 필요하다. 이는 장기적으로 연구되어야 할 글로벌 이슈에 상당하는 과제이다.

또한 본 연구에서 제안하고 있는 EAREF는 GGOS의 일부 또는 APREF의 일부인 서브 네트워크로 정착되기 위해서는 중장기적으로 해결해 나가야 할 다양한 과제를 안고 있다. 이를 위한 하나의 방안으로서 UNGGIM-AP와 IAG SC1.3e의 적극적인 참여를 통한 협력활동이 필요하다. 즉, 이를 통하

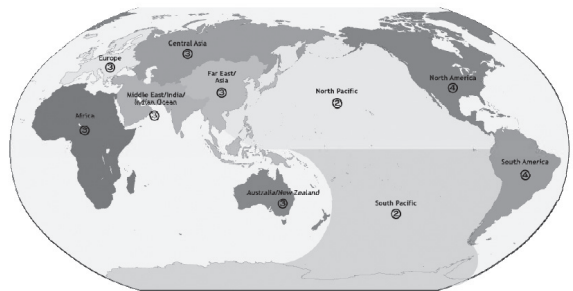


Fig. 9. Network of GGOS(IAG, 2012)

여 APREF의 해석센터 자료와 연계한 데이터 분석이 가능하게 되고, 아울러 GGOS와 연계하여 고정확도인 글로벌 측지망 구축에 기여할 수 있다. 이 글로벌 네트워크는 모두 국가측지망 또는 지역측지망의 구축이 가장 기본이 되고 있음에 주목할 필요가 있다.

5. 결론

본 연구에서는 동북아시아와 동남아시아를 포괄하는 동아시아 지역에서 지진 등의 지구관측을 위하여 2012년 1월 1일 (2012.0) 기준시점에 대한 동아시아 지역의 GNSS CORS 네트워크(EAREF)의 정밀좌표를 산정하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 데이터셋 구축에 대한 사전 연구를 기초로 다양한 실험을 거쳐 데이터 처리 방법을 도출하였고 이에 따라 2012.0 기준시점에서 EAREF의 초기 정밀좌표를 산출하고 향후 EAREF의 구현방향을 고찰하였다. 연구의 내용과 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 최적의 동아시아 지역의 지구관측 네트워크의 구성을 위한 사전 연구결과(Lee 등, 2012)를 토대로 하여 장기선으로 이루어진 동아시아 지역의 관측네트워크의 데이터 처리 및 성과산정의 정확도 향상을 위한 다양한 실험을 실시하고 그 결과를 분석, 제시하였다.
2. 기선해석 전략은 OBS-MAX 방식 사용, 위성의 최저고도 각을 15도로 설정, 기지점의 구축방식은 제약조정방식을 적용하는 등의 적용시험 결과를 도출하였다.
3. 기준시점 2012년 1월 1일에 대한 동아시아 지역의 EAREF 좌표를 산정하기 위하여 2012.0 기준시점 전후 7일간 총 14일간, 동아시아 지역에 위치한 총 20점의 GNSS CORS의 데이터를 제시된 절차에 따라 처리하고 EAREF의 정밀좌표를 산정한 초기결과를 제시하였다.
4. 이 초기결과는 IGS해석센터에서 제공되는 주간해와 비교에서는 평균적으로 X, Y, Z방향에서 각각 0.004m, 0.007m, 0.009m의 차이로 나타나 EUREF의 A급 기준범위에 있어 실용적으로 부합되고 있다. 다만, 이 차이는 사용된 관측데이터와 처리방법, 기지점 및 적용 파라미터와 옵션 등에 의한 것이므로 단기적으로 국가측지망 또는 지역측지망의 철저한 유지관리를 통해 향후 개량이 필요하다.
5. 향후 국가측지망 또는 지역측지망을 GGOS와 연계하는 전략을 위하여 국제기구에서 추진하고 있는 UNGGIM-AP와 IAG SC1.3e의 참여가 필요하며, 아울러 EAREF 네트워크가 GGOS의 일부 또는 APREF의 일부로 정착될 수

있도록 APREF의 해석센터 자료와 연계한 데이터 분석이 요구된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2011-0013071).

References

- Altamini, Z. (2002), Discussion on How to Express a Regional GPS Solutions in the ITRF, *Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF)*, Ponta Degada. 5-8 June.
- Altamini, Z., Collilieux, X. and Métivier L. (2008), ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame, *Journal of Geodesy*, 85-8, pp. 457-473.
- Baek, J. H., Jung, S. W., Shin, Y. H., Cho, J. H., and Park, P. H. (2009), Determination of Precise Coordinates and Velocities of 142 International GNSS Service Stations to Realize Terrestrial Reference System, *Korean Journal of Geomatics*, Vol. 27, No. 3, pp. 303-310.
- Boucher, C., Altamini, Z. and Sillard, P. (1999), The 1997 International Terrestrial Reference Frame(ITRF1997), *IERS Tech Note27*(Obs. de paris:IERS Cent. Bur), p. 92.
- Boucher, C. and Altamini, Z. (2012), Memo : Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign, <http://www.euref.eu>
- Cross, P. A. (1984), Advanced least squares applied to position fixing, *Working paper, No.6*. Department of Surveying, Polytechnic Univ. of East London, p. 205.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P. and Mei, M. (2007), *Bernese GPS Software(Version 5.0)*, Astronomical Institute, University of Bern.
- Jung, K. H. and Lee H. K. (2011), A Study on Continuous Management Strategy or Published Coordinates of National Geodetic Control Points using GPS Network Adjustment, *Korean Journal of Geomatics*, Vol. 29, No. 4, pp. 367-380.
- Kutterer, Hansjörg (2012), European Geodetic Status -

- European Geodetic Reference Systems, *19th United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific*, Bangkok, Thailand (Side Event: Geodetic Consultation)
- Lee, Y. J. and Jung K. H. (2012), Proposal of Data Processing Procedures for Crustal Deformation Observations by the International GNSS Network in South Korea, *Korean Journal of Cadastre*, Vol. 28, No. 1, pp. 63–74.
- Lee, Y. J., Jung, K. H. and Lee, M. J. (2012), Configuration of GNSS CORS Network(EAREF) for Earth Observations in the East-Asia Region, *Korean Journal of Geomatics*, Vol. 30, No. 2, pp. 199–210.
- Lee, Y. J. (2012), Deformation of South Korea as Estimated by GPS Data Processing Due to the Tohoku Great Earthquake, *The 2012 International GPS/GNSS Showcase*, Bangkok, Thailand, 16-18 January 2012.
- Matsuzaka S. (2012), Role and importance of the International Terrestrial Reference Frame for sustainable development, *19th United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific*, Bangkok, Thailand (Side Event: Geodetic Consultation)
- Matsuzaka, S. (2012), Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia and the Pacific Working Group 1 Geodesy Technologies and Applications: *Status Report for The 19th UNRCC-AP*. Bangkok Thailand
- Nishimura, T., Munekane, H. and Yarai, H. (2011), The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and Its Aftershocks Observed by GEONET, *Earth Planets Space*, 63, pp. 631–636.
- NGII (2010), *Usage Extending of GNSS CORS and Earth Deformation Research*, NGII Korea.
- NGII (2011), *Earth Deformation Monitoring Techniques of Great East Japan Earthquake*, NGII Korea.
- Park, J. K. and Kang, J. M. (2010), Characteristic Analysis of Crustal Movement Around Korean Peninsula by IGS Data, *Korean Journal of Geomatics*, Vol. 28, No. 6, pp. 645–653.
- Park, K. D., Nerem, R. S., Schenewerk, M. S. and Davis, J. L. (2004), Site-specific multipath characteristics of global IGS and CORS GPS sites, *Journal of Geodesy*, 77(12), pp. 799–803.
- Suzuki, A. and Miyahara, B. (2011), *Development of the GPS Analysis Strategy in Asia-Pacific Region*, National Geodetic Survey, Geodetic Department.
- USGS (2012), *The 03/11/2011 Mw9.0 Tohoku, Japan Earthquake*.
- IGS (2012), <http://www.igs.org>. (last date accessed: 19 Feb 2013).

(접수일 2013. 01. 07, 심사일 2013. 02. 19, 심사완료일 2013. 02. 25)