

지역별 평균해수면에 의해 결정된 우리나라 해안의 해면경사*

김태우¹ · 윤홍식² · 김광배^{1*}

Sea level slope of the Korean Peninsula Coast determined by Local Mean Sea Level*

Tae-Woo KIM¹ · Hong-Sik YUN² · Kwang-Bae KIM^{1*}

요 약

한반도 주변 연안의 수준기점에서 해면경사를 계산하는 것은 우리나라 측지수준망의 수준기점 표고를 설정하는데 중요하다. 본 연구에서는 국제수로기구 기준(18.6년)으로 장기 조위관측 자료의 평균해수면을 재계산하고, 수준측량으로 수준기점의 표고를 재 분석하였다. 그리고 목포, 부산, 목호 수준기점에서 수준측량에 의한 해면지형 분석방법으로 인천 수준원점을 기준으로 한 해면경사를 계산하였다. 그간 국내 측지학자와 해양학자들은 남북 위도상의 해면경사 문제에 대하여 서로 상반된 견해를 보였다. 본 연구결과 북위 37.5° 에 위치한 인천(-2.27cm)과 목호(17.56cm) 간의 동·서 해면경사는 19.83cm으로 분석되었다. 또한 목포의 평균해수면이 인천 보다 1.12cm 높고, 부산의 평균해수면이 목호 보다 2.18cm 높은 해면경사가 남향 상승하는 것으로 분석되었다. 본 연구결과 서해안과 동해안은 남향 상승하는 해면경사 분석 결과는 우리나라 측지수준망의 재설정과 수준망에서의 표고차 불일치 문제를 해결하는데 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 수준원점, 해면지형, 해면경사, 수준망

ABSTRACT

Computing the sea level slope at the BM(Bench Mark) in the coast areas around the Korean Peninsula is important for establishing height of BM of the Korean geodetic leveling network. In this study, MSL(Mean Sea Level) was recalculated with the long-term tide observation data based on the IHO(International Hydrographic Organization) standard(18.6 years), and the BM height was reanalyzed by precision leveling. The sea

2019년 03월 07일 접수 Received on March 07, 2019 / 2019년 03월 20일 수정 Revised on March 20, 2019 / 2019년 03월 20일 심사완료 Accepted on March 20, 2019

* 본 연구는 “수준원점 높이기준면 및 단일원점 체계 재검토 연구 (2017)” 에 의해 국토교통부 국토지리정보원의 지원을 받아 수행되었습니다.

1 성균관대학교 건설환경시스템공학과, Member Dept. of Civil, Architectural and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan University

2 성균관대학교 건설환경공학부, School of Civil, Architectural Engineering & Landscape Architecture, Sungkyunkwan University

* Corresponding Author E-mail : kskim929@skku.edu

surface topography was analyzed by leveling at Mokpo(Mokpo Starting Point), Busan (09-00-00) and Mukho(20-26-00) BMs, and the sea level slope was computed based on the Korean vertical origin point. As a result of this study, the sea level slope of the west and east coasts between Incheon(-2.27cm) and Mukho(17.56cm) located at 37.5° N was analyzed as 19.83cm. Domestic geodesists and oceanologists have confronted each other with regard to the issue of latitudinal changes in long term MSL. In the west coast, the Mokpo is 1.12cm higher than Incheon, and the Busan is 2.18cm higher than Mukho. Therefore, the west and east coasts have been analyzed as sea level slope rising to the south. It can be used to solve the reestablishment of the Korean geodetic leveling network and the problem of the elevation discrepancy in the BM.

KEYWORDS : *Vertical origin point, Sea surface topography, Sea level slope, Leveling network*

서 론

전 지구온난화로 금세기 말 해수면이 20~60cm 상승할 것으로 전망하고 있다(KHOA, 2011). 한반도 주변 해안의 해수면 상승률은 2016년 기준 서해안(1.06mm/yr), 남해안(3.02mm/yr), 동해안(3.35mm/yr)이다(KHOA, 2016). 우리나라 육상 표고의 기준으로 채택하고 있는 수직기준(vertical datum)인 인천만의 평균해수면은 구선거(1960~1973), 월미도(1974~1998), 연안부두(1999~현재)로 조위관측소가 이전되어 서해안의 해수면 상승률 계산에서 제외되어 왔다(KHOA, 2016).

현재 인천만 조위기준면(tidal datum)은 1943년~1944년 관측용이 약 2년간 관측한 조위자료를 조화분해로 계산하였으며, 1914년의 수준기점(영국 영사관 남서단 관로측 세관부지) 하 5.477m를 평균해수면으로 동일하게 사용하고, 이 평균해수면 하 4.635m에 인천만의 수직기준을 정의하였다(Gwan, 1950). 1964년 정밀 수준측량에 의하여 이 육상 표고의 기준(0m)으로 수준원점의 표고(26.6871m)가 결정되었다. 1980년대부터는 전국 1등 수준점의 표고는 인천 수준원점을 고정하여 수준망을 조정한 성과에 의해 표고가 결정되었다.

인천만 평균해수면은 1910년대부터 지금까지 약 100년 넘게 사용하고 있지만 그 동안의 해

상과 육상에서의 물리적 변동을 충분히 반영하지 못하고 있는 상황이다. NGII(2010)은 9년간(1999~2007년) 관측한 조위자료를 산술평균으로 결정한 인천 평균해수면 4.613m로 국가수직기준면과 인천 수준원점의 표고 변화를 검토하였다. 그러나 평균해수면은 주로 사용되고 있는 조화분해 계산방법과 상이한 산술평균으로 계산되었고, 수준원점과의 연결수준측량이 이루어지지 않아 국가수직기준면과 수준원점의 표고 변화를 재 검토하는데 한계가 있었다.

미국 측지조사국(NGS: National Geodetic Survey)은 주요 항만의 26개소 조위관측소에서 18.6년(NTDE: National Tidal Datum Epoch) 마다 관측한 조위자료로 수직기준을 재 계산하고 있다. 일본 국토지리원(GSI: GeoSpatial Information Authority)은 도쿄만을 포함한 주요 항만의 25개 조위관측소에서 지역 평균해수면과 도쿄 수준원점과의 수준측량을 정기적으로 실시하여 수준원점 표고성과의 변동을 파악하고 있다.

현재 인천 수준원점 기준의 1등 수준망 조정에서는 동·서, 남·북 방향에서 표고 차이가 발생하고 있다. 최근 2014년 수준망 조정결과에서는 환 폐합차의 허용범위를 초과하는 수준환이 검출되었고, 수준망 조정 이후 기존 고시 성과와 10cm 이상의 표고 차이가 발생하였다(NGII, 2015). 이러한 신·구 수준점 간의 불일치 원인을 해결하기 위해서는 인천 평균해수

면과 지역 평균해수면의 차이로 인한 측지수준망 설정을 검토할 필요가 있다. Lee(1993)은 우리나라 주요 6개 조위관측소에서 지역 평균해수면 차이를 계산하며 해면경사 계산은 측지수준망 설정에 중대한 영향을 미친다고 하였다. Yoon(2014)은 인천 평균해수면을 기준으로 목포의 해면경사를 3.7cm로 계산하였으며, Lee(1993)가 계산한 목포의 해면경사 17cm와의 차이를 비교 분석하였다. 앞선 두 연구에서 서해안의 해면경사는 북향상승하는 것으로 동일하게 분석되었으나 동해안의 해면경사에서는 Lee(1993)는 북향상승, Yoon(2014)는 남향상승하는 것으로 분석되었다.

최병호는 우리나라 정밀수준망에 관한 연구(NGII, 1983)에서 수준망 조정을 위해서 동해안과 서해안의 남북방향 해면경사에 대한 연구가 필요하며, 인천 수준원점을 이용한 실용적인 수준망 조정과 다중 수준기점을 이용한 과학적인 수준망 조정방안을 제시하였다. 현재 인천 수준원점을 고정하는 수준망 방식에서 표고 차이의 불일치가 발생하고 있기 때문에 어느 수준망 조정이 과학적으로 가장 정확한지 평가하기 어려운 실정이다. 과거 인천 수준원점을 1점 고정하여 조정하는 방식은 기존 수준점 표고성과와의 차이가 적어야 국가기준점 관리가 용이하기 때문에 실용적인 목적으로 수행되었지만, 신·구 수준점의 표고성과의 차이가 10cm 이상일 때 정확한 해석이 어려우며 지반의 용기 또는 침하 등의 영향이 포함될 수 있다(NGII, 1983).

지금까지 국내 측지학자와 해양학자들은 동·서 방향에서 발생하고 있는 평균해수면 경사는 연구결과가 유사하지만, 남·북 방향의 평균해수면 경사에 대해서는 서로 상반되는 견해를 보여 왔다(Lee, 1993). Lee(1993)는 서해, 남해, 동해 6개 조위관측소의 조위관측 자료를 이용하여 국립지리원(현 국토지리정보원) 수준점과 수로국(현 국립해양조사원) 기본수준점(TBM: Tidal Bench Mark)을 수준측량하고, 인천만을 기준으로 한 상대적인 평균해수면 차이인 해면경사를 계산하였다. 그 결과 인천을 기준(0.0cm)으

로 목포는 -17.0cm, 부산은 -13.9cm, 목호는 2.8cm로 남·북 방향으로 위도 1° 마다 5.5cm씩 북향 상승하고, 북위 36° 에서는 동해안이 서해안 보다 약 5.0cm 높다고 분석하였다. 그러나 Choi(2009)는 해양순환모형과 위성고도계자료를 이용하여 서해와 동중국해의 해면경사를 계산하며, 목포가 인천만 보다 2.5~3cm 위에 위치하는 남방 해면경사(southward sea slope)라고 제시하였다. 서해와 동이 근거로 중국 해안에서 수준측량으로 분석한 결과와 일치한다고 주장하였다. 이는 서해와 동중국해가 남향 상승이라는 근거로 중국 해안에서 수준측량한 결과와 일치한다고 하였다. 이러한 남·북 방향에서의 해면경사 불일치 원인에 대하여 국내 측지학자와 해양학자들은 수준측량 방법에 내재된 정오차(systematic error)라고 주장하면서, 수준측량에 정오차가 발생하는 원인을 수준망 설정 시 장기간 평균해수면의 위도상 변화(latitudinal changes in long term mean sea level) 문제(Choi, 2009)가 충분히 고려되지 않았기 때문이라고 분석하였다.

본 연구에서는 18.6년 장기 조위관측 자료들로 전국 주요 항만의 지역 평균해수면을 2017년 기준시점에서 결정하고, 지역별 수준기점으로 정한 수준점에서 수준측량에 의해 계산된 표고를 바탕으로 우리나라 연안의 해면경사의 방향과 크기를 구하고자 한다.

해면지형 계산

지구는 끊임없이 변화하는 동적대상으로 장기간 연속적으로 조위관측한 자료를 분석하여 수직기준(0m)과 수준측량의 출발점인 수준원점의 표고를 정기적으로 관리할 필요가 있다. 완전히 정지한 해수면(sea surface)은 일종의 등포텐셜면인 지오이드(geoid)로 실용적으로 간주할 수 있으며, 중력의 방향에 수직이다. 임의 지역에서 결정한 평균해수면은 등포텐셜면에 가장 근사한 지오이드로 간주하고 이를 수직기준으로 채택하고, 수준측량에 의해 육상 지역에서의 표고를 계산할 수 있다.

평균해수면과 지오이드고 차이를 나타내는 해면지형(SSTop: Sea Surface Topography)은 식 1과 같으며, 이 값은 전 세계적으로 약 1~2m에 달하는데 중력이상에 0.3~0.6mGal의 계통오차를 초래할 수 있고, 고도이상에도 ±15~30cm의 차이를 가지게 하므로 10cm 이상 정밀도의 지오이드모델 개발에서 반드시 고려해야 할 요소이다(管泽霖 *et al.*, 1996).

$$\text{해면지형(SSTop)} = \text{평균해수면(MSL)} - \text{지오이드(N)} \quad (1)$$

해면지형의 결정방법에는 (1) 위성고도계의 해면고 관측결과를 이용하는 위성고도계법, (2) 각 조위관측소간 연결수준측량을 통한 수준측량법, (3) 해수면의 온도, 염도, 대기압 및 해류속도 등 요소를 고려하여 결정하는 해양학적 방법

등이 있다(Huang *et al.*, 2008).

수준측량에 의한 해면경사는 평균해수면을 1등 수준망과 연결했을 때의 차이를 평균해수면의 차이로 간주하고, 수준측량으로 2개의 표고(육상 표고의 기준과 지역 평균해수면 기준 표고)의 상대적인 차이로 해면경사를 계산할 수 있다. 본 연구에서 육상 표고는 1943~1944년에 결정된 인천만 평균해수면을 기준으로 수준망 조정된 표고를, 지역별 평균해수면 기준 표고는 2017년 기준시점에서 기본수준점(TBM)과 수준기점으로 정한 수준점(BM) 간에 수준측량한 표고를 말한다.

본 연구에서는 그림 1과 같이 동일 기준시점에서 장기 조위관측자료를 사용하여 결정한 평균해수면으로 지역간 해수면 변화를 검토하였다. 기본수준점(TBM)과 지역별 수준기점으로 정한 수준점 사이에 정밀 수준측량을 실시하여

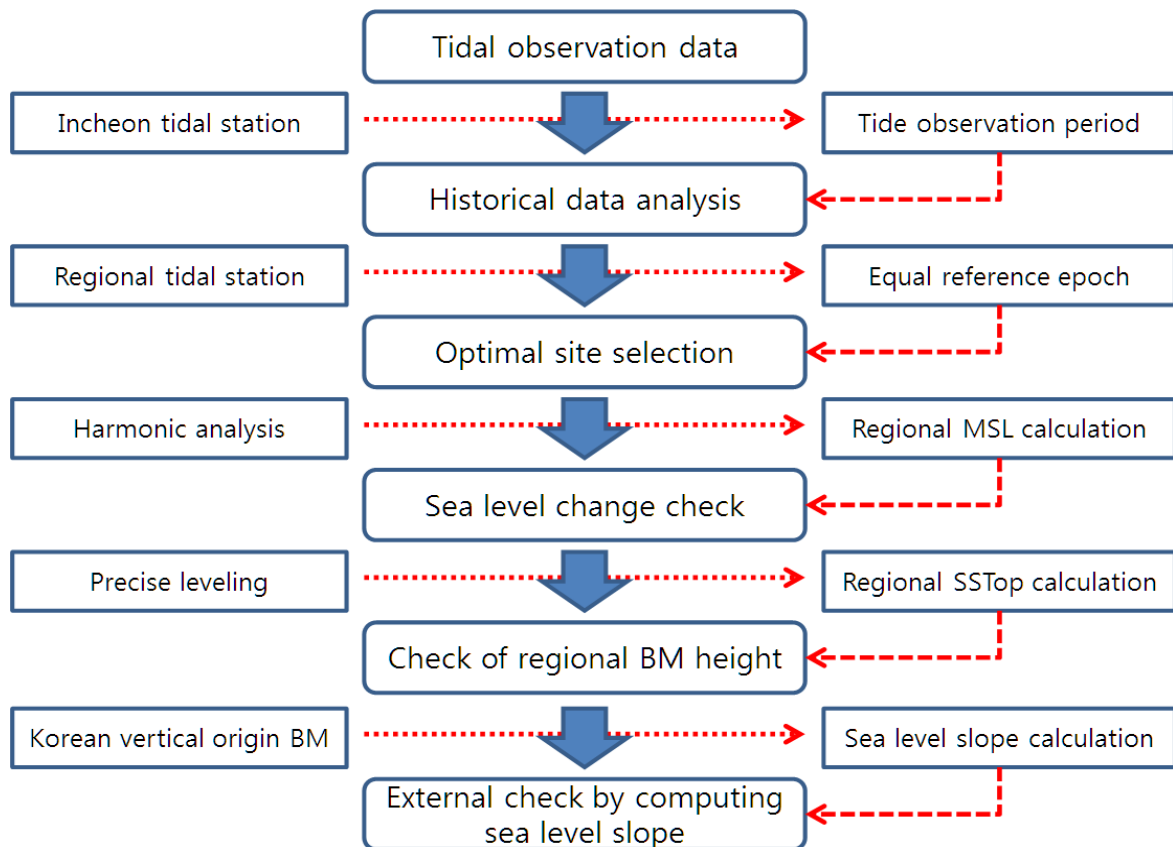


FIGURE 1. Workflow for sea level slope analysis

해면지형을 분석하였다. 그리고 인천 수준원점을 기준으로 동·서 및 남·북 방향별 해면경사를 분석하여 우리나라 측지수준망 설정을 재검토하였다.

수준기점의 해면지형 계산

1. 조위관측소 이력 분석

현재 우리나라의 수직기준으로 규정되어 있는 인천만의 평균해수면은 앞서 기술한 바와 같이 1999년 이후 부터는 조위관측 자료 상태가 양호한 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 2017년을 기준시점(epoch)으로 결정하고 동일

기준시점에서 1999년부터 전국 조위관측소의 이력을 분석하였다. 2017년을 기준시점으로 결정하고 조위관측소 이력을 정리하면, 표 1과 같고, 18.6년 이상의 연속 조위관측 자료를 확보할 수 있는 조위관측소의 위치는 그림 2에 표시한 것처럼 22개소(인천, 평택, 안흥, 보령, 군산, 위도, 목포, 흑산도, 완도, 추자도, 거문도, 제주, 서귀포, 여수, 통영, 가덕도, 부산, 울산, 포항, 묵호, 속초, 울릉도)이다.

2. 2017년 기준시점 평균해수면 계산

각 지역 조위관측소에서 결정한 평균해수면은 지오이드면과 일치하지 않기 때문에, 2017년

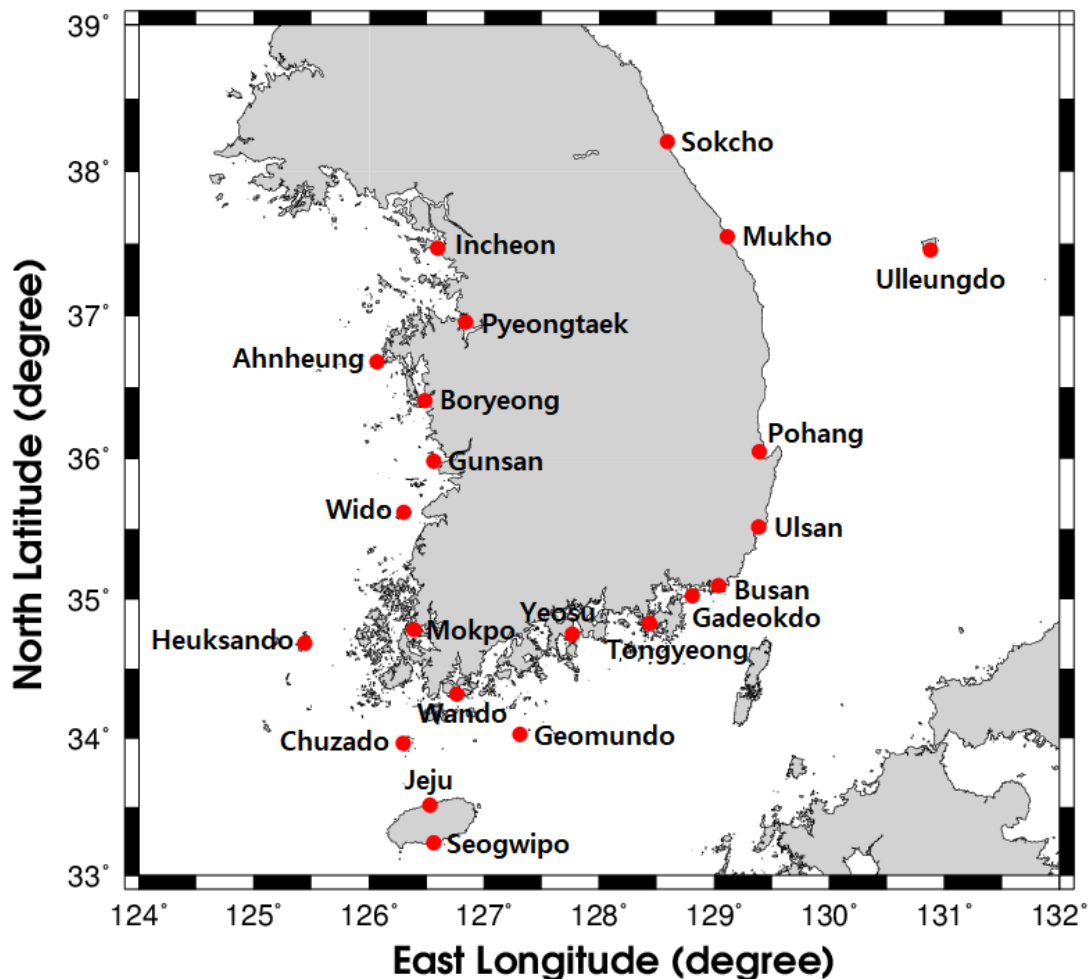


FIGURE 2. Tidal stations location map with long-term tide observations over 18.6 years

TABLE 1. Tidal stations with long-term tide observations over 18.6 years

Tidal station	Tide observations	Tidal station	Tide observations
Gadeokdo	1977.01.01. ~	Wando	1983.01.01. ~
Geomundo	1982.01.01. ~	Ulleungdo	1965.09.01. ~
Gunsan	1980.02.01. ~	Ulsan	1962.09.01. ~
Mokpo	1956.01.01. ~	Wido	1985.01.01. ~
Mukho	1965.02.01. ~	Incheon	1959.05.01. ~
Boryeong	1985.09.01. ~	Jeju	1964.01.01. ~
Busan	1977.01.01. ~	Chuzado	1983.10.01. ~
Seogwipo	1985.01.01. ~	Tongyeong	1976.02.01. ~
Sokcho	1973.12.01. ~	Pyeongtaek	1992.06.01. ~
Ahnheung	1986.10.01. ~	Pohang	1971.05.01. ~
Yeosu	1965.02.01. ~	Heuksando	1965.08.01. ~

TABLE 2. Comparison of MSL determined in several reference epoch

Tidal station	MSL in difference year		MSL in equal year		Difference(cm)
	Reference epoch	MSL(cm)	Reference epoch	MSL(cm)	
Incheon	1943 ~ 1944	463.5	1999 ~ 2017	467.0	+ 3.5
Mokpo	1991 ~ 2002	243.0	1999 ~ 2017	245.0	+ 2.0
Busan	1974 ~ 1975	64.9	1999 ~ 2017	61.1	- 3.8
Mukho	1965 ~ 1966	18.8	1999 ~ 2017	17.5	- 1.3

동일 기준시점에서 장기간 관측한 조위자료를 지역수직기준(Local Vertical Datum)으로 결정할 수 있다. 본 연구에서는 지역적인 분포와 인천 조위관측 기간(1999년 1월 1일~2017년 8월 31일)과의 일관성을 고려하여 목포, 목호, 부산을 선정하고, 표 2와 같이 TASK-2000 (Tidal Analysis Software Kit)으로 조화분해 분석에 의하여 평균해수면을 계산하였다(NGII, 2018).

3. 수준원점의 표고성과 재 검토

연안은 바다와 육지의 경계로 지표면의 범람, 해안침식, 지하수 상승으로 인하여 지반의 지지력 감소에 영향을 미칠 수 있는 지역을 말한다(KESS, 2009; KIPE, 2011). 수준원점의 표고는 조위관측소 인근 기본수준점으로부터 연결 수준측량으로 결정되기 때문에 지각변동과 지반 침하 등으로 인한 지표면 변화에 영향을 받을 수 있다.

과거 인천항 TBM은 국립해양조사원에서 고시한 1944년 평균해수면 상 6.6850m 이고, 수

준원점은 국토지리정보원에서 고시한 1964년 수준측량에 의한 26.6871m 이다. 두 기관에서 고시한 표고 차이는 $20.0021\text{m}(26.6871 - 6.6850 = 20.0021\text{m})$ 임을 알 수 있다.

본 연구에서 2017년 기준시점으로 계산한 인천만 평균해수면은 3.5cm 상승함에 따라 인천 조위관측소 부근의 기본수준점(TBM)은 3.5cm 하강한 것으로 분석되었다. 표 3에 정리한 바와 같이 인천항 TBM(6.6500m)에서 수준원점(26.6644m)까지 수준측량과 토달스테이션 측량으로 계산한 표고 차이(20.0144m) 나는 것으로 계산되어 인천 수준원점의 표고는 $2.27\text{cm}(26.6644 - 26.6871 = -0.0227\text{m})$ 낮아진 것으로 분석하였다. 과거 국토지리정보원에서 1964년 Wild N3 수준의로 측량하였다(NGII, 2010)고 하지만, 어느 기본수준점에서 어떻게 측량했는지 확인할 만한 자료가 없어 기존 측량결과와의 비교 분석은 못하였다.

4. 수준측량에 의한 해면지형 계산

표 3과 동일한 방식으로 다양한 기준시점에

TABLE 3. Reexamination of height of the Korean vertical origin point (2017 epoch)

	Notification(m)	2017 epoch(m)	Difference(cm)	Remarks
Incheon MSL	4.6350	4.6700	3.50	Harmonic analysis
Incheon TBM	6.6850	6.6500	-3.50	Leveling and T/S surveying between TBM and the Korean vertical origin point
Korean vertical origin point	26.6871	26.6644	-2.27	Height difference between notification and 2017 epoch

TABLE 4. Computation of sea surface topography by regional MSL (2017 epoch)

BM	TBM height(m)	Height difference between TBM and BM(m)	① Leveling results in BM(m)	② Leveling network adjustment Results(m)	Sea surface topography (①-②)(cm)	Sea level slope (cm)
Incheon	6.650	20.0144	26.6644	26.6871	-2.27	0.00
Mokpo	31.143	-28.3325	2.8105	2.8220	-1.15	1.12
Busan	13.273	15.6303	28.9033	28.7059	19.74	22.01
Mukho	4.852	46.689	51.541	51.3654	17.56	19.83

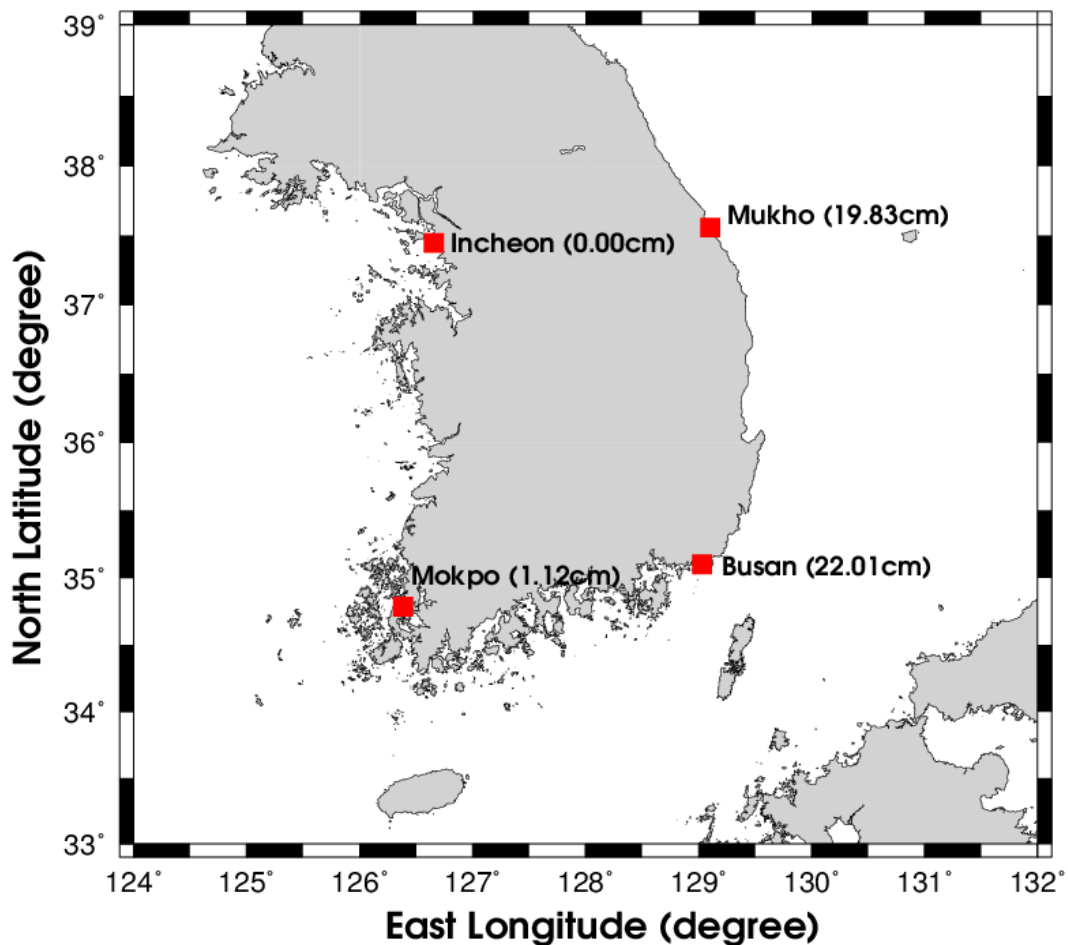


FIGURE 3. Sea level slope with respect to the Korean vertical origin point(Incheon)

서 결정된 목포, 부산, 목호 기본수준점(TBM)에서 지역별 수준기점(BM)까지 수준측량을 수행한 후 계산한 결과(NGII, 2018)는 표 4와 같다. 표 4에서 수준측량으로 결정한 목포기점(목포), 09-00-00(부산), 20-26-00(목호)의 표고(①)와 인천 수준원점 표고로 수준망 조정된 기존 고시성과(②)와의 차이로 해면지형을 계산하였다.

수준측량에 오차가 없다는 가정 하에 해면지형을 분석한 결과, 인천은 -2.27cm, 목포는 -1.15cm, 부산은 19.74cm, 목호는 17.56cm인 것으로 나타났다. 평균해수면은 지오이드와 완전히 일치하지 않는데 지역 평균해수면과 지오이드와의 차이를 나타내는 식 2에 의해 우리나라의 해면지형은 부산에서 최대 20cm의 차이가 발생하였다. 또한, 인천 수준원점을 기준(0.00cm)으로 지역별 수준기점(목포 : 목포기점, 부산 : 09-00-00, 목호 : 20-26-00)에서 계산한 해면경사는 각각 1.12cm, 22.01cm, 19.83cm이다. 그림 3은 인천 수준원점을 기준으로 한 우리나라 연안의 해면경사를 나타내고 있다.

우리나라 측지수준망 검토

단일 수준원점 체계를 채택하고 있는 우리나라에서 인천 수준원점은 수준측량의 출발점이므로 중요하다. 또한, 인천을 기준으로 표 4의 동·서 및 남·북 방향별 상대적인 해면지형 차이를 계산한 결과는 우리나라 측지수준망 검토에 있어 중요한 의미를 갖는다. 측지수준망의 검토는 동일 기준시점에서 장기 조위관측자료로 결정한 지역 평균해수면을 수직기준(0.0m)으로 하여 기존 수준점의 표고를 수준망의 외부에 위치한 수준기점에서 검토하는 것을 말한다.

Penna *et al.*(2013)은 수준노선에서 유발된 양(+)과 음(-) 부호 오차는 수준환에서 서로 상쇄되기 때문에 이들 상쇄오차(compensating error)로 인해 환 폐합차가 감소되고 오차를 검출하기 어렵다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 1등 수준망에 내재된 수준측량 오차를 분석하고자 인천 수준원점을 기준으로 상대적인 해면지

형 차이인 해면경사를 계산하여 현 우리나라 측지수준망에서의 표고 불일치 문제를 검토하고자 하였다.

1. 1등 수준망 표고 불일치 분석

전국 1등 수준망으로 연결된 교점(교BM02, 교BM03, 교BM06, 교BM07, 교BM16)과 수준점(04-34-00, 05-10-00, 34-34-00)에서 동·서, 남·북 방향별 표고 차이를 분석하였다. 표 5에서 나타난 것처럼 동·서 방향에서 인천과 목호 사이에 위치한 교BM16과 34-34-00에서는 각각 0.0099m와 0.0106m, 목포와 부산 사이에 위치한 교BM03과 04-34-00에서는 모두 0.0241m의 표고 차이가 발생하였다. 또한, 남·북 방향에서는 인천과 목포 사이에 위치한 교BM02와 05-10-00에서는 각각 0.0247m와 0.0519m, 목호와 부산 사이에 위치한 교BM06과 교BM07에서는 각각 0.0108m와 0.0700m 표고 차이가 나는 것으로 분석되었다.

2. 수준기점에서의 방향별 해면경사 분석

18.6년 장기 해수면 관측에 의한 측지학적 수준측량의 검토 결과 표 6과 같이 북위 37.5°에 위치한 인천(-2.27cm)과 목호(17.56cm) 간의 차이는 19.83cm로 서해에서 동해로 갈수록 큰 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 또한, 목포의 평균해수면은 인천의 평균해수면보다 1.12cm가 높고, 부산의 평균해수면은 목호의 평균해수면보다 2.18cm가 높아 남향으로 상승하는 것으로 분석되었다.

결론

본 연구에서는 18.6년 이상 조위관측 자료를 이용하여 2017년 동일 기준시점에서 인천, 목포, 부산, 목호 평균해수면을 재계산하고, 기본수준점과의 연결 수준측량으로 전국 주요 항만에 위치한 수준점에서 해면지형을 분석하였다. 그리고 1944년 기준시점의 현 우리나라 측지수

TABLE 5. Height difference by direction at the intersection point of the first order leveling network (unit: m)

Order	Starting point	Intersection point	Ending point	Height	Direction	Difference
1st	Incheon KVOP*	교BM16	Mukho(20-26-00)	122.4406	W → E	0.0099
	Mukho(20-26-00)		Incheon KVOP*	122.4307	E → W	
	Incheon KVOP*	34-34-00	Mukho(20-26-00)	226.3307	W → E	0.0106
	Mukho(20-26-00)		Incheon KVOP*	226.3413	E → W	
	Mokpo BM	교BM03	Busan(09-00-00)	26.8866	W → E	0.0241
	Busan(09-00-00)		Mokpo BM	26.8625	E → W	
	Mokpo BM	04-34-00	Busan(09-00-00)	103.2192	W → E	0.0241
	Busan(09-00-00)		Mokpo BM	103.1951	E → W	
	Incheon KVOP*	교BM02	Mokpo BM	9.6548	N → S	0.0247
	Mokpo BM		Incheon KVOP*	9.6795	S → N	
	Incheon KVOP*	05-10-00	Mokpo BM	16.2968	N → S	0.0519
	Mokpo BM		Incheon KVOP*	16.3487	S → N	
	Mukho(20-26-00)	교BM16	Busan(09-00-00)	55.1799	N → S	0.0108
	Busan(09-00-00)		Mukho(20-26-00)	55.1907	S → N	
	Mukho(20-26-00)	교BM07	Busan(09-00-00)	43.5868	N → S	0.0700
	Busan(09-00-00)		Mukho(20-26-00)	43.6568	S → N	

* KVOP: Korean Vertical Origin Point

TABLE 6. Comparison of sea level slope computed by direction at the tidal station

Direction	Tidal station	Latitude	West coast	East coast
West ↔ East	Incheon	37.5°	0.00cm	
	Mukho	37.5°		19.83cm
	Mokpo	34.8°	1.12cm	
	Busan	35.1°		22.01cm
North ↔ South	Incheon	37.5°	0.00cm	
	Mokpo	34.8°	1.12cm	
	Mukho	35.1°		19.83cm
	Busan	35.1°		22.01cm

준망 설정에 관한 검토 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫 번째, 인천 조위관측소에서 1999년 1월 1일부터 2017년 8월 31일까지 18.6년 이상 장기 조위관측 자료(1시간 간격)를 조화분해로 결정한 평균해수면은 기본수준면(DL: Datum Level)으로부터 4.670m로 분석되었다. 2017년 동일 기준시점의 전국 주요 항만의 평균해수면과 비교하면, 목포, 부산, 목호에서 각각 0.020cm 상승, 0.038cm 하강, 0.013cm 하강한 것으로 분석되었다.

두 번째, 인천 기본수준점의 연결 수준측량으로 수준원점의 표고는 26.6644m으로 현 수준

원점 표고 성과와 비교하면 2.27cm의 차이가 나는 것으로 분석되었다. 2017년 동일 기준시점에서 기본수준점과 수준기점 사이의 연결 수준측량으로 계산한 표고성과를 적용하면, 목포, 부산, 목호 수준기점에서 각각 -1.15cm, 19.74cm, 17.56cm의 차이가 발생하였다.

세 번째, 북위 37.5°에 위치한 인천(-2.27cm)과 목호(17.56cm) 간의 차이는 19.83cm로 서해에서 동해로 갈수록 큰 차이가 발생하는 것으로 확인되었다. 또한, 목포의 평균해수면은 인천의 평균해수면보다 1.12cm가, 부산의 평균해수면은 목호의 평균해수면보다 2.18cm가 높기 때문에 남향으로 상승하는 것으로 분석되었다.

본 연구결과 그간 국내 측지학자와 해양학자 간의 서로 상반되는 견해를 보였던 위도상의 변화 문제는 서해와 동해에서 위도가 낮아질수록 해수면은 상승하는 것으로 분석되었다. 따라서 인천(26.6644m), 목포(2.8105m), 부산(15.6303m), 목호(51.5410m)로 우리나라의 측지수준망을 재 설정이 필요하다고 판단된다. 또한, 다중 수준기점 체계에서 권역별로 수준망 외부에서 내부 방향으로 수준측량 오차 발생 원인을 점검하여 현 수준망에서 발생하는 수준측량 오차를 정비할 필요가 있다.

현 단일 수준원점 체계에서는 해수면 상승, 지표 변위, 지각 변동 시의 편차(offset)량을 전 국토에 설치된 국가기준점 표고성좌에 일괄적으로 적용할 수 없어 국가기준점의 관리에 어려움이 있다. 향후 전국적인 전면 재 측량뿐만 아니라 수준망 내부에서의 표고차 불일치 문제를 효율적으로 해결하기 위한 기술적이고, 표준적인 해법으로 다중 수준기점을 이용한 수준오차 점검, 망 조정 설정에 대한 연구가 필요하다. **KAGIS**

REFERENCES

- Choi, B.H. 2009. External check of geodetic level survey using long term tial observation, Joint-conference for the Korean Association of Ocean and Technology Societies. p.406 (최병호. 2009. 장기 해수면 관측에 의한 측지학적 수준측량의 외적검토. 한국해양과학기술협의회 공동학술대회논문집. 406쪽).
- Gwan J.U. 1950, About tide of Incheon Port, Journal of the Japan Society of Oceanography 6(2):16-22 (관중웅. 1950. 인천항의 조석에 대하여, 일본해양학회지 6(2):16-22).
- Hunag H., H.S. Yun and D.H. Lee. 2008. Determination and analysis sea surface topography for unification vertical datum in east-asis area, Journal of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 26(3):207-217 (황학, 윤홍식, 이동하. 2008. 동아시아지역 수직기준 통일을 위한 해면지형 결정 및 분석. 한국측량학회지. 26(3):207-217).
- Korean Hydrographic and Oceanographic Agency(KHOA). 2011. A Study on sea level variations due to global warming. KHOA Annual Report (국립해양조사원. 2011. 지구온난화에 의한 해수면 변화 연구. 해양조사기술연보)
- Korean Hydrographic and Oceanographic Agency(KHOA). 2016. Analyzing sea level change for responding climate change. KHOA Annual Report (국립해양조사원. 2016. 기후변화 대응 해수면 변동 분석. 해양조사기술연보)
- Korean Institute of Policy Evaluations(KIPE). 2011. National assessment on sea level rise impact of korean coast in the socio-economic context I. pp.1-347 (한국환경정책평가연구원. 2011. 국가 해수면 상승 사회 경제적 영향평가 I. 1-347쪽)
- Lee C.K. 1993. The sea level slopes along the korean peninsular coast based on the first order leveling net in korea. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 11(2):35-41 (이창경. 1993. 1등 수준망에 기준한 한반도 연안의 해면경사. 한국측량학회지 11(2):35-41).
- National Geographic Information Institute(NGII). 1983. A study on the precision leveling network in korea. pp.1-332 (국립지리원. 1983. 우리나라 정밀수준망에 관한 연구. 1-332쪽).

- National Geographic Information Institute(NGII). 2010. A study on the establishment of vertical datum. pp.1-210 (국토지리정보원. 2010. 국가수직기준체계 수립을 위한 연구. 1-210쪽).
- National Geographic Information Institute(NGII). 2015. A study on establishing network of national geodetic control points for the next generation. pp.1-91 (국토지리정보원. 2015. 차세대 국가기준점망 구축 연구. 1-91쪽)
- National Geographic Information Institute(NGII). 2018. A study on korean mean sea level and leveling network review based on the original bench mark. pp.1-193 (국토지리정보원. 2018. 수준원점 높이기준면 및 단일원점 체계 재검토 연구. 1-193쪽)
- Penna, N.T., W.E. Featherstone, J. Gazeaux and R.J. Bongham. 2013. The apparent british sea slope is caused by systematic errors in the levelling-based vertical datum. *Geophysical Journal International* 194(2):772-786.
- The Korean Earth Science Society(KESS). 2009. Dictionary of Earth Science (한국 지구과학회. 2009. 지구과학사전)
- Yoon H.S., M.C. Chang, Y.S. Choi and Y. Huh. 2014. Analysis of national vertical datum connection using tidal bench mark. *Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information Science*. 22(3):47-56 (윤하수, 장민철, 최윤수, 허룡. 2014. 기본수준점을 이용한 국가수직기준연계 분석 연구. *한국지형공간정보학회지* 22(3):47-56).
- 管泽霖, 管铮, 瞿國君. 1996. 海面地形高程基准. 北京: 测绘出版社. pp.30-31. [KAGIS](#)