

재해위험도와 보수보강비용을 고려한 급경사지 옹벽의 투자 우선순위 결정방법 연구

Investment Prioritization Method for Steep Slope Retaining Wall Considering the Disaster Risk and the Repair and Reinforcement Cost

최 재 순¹ Choi, Jae-Soon

신 연 주² Shin, Yean-Ju

백 우 현³ Baek, Woo-Hyun

Abstract

Every summer in our country, an accident occurs, in which the retaining wall on a steep slope collapses due to torrential rain. According to the data on the results of steep slope risk assessment in 2019, over 780 retaining walls are below grade C; therefore, preparing for countermeasures is urgent. However, due to the limited budget for the repair and reinforcement of these retaining walls, it is necessary to discuss the investment prioritization. In this study, a prioritization method was proposed at the network and project levels along with the review of the revised criteria of disaster risk assessment in the steep slope retaining wall, and an application research in the network level was conducted for six retaining walls. Moreover, it is proposed that the priority index was determined by using the actual cost for repair and reinforcement in determination of the project level prioritization.

요 지

매해 여름, 우리 나라에서는 집중호우로 인해 급경사지 옹벽이 붕괴되는 사고가 발생하고 있다. 2019년 급경사지 위험도 평가결과에 대한 데이터를 보면, 780여개소의 옹벽이 C등급 이하로 이에 대한 대책마련이 시급한 실정이다. 그러나, 이러한 옹벽에 대한 보수보강 예산이 한정적이므로 투자 우선순위에 대한 논의가 필요하다. 이 연구에서는 개정된 급경사지 옹벽의 위험도 평가기준에 대한 고찰과 함께 네트워크 레벨 및 프로젝트 레벨에서의 우선순위방법을 제안하고 이에 대해 6개 옹벽을 대상으로 적용성 검토를 수행하였다. 이때, 프로젝트 레벨에서의 우선순위 결정에는 실제 투입된 보수보강비용자료를 이용하여 우선순위 지수를 결정하였다.

Keywords : Disaster risk assessment, Priority determination of network, Priority determination of project level, Retaining wall

1 정회원, 서경대학교 토목건축공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Seokyeong Univ.)

2 비회원, 서경대학교 토목건축공학과 학사과정 (Student, Dept. of Civil Engrg., Seokyeong Univ.)

3 비회원, 서울과학기술대학교 토목공학과 박사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Seoultech Univ., Tel: +82-2-940-7105, Fax: +82-2-940-7105, geoback85@gmail.com, Corresponding author, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2023년 6월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서론

20세기에 들어선 이후 기후변화로 인한 여름철 집중호우 또는 태풍으로 인해 많은 피해가 발생한 바 있다. 특히, 산지가 70%이상인 국내 지형학적 특성으로 인해 급경사지 시설의 붕괴가 매년 여름마다 언론에 보도되고 있는 실정이다. 이러한 산사태에 대한 사전대처는 주로 산지를 관할하는 산림청과 행정안전부 및 지자체를 중심으로 수행되고 있으며 특히, 급경사지 지역에 거주하는 시민들의 안전을 위해 행정안전부에서는 급경사지 재해위험도 평가기준을 제정하여 선제적인 조치를 취하고 있는 실정이다.

이러한 노력에도 불구하고 매년 급경사지에서의 피해가 발생하고 있으며 급경사지 시설인 옹벽, 축대, 자연비탈면, 인공비탈면 중에서도 옹벽과 축대는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 사람이 거주하는 지역에 인접하여 설치되는 것이 일반적이므로 이 시설의 붕괴는 거주민들의 생명과 안전을 크게 위협할 수 있다.

Fig. 1의 옹벽 붕괴사례는 아파트와 공장시설에 인접한 옹벽의 붕괴모습을 각각 보여주고 있는데 다행히도 붕괴로 인한 차량 피해 외 추가피해는 없었던 것으로 보도된 바 있다.

이상과 같이 매년 하절기 집중호우 및 태풍으로 인해 옹벽이 붕괴되는 피해가 발생하고 있으며 공공데이터포털(www.data.go.kr)에 수록된 2019년 급경사지 평가결과를 보면, 약 780여개의 옹벽이 C등급 이하인 것으로 나타나 옹벽 한 가지 시설만으로도 오랜 기간동안 재해저감을 위한 대책이 실행되어야 하며 특히, 대책마

련이 필요한 옹벽이 다수인 경우 투자 우선순위에 대한 논의가 필요하게 된다.

국내 옹벽에 대한 위험도 평가와 관련된 연구를 살펴보면, 돌망태 옹벽의 유지관리에 관한 연구(Back et al., 2010), 급경사지 위험도 평가요소에 대한 연구(Song et al., 2012)와 국내 1,2종 옹벽을 대상으로 한 성능평가와 유지관리에 대한 연구(Choi, 2019)가 있으며 공공시설 및 자연피해 위험지구에 대한 우선순위 연구를 보면, 교량의 성능평가에 대한 연구(Kim et al., 2005), 철도의 설계속도를 고려한 네트워크 레벨 우선순위 결정연구(Park et al., 2009), 산사태 등의 피해복구결과를 토대로 비용편익을 산정한 우선순위를 고려한 연구(Heo and Choi, 2012), 복구비 투입에 따른 정량적 평가를 수행한 연구(Lee et al., 2019)와 하천재해위험지구 정비사업시 비용편익의 재해위험도, 주민불편도, 저감효과 등을 고려한 연구(Lee et al., 2019) 등이 있으며 보수보강시 최적의 보강형태에 대한 연구(Kim et al., 2006) 및 집중강우시 위험도 증가로 붕괴된 사례연구(Yoo et al., 2005) 등이 있다. 현재 1,2종 중요시설물의 유지관리를 위한 시설물 통합정보 시스템(www.fms.or.kr)(KICT, 2018)에서는 교량 및 터널 등 손상부위가 비교적 명확한 시설물에 대한 프로젝트 레벨에서의 우선순위 결정방법이 보수보강비용을 토대로 탑재된 바 있으나 옹벽을 대상으로 한 보수보강시 우선순위에 관한 연구는 현재까지 크게 진전이 없는 실정이다.

이 연구에서는 이상과 같이 계속되는 하절기 급경사지 옹벽에 대한 대책 마련의 효율성을 증대시키고자 개정된 옹벽의 재해위험도 평가지표를 고찰하고 위험도



(a) Busan in 2020



(b) Yangsan in 2021

Fig. 1. Retaining wall collapse (2020 & 2021) (www.yna.co.kr)

등급을 고려한 네트워크 레벨에서의 우선순위 평가방법과 보수보강비용을 고려한 프로젝트 레벨에서의 우선순위 평가방법을 제안하고 실제 평가사례를 대상으로 적용성 검토를 수행하였다.

2. 개정된 옹벽의 재해위험도 평가

가장 최근 개정된 2021년 7월 9일 행정안전부 고시 2021-4호의 내용(www.law.go.kr)을 살펴보면, 우선적으로 옹벽의 재해위험도 평가등급이 5가지 등급으로 구분하고 있으며 그 내용을 요약하면 Table 1과 같다.

또한, 현재 사용되고 있는 위험도 평가표는 Table 2와 같으며 2009년 9월 9일 평가표가 제정된 이후, 5차례(2015년 10월 20일, 2017년 4월 21일, 2018년 1월 29일, 2020년 4월 3일, 2021년 7월 9일)의 평가표 개정이 있었으며 개정내용을 요약하면 Table 3과 같다.

Table 3의 내용을 보면, 붕괴위험성의 항목은 옹벽에 대한 항목이 전도배부름과 백태로 분류되었고, 세굴, 균열, 전도 배부름에 대해서는 옹벽의 형식이 고려되어 세분화가 이루어졌다. 사회적 영향도의 경우, 최초 주변 환경, 인구수, 시설과의 거리로만 고려하던 사항이 인구수의 경우, 도로접근 여부를 기준으로 구분되고 시설물과의 거리도 비탈면 높이 기준으로 변경되었다. 마지막으로 제정 당시에는 없던 항목인 조사자 보정점수는 매 개정마다 보정점수가 추가되어 2015년 최대 7점, 2017년 최대 9점, 2018년 14점, 2021년 최대 19점이 추가되는 수준까지 확대되었다.

3. 네트워크 레벨 및 프로젝트 레벨에서의 우선순위 결정

우선순위 결정에는 다양한 방법이 있으며, 앞서 언급한 국내 시설물 통합정보 시스템(www.fms.or.kr)에서는 전략 레벨, 네트워크 레벨, 그리고 프로젝트 레벨로 구분하여 우선순위를 결정하고 있다. 여기서 프로젝트 레벨은 시설물에 대한 정밀안전진단을 통해 발견된 결함 요소들에 대한 우선순위를 결정하는 것이며, 네트워크 레벨은 같은 형식의 시설물들 중에서 우선순위를 결정하는 내용이고 전략 레벨은 다양한 시설물을 관리하는 경우, 보수보강이 필요한 모든 시설물에 대한 우선순위를 결정하는 것이다. 이를 인용하여 급경사지 시설에 적용해 보면, 다음과 같이 옹벽, 자연비탈면, 인공비탈면에 대한 우선순위 결정방법을 나타낼 수 있다.

Table 4의 내용을 설명하면, 전략 레벨에서는 급경사지 위험도 평가 전체시설물이 옹벽/축대와 자연비탈면, 인공비탈면, 3가지 시설 모두를 대상으로 우선순위를 결정하게 되며, 네트워크 레벨에서는 각 시설별 단위정보를 구성하는 개별시설물의 형태나 지역, 위험도평가 등급 등을 기준으로 우선순위를 결정할 수 있다. 마지막으로 프로젝트 레벨에서는 개별시설물에 대한 위험도 평가결과를 토대로 보수보강 등을 통해 평가지표를 개선하게 되는데 이때, 보수보강의 비용 등을 고려하여 프로젝트 레벨에서의 우선순위를 결정하게 된다.

이 연구에서는 콘크리트 옹벽만을 대상으로 하기 때문에 네트워크 레벨과 프로젝트 레벨에서의 우선순위 결정방법을 제안하고 이에 대한 적용성 검토를 수행하

Table 1. Evaluation score and content by grade

Grade	Disaster risk assessment score	Disaster risk level	Management plan
	Retaining walls and embankment		
A	0 ~ 20	Very Low	· Regular safety inspection
B	21 ~ 40	Low	· Regular safety inspection
C	41 ~ 60	Normal	· Regular safety inspection · Designation/management of collapse risk areas if necessary
D	61 ~ 80	High	· Regular safety inspection · Designation/management of collapse risk areas
E	81 or higher	Very High	· Regular safety inspection · Designation/management of collapse risk areas · Emergency measures if necessary

Remarks

1. Among the areas at risk of collapse, steep slopes that are feared to cause human casualties in the event of collapse should be marked separately on the grade. "Example : (D)"
2. Regular safety inspections are conducted to check whether steep slopes meet the current requirements for use by using simple inspection equipment (camera, tape measure, hammer, etc.)

Table 2. Evaluation index for disaster risk of retaining walls and embankment

Division				Evaluation Criteria & Points					
Danger of collapse (70)	Facility	Base Part	Settlement (cm)	0~2	3~5	6~8	9~12	13 or higher	
				1	2	3	4	5	
			Horizontal Displacement (cm)	0~2	3~5	6~8	9~12	13 or higher	
				1	2	3	4	5	
			Scour	Concrete Retaining Wall	not scoured	lower haunch/2	lower haunch	maximum thickness of a base plate/2	foundation bed
					0	2	3	4	5
		Reinforced Soil Retaining Wall		not occurred		depth of penetration/4		foundation bed	
				0		3		5	
		Stone Wall	not occurred		depth of top/3		top	foundation bed	
			0		2		4	5	
		Front Part	Failure & Damage (mm)	none	more than 0 ~ less than 5	5 or higher ~ Less than 10	10 or higher ~ less than 20	20 or higher	
				0	2	3	4	5	
	Crack		Concrete Retaining Wall (mm)	0 ~ less than 0.1	0.1 or higher ~ less than 0.2	0.2 or higher ~ less than 0.3	0.3 or higher ~ less than 0.5	0.5 or higher	
				0	3	5	7	10	
			Reinforced Soil Retaining Wall, Reinforcing Stone Wall	almost none	minor condition	minor condition, more cracks expected	severe condition, crack enlargement expected	loss of function, destruction expected	
				0	3	5	7	10	
	Abrasion / Erosion		none	slight	a little bit severe	severe	very severe		
			0	2	3	4	5		
	Peeling & Separation of Layers (mm)		0~10	11~15	16~20	21~25	26 or higher		
			1	2	3	4	5		
	Exposed Rebar (%)		0	0.1~1	1.1~3	3.1~5	5.1 or higher		
			0	3	5	7	10		
	Conduction · Entasis	Concrete Retaining Wall (%)	less than 1	less than 1~2	less than 2~3	less than 3~4	4 or higher		
			0	2	3	4	5		
		Reinforced Soil Retaining Wall, Reinforcing Stone Wall (%)	less than 2	less than 2~3	less than 3~4	less than 4~5	5 or higher		
			0	2	3	4	5		
	Sapwood	almost none	minor condition (local)	severe condition (local)	severe condition (wide range)				
		0	1	3	5				
Rain fall	Outlet	Condition that inside of the outlet is clean with water flowing	Condition that there is a drained trace of a mixture of fine grained soil inside the outlet	Condition that there is a drained trace of a mixture of coarse-grained soil inside the outlet	Condition that there is no drained trace inside the outlet	Condition that there is no outlet installed			
		0	3	5	7	10			
Subtotal									
Social impact (30)	The Surrounding Environment			Forest and Park Facilities		Housing Sites, Roads, Railroads, etc.			
	Number of Victims/ Number of road lanes Roadway Traffic Volume	Steep Slope Border on the Road	Number of Roadlanes (oneway)	below 1 road lane road		2 road lane road		3 road lane or higher road	
			Traffic Volume (car/day)	less than 500	500~5,000	5,001~20,000	20,001~35,000	35,001 or higher	
		Other	Estimated Number of People harmed	0		1~4 people		5 people or more	
				0		10		15	
	Distance Between Steep Slopes and Adjacent Facilities	no facility	More than Twice the Slope Height	Within Twice of the Slope Height	Within the Slope Height	Within half of the Slope Height			
		0	1	4	7	10			
	Subtotal								
	Investigator adjust point	Factors Influencing Rainfall	Areas where debris flow and rocks are expected to occur in the upper mountain areas and damage is expected (+5)						
			Whether or not there is an excellent drainage facility in the steep slope: No excellent drainage facility (+2), there is an excellent drainage facility, but the facility condition is poor (+1)						
Social Influencing Factors		Topographic feature which is feared to be damaged by surface water(collection) from the top of the steep slope, and additional points* for disaster prevention performance target rainfall							
	* ① Rainfall exceeding the target rainfall for 1 hour disaster prevention performance within the last 3 years (+5), ② Rainfall exceeding the target rainfall for 1 hour disaster prevention performance within the last 5 years (+2)								
Areas where damage to the elderly (elderly, children, disabled, etc) is expected: 1 to 4 elderly (+1), 5 or more elderly (+2)									
Areas where the management entity is unclear* or areas where disaster vulnerable groups who are difficult to self-maintenance reside**: 1 to 4 people (+3), 5 or more people (+5)									
* ① In a case where it is difficult to determine a management entity because the owner and user of land and housing are different, ② In a case where the whereabouts of the owner of the steep slope are unknown, ③ In a case where it is neglected because it does not live in person, and there is a concern about damage to others, ④ In a case where it is difficult for the owner or occupant to determine the management entity as a majority and etc.									
** 「National Basic Living Security Act」 The second-highest class pursuant to Article 2 Sub paragraph 10									
Subtotal									

Table 3. Summary of revision to the evaluation table

Date	Revised division	Summary of revision
2009.9.9	Enactment	Division : collapse risk & expected damage
2015.10.20	Revision Two parts & Added Investigator correction point	Division : collapse risk and social impact 1. collapse risk Instead of chloride, change to conduction and fullness, and white matter. 2. expected damage In the social impact map, the evaluation index is subdivided by classifying road access. 3. investigator correction point Added investigator adjust point (debris flow hazard, rainwater drainage)
2017.4.21	Revision one part & Added Investigator correction point	1. collapse risk Set the index by subdividing into concrete retaining wall, reinforced earth retaining wall, and stone axis for scour items 2. investigator correction point Consideration of clarity of disaster-vulnerable classes
2018.1.29	Investigator correction point	1. investigator correction point Consideration on manager existence
2020.4.3	Revision one part	1. collapse risk Set indexes for cracks and retaining walls by dividing them into concrete retaining walls, reinforced soil retaining walls, and stone wall for the items of overturn and distribution
2021.7.9	Investigator correction point	1. investigator correction point Changed the investigator's correction score to be considered within the evaluation table Consideration of rainfall influencing factors

* : Proposed the decision factor of network level priority in this study

Table 4. Priority decision method for countermeasure of retaining walls on steep slopes

Strategy level	Retaining wall	Natural slope	Artificial slope
Network level	Choose one ; Facility type - Conc. - Reinforced - Stone Region selection Risk grade* Etc.	Choose one ; Facility type - Soil slope - Rock slope - Mixture slope Region selection Risk grade* Etc.	Choose one ; Facility type - Soil slope - Rock slope - Mixture slope Region selection Risk grade* Etc.
Project level	Retaining wall A Retaining wall B Retaining wall C ⋮	Slope A Slope B Slope C ⋮	Slope A Slope B Slope C ⋮

* : Proposed the decision factor of network level priority in this study

였다. 네트워크 레벨에서는 우선순위 결정을 위한 다양한 조건(시설물 형태, 지역 구분, 평가등급의 세부내용 등) 중에서 평가등급의 세부내용을 반영하여 네트워크 레벨에서의 우선순위를 결정하는 방법을 제시하였다. 그리고, 이어지는 프로젝트 레벨에서의 우선순위는 보수보강을 통해 가능한 개선수준을 확인함과 동시에 각 보수보강 방법별 비용을 고려하여 우선순위를 결정하도록 방법을 제시하였다. 이상의 우선순위 결정 과정을 그림으로 나타내면 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 위쪽에 나타난 사각 테이블에 해당되는 내용이 네트워크 레벨에서의 우선순위 결정내용이고 오른쪽 사각 테이블에 표시된 내용이 프로젝트 레벨에 대

한 내용이다. 네트워크 레벨에서의 우선순위 의사결정은 Table 1에 나타난 바와 같이 D등급부터는 위험지구/시설로 지정하는 점과 일부 C등급 시설에 대해서도 같은 내용을 적용할 수 있다는 법 조항을 인용하여 우선순위를 결정하도록 하였다. 2번째 우선순위 판단조건으로는 1차 분류된 시설들에 대해 사회적 영향도가 높은 시설을 우선하도록 하였는데 이는 급경사지 재해예방에 관한 법률 제2조 2항 “붕괴위험지역이란 붕괴·낙석 등으로 국민의 생명과 재산의 피해가 우려되는 급경사지와 그 주변토지”라고 정의된 점을 반영하여 같은 등급 내에서 우선순위를 결정할 때에는 국민의 생명과 재산의 피해와 연관성이 높은 사회적 영향도를 우선하도록

한 것이다. 또한, Fig. 2에서 최초 위험도 등급에 대한 판단기준인 E등급과 D등급을 같이 묶어서 판단하도록 한 점은 2019년 급경사지 평가결과 내 위험도가 E등급인 시설이 C, D등급에 비해 매우 작은 점을 반영한 것이다.

이상과 같이 네트워크 레벨에서의 우선순위가 결정되면, 각 시설별로 위험요소를 제거 또는 저감시킬 수 있는 보수보강의 대책을 강구하게 되는데, 이때, 앞으로의 개선을 통해 향상될 평가지표의 변화에 따라 보수보강방법과 그에 따른 보수보강비용이 다르게 된다. 따라서, 효율적인 의사결정의 집행을 위해서는 개선될 평가지표의 점수와 이와 연계된 보수보강방법 및 보수보강

비용이 다양하게 도출될 필요가 있으며 마지막으로 정책결정자는 급경사지 시설 전체에 대한 목표 등급과 단기 및 중장기예산계획을 반영하여 최적의 방법을 찾게 된다. 이러한 점을 고려하여 이 연구에서는 보수보강방법과 연계된 보수보강비용을 토대로 프로젝트 레벨에서의 투자 우선순위를 결정하는 방법을 제시하였다.

이상의 내용을 요약하며 각 레벨에 있어서 우선순위 결정시 판단요소를 요약하면 Table 5와 같다.

Table 5의 내용에 기초하여 급경사지 옹벽 위험시설에 대한 투자 우선순위를 결정하게 되면, 그 최종결과는 Fig. 2의 왼쪽 하단부에 나타난 표와 같다.

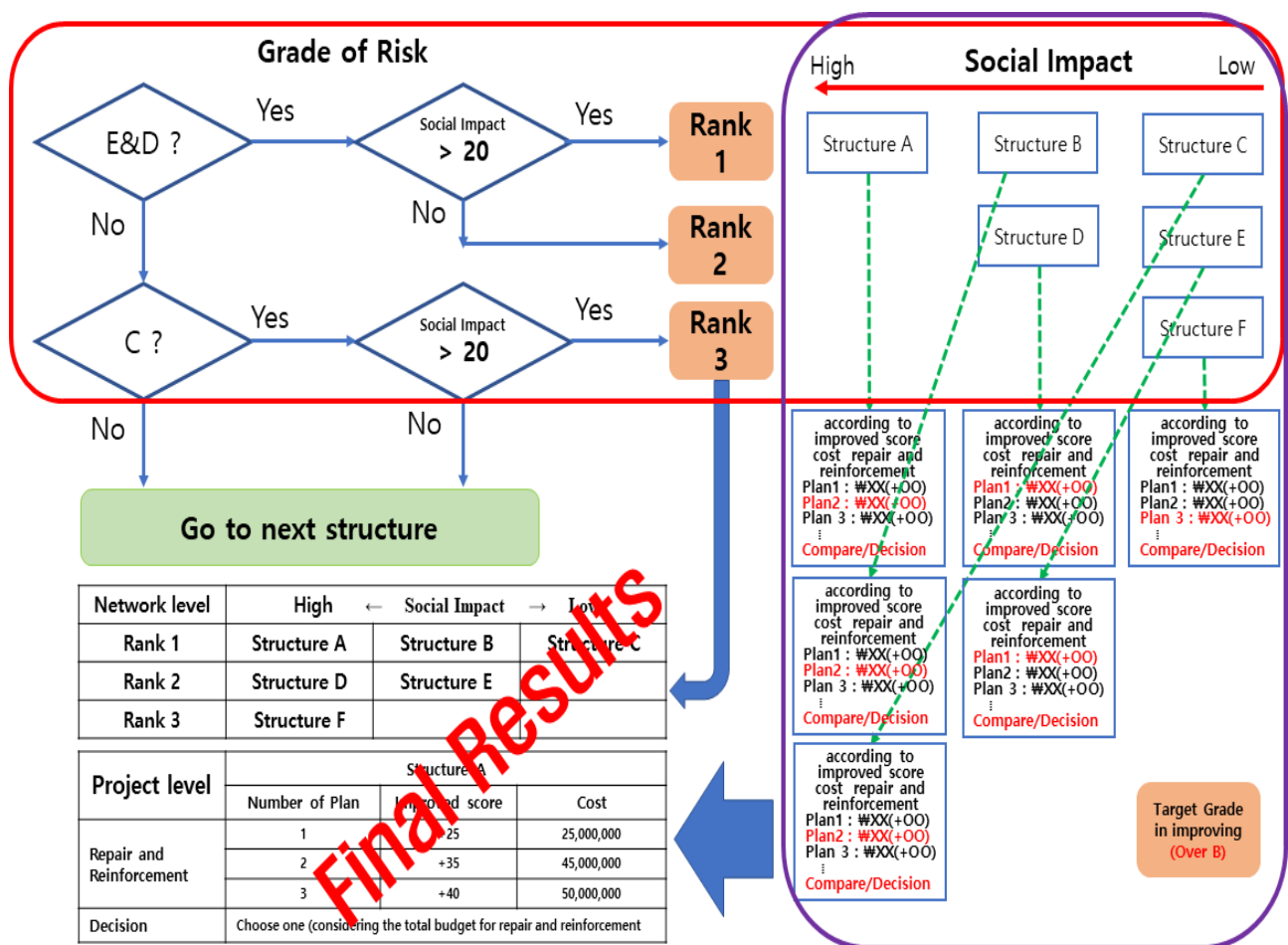


Fig. 2. Proposed priority decision methods and explanatory diagram

Table 5. Decision-making factor in proposed method (steep slope retaining walls)

Type	Decision-making factors		Comments
	1 st factor	2 nd factor	
Network level	Grade of risk	Score of social impact	Determination of a reference score to reflect the risk of social impact
Project level	Desirable improved score with repair and reinforcement	Selection of method and cost evaluation on repair and reinforcement according to the improved score	Unifying of national target grade & considering the future budget for repair and reinforcement

4. 제안된 방법을 이용한 우선순위 결정 적용성 검토

이 연구에서는 3장에서 제안된 투자 우선순위 결정법의 타당성 검토를 위해 한국건설기술연구원 주관으로 “사회기반시설의 성능중심 관리 운영을 위한 한국형 성능등급 산정기술 개발연구”에서 진행된 옹벽의 성능평가 결과를 이용하여 급경사지 옹벽의 위험도 평가를 수행하였다. 이때, 위험도 평가에 이용된 옹벽의 성능평가 자료는 도로시설 옹벽 3개소와 철도시설 옹벽 3개소에 대한 성능평가결과이며 성능평가 내 상태안전성 평가요소가 급경사지 위험도 평가 내 붕괴위험성 평가요소와 거의 동일한 점을 고려한 것이다. 또한, 위험도 평가에 이용된 3개의 철도시설의 경우에는 주변 도로상태를 고려하여 임의로 사회적 영향도를 산정하였으며 조사자의 판단에 의한 평가는 포함하지 않았다.

4.1 네트워크 레벨에서의 우선순위 결정

우선순위 결정법에 대한 적용성 검토에 사용된 옹벽은 모두 L형 콘크리트 옹벽으로 인접도로는 1개소가 1차선, 4개소가 2차선, 1개소가 4차선이다. 또한, 옹벽의 길이는 22m~112m로 다양하였으며 6개 시설 모두 배수구가 설치되어 있다.

성능평가 자료를 이용하여 옹벽의 위험도 평가를 수행한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6을 보면, 세부지표별 위험도 평가결과와 그 합인 붕괴위험성점수와 사회적 영향도 점수가 각각 산정되어 있는 것을 볼 수 있으며 이를 토대로 Table 1의 기준을 적용하면 최종등급이 결정된다. 이후, Table 6의 내용을 토대로 우선순위 결정을 위해 Table 5의 판단기준을 적용하여 우선순위를 결정하게 되는데 이 내용을 요약하면 Table 7과 같다.

Table 7을 보면, 붕괴위험성 점수가 높은 순서와 사회

Table 6. Summary of retaining wall risk assessment results (6 facilities)

Division				Retaining wall						
				A	B	C	D	E	F	
Danger of collapse (70)	Facility	Base Part	Settlement (cm)		2	1	1	2	2	2
			Horizontal Displacement(cm)		2	1	1	2	2	1
			Scour	Concrete Retaining Wall	1	1	0	1	1	1
				Reinforced Soil Retaining Wall						
				Stone Wall						
		Front Part	Failure & Damage (mm)		3	2	4	2	4	3
			Crack	Concrete Retaining Wall (mm)	7	5	10	5	7	5
				Reinforced Soil Retaining Wall, Reinforcing Stone Wall						
			Abrasion / Erosion		3	3	3	2	4	2
			Peeling & Separation of Layers (mm)		4	3	4	2	4	2
	Conduction · Entasis	Exposed Rebar (%)		5	0	5	0	5	0	
		Concrete Retaining Wall (%)	Concrete Retaining Wall (%)	0	0	0	0	0	0	
			Reinforced Soil Retaining Wall, Reinforcing Stone Wall (%)							
		Sapwood		5	3	5	1	5	1	
	Rainfall	Outlet		7	5	3	3	7	7	
Subtotal				39	24	36	20	41	24	
Social impact (30)	The Surrounding Environment			5	5	5	5	5	5	
	Number of Victims/ Number of road lanes	Steep Slope Border on the Road	Number of Roadlanes (oneway)	4	4	4	4	7	1	
			Traffic Voulme (car/day)	6	6	8	6	6	4	
	Roadway Traffic Volume	Other	Estimated Number of People harmed	0	0	0	0	0	0	
			Distance Between Steep Slopes and Adjacent Facilities	10	7	10	7	10	7	
Subtotal				25	22	27	22	28	17	
Total				64	46	63	42	69	41	
Grade				D	C	D	C	D	C	

적 영향도를 고려한 우선순위가 다소 차이를 나타내고 있는 경우가 발생한 것을 볼 수 있다. 옹벽 A가 옹벽 C보다 붕괴위험성 점수가 높았으나 사회적 영향도가 상대적으로 작아 옹벽 C의 순위가 우선하게 되는 것으로 나타났다. 또한, C등급의 경우인 옹벽 B, D, F의 경우, 사회적 영향점수는 B와 D가 같았지만, 붕괴위험도 점수가 높은 옹벽 B가 옹벽 D보다 우선순위를 갖는 것으로 나타났으며 옹벽 F는 붕괴위험도 점수는 옹벽 D보다 높았으나 사회적 영향점수가 20 이하이므로 우선순위 결정대상에서 제외하였다.

이상과 같이 이 연구를 통해 제안된 네트워크 레벨에서의 우선순위 결정방법에 대한 적용성 검토결과, 제안된 방법이 급경사지의 위험성뿐만 아니라 그로 야기되는 사회적 영향도 적절하게 반영하고 있는 것으로 나타났다. 다만, 이 연구에서 사용된 사회적 영향도에 대한 우선순위 판단기준 20은 추가적인 사례연구를 통해 보완될 필요가 있다고 판단된다.

4.2 프로젝트 레벨에서의 우선순위 결정

옹벽의 경우, 프로젝트 레벨에서의 우선순위는 보수

보강을 어떻게 하느냐에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 보수보강비용에 대한 실제값 내지는 표준품셈의 값을 수집하는 것이 중요하다. 이 연구에서는 위 6가지 평가 사례 중 C옹벽에 대한 보수보강 비용산정에 관한 정보를 수집하여 프로젝트 레벨에서의 우선순위를 결정하는데 이용하였다.

프로젝트 레벨에서의 우선순위를 결정하는 순서는 다음과 같다.

- 1) 손상형태별 손상별 보수수량 산출
- 2) 표준 단가를 통해 손상형태별 비용 산출
- 3) 각 주요 보수보강 항목별 재해위험도점수 상승분 산정
- 4) 조치를 통한 위험도 점수의 변화량을 조치비용으로 나누어 우선순위지수를 산정

우선순위지수(Priority $\in dex$)

$$= \frac{(\text{기준 위험도 점수} - \text{해당조치시 위험도 점수})}{\text{조치 비용}}$$

이상의 프로젝트 레벨에서의 우선순위 산정을 위해 조사된 C옹벽의 보수보강 방안 및 공사비를 요약정리

Table 7. The result of prioritization at the network level for retaining walls

Retaining wall	Risk grade	Danger of collapse		Social impact		Priority
		Score	Rank	Score	>20	
A	D	39	2	25	3	3
B	C	24	4	22	4	4
C	D	36	3	27	2	2
D	C	20	6	22	4	5
E	D	41	1	28	1	1
F	C	24	4	17	6	X

Priority Decision in Network Level		
Grade D	Danger of collapse	Social impact (>20)
	E(41) > A(39) > C(36)	E(28) > C(27) > A(25)
Grade C	Danger of collapse	Social impact (>20)
	B(24) > F(24) > D(20)	B(22) = D(22)

Table 8. Repair and reinforcement cost to reduce disaster risk

Damage	Repair and reinforcement	Damaged area	Const. Area	Unit	Unit price	Cost (×1000₩)
Crack in the front part	Surface treatment method I	367	550.5	m	80,000	44,040
Front part peeling	Section repair I	98	147	m ²	62,000	9,114
Front part damage, lifting, material separation	Section repair II	12	18	m ²	304,000	5,472
Front wear	Filling method	51	77	m	90,000	6,885
White ash of the front drainage part	Surface treatment method II	62	93	m ²	80,000	7,440
Exposed front rebar	Section restoration	19.5	29.25	m ²	159,000	4,651
Total cost (×1000₩)						77,602

하면 Table 8과 같으며 이 내용을 토대로 위에 나타난 우선순위지수 산정식에 대입하면 그 결과는 Table 9와 같다.

Table 8과 9의 내용을 보면, Table 6에 표시된 재해위험요소 중 침하, 수평변위, 배출구의 상태 등은 보수보강의 내용에서 제외되어 있는데, 이는 Table 6에 나타난 바와 같이 각 요소별 위험도 지수가 최대점수의 반에 해당되지 않은 값으로 요소별 붕괴위험성이 낮은 것을 반영한 것으로 볼 수 있다. 이에 반해 시설 전면부 요소들의 상태는 붕괴위험도가 높은 것으로 나타나 이들을 중심으로 보수보강을 계획하게 된다.

이상의 내용을 토대로 현재 C옹벽(재해등급 D등급)을 Table 10의 우선순위대로 하나씩 추가해 가며 보수보강 후의 등급과 총 비용을 산정하여 나타내면 Table

10과 같다.

Table 10의 내용을 보면, 보수보강공법이 추가되어 가며 재해위험 평가점수가 작아지는 것을 확인할 수 있었으며 최종적으로는 모든 보수보강이 수행될 경우, B등급 수준까지 시설성능을 개선할 수 있는 것으로 나타났다. 다만, 모든 보수보강을 강구 하더라도 위 시설의 경우, B등급까지 등급상승이 가능한 것은 C옹벽의 사회적 영향점수가 27점으로 기초부의 보수보강을 포함하여 모든 부분에 대해 보수보강 및 그 이상의 조치를 취하더라도 이 점수로 인해 이 시설의 재해위험점수는 최대 27점이 되어 B등급까지만 가능하게 된다. 이러한 점은 향후 보수보강시 목표등급의 선정 또는 향상점수의 선정 등을 결정하는 경우, 여러 사례들에 대한 분석이 추가될 필요가 있다고 판단된다.

Table 9. The result of prioritization at the project level for retaining walls

Damage	Repair and reinforcement	Cost (×1000₩) (A)	Up-score due to action (B)	Priority index (B/A×10 ⁶)	Rank
Crack in the front part	Surface treatment method I	44,040	10	227.07	6
Front part peeling	Section repair I	9,114	4	438.89	4
Front part damage, lifting, material separation	Section repair II	5,472	4	730.99	2
Front wear	Filling method	6,885	3	435.73	5
White ash of the front drainage part	Surface treatment method II	4,651	5	1,075.04	1
Exposed front rebar	Section restoration	7,440	5	672.04	3

Table 10. Example of repair and reinforcement plan considering priorities

Plan	The details	Cost (×1000₩)	Corrected risk score	Corrected grade
Do Nothing	-	-	63	D
Case 1	1) Exposed front rebar (section restoration)	4,651	58	C
Case 2	1) Exposed front rebar (section restoration) 2) Front part damage, lifting, material separation (section repair II)	10,123	54	C
Case 3	1) Exposed front rebar (section restoration) 2) Front part damage, lifting, material separation (section repair II) 3) White ash of the front drainage part (Surface treatment method II)	17,563	49	C
Case 4	1) Exposed front rebar (section restoration) 2) Front part damage, lifting, material separation (section repair II) 3) White ash of the front drainage part (Surface treatment method II) 4) Front part peeling (section repair I)	26,677	45	C
Case 5	1) Exposed front rebar (section restoration) 2) Front part damage, lifting, material separation (section repair II) 3) White ash of the front drainage part (Surface treatment method II) 4) Front part peeling (section repair I) 5) Front wear (filling method)	33,562	42	C
Case 6 (ALL)	1) Exposed front rebar (section restoration) 2) Front part damage, lifting, material separation (section repair II) 3) White ash of the front drainage part (Surface treatment method II) 4) Front part peeling (section repair I) 5) Front wear (filling method) 6) Crack in the front part (Surface treatment method I)	77,602	32	B

보수보강에 대한 경우의 수는 Table 10의 6가지 방법만 있는 것이 아니고 Table 8과 Table 9에 나타난 6가지 보수보강내용을 전부 고려하게 되면, 보수보강의 총 경우의 수는 총 63가지(6C0+6C1+6C2+6C3+6C4+6C5+6C6=63)의 보수보강방법을 도출할 수 있으며 이 연구에서는 63가지 방법 모두를 대상으로 보수보강비용과 보수보강 후의 위험도지수 및 재해등급을 산정하였다. 각각의 산정결과에 대해 적정한 기준을 두고 이를 구분하여 나타내면 Fig. 3과 Fig. 4에 나타난 바와 같다.

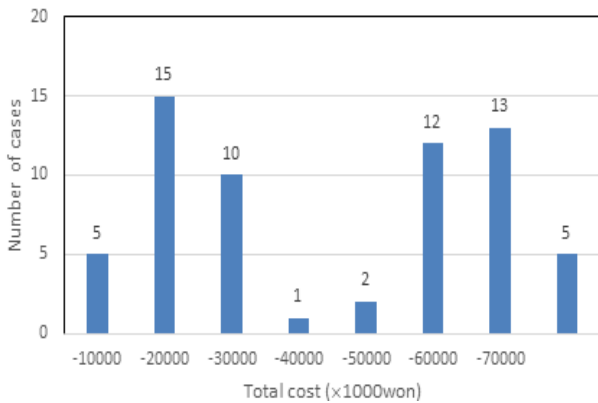


Fig. 3. Classification of cost ranges for all repair and reinforcement

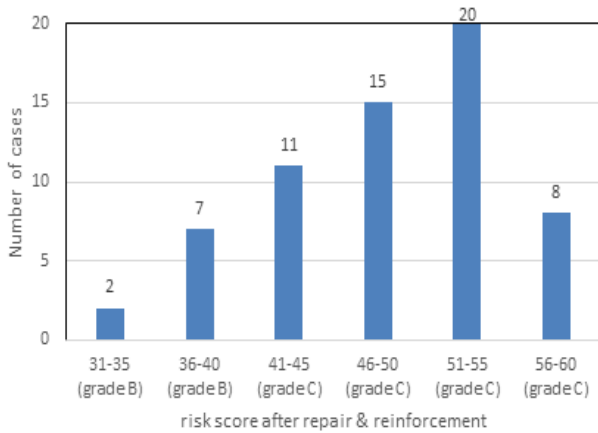


Fig. 4. Final risk score and grade after repair and reinforcement

앞서 언급한 바와 같이 보수보강을 통해 최대 B등급까지 개선이 가능하고 1가지 보수보강만을 택하더라도 C등급까지는 개선이 가능한 것으로 나타났다. 세부내용을 보면, B등급까지 개선된 경우, 균열과 철근 노출에 대한 보수보강은 반드시 포함되어 있는 것으로 나타났다.

마지막으로 네트워크 레벨에서의 우선순위 결정을 이용하여 경제적인 보수보강방법을 찾을 수 있는데, 이때, 우선적으로 시설물 관리책임기관이 목표등급 내지는 목표점수를 선정 한 후, 그것을 기준으로 보수보강비용을 고려한 방법을 선정하게 된다.

이 연구에서는 목표등급보다 좀더 세분화할 수 있는 위험도 점수를 기준으로 경제적인 보수보강방법을 선정하였으며 이때, 아래와 같이 목표 위험도 지수를 3가지로 하였다. 각각의 경우에 있어서 경제적인 보수보강방법 선정내용을 나타내면 Table 11과 같다.

Table 11에 나타난 바와 같이 이 연구에서 제안한 프로젝트 레벨에서의 우선순위 결정방법이 보수보강을 통한 재해위험도의 개선과 보수보강 비용을 함께 고려하는데 크게 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

이 연구에서는 국내 급경사지 옹벽에 대한 보수보강 등 대책 마련시 우선순위를 결정하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 급경사지 옹벽의 우선순위를 네트워크 레벨과 프로젝트 레벨로 구분하고 네트워크 레벨에서는 평가등급과 사회적 영향도를 고려하여 옹벽 시설별 우선순위를 결정하고 프로젝트 레벨에서는 보수보강 비용대비 재해위험점수의 상승분을 지수화하여 이를 기준으로 보수보강의 우선순위를 결정하도록 제안하였다. 또한, 제안된 방법을 이용하여 6개의 옹벽시설을 대상

Table 11. The optimal repair and reinforcement that satisfies the target score

Target score	Repair and reinforcement	Cost (x1000₩)	Revised Score	Comment
≤40 (grade B)	1) Exposed front rebar (section restoration) 2) Front part damage, lifting, material separation (section repair II) 3) White ash of the front drainage part (Surface treatment method II) 6) Crack in the front part (Surface treatment method I)	61,603	39	-
≤50	1) Exposed front rebar (section restoration) 2) Front part damage, lifting, material separation (section repair II) 3) White ash of the front drainage part (Surface treatment method II)	17,563	49	Case 3 in Table 10
≤60 (grade C)	1) Exposed front rebar (section restoration)	4,651	58	Case 1 in Table 10

으로 네트워크 레벨에서의 우선순위를 결정하였으며 1개 시설에 대한 보수보강 비용내역을 토대로 프로젝트 레벨에서의 우선순위를 결정하고 최종적으로 보수보강을 통해 목표로 하는 위험도 지수를 만족하는 보수보강 방법을 경제성을 고려하여 추천하였다.

이상의 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 이 연구를 통해 재해위험이 예상되는 급경사지 옹벽에 대한 투자 우선순위 결정방법을 제안하였으며 제안된 방법에는 법적 근거, 실제 위험도 평가지표인 평가등급 및 세부 평가점수, 그리고 보수보강비용 등이 고려되어 위험도 평가가 갖는 흐름 전체를 포용하면서도 실제 보수보강 시 비용지출에 대한 효율적 계획이 가능할 것으로 판단된다.
- (2) 제안된 네트워크 레벨에서의 우선순위 결정방법에 대해 6개 옹벽 시설을 대상으로 적용성 검토를 수행한 결과, 판단기준인 평가등급과 사회적 영향도가 보수보강이 필요한 옹벽들의 투자 우선순위를 결정하는데 법적으로나 논리적으로 타당한 것으로 나타났다. 다만, 사회적 영향도의 판단기준은 추가적인 사례연구를 통해 보완될 필요가 있다고 판단된다.
- (3) 제안된 보수보강방법에 따른 보수보강비용을 토대로 한 프로젝트 레벨에서의 우선순위 결정방법은 사전수집된 보수보강비용에 대한 자료가 필요하며 이를 토대로 보수보강비용을 보수보강 후 위험도 평가점수의 상승분과 연계하여 지수화한 것이 특징으로 나타났으며 제안된 방법에 대한 적용성 검토 결과, 다양한 보수보강의 방법이 도출될 수 있음은 물론, 보수보강 후 목표된 점수 또는 등급을 기준으로 경제적인 보수보강방법의 추천이 가능한 것으로 나타났다.
- (4) 연구결과, 이 연구를 통해 제안된 급경사지 옹벽의 네트워크 레벨과 프로젝트 레벨에서의 우선순위 결정방법은 재해위험이 있는 급경사지 옹벽에 대한 대책마련시 많은 정보를 제공함은 물론, 재해위험 지역 거주민들의 안전확보에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 행정안전부 재난안전 취약 핵심역량 도약기술 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2019-MOIS33-005).

참고문헌 (References)

1. Baek, J. N., Shin, C. G., Park, J. Y., and Hong, N. K. (2010), Suggestion for Maintenances of mesh gabions, *2010 KGS Spring National Conference*, pp.1271-1278.
2. Choi, J. S. (2019), A Study on Selection of Target Performance for Performance Evaluation and Maintenance of Retaining Wall in Korea, *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol.35, No.12, pp.111-121.
3. Heo, B. Y., and Choi, W. J. (2012), Improvement In the Determination of the Investment Priority for Collapse Hazard Areas, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.12, No.2, pp.115-119.
4. Kim, H. T., Park, J. Y., and Yoo, C. H. (2005), A Study on Optimal Reinforcing Type of Precast Retaining Wall Reinforced by Micropiles, *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol.22, No.11, pp.89-99.
5. KICT (2017), Development of Evaluation Techniques for Performance-based Management and Operation of SOC facilities in Korea, KAIA National R&D project, No.11-1613000-001953-01.
6. Kim, K. S., Kim, H. R., and Park, S. K. (2005), A Study on the Priority Ranking Algorithm for Bridge Management at Network Level, *Journal of Korean Concrete Institute*, Vol.17, No.3, pp.323-328. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No.4, pp.77-84.
7. KISTEC (2018), The Safety Control and Maintenance of Establishments.
8. Lee, J. H., Choi, C. H., Kim, J. S., Han, D. G., Kim, D. H., and Kim, H. S. (2019), Evaluation of Disaster Prevention Capability Improved Through Investment of Recovery Cost, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.19, No.3, pp.23-32.
9. Park, J. K., Lim, Y. T., Lee, J., Eom, J. K., and Moon, D. S. (2009), High-speed Rail Infrastructure Priority Decision Making on Level of Design Speed by Rail Network Design Problem, *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol.12, No.3, pp.427-436.
10. Song, Y. K., Park, D. K., Son, Y. J., and Kim, T. H. (2012), A Study on the Improvement of Stability Checklist by Analyzing the Evaluation Element For Steep Slopes.
11. Yoo, C. S., Jeon, H. Y., Jung, H. Y., and Jung, H. S. (2005), Geosynthetic Reinforced Segmental Retaining Wall Failure During Heavy Rainfall – A Case Study, *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol.21, No.4, pp.135-143.
12. www.fms.or.kr : Korean FMS system KISTEC.
13. www.yna.co.kr : photos of retaining wall collapse.

Received : November 15th, 2022

Revised : December 1st, 2022

Accepted : December 2nd, 2022