

한국 연안 최극 고조위의 매개변수 추정 및 분석 Parameter Estimation and Analysis of Extreme Highest Tide Level in Marginal Seas around Korea

정신탉* · 김정대* · 고동휘* · 윤길림**

Shin Taek Jeong*, Jeong Dae Kim*, Dong Hui Ko* and Gil Lim Yoon**

요 지 : 연안 및 항만구조물의 설계에서 최극 고조위는 매우 중요한 환경인자이다. 특히, 최극 고조위의 분포정보는 최근 부각되고 있는 신뢰성 설계에 필수적인 요소이다. 본 연구에서는 국립해양조사원에서 제시한 한국연안 주요 23개 검조소의 최극조위자료를 이용하여 극치분포 분석을 수행하였다. 특성분석에 사용된 극치분포함수는 Generalized Extreme Value, Gumbel 그리고 Weibull 분포이며, 각 분포함수의 매개변수는 모멘트법, 최우도법 그리고 확률가중모멘트법 등 3가지방법으로 추정하였다. 또한, 극치분포함수의 적합성은 95% 신뢰도 수준으로 χ^2 및 K-S 검정을 실시하였다. 그 결과, 23개 검조소의 최극 고조위는 Gumbel 분포형이 가장 적합한 모형으로 파악되었으며, 최적 추정된 매개변수 및 재현기간별 최극 고조위 정보를 제시하였다. 심 등(1992)이 제시한 인천, 제주, 여수, 부산, 목호에 대한 극치해면값은 본 논문에서 산정한 결과에 비하여 작게 나타났다.

핵심용어 : 최극 고조위, 신뢰성 설계, 검조소, 극치분포, 매개변수, Gumbel 분포

Abstract : For a coastal or harbor structure design, one of the most important environmental factors is the appropriate extreme highest tide level condition. Especially, the information of extreme highest tide level distribution is essential for reliability design. In this paper, 23 set of extreme highest tide level data obtained from National Oceanographic Research Institute(NORI) were analyzed for extreme highest tide levels. The probability distributions considered in this research were Generalized Extreme Value(GEV), Gumbel, and Weibull distribution. For each of these distributions, three parameter estimation methods, i.e. the method of moments, maximum likelihood and probability weighted moments, were applied. Chi-square and Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit tests were performed, and the assumed distribution was accepted at the confidence level 95%. Gumbel distribution which best fits to the 22 tidal station was selected as the most probable parent distribution, and optimally estimated parameters and extreme highest tide level with various return periods were presented. The extreme values of Incheon, Cheju, Yeosu, Pusan, and Mukho, which estimated by Shim et al.(1992) are lower than that of this result.

Keywords : Extreme highest tide level, reliability design, tidal station, extreme value distribution, parameter, Gumbel distribution

1. 서 론

조석현상은 여러 지역에서의 조석관측 결과에 기초하여 약 1개월 이내의 변화, 즉 단주기 변화와 1년 주기 변화, 즉 장주기의 변화를 파악할 수 있다. 따라서, 장래의 조석을 예

보하거나 과거의 조석상황을 추정할 수도 있다. 이러한 조석예보는 기상특성(기압 또는 바람 영향 등)을 포함 하고 있지 않으며, 따라서 현장에서 관측되는 자료와 예보값은 어느 정도의 편차가 발생하게 된다.

검조소에서 측정된 조위자료는 조화분석 과정을 통하여

*원광대학교 토목환경도시공학부(School of Civil, Environmental & Urban Engineering, Wonkwang University, 344-2, Shinyong-Dong, Iksan, 570-749, Korea. stjeong@wonkwang.ac.kr)

**한국해양연구원, 항만연안공간사업단(Korea Ocean Research & Development Institute, Coastal Space Research, glyoon@kordi.re.kr)

Table 1. Informations of tidal stations around the Korean coast

NO	지명	기간	자료 총년수	위치	비고 (결측년도)
1	속초	1974-2007	34	동해안	
2	목호	1965-2007	43	"	
3	울릉도	1965-2007	41	"	(1963, 1977)
4	후포	2002-2007	6	"	
5	포항	1972-2007	36	"	
6	울산	1963-2007	45	"	
7	부산	1960-2007	48	남해안 및 제주도	
8	마산	2003-2007	5	"	
9	가덕도	1977-2007	31	"	
10	거제도	2006-2007	2	"	
11	통영	1976-2007	32	"	
12	여수	1965-2007	43	"	
13	고흥	2005-2007	3	"	
14	거문도	1982-2007	26	"	
15	성산포	2004-2007	4	"	
16	서귀포	1985-2007	23	"	
17	모슬포	2004-2007	4	"	
18	제주	1964-2007	44	"	
19	추자도	1984-2007	24	"	
20	완도	1983-2007	25	"	
21	진도	2006-2007	2	"	
22	1 목포 1	1956-1978	23	서해안	영산강 하구둑 건설전후로 두 그룹으로 분리
	2 목포 2	1980-2007	28	"	
23	대흑산도	1965-2007	43	"	
24	영광	2002-2007	6	"	
25	위도	1985-2007	21	"	(2003, 2005)
26	장항	2004-2007	4	"	
27	군산	1960-2002	43	"	
28	군산(외항)	1980-2007	28	"	
29	보령	1986-2006	21	"	(2007)
30	안흥	1986-2007	22	"	
31	대산	2003-2007	5	"	
32	평택	1993-2007	12	"	(1996, 1997, 1998)
33	안산(탄도)	2002-2007	6	"	
34	1 인천(월미도) 1	1960-1972	13	"	인천항 선거 건설에 따른 관측위치변경으로 두 그룹으로 분리
	2 인천(월미도) 2	1975-1998	24	"	
35	인천	1999-2007	9	"	
36	울도	1999-2003	5	"	

스를 시작하여 자료가 충분하지 못하다. Table 1에 조위관측소의 지명, 관측시작연도, 자료총년수를 정리하였다.

2.2 자료 처리

조석현상은 해양에서 관측되는 현상 중 예측 가능성이 가장 큰 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라, 활용에 있어서도 건설, 환경, 물류 등에 중요하게 사용되고 있어 매우 중요한 현상이다. 해양수산부, 신 국제 설계 기준 및 일본 토목학회의 설계조위의 선정 방법은 대동소이한 내용이며 다음

과 같이 신 국제 설계 기준의 내용으로 정리할 수 있다.

- ① 최고 기록의 고조위 사용
- ② 폭풍해일 수위의 극치통계분석
- ③ 그 지역에서 과거에 발생한 최악의 폭풍해일 또는 쓰나미의 수치 시뮬레이션
- ④ 확률적 분석

국립해양조사원의 최근 고조위는 ①에 해당하는 자료이며, 국내, 일본 그리고 국제 기준을 만족하는 자료이다. 극치통계분석의 신뢰성을 만족하기 위해서는 30년 이상의 자

Table 2. Classification of tidal data used in this analysis

구 분	자료총년수	위치	개소
1	30년 이상	속초, 목호, 울릉도, 포항, 울산, 부산, 가덕도, 통영, 여수, 제주, 대흑산도, 군산	12개소
2	20년 이상~30년 미만	거문도, 서귀포, 추자도, 완도, 목포1, 목포 2, 위도, 군산(외항), 보령, 안흥, 인천(월미도) 2,	11개소
3	10년 이상~20년 미만	평택, 인천(월미도) 1	2개소
4	10년 이하	후포, 마산, 거제도, 고흥, 성산포, 모슬포, 진도, 영광, 장항, 대산, 안산(탄도), 인천, 울도,	13개소
합계			38 ¹⁾ 개소

1) 목포와 인천(월미도) 자료를 두 그룹으로 분류하여 2개소가 추가됨.

료가 이상적으로 필요하나, 현재 보유중인 자료를 10년 간격으로 분류하면 Table 2와 같다. 본 연구에서는 20년 이상의 자료가 확보된 지점, 즉 23개 지점을 대상으로 최극 고조위 분석을 실시하였다.

3. 극치분포함수의 매개변수 추정 및 적합도 검증 방법

3.1 극치분포함수의 종류

극치분포 해석에 사용되는 극치분포함수는 연구영역(홍수량, 강우량, 풍속, 파고 분석 등)에 따라 매우 다양하게 제안되어 있으며, 분석하고자 하는 극값의 성격 또는 지역적 특성에 따라 범용적으로 사용되는 극치분포 함수가 다른 양상을 보이고 있다. 그러나, 어떤 극치분포 함수를 사용한다 할지라도 원하는 신뢰도를 확보한다면, 기본적으로 분석과 정상의 문제는 발생하지 않는다. 따라서, 본 연구에서는 일반적으로 극치분포 해석에 널리 이용되는 Generalized Extreme Value, Gumbel 그리고 Weibull 분포함수를 선정하여 극치분포 해석을 수행하였다. 각 분포에 대한 확률밀도 함수, 가중밀도함수, 그리고 매개변수 추정 방법 등은 Kite(1988), 국립방재연구소(1998), Rao and Hamed(2000), 김정대(2003), 정 등(2004)의 자료를 이용하였다. Table 3에 본 연구에서 사용한 극치분포형을 정리하였다.

3.2 매개변수 추정방법

본 연구에서는 매개변수를 추정하는 방법으로 모멘트법(Method of Moments), 최우도법(Method of Maximum Likelihood), 그리고 확률가중모멘트법(Method of Probability Weighted Moments)을 사용하였다. 통계적인 관점에서 보면, 최우도법은 표본크기가 충분히 클 때 가장 효율적인 방법으로 평가되지만 수렴성에 있어 문제가 발생할 수 있으며, 표본의 크기가 작을 때 일반적으로 잘 일치하지 않는 결과를 얻게 된다. Gumbel 분포의 경우에는 모멘트법으로도 충분히 정확하고 불편의된(un-biased) 추정치를 구할 수 있으므로 가장 편리한 방법이라 할 수 있다. 그러나 모멘트법은 매우 왜곡된(skewed) 분포형의 경우 불완전한 추정치를 얻게 되며, 고차 모멘트로 갈수록 부정확해지는 단점이 있다. 또한 표본자료중에 이상치가 포함되면 모멘트법에 의한 방법은 만족스럽지 못한 결과를 준다. 최근에는 모멘트법의 단점을 보완한 확률가중모멘트법(Greenwood et al., 1979)과 L-모멘트법(Hosking, 1989)이 제안되었다. 확률가중모멘트법은 자료에 가중치를 부여하여 매개변수를 추정하는 방법으로 표본크기가 작거나 왜곡된 자료일 때 비교적 안정적인 결과를 얻을 수 있다. L-모멘트법은 확률가중모멘트의 함수를 선형조합하여 매개변수를 추정하는 방법이나, 본 연구에서는 검토대상에서 제외하였다.

Table 3. Distribution functions for extreme tidal data

Distribution	CDF (Cumulative Distribution Function)	Parameter
GEV (Generalized Extreme Value)	$F(x) = \exp \left[- \left\{ 1 - k \left(\frac{x-x_0}{\alpha} \right) \right\}^{1/\beta} \right]$	x_0 (Location) α (Scale) β (Shape)
EV1(Gumbel) (The Extreme Value Type I)	$F(x) = \exp \left[- \exp \left\{ - \left(\frac{x-x_0}{\alpha} \right) \right\} \right]$	x_0 (Location) α (Scale)
Weibull	$F(x) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{x-x_0}{\alpha} \right)^\beta \right\}$	x_0 (Location) α (Scale) β (Shape)

3.3 적합도 검정 방법

적합도 검정방법은 선정된 극치분포함수의 매개변수 추정이 완료되면, 원하는 신뢰도에 대하여 수행하게 된다. 전통적인 적합도 검정방법은 자료를 전체적인 관점 또는 pdf 비교를 통하여 분석하는 방법, 즉 χ^2 검정과 자료 하나하나의 편차 또는 CDF 비교를 통하여 분석하는 K-S(Kolmogrov-Smirnov) 방법으로 대별될 수 있다.

χ^2 검정의 경우 각 계급구간에 적어도 5개의 수치를 포함시키는 것이 바람직하다는 기준(Ang and Tang, 1975; 2007)과 Haldar and Mahadevan(2000)이 제안한 계급구간의 수를 고려하면 최소 필요한 자료의 개수가 30개는 되어

야한다. 이 방법은 본 연구에서 검토한 23개 자료 전체를 만족하지는 못하지만 적합도 검정에 가장 일반적으로 쓰이는 방법이고, 추정된 자료의 한계를 현 시점에서는 극복할 수 없기 때문에 불가피한 상황으로 간주하였다. 결과적으로, χ^2 검정은 K-S 검정보다 적합도 정도가 떨어졌다. 따라서, 본 연구에서는 K-S 검정 결과를 기준으로 모형의 적합도를 판단하였다. 최극 고조위 분석에 사용된 극치분포함수에 대해서는 95% 신뢰수준에 대한 적합성 검정을 수행하였다.

이러한 과정을 정리하면 Fig. 2와 같다.

4. 극치분포함수의 매개변수 추정 및 적합도 검정 결과

한국 연안의 최극 고조위 자료 중에는 단기간의 자료이기 때문에 장기간의 예측에 신뢰성 문제가 있는 자료가 포함되어 있었다. 그러나, 확률적인 사고 방식에 의하여 설계에 쓰이는 조위가 어느 정도의 발생확률을 갖고 있는가는 파악할 수 있다. 본 연구에서는 국립해양조사원에서 제공하는 한국 연안 조위관측소의 최극 고조위 자료를 모두 수집하여, 그 중 자료 총년수가 20년이상인 23개소의 재현기간별 최극 고조위를 산출하였다. 본 연구에서는 1년을 단위로 삼아 극치분포해석을 수행하였다. 즉, 매년의 자료중 가장 큰 최극조위만을 선정하는 년 최고치 방법(Annual maxima method)을 채택하였다.

한국 연안의 최적 확률분포형은 Gumbel 분포가 가장 적합한 것으로 파악되었다. 23개 검조소 자료에 대하여 모멘트법, 최우도법 그리고 확률가중모멘트법으로 매개변수를 추정한 결과 12개소(52.1 %)에서 Gumbel 분포가, 5개소(21.7 %)에서 GEV분포가, 6개소(26.1 %)에서 Weibull분포가 가장 적합한 것으로 산정되었다. 극치분포 해석을 수행한 결과를 종합하여 Gumbel 분포함수의 위치 및 규모 매개변수를 Table 4에 각각 정리하여 제시하였다. Table 4에서 ‘ML’은 최우도법, ‘MM’은 모멘트법 그리고, ‘PWM’은 확률가중모멘트법을 의미한다.

부산 등 5개 검조소의 경우 최우도법으로 산정한 GEV 분포가, 포항 등 6개 검조소의 경우 최우도법으로 산정한 Weibull 분포가 최적형이나, 일관성을 위하여 Gumbel 분포의 매개변수들을 제시하였다.

5. 최극 고조위 극치분석 결과

5.1 최극 고조위 산정

전술한 과정에 따라 적정 확률분포형이 결정되면, 여러

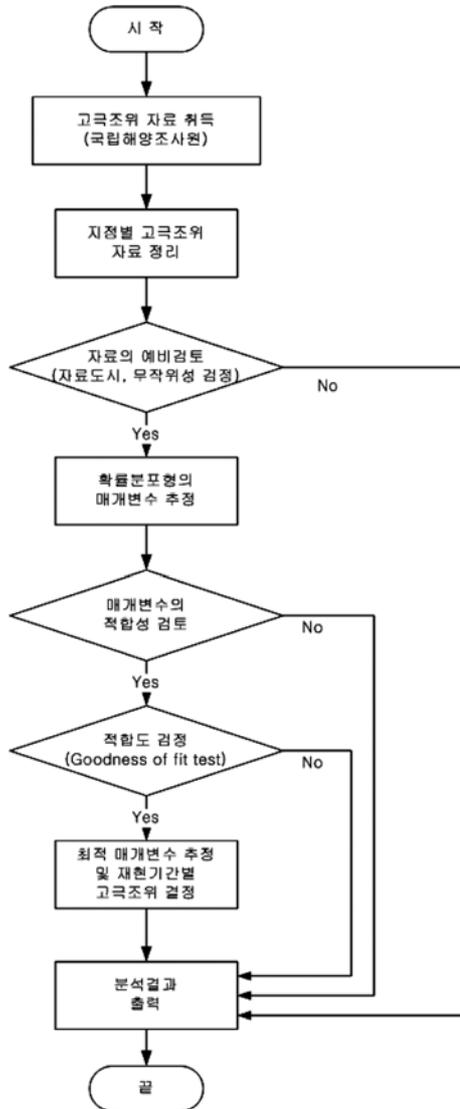


Fig. 2. Flowchart of the extreme tidal data analysis.

Table 4. Estimated parameters of Gumbel distribution

번호	검조소 위치	자료 개수	위치 매개변수	규모 매개변수	Gumbel 분포 매개변수 추정법	비고 (표준오차가 최소인 분포형)
1	속초	34	64.0410	6.9700	ML	Gumbel
2	목호	43	59.4526	7.4657	ML	Gumbel
3	울릉도	41	60.1719	10.6148	ML	Gumbel
4	포항	36	59.9102	12.0974	ML	Weibull
5	울산	45	82.8341	10.0317	ML	Gumbel
6	부산	48	155.7036	5.9622	ML	GEV
7	가덕도	31	217.6580	5.3989	ML	Gumbel
8	통영	32	313.9615	7.1716	ML	Gumbel
9	여수	43	394.9843	8.0748	ML	Weibull
10	제주	44	305.0604	6.9196	ML	Weibull
11	대흑산도	43	391.7091	11.8656	MM	GEV
12	위도	21	699.4577	8.1754	ML	Gumbel
13	군산	43	713.2984	44.7295	PWM	Gumbel
14	거문도	26	368.0432	6.7946	ML	Gumbel
15	서귀포	23	326.4431	6.8636	ML	Weibull
16	추자도	24	352.8451	5.3727	ML	Gumbel
17	완도	25	430.5167	4.0507	ML	Weibull
18	목포 1	23	432.7023	12.9415	ML	Weibull
19	목포 2	28	491.3247	18.3707	MM	GEV
20	군산(외항)	28	761.9508	13.6974	MM	GEV
21	보령	21	804.0681	14.9693	ML	GEV
22	안흥	22	728.2835	13.3495	ML	Gumbel
23	인천(월미도) 2	24	953.5202	10.6498	ML	Gumbel

Table 5. Inverse function of distribution functions for extreme tidal data

Distribution	Inverse Function	Parameter
GEV (Generalized Extreme Value)	$X_T = x_o + \frac{\alpha}{\beta} \left[1 - \ln \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right\}^\beta \right]$	x_o (Location) α (Scale) β (Shape)
EV1(Gumbel) (The Extreme Value Type I)	$X_T = x_o - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^\beta$	x_o (Location) α (Scale)
Weibull	$X_T = x_o + \alpha \left[-\ln \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right\} \right]^{-1/\beta}$	x_o (Location) α (Scale) β (Shape)

가지 목적에 따라 재현기간별 최극 고조위를 산정하게 된다. 최극 고조위를 구하는 방법에는 빈도계수법과 각 확률 분포형의 누가분포함수의 역함수를 이용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 재현기간 T에 대한 최극 고조위를 누가분포함수의 역함수를 사용하여 구하였다. 재현기간 T에 대한 최극 고조위를 누가분포함수의 역함수를 사용하여 구하는 식을 Table 5와 같이 정리하였다.

본 논문에서 대상으로 총 23지점에 대한 10, 20, 30, 50, 100, 200년 재현기간별 최극 고조위를 Table 6에 제시하였다.

5.2 기존 분석결과와 비교

과거에도 비교적 장기간의 조위 관측 자료가 축적되어 있는 인천(월미도), 제주, 여수, 부산, 목호 등 5개 지점에 대하여 극치분석을 실시하여 극치해면을 산정하였다(심 등, 1992). 25년의 기간이 지난 현재는 더 많은 자료가 축적되었으며 분석방법도 다양하게 발전되었다. 특히 극치분석은 자료의 수에 따라 추정결과의 질이 개선되므로, 이들 5개 지점에 대한 재현기간별 극치해면 산정 결과를 Table 7~11에 정리하여 비교 분석하였다. Table에서 []안의 값은 심 등 (1992)의 결과이다. Table에서 ‘ML’은 최우도법, ‘MM’은

Table 6. Estimated extreme tidal levels with various return periods (unit: cm)

번호	검조소 위 치	재 현 기 간(년)					
		10	20	30	50	100	200
1	속초	79.73	84.74	87.63	91.24	96.10	100.95
2	목호	76.25	81.63	84.72	88.58	93.80	98.99
3	울릉도	84.06	91.70	96.10	101.59	109.00	116.39
4	포항	84.13	92.84	97.85	104.11	112.56	120.98
5	울산	105.41	112.63	116.78	121.98	128.98	135.96
6	부산	169.12	173.41	175.88	178.97	183.13	187.28
7	가덕도	229.81	233.69	235.93	238.72	242.49	246.25
8	통영	330.10	335.26	338.23	341.94	346.95	351.94
9	여수	413.16	418.97	422.31	426.49	432.13	437.75
10	제주	320.63	325.61	328.48	332.06	336.89	341.71
11	대흑산도	418.41	426.95	431.87	438.01	446.29	454.55
12	위도	717.86	723.74	727.13	731.36	737.07	742.75
13	군산	813.96	846.15	864.68	887.83	919.06	950.18
14	거문도	383.33	388.22	391.04	394.56	399.30	404.03
15	서귀포	341.89	346.83	349.67	353.22	358.02	362.79
16	추자도	364.94	368.80	371.03	373.81	377.56	381.30
17	완도	439.63	442.55	444.23	446.32	449.15	451.97
18	목포 1	461.83	471.14	476.50	483.20	492.24	501.24
19	목포 2	532.67	545.89	553.50	563.01	575.83	588.61
20	군산(외항)	792.78	802.63	808.31	815.40	824.96	833.49
21	보령	837.75	848.53	854.73	862.48	872.93	883.34
22	안흥	758.32	767.91	773.46	780.37	789.69	798.98
23	인천(월미도) 2	977.49	985.15	989.56	995.08	1002.51	1009.92

Table 7. Comparison of estimated extreme tidal levels(Incheon, unit: cm)

인천(월미도) 자료 총년수: 24[23]									
재현 기간 (년)	GEV			EV1(Gumbel)			Weibull		
	ML	MM	PWM	ML	MM	PWM	ML	MM	PWM
50	996.18 [981.60]	996.89 [982.30]	1020.01 [982.60]	995.08 [991.80]	999.40 [987.20]	1034.71 [989.50]	Invalid [981.80]	996.36 [981.90]	1019.14 [981.70]
100	1002.37 [984.60]	1003.67 [985.70]	1028.13 [985.90]	1002.51 [999.20]	1008.13 [993.80]	1050.86 [996.60]	Invalid [985.10]	1002.49 [985.30]	1027.41 [985.00]
200	1008.07 [987.1]	1010.06 [988.60]	1035.18 [988.70]	1009.92 [1006.60]	1016.82 [1000.30]	1066.94 [1003.50]	Invalid [988.00]	1008.20 [988.40]	1034.93 [987.90]

Table 8. Comparison of estimated extreme tidal levels(Jeju, unit: cm)

제주 자료총년수: 44[27]									
재현 기간 (년)	GEV			EV1(Gumbel)			Weibull		
	ML	MM	PWM	ML	MM	PWM	ML	MM	PWM
50	326.90 [321.30]	327.12 [320.60]	336.03 [321.10]	332.06 [323.80]	328.60 [321.30]	339.35 [321.70]	Invalid [321.80]	326.83 [320.30]	335.13 [319.50]
100	330.03 [324.50]	330.28 [323.40]	340.61 {324.20}	336.89 [327.60]	332.88 [324.60]	345.89 [325.20]	Invalid [324.60]	329.71 [322.80]	339.20 [321.60]
200	332.94 [329.40]	333.22 [327.60]	344.84 {328.90}	341.71 [331.5]	337.15 [328.00]	352.40 [328.70]	Invalid [327.20]	332.38 [325.10]	342.95 [323.60]

모멘트법 그리고, ‘PWM’은 확률가중모멘트법을 의미하며, ‘Invalid’는 95% 신뢰수준에 대한 적합성 검정을 통과하지 않는 경우를 의미한다.

Gumbel 분포, 확률가중모멘트법을 이용하여 재현기간 50년 극치해면 산정결과를 비교하면, 인천 월미도의 경우 심등(1992)의 결과에 비하여 본 연구 결과가 3.3 cm 크고

Table 9. Comparison of estimated extreme tidal levels(Yeosu, unit: cm)

여수 자료 총년수: 43[24]									
재현 기간 (년)	GEV			EVI(Gumbel)			Weibull		
	ML	MM	PWM	ML	MM	PWM	ML	MM	PWM
50	421.66	422.09	434.05	426.49	423.77	437.6	Invalid	421.75	432.86
	[421.30]	[419.00]	[422.30]	[424.50]	[421.00]	[422.40]	[421.60]	[418.60]	[421.70]
100	425.34	425.92	439.90	432.13	428.86	445.70	Invalid	425.23	437.97
	[425.70]	[422.00]	[427.00]	[429.60]	[425.40]	[427.20]	[425.20]	[421.40]	[425.60]
200	428.75	429.49	445.36	437.75	433.94	453.68	Invalid	428.46	442.71
	[430.20]	[424.70]	[431.00]	[434.70]	[429.90]	[431.90]	[428.60]	[424.00]	[429.30]

Table 10. Comparison of estimated extreme tidal levels(Busan, unit: cm)

부산 자료 총년수: 48[27]									
재현 기간 (년)	GEV			EVI(Gumbel)			Weibull		
	ML	MM	PWM	ML	MM	PWM	ML	MM	PWM
50	184.71	187.84	187.43	178.97	185.92	187.10	Invalid	190.29	186.03
	[170.90]	[170.30]	[170.80]	[172.40]	[170.40]	[170.70]	[172.30]	[170.50]	[169.70]
100	189.64	196.17	193.57	183.13	191.59	193.02	Invalid	198.63	190.77
	[174.00]	[173.20]	[173.80]	[175.70]	[173.40]	[173.70]	[175.30]	[173.10]	[172.00]
200	194.43	205.37	199.74	187.28	197.25	198.92	Invalid	207.17	195.25
	[177.10]	[176.00]	[176.90]	[179.10]	[176.30]	[176.70]	[178.20]	[175.60]	[174.10]

Table 11. Comparison of estimated extreme tidal levels(Mukho, unit: cm)

목호 자료 총년수: 43[20]									
재현 기간 (년)	GEV			EVI(Gumbel)			Weibull		
	ML	MM	PWM	ML	MM	PWM	ML	MM	PWM
50	83.67	90.13	93.89	88.58	90.64	93.05	Invalid	90.08	92.37
	[78.90]	[77.80]	[79.70]	[83.30]	[79.80]	[81.30]	[80.10]	[77.50]	[79.40]
100	86.63	95.33	100.59	93.80	96.28	99.19	Invalid	94.69	97.46
	[82.00]	[80.40]	[83.00]	[88.00]	[83.70]	[85.70]	[83.20]	[79.90]	[82.40]
200	89.31	100.42	107.4	98.99	101.89	105.3	Invalid	99.04	102.29
	[85.00]	[82.80]	[86.20]	[92.70]	[87.70]	[90.00]	[86.10]	[82.20]	[85.20]

(Table 7참조), 제주는 8.3 cm(Table 8참조), 여수는 2 cm (Table 9참조), 부산은 6.6 cm(Table 10참조), 목호는 5.28 cm (Table 11참조) 크다는 것을 알 수 있다. 인천항의 경우 1973년 내항을 폐쇄하고, 1974년 인천항 선거를 개통하였기 때문에 이 시점을 전후하여 자료의 질이 비균일하다. 그러나, 심 등(1992)은 균일자료로 간주하여 분석을 하였기 때문에 결과의 신뢰도가 낮다.

6. 결론 및 토의

구조물을 설계하는 경우 가장 이상적인 방법은 설치하고자 지점에서 구조물의 내구년수에 상응하는 실제 관측 자료를 통계처리하여 적합한 설계조위로 사용하는 것이다. 그러나 대부분의 경우 실제 관측기간이 짧거나, 결측 자료가 상당수 존재하기 때문에 자료를 보완한 후, 극치 통계분석

과 빈도해석을 이용하여 구조물의 설계조위를 구하고 있다.

국립해양조사원에서 제공하는 최극 고조위 자료를 이용하여 극치분석을 실시하였다. 20년 이상의 자료가 확보된 23개 자료에 대하여 Generalized Extreme Value, Gumbel 그리고 Weibull 분포함수 등 3종류의 극치분포형을 사용하였다. 각 분포형에 대한 매개변수 추정은 모멘트법, 최우도법, 그리고 확률가중모멘트법을 이용하고, χ^2 검정과 K-S 검정을 이용하여 추정된 확률분포형의 적합도를 검증하였다. 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 극치분포함수에 대하여 95% 신뢰수준에 대한 적합성 검정을 수행한 결과, 한국 연안의 확률분포형은 최우도법으로 산정한 Gumbel 분포가 12개소(52.1%)에서 가장 적합한 것으로 파악되었다.

2) 23개 검조소 자료에 대하여 최적 추정된 Gumbel 분포의 위치 및 규모 매개변수는 Table 4에 검조소 위치별로

정리하여, 차후 결정론적 또는 신뢰성 설계시 활용토록 하였다.

3) 23개 검조소 자료에 대하여 Gumbel 분포로 산정한 10, 20, 30, 50, 100, 200년 재현기간별 최대 고조위를 Table 6에 제시하여 결정론적인 설계시 활용토록 하였다.

4) 인천 월미도의 경우 심 등(1992)의 결과에 비하여 본 연구 결과가 3.3 cm 크고(Table 7참조), 제주는 8.3 cm (Table 8참조), 여수는 2 cm(Table 9참조), 부산은 6.6 cm (Table 10참조), 목호는 5.28 cm(Table 11참조) 크다. 심 등(1992)은 1990년까지의 자료를 활용하였으나, 본 연구에서는 2007년까지의 자료를 포함하여 각각 17개의 자료를 추가하여 분석하였다. 따라서 본 연구결과가 더 신뢰도가 높다고 할 수 있다.

5) 금회 산정한 극치해면이 과거에 산정한 결과에 비하여 더 커진 원인이 전 지구적인 현상인 난화현상에 따른 해수면 상승에 기인한 것인지, 단순히 축적된 자료를 추가 활용한 결과인지는 1시간 조위자료를 분석함으로써 판단할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 및 한국해양수산기술진흥원의 “항만구조물 신뢰성 설계법 개발”사업의 연구비지원에 의하여 수행되었기에 감사드립니다.

참고문헌

- 고진석(1998). 한반도 주변 해역의 극치해면 추정, 성균관대학교 대학원 - 한국해양연구소 학연과정 박사학위논문.
국립방재연구소 (1998). 강우분석 프로그램의 개발.
국립해양조사원 (2007). <http://www.nori.go.kr>.
김정대 (2003). 한국연안 심해파의 극치분포 특성. 석사학위논문, 원광대학교.
심재설, 오병철, 김상익 (1992). 검조기록을 이용한 극치해면 산정. 한국해양해양공학회지, 4(4), 250-260.
정신탉, 김정대, 조홍연 (2004). 한국 연안 심해 설계파고의 극치분포 특성. 한국해양해양공학회지, 16(3), 130-141.
최병호(1981). 연안공학(III)-이상해면의 확률분포-, 대한토목

- 학회지, 제29권, 제2호 pp. 26-31.
최병호, 노상준(1996). 복합확률에 의한 우리나라 주요항만의 최대해면분석, 한국해양해양공학회 1996년도 정기학술 강연회 발표 논문 초록집, pp. 50-54.
Ang, A. H-S and Tang, W. H. (1975). Probability concepts in engineering planning and design, Vol I, John Wiley & Sons, Inc, 274.
Ang, A. H-S and Tang, W. H. (2007). Probability concepts in engineering Emphasis on applications to civil and environmental engineering, John Wiley & Sons, Inc, 290.
Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C., and Wallis, J. R. (1979). Probability Weighted Moments : Definition and Relation to Parameters of Several Distributions Expressible in Inverse Form., Water Resources Research, 15(5), 1049-1054.
Haldar, A. and Mahadevan, S. (2000). *Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design*, John-Wiley & Sons, 39.
Hosking, J. R. M. (1989). The Theory of Probability Weighted Moments, Research Report RC12210, IBM T.J. Watson Research Center, Yorktown Height, New York.
Kite, G.W. (1988). Frequency and Risk Analyses in Hydrology, Water resources publications.
Pugh, D.T. (1987). *Tides, Surges and Mean Sea-Level, A Handbook of Engineers and Scientists*, John-Wiley & Sons.
Pugh, D.T., 2004. Changing Sea Levels, Effects of Tides, Weather and Climate, Cambridge University Press.
Pugh, D.T. and Vassie, J.M. (1978). Extreme sea levels from tide and surge probability, Proc. 16th Coastal Engineering Conference, Hamburg, ASCE, pp. 911-930.
Pugh, D.T. and Vassie, J.M. (1980). Applications of the joint probability method for extreme sea level computations, Proc. Institution of Civil Engineers, Vol. 69, pp. 959-975.
Rao, A.R. and Hamed, K.H. (2000). Flood Frequency Analysis, CRC Press LLC.
Walden, A.T., Prescott, P. and Webber N.B. (1982). An alternative approach to the joint probability method for extreme high sea level computations, Coastal Engineering, Vol. 6, pp. 71-82.

Received August 2, 2008

Accepted October 13, 2008