

하천 유지관리 우선순위 결정을 위한 제방안전도맵 산정방법 연구

윤광석, 김수영*
한국건설기술연구원 수자원하천연구소

A Study on Estimation of Levee Safety Map for Determining the Priority of River Maintenance

Kwang Seok Yoon, Sooyoung Kim*

Hydro Science and Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 본 최근 기후변화의 영향으로 강우의 규모가 점차 증가하는 추세로 홍수의 위험성이 증가하면서 제방 관리에 대한 고도화 및 재해 대응성 향상의 중요성이 커지고 있다. 국내의 제방관리는 피해발생 이후에 피해복구를 실시하는 수준에서 시행되고 있으므로 하천에 대한 선제적 관리차원에서 제방의 안전도를 미리 파악하고 관리하는 기술의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 하천 제방의 침식 및 월류에 대한 안전도를 산정하는 방법을 제안하였으며 이러한 안전도를 도상에 표시해 제방의 유지관리의 기초자료로 활용할 수 있는 제방 안전도맵을 제시하였다. 침식안전도는 호안의 형식별 내력과 외력의 비로 산정하였으며 월류안전도는 하천의 수위가 제방고와 일치할 때의 유량을 통수가능홍수량으로 산정하고 통수가능홍수량과 계획홍수량과의 비로 산정하였다. 제방안전도의 등급은 총 5단계로 구분하였으며 매우안전, 안전, 보통, 위험, 매우위험으로 나타났다. 남강댐 하류부터 낙동강 합류부까지를 연구대상으로 하여 모든 제방과 하천측선에 대해 제방의 침식안전도와 월류안전도를 산정하고 GIS를 이용하여 하나의 도상에 나타났다. 본 연구를 통해 도출된 제방안전도맵은 하천제방의 안전도를 직관적으로 확인이 가능하기 때문에 하천의 유지관리계획 수립 시에 활용이 가능할 것으로 판단되며 예산의 효율적 활용을 위한 투자우선순위 결정에도 활용이 가능할 것으로 기대된다.

Abstract Owing to recent climate change, the scale of rainfall tends to increase gradually and the risk of flooding has increased. Therefore, the importance of improving the levee management and disaster response is increasing. Levee management in Korea is carried out at the level of damage recovery after the occurrence of damage. Therefore, it is necessary to develop a technology for predicting and managing the levee safety with proactive river management. In this study, a method to estimate the safety against erosion and overflow was suggested. A map of levee safety that can be used as basic data is presented by displaying the levee safety on the map. The levee erosion safety was calculated as the ratio of the internal and external force for each shore type. The levee overflow safety was calculated as the ratio of the maximum conveyance and design flood. The maximum conveyance was a discharge when the level of the river was equal to the level of the levee crown. The levee safety was classified into 5 grades: very safe, safe, normal, dangerous, and very dangerous. As a research area from downstream of Nam River Dam to Nakdong River Junction, the levee safety against erosion and overflow was estimated for all levees and all cross-sections of the river. The levee safety was displayed on a map using GIS. Through the levee safety map as a result of this study, the levee safety can be observed intuitively. Using the levee safety map, a maintenance plan for a river can be easy to build. This levee safety map can be used to help determine the priority of investment for efficient budget used.

Keywords : Priority of river maintenance, River levee, Erosion safety, Overflow safety, Levee safety map

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(17AWMP-B121095-02)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Sooyoung Kim(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-910-0270 email: sooyoungkim@kict.re.kr

Received October 27, 2017

Revised (1st November 22, 2017, 2nd December 4, 2017)

Accepted December 8, 2017

Published December 31, 2017

1. 서론

최근의 기후변화에 대한 양상은 대기중 CO_2 농도의 증가로 인해 평균온도가 증가하여 증기압의 상승으로 인해 홍수유발 잠재력이 증가할 것으로 전망하고 있다(IPCC(Intergovernmental Panel Climate Change)[1]. 이러한 기후변화 시나리오에 의하면 강우의 규모가 점차 증가하여 하천유역의 경우 하천제방 붕괴 및 범람으로 인한 홍수피해가 증가할 가능성이 커지고 있다. 따라서 미래 홍수변화에 대한 대응을 위해 하천제방의 유지관리 기술의 고도화 및 재해대응성 향상에 대한 연구가 전 세계적으로 활발히 연구되고 있다. 이러한 측면에서 하천 제방의 피해를 유발하는 침식이나 월류에 대한 안전성을 파악하여 유지관리에 반영하는 것은 매우 중요하다. 그러나 국내에는 제방의 침식 및 세굴에 대한 보호를 위해 설치하는 호안에 대한 설계기준이 없는 실정이며 호안에 대한 관리 및 안전성에 대한 연구가 부족하다. 더구나 호안에 대한 점검이 진행되더라도 이러한 점검결과는 제방의 유지관리계획을 수립하는데 반영되고 있지 않은 실정이다. 호안의 안전성을 검토하는 것은 제방의 세굴 및 침식에 대한 안전성을 파악하는데 매우 중요하다. 또한, 현재 설치되어 있는 제방으로 보호되는 하천의 통수단면이 미래 하천홍수량증가에 얼마만큼 대응할 능력이 되는지 파악하는 것은 제방의 월류에 대한 안전성을 파악하는데 중요한 인자이다.

제방의 안전도 산정과 관련된 연구는 미공병단에서 Levee Safety Program을 통해 제방 위험에 대한 평가, 전달, 관리 등에 대한 시스템을 구축하고 운영 중이다[2]. 제방 붕괴의 시나리오별로 외력, 제방의 기능발휘여부, 제방붕괴시의 피해에 대해 산정한다. 네덜란드의 경우 하천제방 안전도 평가시스템(DAM)에서 실시간 제방 안전도 예측 및 특정시기에 대한 안전율을 평가하여 하천관리자의 제방과 관련된 유지보수, 안전관리, 관련정보 관리 등 관련 업무효율을 높이도록 하고 있다[3]. Beck[4]은 하천제방의 침식에 대한 위험도를 스위스의 Venoge강을 시범구간으로 하여 GIS기반의 안전도맵을 산정하였다. 안전도맵에 모니터링 지점이나 호안의 설치구간에 대한 정보도 함께 표시하고 있다.

국내에서는 Yoon 등[5]이 제방의 침투, 침식, 월류 및 구조물 주변에 대한 안전도 평가 방법을 제시하고 국외 기준과의 비교를 통해 국내 안전도를 평가하였으며, Yoon[6]은 제방의 붕괴유형분석과 설계방법을 제안하였

다. Yu 와 Lee[7]는 물리적인 탐사방법을 통해 제방의 침투안전성을 파악하는 방법론을 평가하고, Park 등[8]은 2차원 수치모의를 이용하여 하천준설사업 전후의 수리적인 영향분석을 수행하고 이를 기초자료로 제방의 침투, 침식, 월류에 대한 위험도를 산정하였다. Choung[9]은 다중분광정사영상과 LiDAR자료를 이용하여 제방 표면의 주요 재질과 형상 등을 추출하고 제방붕괴위험레벨을 산정하였다. 그러나 이러한 연구들은 대상영역이 짧아 산정된 안전도를 하천 전체의 유지관리에 이용하기에는 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 하천 전체에 대한 침식 및 월류에 대한 안전도를 산정하는 기법을 제안하였으며 시범구간에 대해 제방의 안전도를 산정하고 지도상에 표출하여 제방안전도맵을 도출하고자 한다.

2. 제방의 안정조건

2.1 제방 피해의 메카니즘

흙으로 쌓아 만든 제방은 홍수에 의해 하천의 수위가 제방높이를 웃돌면 쉽게 붕괴가 발생하고, 계획홍수위 이하에서도 침투나 침식으로 인해 제방이 붕괴될 수 있다. 침식으로 인한 제방의 피해는 홍수시 유수의 소류력에 의해 제방사면이 침식되어 제체를 구성하는 토입자가 이동하는 것에 의해 발생하며 침투에 의한 제방의 피해는 홍수시의 하천수 혹은 강우가 제체 및 기초 지반에 침투하는 것에 의해서 간극 수압이 상승하여 제체의 강도가 저하하여 토입자가 파이핑 등에 의해 이동하여 발생하게 된다[10]. 본 연구에서는 하천의 흐름과 관계된 제방의 침식과 월류에 의한 안전도를 산정하였다.

2.1.1 제방 침식의 메카니즘

제의 비탈면이나 비탈끝 부근의 유수가 직접 작용해서 표면의 피복하는 식생이 벗겨지고 제체를 구성하는 토사가 유실되어 파괴되며 저수로 등의 주 유포에서의 측방침식과 세굴에 의해 제방이 파괴된다(Fig. 1 참조).

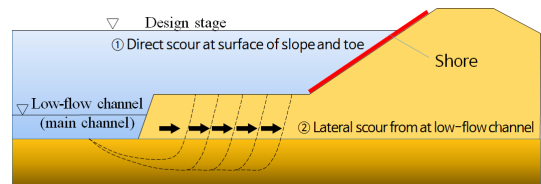


Fig. 1. Mechanism of levee erosion(scour)

2.1.2 제방 월류의 메카니즘

하도 수위의 상승으로 인해 월류가 발생하면 초기에는 월류수에 의해 제내지측 제방사면의 침식이 발생하며 이러한 침식이 제방의 정부로 발달되면서 제방 정부가 세굴되어 제방 단면이 유실되고 지속적인 붕괴가 발생하면 제외지측 사면도 붕괴되면서 하천수가 직접적으로 하도로 유입되게 된다[11](Fig. 2).

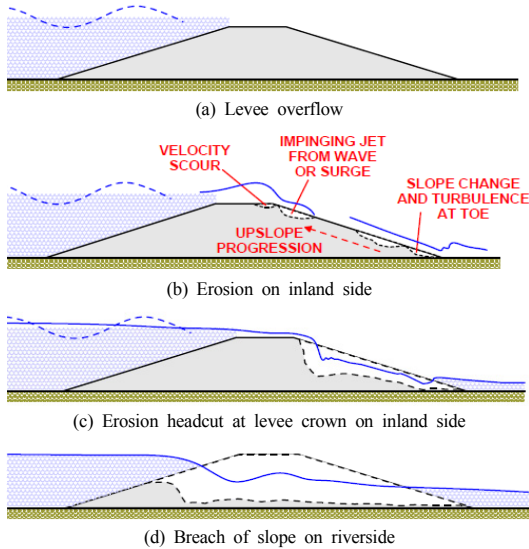


Fig. 2. Mechanism of levee overflow[11]

2.2 제방 침식에 대한 제방의 안정조건

제방의 호안에 대한 설계방법은 호안의 역학적설계법 [12]에서 제시하고 있으며 설계식을 통해 호안의 형식에 따른 안정조건을 도출하였다.

2.2.1 무호안(식생호안)

무호안(식생호안)에 대한 안정조건은 외력소류력(u'_*)보다 내력소류력(u_*)이 클 때 안정하다고 판단한다(식 (1) 참조).

$$u'_* < u_* \quad (1)$$

여기서 u'_* 은 외력소류력($=V_0/\Phi$), V_0 는 대표유속(m/s), Φ 는 유속계수($(1/n) \cdot (H_d^{1/6}/\sqrt{g})$), H_d 는 설계수심(m), g 는 중력가속도, u_* 은 내력소류력($=\frac{Z_{brk}}{\alpha} \cdot \frac{1}{\log t}$), Z_{brk} 은 허용침식깊이(m), σ_0 은 평균근모량(gf/cm^3), a

는 침식용이성을 나타내는 파라미터($=50\sigma_0+9$)이고, t 는 전단응력 지속시간(min)이다.

2.2.2 돌망태(계비온 매트리스 포함)

돌망태(계비온 매트리스 포함)에 대한 안정조건은 무차원 외력소류력(τ_{*sd})과 무차원 내력소류력(τ_{sd})을 비교하여 무차원 내력소류력이 클 때 호안이 안정하다고 판단한다(식(2) 참조).

$$\tau_{*sd} < \tau_{sd} \quad (2)$$

여기서, τ_{*sd} 은 무차원 외력소류력($=u'_*/(sgD_m)$), u'_* 는 마찰속도($=V_0/\Phi$), Φ 는 유속계수($=6.0+5.75 \log_{10}(H_d/k_s)$), s 는 하상재료의 수중비중($=1.65$), D_m 은 돌망태 채움사석의 평균입경(m), τ_{sd} 은 무차원 내력소류력 ($=\tau_{*d} \times \cos\theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2\theta}{\tan^2\phi}}$), τ_{*d} 은 무차원 한계전단응력, θ 은 비탈면경사, ϕ 은 자연석의 수중 안식각이다.

2.2.3 호안블럭

호안블럭에 대한 안정조건은 양력(L)과 연관된 내력과 항력(D)과 연관된 외력을 비교하여 안정을 판단하며 단체로 거동할 때와 군체로 거동할 때를 다르게 적용한다. 국내 설치된 호안블럭의 경우 대부분 단체로 설치가 되어 있어 본 연구에서는 호안블럭이 개별적으로 거동하는 단체거동에 대해서만 고려하였다.(식(3) 참조).

$$\mu(W_w \cos\theta - L) \geq ((W_w \sin\theta)^2 + D^2)^{1/2} \quad (3)$$

여기서, μ 은 포화된 흙에서의 정지마찰계수, W_w 은 비탈뒂기공의 부재 수중중량($=(\rho_b - \rho_w)gK_v A_b t_b$), L 은 양력($=\frac{\rho_w}{2} C_L A_b V_d^2$), D 는 항력($=\frac{\rho_w}{2} C_D A_D V_d^2$), ρ_b 은 블럭의 밀도, ρ_w 은 물의 밀도, K_v 는 체적보정계수(=부재의 실제 체적/두께(t_b)의 직방체로서 간주한 체적), A_b 는 위에서 본 투영면적, t_b 는 블럭의 지지두께, A_D 는 흐름방향에서 본 투영면적, C_L 은 양력계수(A_b 에 의해 평가됨), C_D 는 항력계수(A_D 에 의해 평가됨), V_d 는 설계유속($=\frac{8.5+5.75\log_{10}(t_b/ks)+2}{6.0+5.75\log_{10}(H_d/ks)} V_0$), k_s 는 비탈뒂기공의 상당조도($=2.5D_m$)이다.

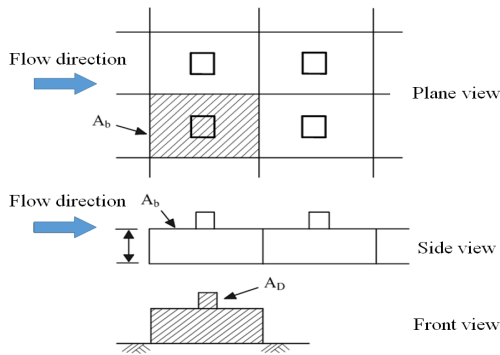


Fig. 3. Description of projection area of shore block

2.2 제방 침식에 대한 제방의 안정조건

제방의 월류는 제방피해의 상당부분을 차지하고 있어 제방의 안전도 산정에 중요한 인자이다. 제방의 월류에 대한 안전도 산정은 하천단면의 통수능을 통해 산정하며 단면의 제방고와 하천의 수위가 동일하게 될 땐의 유량을 통수가능홍수량으로 하고 계획홍수량과 비교하여 여유통수능의 확보의 정도가 제방 월류에 대한 안전도로 설정하였다. 통수가능홍수량은 각 단면별 수위-유량 관계식을 산정하고 관계식으로부터 제방고와 동일한 수위일 때의 유량을 도출하였다.

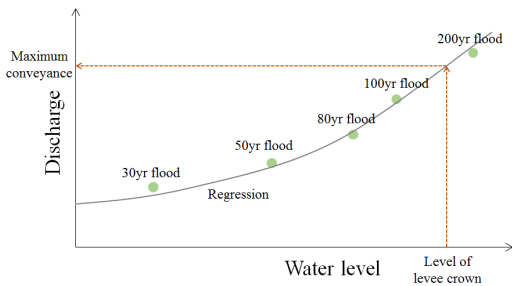


Fig. 4. Schematic of calculating maximum conveyance

3. 연구방법

본 연구에서는 하천흐름에 대한 제방의 안전도를 산정하기 위해 남강유역을 대상으로 하여 침식 및 월류에 대한 제방안전도를 산정하였다. 침식에 대한 안전도는 제방별 설치된 호안의 형식과 호안의 규모를 조사하였으며 월류에 대한 안전도 산정을 위해 남강하천기본계획 [13]의 빈도별 수위-유량자료를 활용하여 분석하였다.

3.1 제방 침식안전도 산정

남강댐 하류부터 낙동강 합류부까지를 대상구간으로 설정하였으며 대상구간 내의 제방은 좌안 총 39개소, 우안 총 29개소이다. 각 제방별 호안의 형식 및 제원을 조사하였다. 제방의 대표유속은 하천의 평균유속으로부터 Kim and Yoon[14]이 수치모의를 통해 사용성을 검증한 하도곡률에 의한 유속보정식 식(4)를 통해 산정하였다. 남강하천기본계획에 제시되어 있는 단면별 하폭 및 평균유속을 사용하였으며 하천의 곡률은 하천의 중심선의 도면분석을 통해 도출하였다.

$$V_0 = \alpha_{curve} V_m \quad (4)$$

여기서, V_m 은 단면의 평균유속, α_{curve} 는 곡률에 의한 유속보정계수($=1 + B/r$), B 는 하폭(m), r 은 하도중심의 곡률반경(m)이다.

산정된 대표유속과 식(1)~(3)을 이용하여 각 제방별 외력평가와 내력평가를 수행하였으며 내력과 외력의 비를 안전도로 설정하여 산정하였다. 상대적으로 내력이 외력보다 클수록 안전도는 크게 산정된다. 호안형식별 제방 침식안전도(F_{LE})는 Table 1과 같다. 또한, 제방 침식안전도를 매우안전, 안전, 보통, 위험, 매우 위험의 5개 등급으로 분류하였다. 5등급 분류는 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」에 의해 수행되는 정밀안전진단의 시설물 안전등급 분류의 기준을 준용하였다. 각 등급별 범위는 Table 2에 나타났다. 매우안전의 경우 호안의 내력이 유수의 외력보다 1,000% 이상의 안전율을 가지고 있다는 것을 의미하며 안전의 경우 300%~1,000%의 안전율, 보통의 경우 일반적인 설계의 안전율인 100%~300%를 의미하며, 위험의 경우 호안의 내력이 유수의 외력에 비해 75% 수준, 매우위험의 경우 75%이하로 안전성을 확보하지 못하는 경우를 뜻한다.

Table 1. Formula of erosion levee safety for each shore type

Section	Erosion levee safety(F_{LE}) formula
No shore (Vegetation shore)	$F_{LE} = \frac{u_*}{u_*^*}$
Gabion	$F_{LE} = \frac{\tau_{sd}}{\tau_{sd}^*}$
Shore block	$F_{LE} = \frac{\mu(W_w \cdot \cos\theta - L)}{((W_w \cdot \sin\theta)^2 + D^2)^{1/2}}$

Table 2. The ranges of erosion levee safety by grade

Grade	Very safe	Safe	Normal	Dangerous	Very Dangerous
Range	$F_{LE} \geq 10$	$10 > F_{LE} \geq 3$	$3 > F_{LE} \geq 1$	$1 > F_{LE} \geq 0.75$	$0.75 > F_{LE}$

3.2 제방 월류안전도 산정

대상구간의 하천단면은 낙동강합류부인 No.0 부터 남강댐 하류인 No.156+100 까지 총 180개의 횡단이 존재한다. 모든 횡단에 대해서 30년, 50년, 80년, 100년, 200년 빈도별 홍수량과 홍수위를 산정하고 각 횡단으로 수위-유량 관계를 도출하였다. 수위-유량관계의 산정방법은 수문조사연보(유량편)[15]을 참고하였으며 수위-유량관계의 기본식은 식(5)와 같고 산정예시는 Fig.5에 나타났다.

$$Q = a(h - w)^b \tag{5}$$

여기서, Q 는 하도유량(m^3/s), a , b 는 회귀분석을 통한 산정계수, h 는 하천수위(EL.m), w 는 단면의 최심하상고(EL.m) 이다.

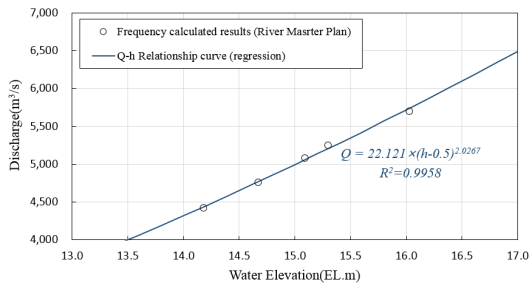


Fig. 9. Estimation of Q-h Relationship curve (No.000)

도출된 수위-유량관계식을 이용하여 각 단면에 대한 월류 제방안전도(F_{LO})를 산정하며 산정식은 식(6)에 나타났다. 월류 제방안전도도 침식안전도와 마찬가지로 매우 안전부터 매우 위험까지 총 5개 단계로 분류하였으며 각 등급별 월류 제방안전도의 범위를 Table 3에 나타냈다. 매우안전의 경우 하천단면의 통수능이 계획홍수량 대비 50% 이상의 여유량을 확보하고 있음을 의미하며, 안전의 경우 20%~50%, 보통의 경우 0~20%의 여유량

을 확보한 경우이다. 위험 및 매우 위험의 경우 각각 0~25%, 25% 이상 통수능이 계획홍수량에 비해 부족함을 의미한다.

$$F_{LO} = \frac{\text{Maximum conveyance}}{\text{Design flood}} \tag{6}$$

Table 3. The ranges of overflow levee safety by grade

Grade	Very safe	Safe	Normal	Dangerous	Very Dangerous
Range	$F_{LO} \geq 1.5$	$1.5 > F_{LO} \geq 1.2$	$1.2 > F_{LO} \geq 1.0$	$1.0 > F_{LO} \geq 0.75$	$0.75 > F_{LO}$

4. 수치모의 결과

대상구간에 대해서 각 제방별 침식안전도를 산정하였으며 하천횡단 마다 월류안전도를 각각 산정하였다. 최종적으로 침식안전도와 월류안전도를 하나의 맵에 도시하여 하천제방 안전도맵을 작성하였다.

4.1 제방 침식안전도 산정결과

Table 1에 제시된 각 호안의 형식별 안정조건을 적용하기 위해 제방별 대표유속과 설계수심을 계획홍수량에 대해서 산정하고 호안의 제원을 설계도서 및 현장조사 등을 통해 파악하였다. 수집된 자료를 바탕으로 산정된 제방의 침식안전도 와 등급 분류 결과는 좌안과 우안 각각 Table 4와 Table 5에 나타났다. 매우안전(V.S) 10개소, 안전(S) 8개소, 보통(N) 41개소, 위험(D) 6개소, 매우위험(V.D)2개소로 나타났다. 총 68개의 제방 중 8개소(12%)가 위험 이상으로 나타났다. 그러나 8개소 모두 호안의 형식이나 제원이 확인되지 않아 무호안으로 가정하여 안전도를 산정한 지점으로 설계적인 보완이나 보수 보다는 현황파악이 우선적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

4.2 제방 월류안전도 산정결과

각 빈도별 홍수량 및 홍수위로부터 도출된 식(5)와 같은 형태의 회귀식을 각 단면별로 도출하고 이를 이용하여 하천의 수위가 제방고와 일치할 때의 홍수량인 통수

Table 4. The results of estimating erosion levee safety(left levee)

No.	Name	Type	V_0	H_d	No shore		Gabion		Shore block		F_{LE}	Grade
					u_*	u_{*c}	τ_{*sd}	τ_{sd}	F'_i	F'_o		
1	Pyung-geo	Shore block	1.94	4.86	-	-	-	-	92.58	52.50	1.76	N
2	Pyung-geo shore	Shore block	0.97	4.98	-	-	-	-	99.86	52.44	1.90	N
3	Shinan shore	Gabion	1.13	5.17	-	-	0.003	0.082	-	-	24.70	V.S
4	Jang-dae	Unknown	1.89	5.48	0.18	0.27	-	-	-	-	1.50	N
5	Sang-pyeong 2	Shore block	2.10	5.72	-	-	-	-	85.76	74.20	1.16	N
6	Sang-pyeong 3	Unknown	1.72	5.95	0.16	0.27	-	-	-	-	1.67	N
7	Sang-pyeong 1	Unknown	1.32	6.26	0.12	0.27	-	-	-	-	2.20	N
8	Cho-jeon	Unknown	1.88	6.18	0.17	0.27	-	-	-	-	1.54	N
9	Shin-dang	Gabion	1.82	6.43	-	-	0.008	0.096	-	-	12.08	V.S
10	Wol-Ah 1	Gabion	1.56	6.44	-	-	0.006	0.103	-	-	17.59	V.S
11	Wol-Ah	Gabion	1.65	7.51	-	-	0.006	0.103	-	-	16.61	V.S
12	Wa-ryong	Unknown	2.36	7.09	0.21	0.27	-	-	-	-	1.25	N
13	Deok-gok 2	Unknown	2.13	8.39	0.19	0.27	-	-	-	-	1.43	N
14	Deok-gok 1	Gabion	1.80	7.65	-	-	0.007	0.103	-	-	14.19	V.S
15	Ma-jin	Gabion	3.07	8.24	-	-	0.021	0.103	-	-	4.97	S
16	Dae-gok	Gabion	3.90	8.91	-	-	0.032	0.082	-	-	2.54	N
17	Sang-jeong	Gabion	3.77	7.30	-	-	0.033	0.103	-	-	3.17	S
18	Sang-il	Eco-block	2.44	7.58	-	-	-	-	-	-	-	-
19	Hwa-yang	Unknown	3.20	7.10	0.29	0.27	-	-	-	-	0.92	D
20	Dae-san	Unknown	3.96	7.46	0.36	0.27	-	-	-	-	0.76	D
21	Man-cheon	Gabion	2.22	8.31	-	-	0.011	0.103	-	-	9.61	S
22	Jeong-am In	Shore block	2.39	7.62	-	-	-	-	70.23	61.41	1.14	N
23	Jeong-am Out	Shore block	0.98	8.62	-	-	-	-	78.18	61.33	1.27	N
24	So-sang	Shore block	2.52	7.91	-	-	-	-	69.34	61.42	1.13	N
25	Jeong-dong	Shore block	1.66	8.83	-	-	-	-	75.38	61.36	1.23	N
26	Wol-hyun 2	Unknown	1.98	8.15	0.18	0.27	-	-	-	-	1.53	N
27	Wol-hyun 1	Gabion	2.19	8.19	-	-	0.011	0.103	-	-	9.79	S
28	Baek-gok	Gabion	1.74	8.82	-	-	0.006	0.103	-	-	15.97	V.S
29	Jeok-gok	Gabion	3.15	9.22	-	-	0.021	0.103	-	-	4.95	S
30	Da-an	Shore block	2.27	8.38	-	-	-	-	76.30	43.47	1.76	N
31	Baek-ya	Shore block	2.13	8.73	-	-	-	-	72.52	61.39	1.18	N
32	Seong-dang 2	Gabion	1.75	8.45	-	-	0.007	0.103	-	-	15.50	V.S
33	Seong-dang 1	Gabion	1.67	9.45	-	-	0.006	0.103	-	-	17.71	V.S
34	Ma-san 3	Gabion	1.43	9.19	-	-	0.004	0.103	-	-	23.92	V.S
35	Ma-san 1	Gabion	4.32	12.17	-	-	0.036	0.103	-	-	2.89	N
36	Ma-san 2	Gabion	5.92	8.94	-	-	0.075	0.103	-	-	1.38	N
37	Po-we	Shore block	2.61	9.81	-	-	-	-	69.37	61.42	1.13	N
38	Ji-jeong	Shore block	2.35	8.60	-	-	-	-	70.92	61.40	1.15	N
39	Seong-san	Shore block	1.38	8.73	-	-	-	-	76.70	61.34	1.25	N

가능홍수량을 산정하였다. 이 때 대표제방고는 양안의 제방고중 작은 값으로 설정하였으며 양안 모두 산으로 되어 있거나 제방이 없는 경우는 통수가능홍수량 산정이 불가능하여 제방 월류안전도 산정에서 제외하였다. 각 단면별 통수가능홍수량과 계획홍수량을 이용하여 식(6)으로 제방 월류안전도를 산정하였다.

또한, No.151 이상의 단면은 남강댐 직하류로 빈도별 계획홍수량이 $800 m^3/s$ 으로 모든 빈도에 대해서 동일하여 수위-유량관계식이 산정이 불가능하였다. 제방 월류안전도가 산정이 가능한 총 158개의 단면 중 매우안전은 12개소, 안전은 102개소, 보통은 37개소, 위험 5개

소, 매우위험 2개소로 나타났다. 총 7개소(4.5%)의 단면이 위험이상으로 나타났으며 이 지점의 제방 월류안전도 산정결과는 Table 6에 나타났다.

4.3 제방 안전도 맵

앞서 산정한 제방의 침식안전도와 월류안전도 산정결과를 지도에 등급별 색상을 달리하여 Fig. 6에 도시하였다. 제방 안전도맵을 통해 직관적으로 위험지역과 안전한 지역을 구분하고 지형적인 특성을 파악이 가능하다. 침식안전도가 위험 이하로 나타난 지점은 주로 만곡부의 내측에서 발생하였으며 월류안전도 또한 위험 이하로 나

Table 5. The results of estimating erosion levee safety(right levee)

No.	Name	Type	V_0	H_d	No shore		Gabion		Shore block		F_{LE}	Grade
					u_*	u_s	τ_{*sd}	τ_{sd}	F_i	F_o		
1	Chil-am	Unknown	1.64	5.91	0.15	0.27	-	-	-	-	1.76	N
2	Ga-jua	Unknown	1.44	5.40	0.14	0.27	-	-	-	-	1.97	N
3	So-moon	Unknown	1.32	6.26	0.12	0.27	-	-	-	-	2.20	N
4	Sok-sa	Unknown	1.88	5.68	0.18	0.27	-	-	-	-	1.52	N
5	Gu-am	Unknown	1.48	5.93	0.14	0.27	-	-	-	-	1.94	N
6	Joong-cheon	Unknown	1.33	6.61	0.12	0.27	-	-	-	-	2.20	N
7	Ga-bang	Shore block	1.82	6.55	-	-	-	-	73.91	61.37	1.20	N
8	Nam-seong	Gabion	2.36	7.65	0.21	0.27	0.013	0.103	-	-	8.20	S
9	Ha-chon	Unknown	3.07	7.40	0.28	0.27	-	-	-	-	0.97	D
10	Geum-gok	Gabion	2.24	8.79	-	-	0.011	0.103	-	-	9.56	S
11	Geum-pyung	Unknown	2.24	8.79	0.20	0.27	-	-	-	-	1.37	N
12	Yong-bong	Unknown	3.85	7.70	0.34	0.27	-	-	-	-	0.78	D
13	Yong-bong	Unknown	1.66	7.44	0.15	0.27	-	-	-	-	1.80	N
14	Ji-soo	Unknown	3.24	7.39	0.29	0.27	-	-	-	-	0.92	D
15	Bak-gok	Unknown	2.55	7.78	0.23	0.27	-	-	-	-	1.18	N
16	Neup-sil	Gabion	3.96	6.79	-	-	0.037	0.103	-	-	2.79	N
17	Goon-book	Gabion	2.39	7.96	-	-	0.013	0.103	-	-	8.13	S
18	Mae-gok	Gabion	2.52	7.58	-	-	0.014	0.103	-	-	7.20	S
19	To-hyun 2	Unknown	1.44	8.01	0.13	0.27	-	-	-	-	2.10	N
20	To-hyun 1	Gabion	1.12	8.82	-	-	0.003	0.082	-	-	30.78	V.S
21	Baek-san	Shore block	2.75	8.34	-	-	-	-	72.38	43.53	1.66	N
22	Sa-pyung 2	Shore block	1.06	8.75	-	-	-	-	82.77	43.38	1.91	N
23	Sa-pyung 1	Shore block	1.16	8.91	-	-	-	-	82.43	43.38	1.90	N
24	Ak-yang	Unknown	3.15	8.46	0.28	0.27	-	-	-	-	0.97	D
25	Seo-chon	Unknown	3.06	10.02	0.26	0.27	-	-	-	-	1.03	N
26	Ha-gi	Unknown	5.65	9.46	0.49	0.27	-	-	-	-	0.55	V.D
27	Gu-hye	Unknown	6.46	8.04	0.57	0.27	-	-	-	-	0.47	V.D
28	Yun-san new	Unknown	2.32	9.78	0.20	0.27	-	-	-	-	1.35	N
29	Jang-po	Unknown	2.61	8.87	0.23	0.27	-	-	-	-	1.18	N

Table 6. The results of estimating overflow levee safety

No.	Regression				Levee level		Min. levee level	Maximum conveyance	F_{LO}	Grade
	a	b	w	R^2	Left	Right				
71	36.94	1.85	4.65	0.999	15.82	18.88	15.82	3188	0.774	D
79	108.50	1.53	7.35	0.999	17.30	-	17.30	3683	0.918	D
91+350	89.33	1.61	8.04	0.999	16.60	Mountain	16.60	2814	0.702	V.D
92	37.85	1.85	6.52	0.999	16.60	20.00	16.60	2724	0.679	V.D
102	148.64	1.37	9.94	1.000	19.10	21.19	19.10	3115	0.936	D
130+350	352.70	0.76	14.85	0.998	21.10	22.74	21.10	1427	0.952	D
150+285	583.71	0.28	18.34	0.956	26.90	23.10	23.10	909	0.999	D

타난 지점은 만곡부와 지천의 합류부에서 주로 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 침식과 월류안전도 모두 위험으로 나타난 지점은 3지점으로 하춘계, 용봉지구, 지수계

이며 하천계획 또는 유지관리계획 수립 시에 이 3지점에 대한 점검이 필수적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

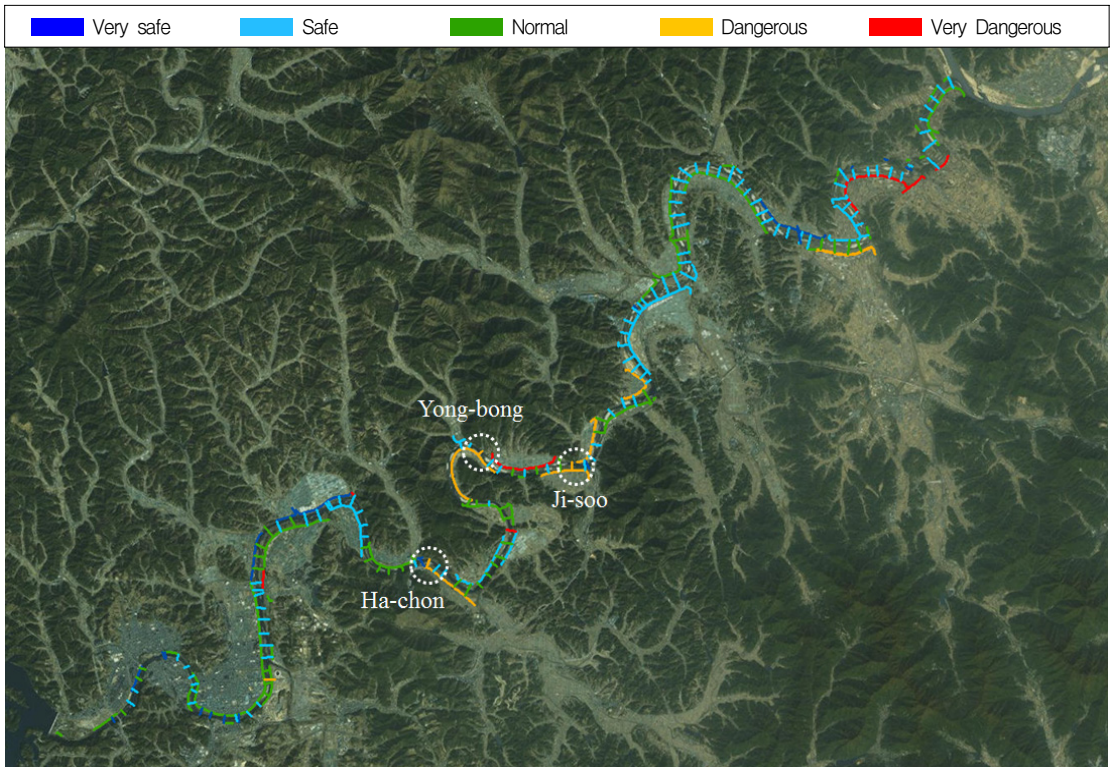


Fig. 6. Levee safety map

4. 결론

본 연구에서는 대상구간인 남강유역에 대해서 제방의 침식 및 월류에 대한 안전도를 산정하였으며 이를 등급화 하여 지도에서 확인이 가능한 제방 안전도 맵을 작성하였다. 이를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

- (1) 제방의 침식 및 월류에 대한 안정조건을 제시하고 제방안전도 산정방법을 제안하였다.
- (2) 제방의 침식에 대한 안정조건은 호안의 내력과 외력을 비교하여 내력과 외력의 비를 안전도로 환산하여 제방의 안전도를 산정하였다.
- (3) 제방의 안전도를 매우안전, 안전, 보통, 위험, 매우위험의 5단계로 등급을 설정하고 대상구간의 모든 제방과 하도횡단면에 대한 침식안전도와 월류안전도 등급을 산정하였다.
- (4) 그 결과 제방의 침식안전도는 총 8개소(12.0 %)에서 위험 또는 매우위험으로 나타났으며 월류안전도는 총 7개소(4.5 %)에서 위험 또는 매우위험으로 나타났다.

제방의 침식안전도의 경우 위험 또는 매우위험으로 나타난 지점 모두 호안의 형식이나 제원이 확인되지 않아 식생호안(무호안)으로 가정하여 산정한 경우로 안전도를 통해 제방의 재설계나 보수보다는 제방정보의 현행화가 우선적으로 필요할 것으로 판단된다. 현장조사 후 호안이 설치되어 있지 않은 경우에는 호안에 대한 안전대책을 시급하게 수립해야할 필요가 있을 것으로 판단된다. 제방의 월류 안전도의 경우 위험 또는 매우위험으로 나타난 지점은 만곡부의 시작점 또는 종료점이나 지천의 합류부로 하천기본계획 수립 시 만곡부나 지천의 합류부의 영향에 의한 대책을 수립하는 것이 필요하다고 판단된다. 본 연구를 통해 산정된 제방 안전도맵을 통해 하천의 흐름의 영향을 받는 제방의 침식과 월류에 대한 위험성을 한눈에 확인이 가능하기 때문에 하천계획 또는 유지관리의 우선순위를 파악하는데 유용할 것으로 판단되며, 지속적이고 정기적인 현장조사 결과를 제방안전도에 적용하여 업데이트한다면 제방관리의 불확실성을 감소시켜 줄 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 맵형식으로 안전도의 직관적 확인이 가능하여 신속하고 선제적인 대응

으로 하천관리업무의 효율성을 높일 수 있을 것이다. 추 후 본 연구에서 분석한 호안의 구조적 특성과 흐름특성 뿐만 아니라 통문, 통관의 접합부 및 보 접속부의 세굴 등에 대한 안전도도 함께 고려할 수 있는 제방안전도에 대한 연구가 진행된다면 보다 더 현실적이고 활용성이 높은 제방위험도 분석기법이 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] S.Solomon(Ed.), "Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (vol. 4)", *Cambridge University Press*, 2007.
- [2] USACE(U.S. Army Corps of Engineers). Program Levee, <http://www.usace.army.mil/>
- [3] Deltares, DAM(Dike strength Analysis Module) <https://deltares.nl/en/software/dam-dike-strength-analysis-module/>
- [4] J. R. Beck, "Streambank erosion hazard mapping: concepts, methodology and application on the Venoge River (Switzerland)", *Doctoral dissertation, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE*, 2006.
- [5] K. S. Yoon, J. H. Cha, S. J. LEE and K. H. Kim, "Application of safety evaluation in levee", *Korea Water Resources Association proceeding*, pp. 309-312, 2003.
- [6] K. S. Yoon, "Levee failure type analysis and design methods", *J. of Korea Water Resources Association*, 37(5), pp. 50-60, 2004
- [7] K. K. Yu and N. J. Lee, "Inspection of levee Penetration safety using geophysical survey", *J. of Korea Water Resources Association*. vol. 45(7), pp. 42-48, 2012.
- [8] J. H. Park, T. H. Kim and K. Y. Han, "Hazard Evaluation of Levee by Two-Dimensional Hydraulic Analysis", *Journal of Wetlands Research*, vol. 18(1), pp. 45-57, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.1.045>
- [9] Y. J. Choung, "Development of a Levee Stability Assessment Technique Using Multispectral Orthoimages and LiDAR Data", *J. Korean Soc. Hazard Mitig.* vol. 15(2), pp. 293-299, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2015.15.2.293>
- [10] Ministry of construction Japanese Government, *Design Guideline of River Levee*, 2000.
- [11] C. L. Saucier, I. L. Howard and J. G. Tom, "Levee breach geometries and algorithms to simulate breach closure", *Oak Ridge National Laboratory*, 2009.
- [12] Japan Institute of Construction Engineering(JICE) *Dynamic Design of Revetments*. Sankaido, 2007.
- [13] Ministry of Land, Infrastructure and Trnasport (MOLIT), *River Master Plan(Revision) in the Nam River*, 2013.
- [14] S. Y. Kim and K. S. Yoon, "Study on Applicability of River Revetment Design for consideration of Velocity Variation due to Meandering and Scour Effect", *Journal*

of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. vol. 17(12) pp. 17-25, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.12.17>

- [15] Ministry of Land, Infrastructure and Trnasport (MOLIT), *Hydrological annual report in Korea (Discharge)*, 2014.

윤 광 석(Kwang Seok Yoon)

[정회원]



- 1996년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1996년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

토목/건축, 수리학, 수리실험, 환경공학

김 수 영(Sooyoung Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 홍익대학교 대학원 건설도시공학부 (공학석사)
- 2014년 8월 : 홍익대학교 대학원 건설도시공학부 (공학박사)
- 2014년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 박사후연구원

<관심분야>

토목/건축, 수리학, 수리실험