조석현상이 방조제 경계면의 응력-변형 거동에 미치는 영향 분석

The Analysis of Tidal Effect on Stress-Strain Behavior in the Boundary Surface of Sea Dike Embankment

임성훈^{*,†}

Eam, Sung Hoon

ABSTRACT

This study was performed for the purpose of analyzing the effect of tide on the stress-strain behavior in the boundary surface of sea dike embankment. Tide is a dynamic condition, but there are not suitable numerical models to solve the dynamic embankment condition caused by tide. So the analysis was simplified to quasi dynamic as follow. First, seepage by tide was analyzed according to elapsed time, and the results of the analysis at every hour during one periodic cycle time of 12 hours were applied to the pore water pressure conditions of stress-strain analysis with hyperbolic model by Duncan and Chang. The place at which maximum shear strain took place in the analysis result moved up and down repeatedly along the boundary of the dredged sand fill section and the crashed stone filter section. The value of maximum shear strain was large at high water level of tide. This result means that contraction and relaxation occur in turn repeatedly at every specific position along the boundary, and the repeated action compact loose position with sand moved down from the upper position by gravity. The experiment with the small sea dike model showed the result consistent with the numerical analysis. The surface of sea side on the dike collapsed at high water level after a couple of repetition of the rising and falling of water.

Keywords: sea dike; shear strain; tide; seepage

1. 서 론

주곡의 자급자족이 이루어지지 않던 과거에는 식량증산을 위한 농경지 확장은 사회적 당위성이 있는 사업이었다. 국토가 좁은 우리나라에서 농경지 확장은 황무지 개간보다는 주로 해면 간척을 통해서 이루어졌다. 우리나라에서 방조제를 최초로 축조한 것은 1235년 (고려 고종 22년)에 몽고의 침략을 피해 강화도로 천도한 후 해상방어용 연안제방을 축조한 것이 시초이다 (Joh, 1996). 당시는 방축 또는 축언이라 하였으며 일제 강점기 때 간척사업은 사리 때만 바닷물에 잠기는 염생습지를 대상으로 하였고 국토개발이 시작된 1970년대는 중장비를 이용, 해면 매립을 하게 되면서 간척사업의 규모도 차츰 커지게 되었다 (Encyclopedia of Korean Culture). 본격적인 농지확대를 위해서 1960년대 초 동진방조제를 위시하여 삼포천, 영산강 서산 등 많은 방조제가 축조되었으며 최근에는 새만금 방조제가 완공

되었다 (Joh, 1996). 당초에는 단일목적의 우량농지확보를 위해서 사업이 시행되었으나 최근에는 농지, 산업용지 및 관광레저용지 등 다목적 간척사업으로 추진이 되었다. 현재 우리나라에 서의 간척사업은 새만금 방조제를 끝으로 잠정적으로 중단되어 있는 상태이다. 우리나라의 간척자원조사는 1962년 네덜란드의 기술용역단 (NEDECO)에 의해서 시작된 이후 8차에 걸쳐서 시행되었으며 우리나라 전체 갯벌 중에서 총 783,736 ha의 매립이 가능한 것으로 조사되었다 (Joh, 1996). 매립면적은 방조제에 의해서 바닷물이 들어오지 못하게 된 총 면적이다. 매립면적은 다시 담수호면적과 토지로 활용이 가능한 개발면적으로 구분할 수 있고 개답면적은 개발면적의 일부이다. 국가통계포털 (KOSIS)에 공개되어 있는 농업생산기반정비통계조사에서는 농지로 활용이 가능한 간척대상면적을 135,642 ha로 설정하고 있으며 2009년도까지 63.9 %인 86,701 ha가 간척되었으며 2010년도 이후에는 간척실적이 없는 것으로 나타나 있다.

방조제와 관련된 최근의 연구는 주로 방조제 주변 조류의 변화, 수질변화, 생태계변화, 지형변화, 최종제철과 관련된 주제 등이고 조석현상이 제체의 응력-변형 거동에 미치는 영향에 관한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 과거에 축조된 대부분의 방조제는 축조재료가 사석과 산토이고 만조시의 수압 이외에 고려할 만한 외력이 존재하지 않기 때문에 제체의 응력-변형에 관

* 공주대학교 산업과학대학 지역건설공학전공

† Corresponding author Tel.: +82-41-330-1264

Fax: +82-41-330-1269

E-mail: geotechkor@kongju.ac.kr

2013년 1월 10일 투고

2013년 2월 1일 심사완료

2013년 2월 4일 게재확정

한 연구의 필요성이 제기되지 않았다. 방조제와 관련된 수많은 연구들 중에서 본 연구와 관련된 연구들을 살펴보면 다음과 같다.

Kim et al. (2000)은 방조제 축조시 강제치환 등 원지반의 변형에 관한 모형시험을 실시하여 최대치환심도는 지반의 강도에 반비례하고 재하고와 재하폭 및 용기량에 비례한다고 하였다.

Oh et al. (2001)은 군장국가공단 매립을 위한 방조제를 대상으로 파이핑에 대한 안전성을 확인하기 위해서 조위관측자료와 입도분포곡선을 이용해서 비정상상태에 대한 침투해석을 한 결과 최대 침투유속이 한계유속보다 작게 나타나서 파이핑에 안전하다고 하였다.

Han et al. (2011)은 실내시험 및 수치해석을 하여 기존 방조제의 추가 승상이 해측사면 필터층에 미치는 영향에 대해서 연구하였다. 이 연구에서는 추가 승상에 의한 하중증가에 중점을 두었으며, 승상에 의한 침윤선의 변화는 없고 성토체 하부지반에서 전단응력이 9~11 % 증가하고 전단변형은 미소하여 안전성에 영향을 미치지 않는다고 하였다.

Baek et al. (2011)은 새만금 방조제에 작용하는 파랑에 의한 충격하중을 산정한 결과 파랑하중이 지속적으로 작용하는 동안에는 피복석층의 파괴가 예상된다고 하였다.

Park et al. (2012)은 방조제 제체 중앙단면의 수치해석 및 침투모형실험을 통해서 파이핑에 대한 안전성에 대해서 검토한 결과 바닥보호공과 성토체 경계부에서 유실이 발생하고 이로 인해 방조제의 변형이 발생한다고 예측하였다.

현재로서는 새만금 방조제를 마지막으로 또 다른 해면간척사업이 사회적 지지를 얻기 어려운 상황이다. 새만금 방조제도 당초 목적과는 다르게 많은 간척용지가 관광용지와 산업용지로 계획이 변경되었으며 농용용지는 축소되었다. 그러나 향후에 화석에너지가 고갈될 때 대체에너지가 확보되지 않는 상황이 도래한다면 대규모 바이오에너지 생산의 필요성이 제기될 수도 있고 기후변화에 의해서 수자원이 고갈되거나 인구대국들에 홍작이 지속된다면 심각한 식량안보상황이 도래할 수도 있다. 이러한 상황에 처하게 된다면 대규모 농지 및 담수호 확보를 위한 심해간척이 다시 시행될 수도 있을 것이다. 1991년에 마지막 개정이 이루어진 ‘농지개량사업계획설계기준 해면간척편’에는 방조제의 침투에 관한 검토사항들만 제시되어 있고 1997년에 실시된 ‘농업생산기반정비사업계획설계기준 개정연구 농지보전편, 해면간척편, 관수로 (부분개정)’에서도 피복석과 바닥다짐공에 관한 내용들만이 보완되었다. 2000년에 발행된 ‘농업생산기반정비사업조사·설계 실무요령 제4편 간척’에서도 방조제의 안전성검토에 관해서 1991년의 농지개량사업계획설계기준 해면간척편을 기준으로 설명하고 있다. 가장 최근에 축조된 새만금방조제는 심해간척으로 인근 해역의 준설향사를 성토재료로 사용하였으나 개정 이전의 기준에 의해서 설계되어 재료의 특성이 고려되지 않았다.

본 연구에서는 조석현상이 준설향사로 축조된 방조제에 미치는 영향을 수치해석 및 축소모형실험에 의해서 분석하여 기왕의 방조제 유지관리기준 및 향후 사질토 방조제 설계기준 등을 정립할 때 참고할 수 있는 기초자료를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 방조제 성토체의 물리적 성질

해석에 사용한 시료는 통일분류법에 의하면 SP-SM으로 분류되는 점성이 없고 입도가 불량한 고운 입경의 사질토이며 아래 Fig. 1 (a)에 입경가적곡선이 나타나 있다. 방조제 제체에 대한

(a) Grain size distribution curve

(b) Soil water characteristic curve

(c) Hydraulic conductivity according to matric suction

Fig. 1 Hydraulic characteristics of the used material

조위변동시의 침투해석을 하기 위해서는 불포화영역에 대한 토양수분특성곡선과 투수계수곡선이 필요하다. 토양수분특성곡선은 입경가적곡선으로부터 추정하는 방법 (Arya and Paris, 1981)을 사용하였으며 Fig. 1 (b)에 나타나 있다. 불포화영역에 대한 투수계수는 입경가적곡선으로부터 추정하는 방법 (Green and Corey, 1971)을 사용하였으며 Fig. 1 (c)에 나타나 있다.

2. 조위의 영향을 고려한 응력-변형 거동 해석방법

해석대상 방조제는 새만금 1호 방조제를 기준으로 하여 Fig. 2 (a)와 같이 유한요소 해석 mesh를 구성하였다. 좌측이 해측이고 우측이 내측이다. 해측에 1차 사석단면 (Layer 3)이 있고 내측에 준설향사 성토단면 (Layer 1)이 있다. 두 단면의 경계에는 입도를 조정한 쇄석필터층 (Layer 2)과 부직포 필터매트가 놓여 있다. 유한요소 해석에서는 1차 사석단면과 쇄석필터 및 부직포매트 층은 투수계수가 수치해석시 완전통수역할을 할 수 있는 정도의 값을 적용하여 해석시에 해수침투에 부하가 걸리지 않도록 하였다. 불포화상태에 대한 조건으로는 부압의 조건에서는 체적함수비가 영이 되고 양압이 발생하는 경우에는 완전포화가 되는 단순한 조건을 적용하였다. 필터매트는 시험성적서에 의하면 준설향사 성토단면의 침투에 방해가 되지 않을 정도로 충분한 투수계수를 갖고 있는 제품을 사용하였기 때문에 유한요소 해석에서는 무시하였다. 준설향사에 대한 포화시의 투수계수는 제체의 내부 상태를 평가한 다른 연구 (Eam, 2012) 결과를 참고하여 적용하였으며 불포화조건에 대한 체적함수비와 투수계수는 Fig. 1에 나타난 관계를 적용하였다. 새만금 지역에서 측정된 대조차는 약 9 m 정도 이므로 좌측인 해측의 경계조건으로는 조석현상을 모사하기 위해서 Fig. 2 (b)와 같이 주기가 12시간이고 진폭이 4.5 m인 sine 곡선을 적용하였다. 우측인 호측의 경계조건은 관리수위인 EL-1.5 m로 고정된 것으로 하였다. 방조제의 준설향사 성토단면의 전체 폭은 약 100 m 정도이다. 제체 폭의 길이를 달리하면서 반복해서 해석한 결과 이 연구에서 해석하고자 하는 1차 사석단면과의 경계면에서의 해석결과와는 Fig. 2 (a)와 같은 정도로 단축하였을 때에도 유사한 값들을 얻게 되어서 계산의 편의를 위해서 축소된 길이를 적용하였다. Fig. 2 (c)는 이상과 같은 조건을 적용하여 해석한 결과에서 372시간~384시간까지 1 조석주기 동안의 결과를 중첩하여 나타낸 것이다. 시간의 경과에 따른 해석결과 372시간 이상에서 안정적으로 주기적인 반복성이 정착되어서 384시간까지 해석하고 마지막 주기의 결과들을 응력-변형거동 해석에 적용하였다.

1차 사석단면과 준설향사 성토체 경계면에서의 응력-변형거동을 해석하기 위해서 준설향사는 Duncan and Chang (1970)의 비선형탄성 모델을 적용하고 쇄석필터층과 1차 사석단면은

Fig. 2 The seepage condition adopted to stress-strain analysis of sea dike embankment

선형탄성모델을 적용하여 GEOSLOPE사의 SIGMA/W 소프트웨어를 이용하였다. 선형탄성모델에 입력한 탄성계수와 포아송비는 실험을 하지 않고 수치해석이 가능한 정도의 매우 큰 값을 사용하여 응력에 따른 변형이 무시할 정도로 작아서 실질적으로 무시되도록 하였다. 사질토의 응력변형거동해석은 탄소성모델이나 비선형탄성모델이 많이 사용되고 점성토는 수정Cam-Clay모델이 많이 사용된다. 탄소성모델도 그 단순함에 비해서 실제거동에 상당히 근접한 해석을 하지만 이 연구에서는 좀 더 정확한 해석을 위해서 비선형탄성모델을 적용하였다. 모델의 입력변수를 결정하기 위해서 압밀배수삼축압축시험을 실시하였다. 점성토에서는 압밀 비배수 삼축압축시험을 실시하고 유효응력에 대한 결과를 산출하는 것이 일반적이지만 이 연구에서 사용한 사질토는 투수계수가 크기 때문에 축변형율을 0.02 %로 유지하면서 과잉 공극수압의 발생유무를 확인하면서 압밀배수삼축압축시험을 실시하였다. Fig. 3은 압밀배수삼축압축시험 및 모델변수산출결과를 각 구속응력에 적용한 결과를 나타낸 것이다. 모델변수산출 과정이 복잡하고 작은 값의 변화에 따라서 응력-변형거동이 크

Table 1 Material properties adopted to stress-strain analysis

Layer	Model	Loading K	Poisson's ratio	Loading exponent n	Reduction Factor	Elastic modulus
Dredged sand layer 1	Nonlinear elastic	700	0.25	0.5	0.8	-
Crashed stone filter layer 2	Linear elastic	-	0.25	-	-	100000
Rock layer 3	Linear elastic	-	0.25	-	-	500000

Fig. 3 Consolidated and drained triaxial test result on dredged sand

기 때문에 산출결과를 삼축압축시험결과에 다시 중첩해서 적절함을 확인하면 모델변수산출과정의 오류를 피할 수 있다. Table 1에는 이상과 같은 과정에 의해서 각 층별로 입력한 모델변수들이 나타나 있다.

연속적으로 변하는 조석현상이 불연속적인 성토체의 경계면에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 동역학적 해석을 실시해야 한다. 간극수압이 주기적으로 상승과 하강하는 조건에 대한 동적 지반해석모델이 없기 때문에 유사 동적인 조건으로 단순화하여 수치해석을 하였다. 우선 시간의 경과에 따른 해석이 가능한 침투해석을 먼저 실시하여 Fig. 2 (c)와 같이 조석주기에 따른 간극수압을 1시간 단위로 해석하고 이 조건을 전체 조석주기인 12시간을 1시간 단위로 구분하여 전체 13단계의 응력-변형해석의 각각의 간극수압조건으로 적용을 하였다. 제체는 이미 완성된 상태이므로 자중은 적용하지 않았으며 응력-변형 거동 해석이 가능하도록 준설해사 상부 해측사면의 피복석을 하중으로 변환하여 각각의 해석에 적용하였다.

3. 조석현상에 대한 모형실험

조위의 상승과 하강이 준설해사 성토체에 미치는 영향을 모형실험을 통해서 알아보기 위해서 Photo 1과 같이 내부길이 2.6 m, 폭 0.7 m, 높이 0.8 m인 2연식 토조를 벽돌로 제작하고 내부에 수치해석에 사용된 방조제의 기하학적 형상을 1/15로 축소하여 모형을 제작하였다. 이 모형은 길이 및 시간에 대한 축소 비율

(a) Rock fill section

(b) Synthetic filter mat

(c) Dredged sand fill section

(d) Water pump for simulating tide

Photo 1 Experiment with sea dike model

은 1/15로 일정하게 유지하였으나 질량에 대한 비율은 갖추지 못했기 때문에 운동학적 상사만 이루어졌고 역학적 상사는 만족하지 못한다. 모형방조제의 길이는 Photo 1 (a)에 있는 해측 1차 사석단면 상부경계로부터 호측으로 2.2 m까지 축조하고 조석주기를 가능한 한 빠르게 하기 위해서 해측의 저수공간은 작

게 만들고 호측은 일정한 수위를 유지하기 용이하도록 크게 만들었다. 축소모형에 대한 수치해석결과 100 m 정도인 실제 방조제에서 12시간의 조석주기를 1/15 축소모형에서 재현하기 위해서는 모형토조의 조석주기를 분 단위로 최대한 짧게 해야 하는 것으로 나타났다. Photo 1 (d)와 같이 사석층 끝에 있는 해조

Fig. 4 The numerical analysis results of maximum shear strain on the boundary surface of sea dike

위를 모사하는 공간에서 비어있는 두 번째 토조로 양수하는 물 펌프와 반대로 비어 있는 토조에서 사석층쪽으로 양수하는 물펌프를 설치하고 조석현상을 재현하기 위해서 float와 micro switch를 장착하여 수위의 상승과 하강이 자동으로 주기적으로 반복되도록 하였다. 1/15 축소모형의 한계에 의해서 필터매트와 성토체가 실제 방조제에서 역학적으로 의미가 있는 거동을 나타내지 못할 것으로 예상되었기 때문에 이 실험의 목적은 해수면 아래쪽의 제체의 상태가 느슨한 경우에 조석현상이 제체에 미치는 개략적인 영향을 확인하는 것으로 하였다. 따라서 준설해사 성토과정은 실제 방조제의 단위체적중량을 정확하게 고려하지 않고 성형하였다. 다짐과정을 생략하고 실제 현장에서 시공된 것과 같이 수중에 준설해사를 투기하여 제체의 공극비가 약 1.2~1.5 정도로 느슨하게 성형하고 수면 위쪽은 단면이 유지될 정도로 다짐을 실시하면서 공극비가 0.9~1.0 정도인 단면을 형성하였다. 사면 위쪽을 성형하면서 상부자중에 의한 하부 다짐이 최소화되도록 노력하였다. 따라서 모형토조의 평균수면 아래쪽은 상당히 느슨한 상태이고 평균수면 위쪽은 아래쪽보다는 조밀한 상태로 성토가 되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 조위의 영향을 고려한 응력-변형 거동 해석

전술한 것과 같이 조석현상이 방조제 제체의 거동에 미치는 영향을 분석하기 위해서 유사 동적인 조건으로 단순화시켜서 해석한 결과 제체의 최대 전단변형은 Fig. 2 (a)에서 필터쇄석층(layer 2)과 접한 준설해사 성토체(layer 1)에서 발생하였다. Fig. 4는 수치해석에 사용한 해조위별로 최대전단변형 상황선도를 나타낸 것이다. 해조위가 EL+0 m에서 최고조위인 +4.52 m까지 상승하였다가 -4.52 m까지 하강한 후 EL-0 m로 돌아오는 1 조석주기를 12시간으로 설정하고 1시간 간격으로 구분하여 해석한 결과이다. 준설해사 성토체에서 해측으로 돌출된 부분이 대략 EL+2.0 m이다. 조위가 상승함에 따라서 최대전단변형이 발생하는 위치도 조위 높이를 따라서 이동하며 그 크기도 점점 커진다. 조위가 저조위로 하강하면 최대전단변형이 발생하는 위치도 성토체 경계면을 따라서 아래쪽으로 이동한다. Fig. 5에는 이와 같은 결과들이 나타나 있다. 최대전단변형률의 조위변동에 따른 최대값은 1.8 % 정도이고 최소값은 0.4 % 정도이다. 조위상승시에 최대전단변형률은 해석단면의 기하학적 형상에 의해서 조위상승 형태와는 다른 형태를 나타내고 있다. 조위가 EL+3.914 m일 때 최대전단변형이 최대가 되고 조위가 더 상승하면 최대전단변형이 오히려 작아지는 것으로 나타났으나 최대전단변형이 발생하는 면적은 조위상승에 따라서 확대

Fig. 5 The superposed graphs of the sea water level and the maximum shear strain according to periodic time

되어 EL+4.52 m에서 최대가 되었다. 흙에서 일반적으로 변형률 15 %를 파괴기준의 한계로 하고 있다는 것으로 고려할 때 변형률 1.8 %는 큰 값이 아니지만 성토체 경계면의 고정된 위치에서는 준설해사가 조위의 변동에 따라서 변형의 수축과 이완이 주기적으로 무한히 반복되는 상태에 놓여 있음을 알 수 있다. 이러한 동적인 상태는 준설해사가 중력에 의해서 아래쪽의 느슨한 부분으로 유동하여 결과적으로 제체가 조밀해지게 만들고 느슨한 부분이 위쪽으로 점진적으로 이동할 것으로 판단된다. 변형률이 조위가 상승할 때 커지므로 만조위 상태에 있을 때 제체의 변화도 클 것으로 생각된다.

2. 조석현상에 대한 모형실험 결과분석

수치해석에 의한 결과를 확인하기 위해서 토조를 제작하고 모형 실험을 실시한 결과를 Photo 2에 나타내었다. 준설해사 성토체 표면이 조위의 상승과 하강의 반복이 9회에 도달하였을 때 함몰되고 제체는 액상상태가 되었다. 이 현상은 해측상부사면에 물이 흘러서 생긴 것이 아니고 조위모사를 위해서 수위를 상승시켰을 때 나타난 현상이다. 따라서 제체의 밑에서 위로 붕괴가 전이되어 표면까지 도달한 것으로 생각된다. 실험을 진행하기 전에는 수위가 최저일 때 제체의 유효연직응력이 최대가 되어 표면의 함몰이 발생할 것으로 예상하였으나 실험결과 수위가 최고일 때 함몰이 발생하였다. 이러한 원인은 수중에서 급격하게 응집력을 상실하고 전단력이 감소하는 사질토의 특성 때문으로 생각된다.

농업생산기반계획설계기준 해면간척편 (1991)에서는 조위승강의 영향에 대해서 다음과 같이 기술하고 있다.

‘간척지의 방조제는 외수위의 승강에 따라 내외수위차가 생겨서 제체 내의 수류는 바깥쪽에서 안쪽으로 또는 안쪽에서 바깥쪽으로 이동 방향이 바뀌면서 흐르게 된다. 이때에 바깥쪽에서 안쪽으로 침투하는 유량은 허용 범위 내에 들어야 하며 파이핑

Photo 2 The collapse of embankment in the experiment with sea dike model

이 일어나지 않도록 침투로의 길이를 충분히 길게 취해야 한다. 또한 외수위가 강하하였을 때 방조제 바깥쪽에서 작용하는 양압력의 변화에 대해서도 안전할 뿐만 아니라 침윤선 이하 부분의 성토재료가 포화되어 공극수압의 증가에 따른 전단력이 감소하는 경우에도 제체는 안전해야 한다.’

이상과 같이 고조위에는 해측에서 내측으로의 흐름에 대한 안전성 검토와 저조위에는 Fig. 2 (c)와 같이 침윤선이 해측으로 낮아지므로 내측에서 해측으로의 흐름에 대한 안전성 검토에 대해서 기술하고 있다. 그러나 이 연구에서 수치해석과 축소모형 실험을 실시한 결과에서는 설계기준에서 기술하고 있는 사항에 추가로 조석현상이 반복됨에 따라서 만조위시에도 제체의 해측 사면에서 응력변화에 의한 변형이 일어날 수 있다는 것을 나타낸다.

IV. 결 론

조석현상이 방조제 제체에 미치는 영향을 알아보기 위해서 시간의 경과에 따라서 연속적으로 변화하는 동적인 상황을 유사 동적인 조건으로 단순화하여 수치해석을 하고 축소모형실험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 최대전단변형은 1차 사석단면과 접한 준설해사 성토체 경계면 상의 침윤선 통과위치에서 발생하였다.
2. 최대전단변형이 발생하는 위치가 조위의 승강에 따라서 상하로 이동을 반복하므로 제체의 수축과 이완이 반복되어서 다짐이 이루어질 것으로 판단된다.
3. 최대전단변형율은 조위가 EL + 0 m 보다 높은 위치에 있을 때 발생하며 준설해사 성토단면에서 해측으로 돌출한 부분인 EL + 2 m에서 가장 취약한 것으로 나타났다.
4. 모형실험에 의한 변형 거동은 수위의 승강에 의해서 제체

의 다짐이 이루어지고 수위가 높은 경우에 가장 크게 발생되었고, 수치해석결과와도 일치되는 경향을 나타냈다.

이 논문은 2008년도 정부재원 (교육인적자원부 학술연구 조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (331-2008-1-D00778).

REFERENCES

1. Arya, L. M., and J. F. Paris, 1981. A physico-empirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Science Society of America Journal* 45: 1023-1030.
2. Baek, S. C., and S. Y. Lee, 2011. A study on the behaviour characteristics of the saemangeum sea dike coastal covering stones by sea waves. *Journal of Koean Geo-Environmetal Society* 12(7): 67-76 (in Korean).
3. Duncan, J. M., and C. Y. Chang, 1970. Nonlinear analysis of stress and strain in soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division ASCE* 96 (SM5): 1629-1654.
4. Eam, S. H., 2012. *The Study on the relationship between the hydraulic head loss rate and the physical properties of dredged sand*, 0-155. Ansan, Gyeonggi: Rural Research Institute of Korea Rural Community Corporation (in Korean).
5. Encyclopedia of Korean Culture. <http://enkorea.aks.ac.kr> (in Korean).
6. Green, R. E., and J. C. Corey, 1971. Calculation of hydraulic conductivity: a further evaluation of some predictive methods. *Soil Science Society of America Proceedings* 35: 3-8.
7. Han K. S., and Y. S. Lee, 2011. A study on the stress-deformation properties of filter layer on sea dike slope, *Inst. of Ind. Tech. Journal*, Kyonggi Univ. 39: 185-202 (in Korean).
8. Joh, H. L., 1996. *Tideland reclamation in korea*, 0-406. Uiwang, Gyeonggi: Rural Development Corporation (in Korean).
9. Korean ministry for Agriculture, Forestry and Fisheries, 1991. Planning and design manual of improvement of

- farmland project: coastal reclamation 267. (in Korean).
10. Korean ministry for Agriculture, Forestry, 1997. The Study on revision of the planning and design manual of improvement of farmland project: farmland maintenance, Coastal Reclamation, pipeline 168. (in Korean).
11. Kim, S. P., P. W. Chang, and C. W. Woo, 2000, An experimental study on the ground deformation caused by sea-dike construction. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 42(5): 78-83 (in Korean).
12. Mun, D. S., 2000. Handbook of planning and design of improvement of farmland project, chapter 4 tideland reclamation, 1032-1043. Uiwang, Gyeonggi: Rural Development Corporation (in Korean).
13. Oh, N. S., and K. S. Lee,, 2001. Seepage analysis of sea dike under unsteady state. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers* 13(1): 35-45 (in Korean).
14. Park, C. S., J. H. Kim, and S. I. Lee, 2012. A study on the characteristics of infiltration of sea dike by field investigation and seepage model test. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers* 24 (4): 247-256 (in Korean).
15. http://kosis.kr/gen_etl/start.jsp?orgId=311&tblId=TX_31101_A020&conn_path=I2&path (in Korean).