

연약지반에 설치된 항만 외곽시설의 안전점검을 위한 침하 평가 간편식 제안 - 사석경사제 중심으로

김용희

서울시립대학교 토목공학과 박사과정

The Practical Simplified Equation for Settlement Evaluation of Counter Facility in Soft Ground Centering on Rubble Mound

Yong-Hee Kim

Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, University of Seoul

요약 본 논문의 목적은 육상구조물과 비교하여 특수한 설치환경 및 목적을 가지고 있는 항만 외곽시설에 대한 보다 현실적인 침하 평가기준을 제안하는데 있다. 최근 신항만 개발 사업으로 축조된 외곽시설 특히 방파제는 먼 바다의 연약 지반에 설치되는 경우가 많다. 외곽시설은 자중으로 파랑 등의 외력에 직접 저항하는 구조물로 그 중량이 상당하여 연약 지반 위에 설치되는 경우에는 침하가 쉽게 발생하지만 구조물의 안정성 또는 기능성에 큰 영향을 주지 않는다. 하지만 현행의 안전점검 세부지침은 이러한 외곽시설의 특성을 고려하지 않은 침하 평가기준을 제시하고 있다. 이에 보다 현실적으로 외곽시설의 침하를 평가할 수 있는 간편식을 제안하였다. 간편식은 설계에서 고려한 허용잔류침하량과 침하 안정성평가 결과를 적용하여 최대 침하량을 선정하도록 하였다. 제안된 간편식의 적정성을 검증하기 위하여 최근 실시한 방파제 6개소의 측량 평가결과와 제안된 간편식 적용결과를 비교하였다. 간편식을 적용하였을 때, 기존 평가결과보다 침하 평가등급이 상향되었으며, 안정성평가 결과 적용 시에는 실제 측량결과와 거의 유사한 결과가 얻어짐을 확인할 수 있었다. 본 간편식을 활용하여 침하평가를 실시할 경우, 구조물에 안정성 및 기능수행 여부와는 무관하게 낮게 평가되는 기존의 침하평가를 보다 현실적으로 실시할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract In this study, a simplified equation for settlement evaluation suitable for the special conditions of a counter facility is suggested. Recently, counter facilities, especially breakwaters, are constructed on soft ground in distant seas as new-port development projects. A counter facility that resists the external forces by self-weight settles easily when constructed on soft ground. Settlement in a counter facility and breakwater is not an important factor for maintenance than a land facility. On the other hand, the current settlement evaluation criteria are excessive for conducting a safety inspection. A settlement evaluation from a safety inspection followed by "Detailed Guidelines for a safety inspection on a counter facility" is used. A simplified equation was proposed to calculate the maximum settlement by applying the allowable residual settlement or settlement stability evaluation results. The suitability of the simplified equation was assessed compared to the assessed rating from the settlement survey results. The proposed simplified equation showed that the settlement evaluation rating had been upgraded. The proposed simplified equation is expected to be used to evaluate the practical structural stability and functional performance.

Keywords : Counter Facility, Breakwater, Rubble Mound, Inspection, Settlement Evaluation, Simplified Equation

*Corresponding Author : Yong-Hee Kim(Univ. of Seoul, Korea Ports & Harbours Association)

email: kyh84@koreaports.or.kr

Received March 10, 2020

Accepted June 5, 2020

Revised May 25, 2020

Published June 30, 2020

1. 서론

2000년을 전후하여 신항만 개발사업 등 대형항만 개발사업이 활발히 진행되었으며, 그 대부분이 연약지반이 위치한 외해에서 개발되어 연약지반처리를 위하여 많은 비용과 시간을 투입하였으나 최근 실시된 안전점검에서 큰 침하가 발생된 것이 다수 확인되었다. 이 중 가장 대표적인 사례가 부산신항에 건설된 동·서방파제로 건설 당시부터 대심도의 연약지반처리와 관련하여 많은 이슈가 있었으며 최근 실시한 동·서방파제의 정밀안전점검에서 실시한 측량결과 70cm의 침하가 발생한 것으로 확인되었다[1].

방파제와 같은 중요한 대형구조물은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하, 시설물안전법)에 따라 재해와 재난 예방을 위한 안전점검 및 유지관리를 실시토록 하고 있으며[2], 이때 적용하는 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침」(이하, 세부지침)에 의하면 방파제는 침하가 16~20cm이상 발생할 경우, 중대한 결함인 d등급으로 평가되어 강제적인 보수·보강 및 관리강화를 실시하게 된다[3]. 하지만 연약지반에 설치되는 방파제는 상당히 무거운 제체 중량 및 파랑과의 상호작용 등에 의하여 장기적으로 상당한 침하가 발생할 수 있으나, 세부지침에서는 이러한 환경적 특성을 고려하지 않고 있어 일선 현장에서 문제점으로 지적되고 있다[4, 5].

기존에 항만시설물 및 방파제의 효율적인 유지관리를 위하여 점검시기 결정 및 최적의 투자우선순위 연구[6, 7] 및 외곽시설의 상태평가 기법 정립을 위한 손상형태 전반에 걸친 연구[8], 항만시설물의 정밀안전진단을 위한 구조, 지반해석 기법 연구[9] 등이 수행되었으나 방파제의 침하 특성을 고려한 평가기법 개발에 관한 연구가 다소 부족해 보인다.

이에 본 연구에서는 정밀안전점검 시 보다 현실적인 침하평가를 실시할 수 있도록 방파제의 침하특성 및 설치환경이 고려된 침하평가 간편식을 제안하였다. 연구를 통하여 제안된 간편식은 허용잔류침하량과 침하 안정성 평가의 예측침하량이 적용된 형태이며 그 적정성을 평가하기 위하여 기존 정밀안전점검의 침하평가결과와 간편식 적용 결과를 비교하였다.

2. 연약지반에서의 방파제 침하

2.1 연약지반에서의 방파제 설계

외곽시설의 일종인 방파제는 항 외곽에서 외해로부터의 파랑을 직접 막아내어 항내를 보호하고 정온한 수역을 확보하는 중요한 구조물이다. 앞서 언급한 부산신항을 비롯한 국내의 거의 모든 방파제는 Fig. 1과 같이 방파제 제체의 자중과 저면의 마찰력을 이용하여 외력인 파랑에 직접적 저항하는 중력식 구조형식으로 대표적인 구조형식은 Fig. 2의 (a) 사석경사제 및 (b) 직립제(케이슨식)를 비롯한 혼성제, 소파블록 피복제 등이 있다.

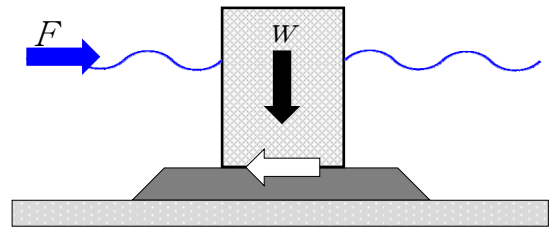


Fig. 1. Force Diagram of Gravity Type Breakwater

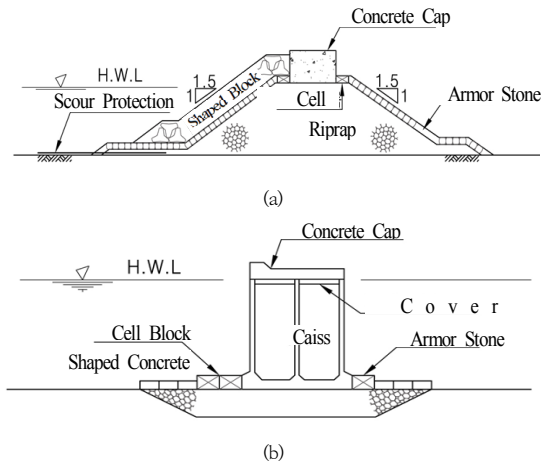


Fig. 2. Profile of Typical Breakwater
(a) Profile of Rubble Mound Breakwater
(b) Profile of Upright Breakwater

설계하중인 파랑을 자중으로 저항하는 중력식 구조물은 상당히 무거운 중량의 제체가 필요하고 이 중량으로 인하여 연약지반에서 단기적으로는 전단파괴, 장기적으로는 과도한 침하가 발생할 수 있다. 이러한 연약지반의 침하를 예방하기 위하여 하부지반을 모래 등으로 치환하거나 DCM공법 등으로 개량하고 그럼에도 침하가 예상되는 경우 침하량만큼 여유고를 추가하거나 준공 이후 단면중고가 쉬운 구조형식을 선정하며 설계조위에 대한 안정성 확보 및 월파 억제를 위하여 유의파고($H_{1/3}$)의

0.6~ 1.25배를 더하여 방파제의 천단높이를 결정하도록 방파제 설계기준인 KDS 64 45 20에서 제시하고 있다 [10]. 연약지반에 설치된 방파제의 경우에는 시공 이후에 발생하는 침하를 지속적으로 관리하고 있으며 부등침하, 활동·전도를 동반한 않는다면 구조적으로 문제가 없으며 배후의 정온 수역확보에 지장을 주지 않는다.

2.2 방파제 침하의 점검기준

방파제 등 항만시설에 대한 안전점검은 국토교통부의 「시설물안전법」과 해양수산부의 「항만법」[11]으로 이원화되어 실시되고 있지만 각 법에서 정한 점검 및 평가를 위한 세부지침은 동일한 것을 제시하고 있으며 그 중 침하와 관련한 평가기준은 Table 1과 같다[3], [12]. 침하 평가등급과 평가점수는 시설물의 평가단위(20m 내외)별로 실시되는 측량결과를 기준으로 진행성과 비진행성으로 구분하여 부여된다. 이렇게 각 평가단위별로 조사된 손상에 대한 평가점수를 합산하여 최종적으로 시설물의 안전등급이 결정된다.

세부지침에서는 항만시설을 계류시설과 외곽시설로 구분하여 각각 점검 및 평가기준을 제시하고 있는데 Table 1에서와 같이 계류시설과 외곽시설의 점검기준의 수치는 외곽시설의 수치가 1등급씩 하향된 것을 제외하면 동일한 기준, 방법으로 제안되어 있다.

Table 1. Settlement Criteria for Port Facility

Rating	Point	Mooring Facility		Counter Facility	
		Non-Progressive	progressive	Non-Progressive	progressive
a	5	under 5cm	under 2cm	under 8cm	under 5cm
b	4	5cm~8cm	2cm~5cm	8cm~12cm	5cm~8cm
c	3	8cm~12cm	5cm~8cm	12cm~16cm	8cm~12cm
d	2	12cm~16cm	8cm~12cm	16cm~20cm	12cm~15cm
e	1	upper 16cm	upper 12cm	upper 20cm	upper 15cm

이는 국토해양부(현, 해양수산부)에서 발간한 「항만시설물 유지관리시스템 운영 매뉴얼(2012)」의 외곽시설 조사방법을 따른 것으로 판단되며 이 매뉴얼에서는 외곽시설의 조사방법을 계류시설의 조사방법과 동일하게 적용하도록 제시하고 있다[13]. 계류시설의 침하는 기초지반의 침하, 부등침하, 뒷채움 토사의 토압, 초과상재하중 등을 원인으로 대부분 경사, 전도, 활동을 동반한 형태의 침

하가 주요한 손상이나 외곽시설에서의 침하는 파랑 및 조류에 의하여 전면부 세굴에 기인한 것으로 기초마운드 산란, 소파공 침하, 기초부 세굴 등의 형태가 주요한 침하의 손상형태이므로 계류시설의 침하기준을 외곽시설에 그대로 적용하는 것은 무리가 있다[14]. 다만 외곽시설 중 케이슨식과 같은 직립제는 계류시설과 구조형식이 유사하여 계류시설의 점검기준을 일부 인용하여 사용할 수 있지만, 사석경사제의 경우 계류시설과 구조형식이나 파괴의 거동이 전혀 다르므로 그 기준을 사용하는데에는 무리가 있다.

Table 2. Comparison of Settlement Criteria Corresponding to rating “d”

Facility Type	Settlement Criteria
Mooring Facility	12cm~16cm
Counter Facility	16cm~20cm
Retaining Wall	(Concrete)12cm~16cm (Reinforcement Soil)20cm ~ 30cm
Dam / Estuary Bank	Settlement Depth 50cm upper

Table 2는 항만시설물과 유사한 구조형태를 가진 옹벽, 댐, 하구둑의 침하 평가기준 중 d등급에 해당하는 평가기준을 나타낸 것으로[15], 모두 침하를 평가할 수 있는 일정 수치기준을 제시하고 있다. 다만, Table 2에 누락된 제방은 여타의 시설물과 달리 수치범위를 제시하지 않고 육안점검으로 그 징후를 조사하는 ‘조사된 상태’로 평가하도록 하고 있으며 항만시설물과 옹벽은 수치범위와 함께 ‘조사된 상태’도 함께 제시하고 있다.

침하 평가수치를 기준으로 12~16cm의 동일한 수치가 제시된 계류시설 및 콘크리트 옹벽과 계류시설보다 약 3배정도 큰 50cm 이상이 제시된 댐과 하구둑으로 구분할 수 있다. 활용목적을 기준으로 시설 상부 및 배후를 활용하는 계류시설 및 옹벽과 독립된 제체로 자중으로 외력에 저항하고 상부의 활용이 주목적이 아닌 외곽시설, 댐, 하구둑으로 구분되어 수치로 구분한 것과 동일하다. 이러한 점에서도 외곽시설의 침하 평가기준을 계류시설의 것을 활용하는 것에는 다소 무리가 있어 보이며 외곽시설의 환경에 적합한 평가기준이 재정립이 필요한 것으로 판단된다. 다만, 외곽시설의 침하 평가기준을 공유하는 시설 중에서는 육상 및 배후단지를 보호하기 위하여 설치되는 방파호안과 DCM(Deep Cement Mixing)공법과 같은 고화처리공법이 적용되는 직립제가 포함되어 있

으므로 기존의 침하 평가범위를 단순히 증가시키는 방법 보다는 사석경사제에 적용할 수 있는 평가방법을 별도로 제시하는 것이 바람직할 것이다.

2.3 방파제 침하 평가결과

Table 3은 최근 3년간 정밀안전점검 결과, c~e등급의 침하 평가결과를 부여받은 신항만의 대형방파제로 최대 침하량 및 침하 평가등급(settlement rating) 그리고 최종적으로 평가된 방파제의 안정등급(safety rating)을 나타내었다.

Table 3. Breakwater settlement evaluation results

	Structure Type	max. Settlement	Settlement Rating	Safety Rating
Breakwater I	Caisson	(-)46.1cm	e	D
Breakwater II	Caisson	(-)24.2cm	e	B
Breakwater III	Caisson	(-)13.7cm	c	B
Breakwater IV	Rubble Mound	(-)33.7cm	e	C
Breakwater V	Rubble Mound	(-)78.8cm	e	C
Breakwater VI	Rubble Mound	(-)67.7cm	e	B

6개 방파제 모두 증대한 결함 또는 거의 근접한 침하가 발생하였음에도 Breakwater I(케이슨식)을 제외하 나머지 방파제가 안전등급을 B등급(양호), C등급(보통)을 판정받았다. Breakwater I은 전체 연장의 1/3에 걸쳐 침하를 비롯한 다양한 손상이 발생하였으나, Breakwater II~VI의 경우 침하가 일부 발생하였으나, 그 외에

시설물의 사용성 및 안정성에 지장을 줄만한 손상이 없는 것으로 확인되며 이러한 조사결과를 바탕으로 안전등급이 B~C로 판정되었다[1]. 육상에서는 여타의 손상과 관계없이 침하로 인하여 안정성 및 사용성에 문제가 생길 수 있어 증대한 결함과 같은 규정이 필요하나 해상에 설치되는 방파제, 특히 사석경사제에서 장기간에 걸쳐 발생하는 20cm 내외의 침하는 구조적, 기능적으로 별다른 영향을 끼치지 않으며 극단적으로 연약지반에서 이 정도 수준의 침하는 당연히 발생할 것으로 예상하고 설계 및 시공하고 있어 Table 1과 같은 기준으로 증대한 결함을 판정하는 것은 다소 무리가 있어 보인다.

3. 방파제 침하 평가 간편식 제안

시설물의 점검은 단순히 세부지침에서 주어진 평가기준 및 수치에 따라 실시하는 것이 아니라 현장의 특성 및 환경 등을 고려하여 점검책임자가 점검서식 및 기준 등을 수정·보완하여 실시하도록 규정하고 이다[15]. 외곽 시설의 경우 앞서 설명한 것과 같이 육안으로 침하평가를 실시할 수도 있고 수치기준을 변경하여 실시할 수도 있지만 이러한 규정을 활용하여 침하평가 등 점검을 실시하는 사례가 극히 드물며 안전문제에 따른 책임소재를 피하기 위하여 기존의 침하 평가기준으로 그대로 적용하여 방파제의 안전성 및 기능성과는 무관하게 증대한 결함에 해당하는 d~e등급을 판정하고 있어 일선 관리현장에서 불필요한 행정력 및 예산이 소비되고 있다.

Table 4. Comparison of the Results of the Eq. (1) with Settlement criteria

Structure Type		Foundation Treatment Method	max. Measured Settlement	Assessed Rating	Allowable Residual Settlement	Settlement with Eq.(1)	Modified Assessed Rating
Breakwater I	Caisson	DCM	(-)46.1cm	e	10cm	(-)36.1cm	e
Breakwater II	Caisson	DCM	(-)24.2cm	e	10cm	(-)14.2cm	c
Breakwater III	Caisson	(Full) Dredging & Replacement	(-)13.7cm	c	10cm	(-)3.7cm	a
Breakwater IV	Rubble Mound	(Full) Dredging & Replacement	(-)33.7cm	e	30cm	(-)3.7cm	a
Breakwater V	Rubble Mound	(Part) Dredging & Replacement	(-)78.8cm	e	30cm	(-)48.8cm	e
Breakwater VI	Rubble Mound	(Part) Dredging & Replacement	(-)67.7cm	e	30cm	(-)37.7cm	e

3.1 허용잔류침하량을 고려한 간편식

연약지반 위에 설치되는 방파제는 앞서 설명한 것과 같이 장기적으로 침하가 불가피하게 발생하게 된다. 하지만 현재의 침하 평가기준은 이러한 방파제의 침하특성을 적절히 반영하지 못하고 있으므로 일선 현장에서 손쉽게 얻을 수 있는 자료를 활용하여 보다 현실적인 침하평가를 실시할 수 있도록 식 (1)과 같은 간편식을 제안하였다.

$$E.S.(Z) = (D.L. - A.R.S.) - V.L.(z) \quad (1)$$

Where, E.S. denotes excessive settlement, D.L. denotes design level, A.R.S. denotes allowable settlement, V.L. denoted vertical surveying level

식 (1)은 설계표고(D.L)에 측량결과(V.L)와 함께 허용잔류침하량(A.R.S)을 고려하도록 제안하여 보다 실제에 가까운 침하평가를 할 수 있도록 도출하였다. 설계 시, 방파제가 파랑을 효과적으로 제어하기 위한 필요 천단고를 산정하고 10~30cm 정도의 허용잔류침하를 추가적으로 적용하여 설계표고를 결정하므로 실제에 가까운 침하량 산정을 위해서는 허용잔류침하량을 설계표고에서 제하는 것이 적정한 것으로 판단된다. 또한, 허용잔류침하량은 점검 및 진단 시 수집하는 설계도서에서 손쉽게 확인할 수 있는 값이므로 별도의 침하 안정성평가 결과가 없을 경우 가장 간편하고 현실적으로 침하평가를 실시할 수 있는 방법이라고 판단된다.

Table 4는 식 (1)의 적정성을 평가하기 위하여 Table 3의 기존 침하평가 결과와 허용잔류침하량을 적용한 결과를 비교한 것이다. Table 4에는 비교 대상으로 선정된 방파제의 구조형식, 지반개량공법, 최대 침하량, 기존방법을 적용한 침하 평가등급, 허용잔류침하량, 식 (1)을 적용한 최대 침하량과 변경된 침하 평가등급을 나타내었다. 기존 침하평가 등급은 6개소 중 5개소가 e등급, 1개소가 c등급이었지만 식(1)을 적용한 결과 Breakwater III, IV가 침하 평가등급이 e등급에서 a등급으로 상향되었다. 검토 대상 중 DCM공법이 적용된 Breakwater I, II는 케이슨식으로 허용잔류침하량 이상의 초과침하가 발생할

경우, 전도나 활동의 추가 손상이 발생할 수 있어 정밀안전진단 실시 및 보수보강조치 결정이 필요하다. 각각 c, e등급에서 a등급으로 상향된 Break water III, IV는 전면굴착 치환공법이 적용된 케이슨식과 사석경사제로 허용잔류침하량 10cm, 30cm를 적용하면 실제 초과 침하량이 3.7cm에 불가하게 된다. 더욱이 사석경사제의 경우, 지반침하뿐만 아니라 제체 내부사석이 외력 등에 의하여 재배열됨에 따라 지반의 침하와 무관하게 구조물의 천단고가 낮아지는 경우가 있으며 이는 오히려 사석간의 인터로킹 작용을 강화시키므로 구조안정성을 증가시키는 효과가 발생시키므로 사석경사제에서의 침하를 구조물의 안정성 저해하는 요인으로만 평가하기에는 문제가 있다.

뜬구조형태의 부분치환공법이 적용된 사석경사제 Breakwater V, VI는 허용잔류침하량을 고려함에도 불구하고 실제 초과 침하량이 48.8cm, 37.7cm가 발생되어 e등급으로 평가되었다. Breakwater V, VI의 설치된 장소는 연약층이 평균 50m인 곳이지만 뜬구조형태를 적용하여 시공 및 공용 중에 침하가 지속적으로 발생할 것으로 예상하고 설계, 시공한 후 지속적인 유지관리를 실시하고 있다. Fig. 3은 Break water V, VI에서 침하가 70cm 가량 발생한 구간의 전경으로 200~300m에 걸쳐 균등침하가 발생하였고 이 외의 구조적, 기능적 이상을 확인할 수 없었다.

이처럼 허용잔류침하량 이상의 침하가 충분히 예상되며 또한 발생한 침하가 구조물의 안정성과 기능성 저하에 별다른 영향을 주지 않는 사석경사제에 한하여 식 (1)의 허용잔류침하량을 적용하는 방법은 다소 무리가 있어 보인다. 더욱이 최근 국내 설치되는 대부분의 대형방파제가 케이슨식이 적용되고 있지만 정밀안전점검을 실시해야 하는 방파제 중 44.6%가 사석경사제이므로 앞으로 이와 같은 침하 점검사태가 더욱 많이 발생할 것으로 판단되므로 연약지반 위에 설치된 사석경사제의 침하에 대하여 보다 현실적이고 정확한 평가방법 제안이 필요해 보인다.

Table 5. Comparison of the Results of the Eq. (2) with Settlement criteria

Structure Type		Foundation Treatment Method	max. Measured Settlement	Assessed Rating	'13 Predicted Settlement	Settlement with Eq.(2)	Modified Assessed Rating
Breakwater VI	Rubble Mound	(Part) Dredging & Replacement	(-)78.8cm	e	79.3cm	(+)0.5cm	a
Breakwater VII	Rubble Mound	(Part) Dredging & Replacement	(-)67.7cm	e	67.8cm	(+)0.1cm	a

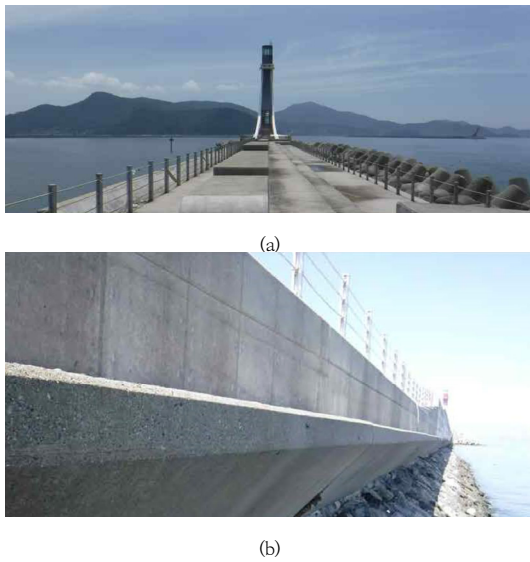


Fig. 3. Panoramic View of Breakwater V, VI(2018)
(a) Breakwater V (b) Breakwater VI

3.2 침하 안정성평가 결과를 고려한 간편식

시설물의 안전점검 시, Breakwater V, VI와 같이 예상 밖의 큰 침하가 발생할 경우나 침하에 따른 이상의 징후가 있을 경우 침하 안정성평가를 실시할 수 있다. 세부 지침에서는 상부공의 표고와 설계표고를 비교하여 안정성평가를 실시하도록 정의되어 있지만 설계표고의 명확한 정의가 없으며 계선주 및 방층재에 관한 고려가 포함 된 것으로 보아 계류시설의 기준을 인용한 것으로 판단 되어 보다 명확한 외곽시설 침하 안정성평가 간편식을 식(2)와 같이 제안하였다.

$$E.S.(Z) = (D.L. - P.S.) - V.L.(z) \quad (2)$$

Where, P.S. denotes predicted settlement for the year

식 (2)는 식 (1)과 동일한 형태로 설계표고(D.L)에서 안정성평가로 도출된 해당년도의 예측침하량(P.S)과 측량결과(V.L)를 고려하도록 제안하였다. 공용 중 실시하는 침하 안정성평가 결과뿐만 아니라 설계 시 검토한 침하 안정성평가도 활용할 수 있어 점검 전 수집하는 설계도서를 활용하여 간편하게 식 (2)를 통한 보다 현실적인 침하평가를 실시할 수 있다.

Breakwater V, VI의 경우, 최초 설계 시와 '13년도에 침하 안정성평가를 실시하였으며 그 중 '13년 안정성평가결과를 식 (2)에 적용한 결과가 Table 5이다. '13년도에 실시한 침하 안정성평가와 '18년도 측량결과를 비

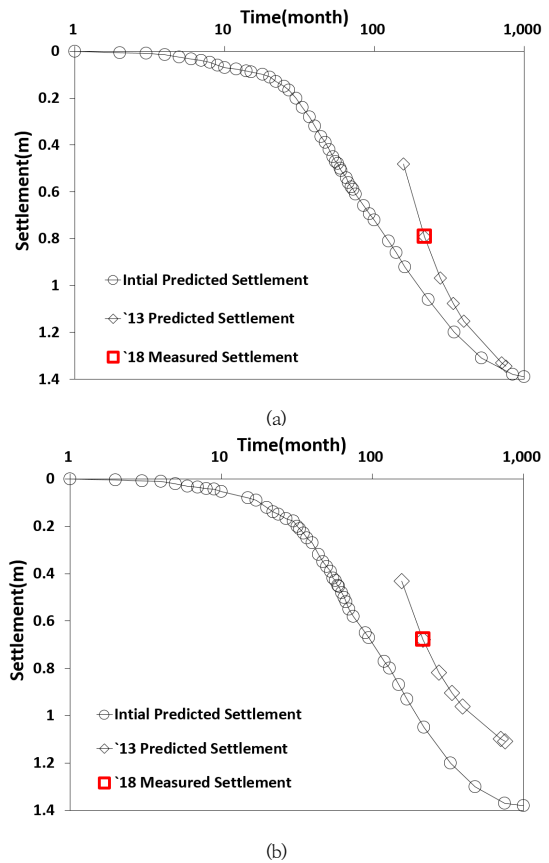


Fig. 4. Comparison of Predicted and Measured Values
(a) Breakwater VI (b) Breakwater VII

교한 결과, 안정성평가에서의 '18년도 예상침하량과 실제침하량의 차이가 0.5, 0.1cm에 불과하여 침하평가 a등급으로 상향 판정할 수 있다.

또한, Breakwater V, VI의 최초 설계 시와 '13년도에 실시한 침하 안정성평가 결과에서 얻어진 공용기간 중 예상침하량과 실제 침하량을 비교·도시한 것으로 실측한 침하량은 최초 설계시 예측했던 침하량에 비하여 각각 25%, 36% 정도 침하가 덜 발생한 것을 확인할 수 있으며, '13년 예측한 결과와는 거의 동일한 침하량이 발생함을 확인할 수 있어 Breakwater V, VI와 같이 현행의 침하 평가기준을 적용한 결과, 과도한 침하가 발생한 것으로 판정되는 사석경사제 방파제에 한하여 식 (2)를 적용하여 침하가 구조물에 미치는 보다 현실적인 영향을 확인하고 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

항만 외곽시설 특히 사석경사식 방파제에서 공용 중 발생하는 침하는 일부 구조형식에서 구조물의 안정성이거나 기능에 큰 영향을 주는 주요인자가 아님에도 불구하고 현행의 안전점검 세부지침은 이러한 구조물별의 특성을 고려하고 있지 않아 보다 현실적인 시설물 운영 및 유지관리를 위하여 본 연구에서는 점검현장에서 간편하게 사용할 수 있는 침하평가식을 제안하였다.

본 연구에서는 보다 현실적인 침하평가를 위하여 정밀 안전점검 및 정밀안전진단을 실시할 때 사전에 수집하는 설계도서에서 확인할 수 있는 허용잔류침하량을 적용한 간편식 (1)과 설계 시 또는 구조물에 이상 징후가 있을 경우 실시하는 침하 안정성평가 결과를 활용한 간편식 (2)를 제안하였다.

연구를 통해 도출된 간편식의 적정성으로 평가하기 위하여 최근 3년간 정밀안전점검에서 실시한 침하평가 중 과도한 침하(c~e)가 발생한 방파제 6개소를 선정하고 간편식을 적용·검토하였다. 허용잔류침하량을 적용한 식 (1)의 경우, 6개 방파제 중 3개가 평가등급이 상향되었으며 이 중 2개소는 평가등급이 a등급으로 상향되었다.

침하 안정성평가 결과를 적용한 경우, e등급 2개소 모두가 a등급으로 상향되었는데, 점검 시 얻어진 침하량은 설계 시 실시한 침하 안정성평가 결과보다는 25%, 36% 적고 공용 중인 '13년도 실시한 침하 안정성 평가결과와는 거의 유사한 것으로 확인되어 사석경사제의 침하평가 시, 새롭게 제안한 간편식 (2)는 일선 점검현장에서 활용이 가능할 것으로 보인다.

연구를 통해 제안된 간편식은 연약지반에 설치된 방파제 특히, 사석경사제에 한정하여 보다 현실적이고 효과적인 침하평가를 실시할 수 있을 것으로 기대되며 이를 통하여 다소 과도하다고 지적되던 침하평가 기준에 따른 연약지반 방파제의 증대한 결함 판정이 줄어들 것으로 보이며 이로 인하여 소비되던 불필요한 행정력 및 재정도 절약할 수 있을 것이다.

향후, 연약지반에 설치되는 사석경사제 뿐만 아니라 직립식 방파제, 방파호안 등 모든 외곽시설에 동일하게 적용할 수 있는 침하 평가기준 제시를 위하여 다양한 구조형식 및 환경조건의 외곽시설 측량결과 확보가 필요할 것으로 보이며 외곽시설의 특성에 맞게 제체의 침하 뿐만 아니라 TTP와 같은 소파공의 침하가 구조물의 안정성 및 기능성에 미치는 영향을 고려한 침하 평가기준 제시를 위한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

References

- [1] Korea Infrastructure Safety Corporation, Facility Management System(FMS) [Internet], Korea Infrastructure Safety Corporation, c2019 [cited 2019 Dec. 30], Available From: <http://www.fms.or.kr> (accessed Dec. 30, 2019)
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), Special Act on the Safety Control and Maintenance of Establishments, 2020
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), Detailed Guidelines of Safety Inspection and Precision Safety Diagnosis - Port Counter Facility, 2019, pp.5-30
- [4] O. S. Kwon, I. S. Jang, W. S. Park, K. D. Yum, "Evaluation of Safety Factors for the Soft Ground Breakwater Design", *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol.15, No.4, pp.197-206, Dec. 2003.
- [5] T. H. Kim, J. M. Nam, I. S. Kim, S. K. Yun, "Characteristics and Causes of Wave-Induced Settlement in Caisson Breakwater: Focusing on Settlement Data", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.30, No.7, pp.27-40, July. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.7843/kgs.2014.30.7.27>
- [6] C. H. Lee, "Development of Stochastic Decision Model for Estimation of Optimal In-depth Inspection Period of Harbor Structures", *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol.28, No.2, pp.63-72, Apr. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.9765/KSCOE.2016.28.2.63>
- [7] Y. H. Kim, Y. H. Lee, J. J. Song, S. Y. Lee, "The Development of Investment Prioritization Criteria for the Mooring Facilities's Maintenance by the Delphi Study", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.15, No.1 pp.515-524, Jan. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.1.515>
- [8] J. E. Park, K. S. Kyung, D. S. Kim, H. W. Ryu, B. G. Shin, "A study on establishing assessment method for performing precision check-up and precision safety inspection of coastal structures(breakwaters)", *Proceedings of KSMI Conference*, The Korea Institute For Structural Maintenance and Inspection, Pyeongchang, S. Korea, Vol.2015 No.10, pp. 29-30, October 2015.
- [9] S. R. Lee, "Structure and Foundation Analysis for Safety Examination of Harbor Structure", *Journal of the M.N.U. Engineering Research Institute*, Vol.3, pp.25-43, 1993.
- [10] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF), KDS 64 45 20, 2017, pp.12-17
- [11] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF), Harbor Act, 2019

- [12] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF), Detailed Guideline of Port Facility Safety Diagnosis, 2015
- [13] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Manual for Port Facility Management System, 2012, pp.218-220
- [14] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF), Standard Guideline for Repair and Reinforcement of Gravity type Port Facility, pp.22-47
- [15] The Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT), Guideline on Performing Safety and Maintenance of a Facility, 2018

김 용 희(Yong-hee Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 상명대학교 토목공과 (공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 토목공학과 재학(박사과정)
- 2011년 3월 ~ 2015년 2월 : 한국건설기술연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 한국항만협회 과장

<관심분야>

항만시설, 유지관리, 안전점검