

西海 設計 基準 潮位面의 推定에 관한 豫備研究

이재형*, 박종찬**, ○조기태***, 윤재민****

1. 서 론

우리 나라의 수직기준을 설정하기 위한 조위관측은 1911년부터 조선총독부 임시 토지조사 국에 의하여 청진, 원산, 목포, 진남포, 인천의 순서로 3년에 걸쳐 日本 陸軍測地部の 지원을 받아 수행되었으며 각 항만의 평균해면을 산출하여 전국의 수준측량을 위한 표고기준이 되었다. 각 항구의 수준측량과 1등 수준측량을 연결하여 網 平均 계산에서 각 수준표석의 표고를 결정하여 이것을 삼각점에 직접 연결하여 전국표고의 기준이 되었다. 그러나 이 수준측량 사업의 자세한 결과는 남아 있지 않다. 해방후 內務部 土木局에서는 조선총독부에서 사용하던 조선삼각점 및 수준점을 사용하여 파괴된 수준점을 복구하여 사용하였으나 일제시대의 측량 원 자료를 처리한 문헌이 전혀 남아 있지 않아 각종 항만 개발사업에는 독자적인 항만의 공사기준면이 사용되어 왔으며 이를 시정하기 위해서 주요 검조소와의 연결측량을 수행한 바도 있다. 그러나 여전히 간척사업 등의 연안개발 사업에서 배수설계 등 큰 애로사항이 있어왔다[10]

박승우[6]등은 이러한 문제를 해결하기 위해서 회귀 모형을 제시했다. 西海 域을 인천, 군산, 목포를 기준으로 하여 3개 권역으로 분할하고 각 권역에 대하여 평균해면고를 위도와 경도를 독립변수로 한 선형 회귀식을 설정하고 既往의 조위 관측 자료를 활용하여 회귀 계수를 추정하였다. 이 모형의 단점은 권역간의 연계성이 없다는 점과 해도의 수직기준과 육상표고기준의 관계가 반영되지 않았다는 점이다.

본 연구의 목적은 이 두 가지 단점을 보완하기 위해서 크리징기법을 도입한 西海의 설계 조위 기준면을 추정하는 것이다. 크리징 기법은 Lee등이 국내에 처음 도입된 이래 강우의 공간 분포 추정 등을 위해서 활용되어 왔으며 그 유용성이 높이 평가된 기법이다.[16]

2 수직기준간의 관계

기준검조소에 설치되어 있는 검조의 영점표고를 각 연구기관의 측량성과별로 비교할 수 있다. 군산항의 경우 항만국의 측량성과에 의하면 군산내항의 평균해면은 인천항의 중등조위면에 비하여 4.3cm가 낮은 반면 국립지리원의 연안해역기본조사 성과에 의하면 32.5cm가 오히려 높다. 즉, 항만국과 국립지리원의 측량성과는 37.8cm차이가 있다.

* 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 농어촌진흥공사 조사설계처 과장

*** 전북대학교 공과대학 토목공학과 대학원 박사과정 수료

**** 전북대학교 공과대학 토목공학과 대학원 석사과정

한편, 본 연구진의 수준측량 성과에 의하면 군산외항의 평균해면은 인천중등조위면에 비해 2.0cm가 낮으며, 이 값을 기준으로 군산내항의 평균해면을 산정한 결과 내항의 평균해면은 인천중등조위면보다 5.1cm가 높다. 목포항의 경우 항만국의 측량성과에 의하면 목포항 평균해면은 인천중등조위면에 비하여 21.7cm만큼 낮으나, 농진공의 측량성과에 의하면 20.2cm 낮다. 즉, 항만국과 농진공의 측량성과는 1.5cm의 차가 있다. 또 연안해역 기본조사 성과에 의하면 목포항의 평균해면은 인천 중등조위면보다 10.8cm 낮다. 항만국의 측량성과와는 10.9cm, 농진공 조사결과와는 9.4cm 차이가 있다. 그림 2-1은 인천 기본수준면상의 연구기관별 측량성과에 의한 그리고 농진공이 실시한 임시검조소의 평균해면고를 도시한 것이다. 이 그림에서 국립지리원의 측량성과에 의한 평균해면은 동떨어져 있음을 알 수 있다.

3. 기준 조위면의 추정 모형

조위는 시·공간의 변동특성을 보이며 경향 또는 주기성분과 추세성분을 갖는다. 지역별 장·단기 조화분석자료를 토대로하여 연안 구조물 설계의 기준으로 삼고 있는 설계기준조위(지역 기본수준면, 평균해면 그리고 지역대조평균만조면)는 공간변동특성이 논의의 대상이된다. 따라서 설계기준조위가 정의될 수 있는 무작위장에서 설계기준조위를 정의하고 무작위변수의 확률구조와 조위관측소에서의 공간에서의 변수를 추정할 수 있는 모형을 기술한다.

n 개의 관측소의 변수값 $Z(x)$ 가 주어져 있다. 문제는 변수의 선형범용함수인 Z_0 을 추정하는 것이다. Z_0 을 추정하기 위해서 n 개의 가용자료의 가중 평균을 고려한다. 문제는 최적 추정치를 주는 가중치 λ_i 를 찾는 것이다. 무작위 변수 $Z(x)$ 의 확률해석으로부터 Z_0 을 한 무작위 변수의 실현값으로써 간주할 수 있다. 가중치 λ_i 는 이 Z_0 가 불편 추정치이어야 하고 최적값이어야 하는 조건을 만족하여야 한다. 즉, 과소 또는 과대 평가가 되어서는 안되고 자승평균 오차가 최소가 되어야 한다. 이 개념을 수학적으로 표현하면 식(3-1)과 (3-2)이 된다. 즉,

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad i=1, \dots, n \quad \dots(3-1)$$

여기서, 0은 추정지점이고 i 는 관측지점이며 λ_i 는 계산된 가중치이다. 또 Z_i 는 지점 x_i 에서의 관측치이다.

$$\begin{aligned} \sum_{j=0}^n \lambda_j \gamma_{ij}(x_i - x_j) + \mu &= \gamma_{i0}(x_i - x_0) \quad i=1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j f_j' &= f'(x_0) \quad l=1, \dots, k \end{aligned} \quad \dots(3-2)$$

식(3-2)을 크리징 시스템이라고 한다. $n+k$ 개의 연립 방정식의 해와 $n+k$ 개의 미지수는 n 개의 가중치 λ_i 와 k 개의 라그랑지 승수 μ_l 이다,

4. 추정 결과 분석

한반도 주변해역의 조석 특성은 서해, 남해, 동해로 대별된다. 이 중에서 분석대상해역은 서해이다. 대상해역의 조위관측소분포, 분석에 이용될 수 있는 자료현황 등을 개괄하고, 설계기준조위의 확률구조를 대표하는 공간경향과 자기분산 분석결과를 기술한다. 또 확률분석으로부터 얻은 결과를 이용하여 미계측지점의 설계기준조위를 추정하고 그 정도를 평가한다.

4-1. 조위 관측소 분포와 가용자료

서해의 조위관측은 1910년 수직기준을 설정하기 위하여 인천과 목포에 최초의 기준 검조소가 설치되어 장기 조위관측을 실시하였다. 그 후 수로국에서는 기준 검조소를 점차증설하여 현재 서해에는 인천과 목포 기준검조소를 비롯하여 군산 과 대흑산도 4개소의 기준 검조소를 설치 운영하고 있다. 또한 농진공과 수로국에서는 지역의 실정에 따라 임시 검조소를 설치하여 단기 조위관측을 실시한 바 있는데 이중 농진공에서는 1978년부터 1988년까지 47개소의 임시관측소를 설치하여 1-4개월동안의 단기 조위관측을 실시한 바 있으며, 수로국은 28개소의 임시관측소를 설치하여 단기 조위관측을 실시한 바 있다. 농진공에서 단기 조위 관측을 실시한 임시관측소는 좌표원점(33°, 124°)을 기준으로 하여 각 검조소간의 최소거리는 0.001km이며 최대거리는 416km 떨어져 있으며 평균거리는 190.5km로 나타났다. 서해의 기준 검조소 및 임시검조소의 분포는 다음 그림4-1에 게재하였다.

4-2. 확률 구조의 특성

본 연구에서는 조위 무작위장의 공간경향을 분석하기 위하여 평균해면, 기본수준면, 그리고 대조 평균만조위면을 경도와 위도의 함수로 선형회귀분석을 실시하였다. 그 결과 각 기준조위면은 위도에 따른 경향은 나타났지만 경도에 따른 경향은 나타나지 않았다. 이 때 대상해역의 평균해면을 평면으로 간주하고 인천(37-28-08, 126-25-51), 군산(35-25-06, 126-37-36) 그리고 목포(34-46-41, 126-23-33) 등의 3개점의 영점표고에 가장 근접한 평면을 신뢰성있는 평면으로 간주하였다. 이 평균해면고의 평면은 40개 자료의 추정 평면과 7.0cm 차이가 있는 것으로 평가되었다. 그러나 기본 수준면과 대조평균만조위면은 기준검조소의 자료와 임시 검조소의 자료가 구별되지 않았다. 평균해면고를 위도함수로 선형회귀분석한 결과 회귀선의 기울기는 8.661cm/°로 평가되었으며, 이때의 결정계수 R은 0.50으로 평가되었다. 한편 Newlyn(50°)에서 Dunbar(57°)까지 1960년부터 1975년 동안 관측된 영국 평균해면(British M.S.L)을 위도함수로 선형 회귀 분석을 실시한 결과 5.15cm/°의 상향 경향이 나타났는데 이 결과는 본 연구의 결과와 유사하다. 기본수준면의 회귀선 기울기는 68.6156cm/°, 결정계수 R은 0.84, 대조평균만조위면의 회귀선 기울기는 74.2647cm/°, 결정계수 R은 0.77로 평가되었다. (표4-1)

각 기준 조위면의 확률구조를 대표하는 자기분산식의 차수와 계수를 평가하였다. 차수를 결정하기 위한 기준은 Jackknife가 1.0에 가까운지의 여부를 판정기준으로 채택하였다. 그 결과 3개 설계기준 조위면이 3차 자기분산식으로 평가되었다. 평균해면의 경우 최소 Jackknife 계수가 0.9772에서 자기 분산식의 계수는 $c=17.814$, $a_1=4.947$, $a_3=-0.0003$ 이었다. 그리고 기본수준면의 경우 최소 Jackknife계수는 1.033이고 이 때 분산식의 계수는 $c=87.832$, $a_1=22.692$, $a_3=0.024$ 이다. 또 대조평

균만조위면의 경우 최소Jackknife계수는 1.130 이고 이 때의 분산식의 계수는 $c=227.77$, $a_1=107.12$, $a_3=-0.012$ 이다. 그림 4-3은 원 자료로부터 산정한 자기분산값과 추정한 자기분산식을 비교한 것이다. 이 그림에서 3개 설계기준 조위의 확률구조는 상사임을 시사한다. 기본수준면의 자기 분산 값은 평균해면의 자기분산값에 0.1배, 대조평균만조면의 자기분산값은 평균해면의 자기분산값의 0.05 배 한 값이다.

표 4-1 공간경향 분석결과

기준 \ Drift	\hat{a}	\hat{c}	위 점 좌 표 (위도, 경도)	결정계수	비 고
평균 해면고	8.661	146.61	34°, 124°	0.85	7cm 조정
기본 수준면	68.616	-2115.94	34°, 124°	0.84	-
대조평균만조면	74.265	-2397.17	34°, 124°	0.77	-

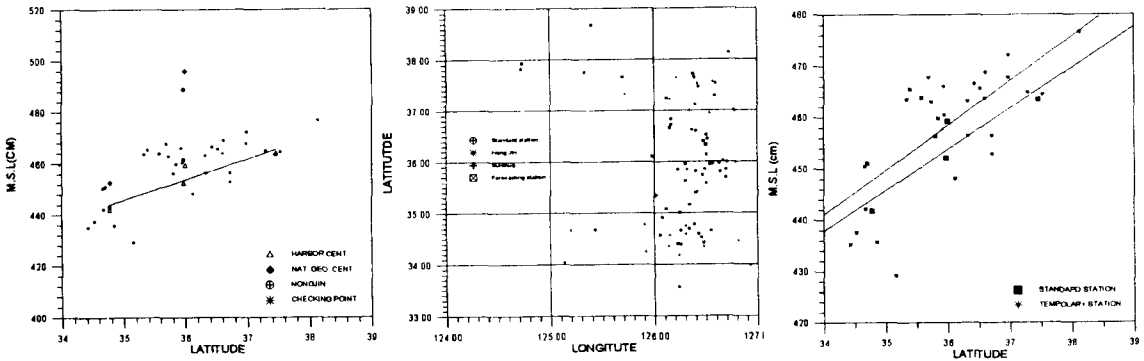


그림2-1 인천 기본수준면상의 평균해면고 비교도

그림 4-1 대상 해역과 관측소 분포

그림 4-2a 평균 해면고의 공간경향(위도방향)

4-3 등 조위면의 특성

본 절에서는 앞 절에서 평가된 자기분산식을 이용하여 서해의 등 평균해면고, 등 기준수준면, 등 대조평균만조위면을 크리징기법에 의하여 추정하였다. 크리징의 대상영역은 33E-39E, 124N-127N이다. 본 대상영역에서 군산 내항의 평균 해면고를 검증지점으로 채택하였다. 박승우가 제시한 회귀식은 지역 평균해면의 추정식이며, 독립변수로 기준항과 추정지점간의 경위도차를 채택하였다. 이 식에 의하여 군산 내항의 평균해면을 추정해 본 결과 346.6cm였다. 군산 내항의 지역평균해면은 343.7cm와 비교하였을 때 2.9cm의 차가 있다. 본 연구에서 추정된 군산 내항의 평균해면고는 -10.6cm로 평가됐는데, 군산 내항의 평균해면고 -11.4cm와 비교한 결과 0.8cm의 차가 발생하였다. 한편, 기본 수준면의 경우 본 연구에서 추정된 값은 -18.7cm이며, 군산 내항의 기본 수준면 -19.3cm과 비교하였을 때 0.6cm차가 발생하였으며 대조평균 만조위면의 경우 본 연구에서 추정된 값은 34.35cm이며, 군산 내항의 대조평균 만조위면 33.09cm와 비교하였을 때 1.26cm차이가 발생하였다. 본 연구에서 수행한 등평균 해면고, 등기준 수준면, 등대조 평균 만조위면도는 그림 4-4a, 4-4b, 4-4c에 게재 하였다.

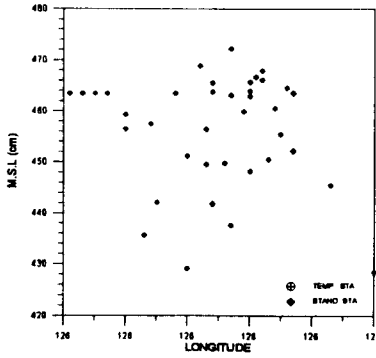


그림 4-2b 평균 해면고의 공간경향(경도방향)

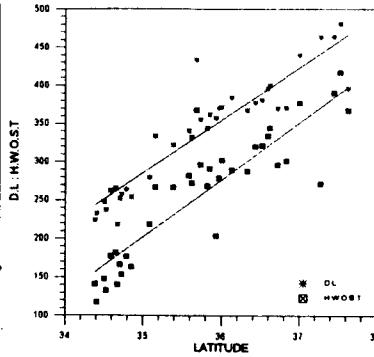


그림 4-2c D.L과 H.W.O.S.T의 공간경향

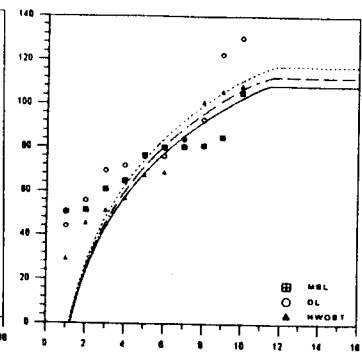


그림 4-3 자기분산도

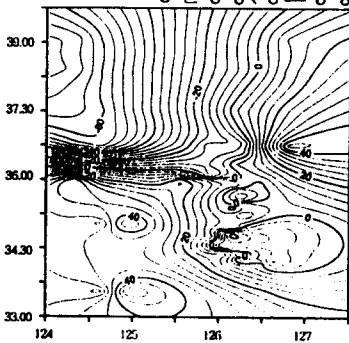


그림 4-4a 등 평균 해면고도

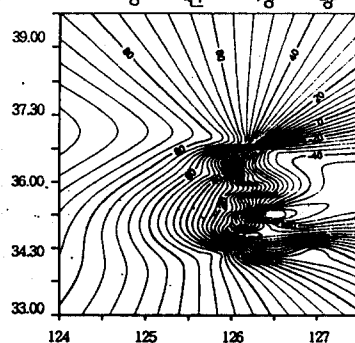


그림 4-4b 등 기본 수준면도

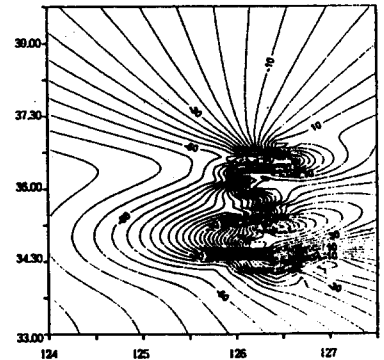


그림 4-4c 등 대조 평균 만조위면도

5. 결론

서해의 검조소 분포를 개괄하고 각 검조소의 평균해면 자료와 주요 4개분조 자료를 수집하였다. 수로국이 운영하고 있는 기준 검조소와 임시 검조소의 수직기준은 지역평균 해면이며 농진공의 임시 검조소의 수직 기준은 M.O.C. 표고이다. 군산과 목포 검조소의 검조의 영점표고를 조사했으며 확인 측량을 실시하였다. 기왕의 측량 성과를 종합정리하여 가능한 조위관측 기준을 M.O.C.표고 기준으로 통일 시켰다. 그의 결과에 따라 지역 평균 해면값을 서해전역 평균 해면값으로 변환했으며 평균해면 기본 수준면, 그리고 대조 평균 만조면 등의 실제 조위 기준면을 무작위 변수로 간주하고 확률구조를 분석했다. 공간 확률 구조를 대표하는 자기 분산 함수를 동정하고 크리징 기법에 의하여 실제 조위 기준면을 추정하였다. 이상을 종합하면 다음과 같다.

1. 본 연구진의 확인 측량과 농진공의 확인 측량 그리고 그동안 농진공이 조사해 놓은 임시 검조소의 영점 표고 등에 의하여 판단해본 결과 항만국의 측량성고가 보다 신뢰성 있는 것으로 평가되었으며, 군산 검조소의 검조의 영점 표고는 -11.4cm이며 목포 검조소의 검조의 영점 표고는 -21.7cm이다.

2. 설계 기준 조위면을 무작위장에서 기술하고 미관측 지점의 설계 기준 조위를 추정하기 위하여 크리징 시스템을 기술하였다.
3. 조위관측소 분포를 개괄하고 관측소간의 거리를 조사해 본 결과 최소 거리는 0.001 km이고 최대 거리는 416km이며 평균 거리는 190.5km이다. 또한 조위 관측 지점은 해안에 밀집되어 있으며 원해의 경우 몇 개의 섬에만 국한되어 있다.
4. 설계 평균 해면의 공간 경향은 위도 1°에 대하여 8.661 cm씩 증가하고 있으며 기본 수준면의 지표인 4개 분조의 반조차 값은 위도 1°에 대하여 68.62cm확폭되고 있고 대조평균 만조위 경우 위도 1°당 74.26 cm확폭되고 있다.
5. 자기 분산 함수식은 3차이며 평균해면, 기본수준면, 그리고 대조평균 만조면에서 같은 유형을 보였다.
6. 미계측 지점에 대한 추정 결과를 확인하기 위해서 군산 내항 검조소 지점을 검증 지점으로 택하여 추정해본 결과 참값과 근사했으며, 기왕의 연구 결과와 비교해본 결과 유용한 것으로 판단된다.

이상 추정한 설계기준조위는 연안역 개발을 위한 조사와 예비조사시 또는 연안역 개발에 관련한 조사 또는 설계기준으로 활용될수 있다.

참 고 문 헌

1. 李錫祐, 한국근해해상지, 집문당, 1992,9
2. 崔秉昊, 우리나라 精密水準網에 관한 연구, 국립지리원,1984
3. 박기진, 하구역에서 지형변화에 따른 조석체계의 변화, 부산대학교 대학원, 1995,2
4. 李錫祐, 한국 항만 수리지, 집문당,1994,12
5. 농어촌진흥공사, 서남해안 조사설계지구 조위 자료, 1987-9,12
6. 박승우, 해수면 및 해저퇴적층 변화예측 연구 I(1986,12), II(1987,12), III(1988,12)
7. 李錫祐, 금강 하구 수리 현상 조사, 군산항 건설 사무소, 1988,6
8. 수로국, 水路法規集, 1991,12
9. 崔秉昊, 安元植, 錦江 感潮區間의 潮汐 傳播, 한국수문학회지, 제1권 제1호, 1985,3
10. 崔秉昊, 우리나라 水準網形成의 沿革과 仁川의 標高 基準, 한국 해안 해양 공학회 소식지, 1994,4
11. 崔秉昊, 인천항 조위분석에 관한 연구, 해양개발연구소, 1980.9
12. 최병호,노상준, 영산강 하구둑에의한 조위변화의 재평가, 한국해안해양공학회 정기학술강연회논문집, 1996,5
13. 최병호, 노상준, 인천항 검조소 자료의 중간평가, 한국해안해양공학회 정기 학술강연회 논문집, 1996,5
14. 건설부, 연안해역기본조사 보고서(인천,목포지구), 국립지리원, 1980-82
15. 대한민국 수로국, 수로기술연보, 1981-1995
16. 이재형등, Kriging해석에의한 한강유역 호우의 공간분포특성, 전북대학교 논문집 vol30 자연과학편, 1988
17. 이재형등, 피압 대수층의 전달계수 동정, 한국수문학회지 제17권 제4호, 1984.12
18. Journel, A. G. and CH. J. Huijbregts, 1978. *Mining Geostatistics*, Academic Press, New York, NY.
19. Matheron, G., 1973. Intrinsic random functions and their applications, *Adv Appl Prob.*, 5, 439-468.
20. Kafritsas, J. and R. L. Bras, 1981. The practice of kriging, *Tech. Rep. No. 263*, Dept. Civ. Eng., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
21. Richard H.McCuen and Willard M.Snyder, *Hydrologic Modeling:Statistical Methods and Applications*, Prentice Hall, 1986