



제방겸용도로 건설에 따른 제방 안정성 해석에 관한 연구

A Study on the Stability of Embankment Due to the Construction of Embankment Combined Use Road

김성남* 이영우**
Kim, Sung Nam Lee, Young Woo

Abstract

This study analyzes the change of stability of embankment due to the construction of embankment combined used road with two different construction phases. The stabilities have been checked both in the phase of earth banking for a road construction and in the phase of the application of the traffic roads (DB-24). In both cases the factor of safety has been found higher than 1.3 which is the general criterion of the safety of an embankment. The results indicate that the safety of an embankment due to the construction of embankment combined use road is assured, and thus, it is thought that the construction of embankment combined use road can be considered for cutting down on expenses of construction sites for a road construction. However, the pre-examination of stability due to the construction should be carried out because it decreases the factor of safety of an embankment. From this study, it has been found that the factor of safety was dropped most when the water level rose in the transient flow. The result indicates that the stability analysis of a river embankment where the water level changes frequently should be carried out in the condition of transient flow. It is recommended that the inner side of an embankment should have a slope of 1:2 which is identical with the slope of the existing embankment. In addition, the factor of safety also can be decreased due to the traffic loads, and therefore, the effect should also be considered after the construction of embankment combined used road limiting the traffic loads.

Keywords : combined road, embankment, stability of slope, soil surveying of site, traffic load

요 지

본 연구에서는 현재 실존하는 제방을 대상으로 제방겸용도로 건설에 따른 안정성의 변화를 살펴보기 위해 건설단계 별로 도로건설을 위한 성토 후, 겸용도로 건설 후 도로를 주행하는 차량에 의한 교통하중이 재하될 경우로 구분하여 안정성 변화를 분석하였다. 연구결과 겸용도로 건설을 위한 성토 후와 교통하중(DB-24)을 적용하였을 경우 모두 일반적인 안전을 기준인 1.3을 상회하고 있어 겸용도로 건설에 따른 제방의 안전은 확보되는 것으로 분석되어 제방겸용도로의 건설은 부지 확보 비용 절감을 위해 건설이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 겸용도로의 건설로 인해 제방의 안전을 감소 현상이 발생하기 때문에 안정성에 대한 사전 검토가 충분히 이루어져야 할 것이다. 특히 안전을 감소가 가장 큰 경우는 비정상류 상태의 수위상승의 경우로 분석되어 하천제방과 같이 수위변화가 빈번한 경우에는 비정상류 해석으로 설계하는 것이 바람직하며 제내지의 사면경사는 기존제방과 동일한 1: 2의 경사를 유지하도록 설계하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 교통하중에 의한 안전을 감소현상도 발생하는 것으로 분석되어 겸용도로 건설 후 주행차량의 하중제한 등 유지관리에도 지속적인 관심을 기울여야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 제방겸용도로, 하천제방, 사면안정, 지반조사, 교통하중

* 비회원·대구대학교 일반대학원 토목공학과 석사
** 정회원·대구대학교 토목공학과 전임강사·교신저자



1. 서론

최근 도로투자는 감소하는데 비해 도로건설에 소요되는 비용은 급격히 증가하는 현상이 나타나고 있는데 그 원인을 살펴보면 국민들의 생활수준 향상으로 인해 높은 품질의 도로를 요구하고 있고 이를 반영한 도로시설의 고급화가 하나의 원인이기도 하지만 토지가격의 상승으로 인한 총공사비 대비 부지확보에 필요한 비용이 꾸준히 증가하고 있는 현실이 중요한 원인 중 하나로 대두되고 있다.

이러한 부지확보 비용의 증가 문제를 해결하기 위한 하나의 방법으로 하천 제방을 이용한 제방겸용도로의 건설이 많은 지역에서 추진되고 있으며 또한 현재 활발히 논의되고 있는 운하의 건설과 주변개발이 실시될 경우 하천 주변의 연계도로망의 건설이 적극적으로 추진될 것이다. 이 때 하천제방을 활용한 제방겸용도로의 건설에 대한 필요성 및 수요의 증가가 예상된다.

따라서 이를 뒷받침하기 위해 제방겸용도로에 대한 활발한 연구가 요구된다. 그러나 제방 자체의 안정성에 대해서는 국내·외적으로 많은 연구가 이루어지고 있으나 제방에 도로를 건설함에 따라 발생하는 제방의 안정성 변화에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다.

제방겸용도로에 대한 많지 않은 연구 중 김수선(2004)이 피해사례를 분석하고 문제점을 도출하여 향후 제방도로의 설계 및 유지관리를 위한 개선방안을 제시하고자 연구를 수행한 사례가 있다. 연구결과를 살펴보면 하천관리도로를 일반도로와 분리 시설하며 최소폭을 4m 이상으로 하고 제내지 경사는 1:2 이상으로 하며 제방도로의 계획고는 정규제방고에 도로포장층을 더하여 결정할 것을 제안하고 있다. 또한 제방겸용도로의 비탈면 안정성 해석시에는 하천 제방개념의 허용안전율 기준으로 해석하고 제방겸용도로 하단부에 지하배수공을 설치하며 제내지측의 비탈면 보호시설도 보강할 것을 제안하고 있다. 김수선(2004)의 연구는 제방겸용도로의 표준단면을 제안하고 제방겸용도로의 안정성 해석의 기준과 보강시설을 제안하고 있으나 이는 피해사례 분석을 중심으로 한 연구결과로 구체적인 제방겸용도로를 대상으로 한 안정성의 역학적 해석을 바탕으로 하지 않고 있는

한계를 가지고 있다.

겸용도로 건설에 따라 발생할 수 있는 제방 안정성의 변화는 도로건설을 위한 성토재로 인한 하중의 증가와 도로건설이 완료된 후 도로를 주행하는 차량들의 교통하중에 의한 영향이 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 제방에 겸용도로를 건설할 경우 성토재로 인한 하중의 증가와 도로를 주행하는 차량의 교통하중이 제방에 미치는 영향 등을 검토하여 제방 겸용도로의 안정성에 대한 해석을 통해 향후 겸용도로가 건설되는 제방의 안정성 해석에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구는 겸용도로 건설을 계획하고 있는 낙동강의 2개 제방을 대상으로 연구를 수행하였으며 제방의 표고, 비탈면 등 제원은 실제 측량을 통해 획득하였고 토성과 다짐상태 등 제방의 상태를 파악하기 위해 제방별로 각 2개 지점씩 선정하여 시험굴착시험, 평판재하시험, 시추조사, 실내시험 등을 실시하였다.

이러한 현장조사 및 실험을 통해 획득한 자료를 바탕으로 캐나다의 GEO-Slope사에서 개발한 사면안정성 해석 소프트웨어인 SLOPE/W를 이용하여 제방겸용도로 건설시 안정성에 대한 해석을 실시하였다.

사면안정성 해석은 정상침투 및 비정상침투 해석으로 도출된 침윤선 해석결과와 연동하여 정상류의 저수위 및 홍수위를 먼저 해석하였고 비정상류의 수위상승, 수위지속, 수위강하의 순서로 해석하여 결과를 비교·분석하였다. 또한 제방에 도로가 건설됨에 따른 제방의 안정성 변화를 성토재로 인한 상재하중의 증가가 제방에 미치는 영향과 겸용도로 건설 후 도로를 주행하는 차량의 교통하중이 제방에 미치는 영향으로 구분하여 분석하였으며 최종적으로 겸용도로 건설 전·후의 제방 안정성에 대한 분석을 실시하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 사면의 안정성 해석

도로나 제방 축조에서 절토 및 성토사면이 형성되는 경우에 사면의 전단저항력이 활동력 보다 크면 안정성이 확보되지만 응력상태가 유지되지 못하면 사면은 다양한 형태로 붕괴된다. 비탈면이 불안정해지는 요인으로는



크게 내적요인과 외적요인으로 구분할 수 있다. 내적요인으로는 지형의 기하학적 변화, 토피하중의 제거, 하중의 증가, 충격과 진동, 강우 등이 있으며 외적요인으로는 진행성 파괴, 풍화작용, 물의 침투로 인한 용해 등 다양한 요인이 있다.

사면안정 해석법은 강도정수의 적용에 따라 전응력 해석법과 유효응력 해석법으로 대별할 수 있고 적용이론에 따라 다양한 해석법이 있다. 유효응력 해석법은 배수전단강도를 이용하고 전응력 해석법은 비배수전단강도를 이용한다. 주로 단기간의 안정해석 또는 공사완료 직후에는 전응력 해석법을 이용하고 장기간 분석을 위해서는 유효응력 해석법을 이용한다. 이때 현장에서 필히 간극수압에 대한 검토가 있어야 한다. 특히 제방축조 중의 활동은 기초지반에 소성변형이 큰 연약취성점토 또는 예민성점토에서 일어난다.

적용되는 기본이론은 한계평형, 소성, 변형이론 등이 있으나 현재 이용되는 해석이론은 한계평형이론을 기초로 하고 있는 것이 많다. 한계평형상태란 비탈이 활동면을 따라 활동하기 직전에 활동하려는 힘과 활동에 저항하려는 힘이 평형을 이루는 상태로 정의된다. 한계 평형법은 부정정성이므로 사면안정해석은 절편의 측면에 작용하는 힘에 대한 가정이 필요한데, 이에 따라 여러 가지 방법이 개발되었다. 결국 각 방법은 상이한 측면력을 가정함으로써 서로 다른 전단강도와 전단응력을 산정하여 결과적으로 안전율의 값을 다르게 산정한다.

해석방법으로는 $\phi=0$ 해석법, Fellenius 방법, Janbu 방법, Spencer의 방법, Morgenstern-Price 방법, 일반한계 평형(GLE) 방법, 대수나선 해석방법, 무한사면 해석법, 흙썰기 해석법 등이 있다.

사면의 안전율을 구하기 위해서 사면의 기하학적 요소와 함께 사면을 구성하고 있는 흙의 물리적, 역학적 정수 특히 강도정수의 대표값을 결정하고 이들 값을 이용하여 계산을 수행하게 된다. 사면의 안정성 해석에 사용되는 소프트웨어는 여러 가지가 있으나 비교적 정확성과 현실성을 인정받고 있는 소프트웨어로 GEO-Slope사에서 개발된 SLOPE/W, TALEN 등이 있으며 본 연구에서는 SLOPE/W를 사용하여 연구를 수행하였다.

2.2 상재하중에 의한 응력증가

여러 상재하중으로 인한 압밀침하의 계산은 최종침하량을 구하는 경우와 침하량의 시간적 관계를 구하는 경우 2가지가 있다. 두 가지 경우 모두 압밀층의 재하 전후의 유효응력을 구하여야 한다. 증가응력 ΔP 를 구하는 이론적인 방법은 Boussinesq의 식이나 Westergaard의 식 그리고 간편법으로 2:1 분포법 등이 있다.

Boussinesq는 무한히 큰 균질하고 탄성적이며 등방성인 지반이 집중하중을 받았을 때 발생하는 응력의 문제를 풀었다. Westergaard는 얇은 보강재가 변갈아 있는 탄성체층의 집중하중에 의해 증가되는 수직응력을 결정하기 위한 해법을 제시하였는데 이러한 유형의 가정은 점토 및 실트층이 변갈아 있는 지층에 대한 이상적인 예이다. 2:1 분포법은 지표면에 등분포 하중이 재하될 때 지중에 응력이 2:1로 분포된다는 가정하에 지중 응력을 구한 것이다.

3. 현장조사 및 실험

3.1 조사대상

본 연구를 수행하기 위한 대상 제방은 낙동강에 설치되어 있는 A, B 2개의 제방을 대상으로 하였다. 2개의 제방을 대상으로 현지답사를 통해 가장 취약하고 문제가 발생할 가능성이 높을 것으로 판단되는 A제방의 2개 지점과 B제방의 2개 지점을 선정하여 총 4개 지점을 대상으로 안정성 해석 등 연구를 수행하였다.

제방의 형식 및 제원을 파악하기 위해 현장답사를 실시하였으며 측량장비를 이용하여 제방 각 지점의 지반고, 폭, 비탈면 등에 대한 측량 실시하였다.

연구대상 제방의 연장은 400m, 높이는 8m 정도였으며 제방의 형식은 비탈면에는 잔디 및 잡초가 식재되어 있는 일반적인 흙제방이었다. 제방의 상단은 매립토층, 하단은 퇴적층으로 구성되어 있었다.

3.2 지반조사 및 실험

본 연구에서는 침투해석과 사면안정해석을 위해 A, B 2개 제방의 TP-1, TP-2, TP-3, TP-4 총 4개 지점을 대상으로 지반조사 및 실내실험을 실시하였다.



기존제방 및 성토지반의 물리적, 역학적 특징을 알기 위하여 시추조사, 단위중량시험 및 각종 실내실험을 실시하였다. 먼저, 시추조사의 깊이는 제방 상단에서 20m로 하였으며 그 결과를 살펴보면 제방의 지층구조가 상부로부터 7~8m까지 실트질 매립층으로 구성되어 있으며 그 아래 12~13m 가량 실트질 모래층이 존재하는 하는 것으로 조사되었다. 그리고 각 지점의 N치는 20~50으로 분석되었으며 지하수위의 경우 4개 지점 모두 9m 정도의 깊이에 존재하고 있는 것으로 조사되었다.

현장단위중량 시험은 선정된 4개 지점에 대하여 지표면에서 약 15cm를 긁어낸 후 실시하였다.

현장건조단위중량을 구하기 위하여 긁어낸 시료를 가열하였으며 기존제방의 다짐도를 판정하기 위하여 조사 대상 지점에서 시료를 채취하여 실내 다짐시험을 실시한 결과 건조단위중량이 1.7~2.3으로 분석되었고 다짐도는 대체로 양호한 것으로 나타났다.

실내실험은 시료의 물성시험과 역학시험을 실시하였으며 시추에 의하여 채취한 불교란시료로 각 지점별 물성치와 역학적 성질을 판단하였다.

이러한 실험결과는 제방 안정성 해석을 위한 모델링의 기초자료로 활용되었다. 흙의 물성시험으로는 함수비, 입도, 비중 시험을 하였고, 역학시험으로는 직접전단, 흙의 다짐 시험을 실시하였다. 각 시험결과는 <표 1>에 나타내었다.

4. 겸용도로 제방의 안정성 해석

4.1 안정성해석을 위한 모델링

본 연구에서는 하천 제방에 겸용도로를 건설함에 따라 제방의 안정성에 대한 변화를 분석하기 위해 사면 안정성 해석 소프트웨어인 SLOPE/W를 이용하여 해석을 실시하였다. SLOPE/W에서 절편간 힘의 크기와 방향을 정의하기 위해 Ordinary/Fellenius법, Bishop법, Janbu법, Spencer법, Morgenstern-Price법, Corps-of-Engineers법, GLE(General Limit Equilibrium)법 등 다양한 이론이 사용되며 절편간 힘을 Morgenstern-Price법이나 GLE법으로 정의할 경우에는 Sine 함수, 불완전 Sine 함수, 사다리꼴 또는 유한요소 해석결과의 형태로 절편간 힘을 정의할 수 있다.

제방의 사면안정해석을 수행하는데 있어 중요한 요소들 중 하나가 제방의 강도특성에 관한 것이다. 각 지점의 강도정수는 직접 전단실험에 의하여 결정하였으며 보링조사에 의한 N치는 참고로 하였다. 기존제방은 장기간의 자연다짐으로 인해 겸용도로의 건설을 위해 실시한 성토부에 비해 다짐도가 좋아 단위중량과 내부마찰각(ϕ)이 비교적 높게 나타났다. 각 지점별 강도 정수는 <표 2>와 같다.

본 연구에서는 Bishop의 해석방법을 적용하였으며 Strenght Model 은 Mohr-Coulomb 이론을 적용하여 해석하였다. SLOPE/W는 모든 사면의 안전계산에 사용될 수 있으며 특히 SEEP/W의 정확한 침윤해석을 바탕으로 수행되므로 일반적으로 높은 정확성이 검증된 소프트웨어이다.

각종 해석 또는 시뮬레이션 소프트웨어의 정확성과 현실성을 확보하기 위해서는 변수들의 선택이 결정적인 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 현실성을 충분히

<표 1> 조사대상 지점별 물성치 및 역학적 성질

구 분	TP-1		TP-2		TP-3		TP-4	
채취심도(m)	5~6	20~21	5~6	20~21	5~6	20~21	5~6	20~21
점착력(kg/cm^2)	0.67	0.84	0.68	0.82	0.83	0.66	0.77	0.61
내부마찰각	34.56	34.23	35.75	33.51	31.45	31.55	31.13	30.22
간극비	0.386	0.460	0.454	0.472	0.426	0.373	0.424	0.364
습윤단위중량(g/cm^3)	2.17	2.04	2.12	2.00	2.13	2.17	2.14	2.18
포화단위중량(g/cm^3)	2.19	2.13	2.16	2.06	2.15	2.18	2.16	2.21
자연함수비(%)	13.51	14.85	15.04	15.21	15.06	13.68	14.97	12.09



〈표 2〉 조사대상 지점의 강도정수

지 점		γ_t (g/cm^3)	γ_{sat} (g/cm^3)	c (t/m^2)	ϕ ($^\circ$)
TP-1	기존제방	2.17	2.19	0.67	34.56
	성 토 부	2.19	2.20	0.79	26.95
	제방하단	2.04	2.13	0.84	34.23
TP-2	기존제방	2.12	2.16	0.68	35.75
	성 토 부	1.96	2.02	0.74	27.32
	제방하단	2.00	2.06	0.82	33.51
TP-3	기존제방	2.13	2.15	0.83	31.45
	성 토 부	2.08	2.10	0.77	27.14
	제방하단	2.17	2.18	0.66	31.35
TP-4	기존제방	2.14	2.16	0.77	31.13
	성 토 부	2.08	2.10	0.77	27.14
	제방하단	2.18	2.21	0.61	30.22

확보하여 안정성 해석의 정확성을 높이기 위해 변수값들을 현장조사 및 실험을 통해 결정하고 적용하였다.

겸용도로를 건설하기 위해서는 기존 제방에 도로포장을 위한 성토를 하고 겸용도로가 완성되면 도로를 주행하는 차량에 의해 교통하중이 재하 된다. 따라서 본 연구에서는 안정성 해석을 위해 기존제방, 도로포장을 위한 성토 후, 교통하중 재하로 구분하여 모델링을 실시하여 단계별 안정성 변화를 분석하였다. 교통하중은 DB-24를 적용하였다.

또한, 수위변화에 따른 안정성변화를 분석하기 위해 정상류 상태일 때 저수위, 홍수위로 구분하고 비정상류 상태일 때 수위상승, 수위지속, 수위하강으로 구분하여 총 5가지의 수위상태를 적용하여 모델링하여 해석하였다. 〈그림 1〉은 A제방의 TP-1지점의 저수위일 때와 홍수위상태일 때 모델링사태이다.

제방의 물성치는 〈표 1〉에 따라 제방상단의 단위중량은 $\gamma_{sat} = 2.19t/m^3$, 점착력 $c = 0.67t/m^2$, 내부마찰각 $\phi = 34.56^\circ$, 제방하단의 단위중량은 $\gamma_{sat} = 2.13t/m^3$, 점착력 $c = 0.84t/m^2$, 내부마찰각 $\phi = 34.23^\circ$, 성토부의 단위중량은 $\gamma_{sat} = 2.196t/m^3$, 점착력 $c = 0.79t/m^2$,

내부마찰각 $\phi = 26.95^\circ$ 를 매개변수로 입력하였다.

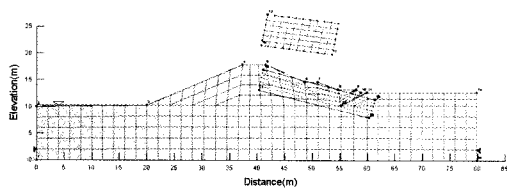
제체의 침윤선은 SEEP/W를 이용한 침투해석 결과를 연동하여 SLOPE/W에 적용함으로써 해석의 정확도를 향상시키고자 노력하였다

4.2 안정성 해석 결과 분석

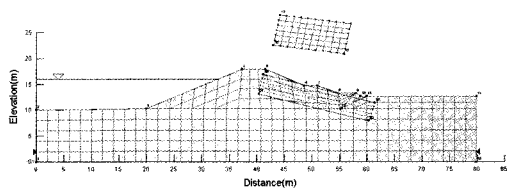
기존 제방에 겸용도로를 건설하였을 경우 제방의 안정성에 어떠한 변화가 발생하는지 안전율의 변화를 기준으로 분석하였다. 〈그림 2〉는 TP-1지점의 저수위와 홍수위 일 때의 해석결과를 나타낸 것이다.

겸용도로 건설단계 중 기존 제방에 도로포장을 위한 성토가 실시됨에 따라 제방의 안전율 변화를 분석한 결과, 〈표 3〉과 같이 해석되었다.

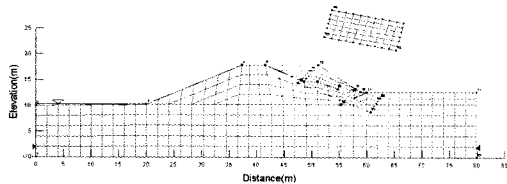
기존 제방의 안전율을 해석한 결과 저수위일 때 안전율 평균이 2.483으로 분석되었으나 도로건설에 따른 성토 후에는 안전율이 1.737로 떨어지는 것으로 해석되어 안전율이 30%이상 감소하는 것으로 분석되었다. 홍수위, 수위상승, 수위지속, 수위하강의 경우에도 전반적으로 안전율이 24~30% 정도 감소하는 것으로 분석되었다.



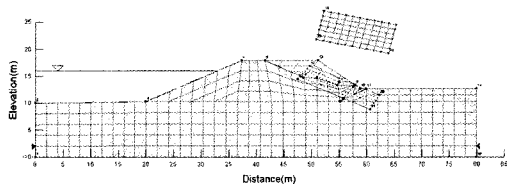
(a) 기존 제방(저수위)



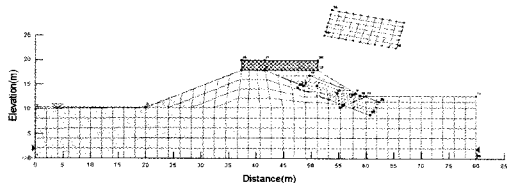
(a) 기존 제방(홍수위)



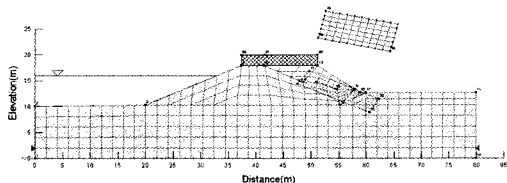
(b) 성토 후(저수위)



(b) 성토 후(홍수위)

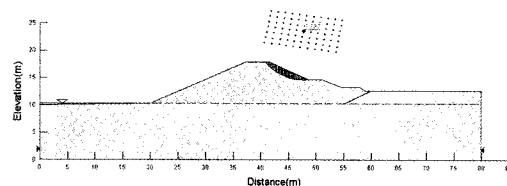


(c) 교통하중 적용(저수위)

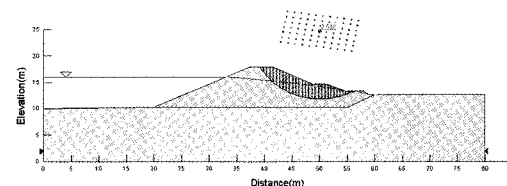


(c) 교통하중 적용(홍수위)

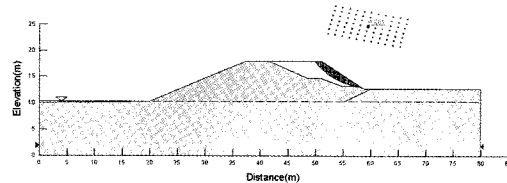
〈그림 1〉 TP-1지점의 사면모델링 예시



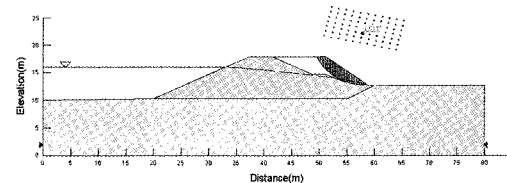
(a) 기존 제방(저수위)



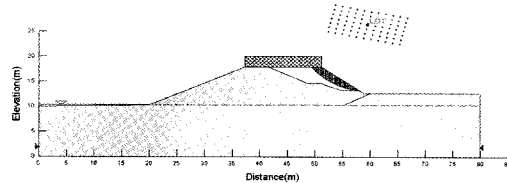
(a) 기존 제방(홍수위)



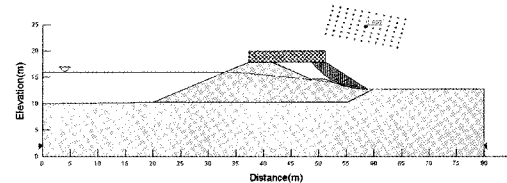
(b) 성토 후(저수위)



(b) 성토 후(홍수위)



(c) 교통하중 적용(저수위)



(c) 교통하중 적용(홍수위)

〈그림 2〉 TP-1지점의 해석결과 예시

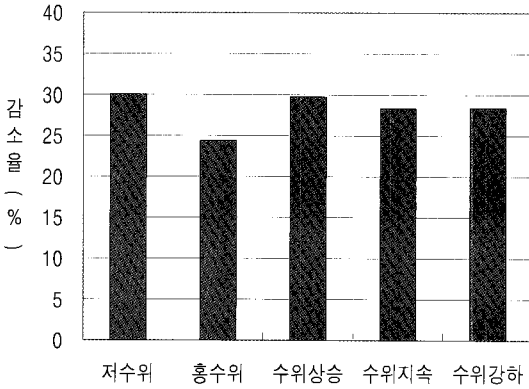


〈표 3〉 성토 전·후의 안전율 분석결과

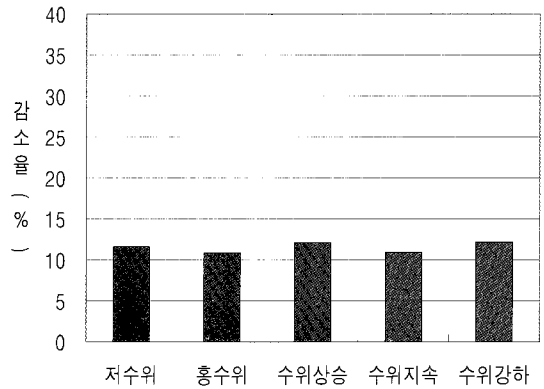
구분		A 제방		B 제방		평균
		TP-1	TP-2	TP-3	TP-4	
저수위	기존제방	2.787	2.937	1.650	2.558	2.483
	성토후	1.661	1.764	1.506	2.017	1.737
	감소율	40.402	39.939	8.727	21.149	30.044
홍수위	기존제방	2.548	2.562	1.532	2.180	2.206
	성토후	1.611	1.730	1.486	1.841	1.667
	감소율	36.774	32.475	3.003	15.550	24.416
수위 상승	기존제방	2.828	2.876	1.609	2.478	2.448
	성토후	1.660	1.640	1.533	2.047	1.720
	감소율	41.301	42.976	4.723	17.393	29.731
수위 지속	기존제방	2.766	2.715	1.593	2.321	2.349
	성토후	1.643	1.623	1.515	1.952	1.683
	감소율	40.600	40.221	4.896	15.898	28.334
수위 강하	기존제방	2.854	2.891	1.632	2.486	2.466
	성토후	1.646	1.836	1.547	2.035	1.766
	감소율	42.327	36.493	5.208	18.142	28.379

〈표 4〉 교통하중(DB-24) 적용시 안전율 분석결과

구분		A 제방		B 제방		평균
		TP-1	TP-2	TP-3	TP-4	
저수위	미적용	1.661	1.764	1.506	2.017	1.737
	적용	1.433	1.557	1.402	1.750	1.536
	감소율	13.727	11.735	6.906	13.237	11.600
홍수위	미적용	1.611	1.730	1.486	1.841	1.667
	적용	1.401	1.520	1.379	1.643	1.486
	감소율	13.035	12.139	7.201	10.755	10.873
수위 상승	미적용	1.660	1.640	1.533	2.047	1.720
	적용	1.424	1.473	1.409	1.742	1.512
	감소율	14.217	10.183	8.089	14.900	12.093
수위 지속	미적용	1.643	1.623	1.515	1.952	1.683
	적용	1.420	1.452	1.397	1.729	1.500
	감소율	13.573	10.536	7.789	11.424	10.916
수위 강하	미적용	1.646	1.836	1.547	2.035	1.766
	적용	1.420	1.636	1.411	1.738	1.551
	감소율	13.730	10.893	8.791	14.595	12.160



〈그림 3〉 성토 후 안전율의 변화



〈그림 4〉 교통하중 적용시 안전율의 변화

기존 제방과 겸용도로 건설에 따른 성토가 시행된 후 안전율의 변화를 살펴보면 저수위일 때의 안전율의 감소가 30.04%로 가장 높게 나타났으며 홍수위일 때가 24.42%로 가장 낮게 나타났다.

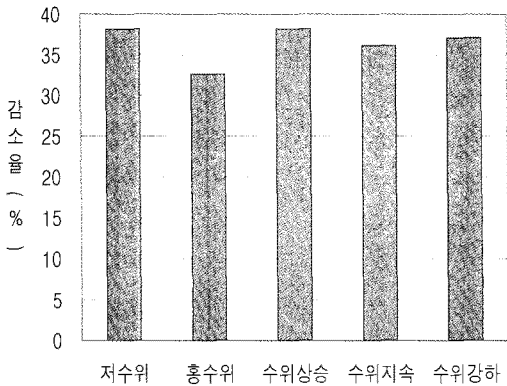
겸용도로가 건설되면 성토에 의해서만 기존 제방에 영향을 미치는 것이 아니라 도로를 주행하는 차량의 교통하중에 의해서도 제방의 안정성에 영향을 받게 된다. 따라서 DB-24의 교통하중을 적용하여 안정성의 변화를 분석한 결과 <표 4>와 같이 분석되었다. 교통하중에 의한 제방에 대한 안전율의 감소를 살펴보면 하천수의 변화에 따라 10.9%~12.2% 정도의 안전율 감소가 발생하는 것으로 분석되었다.

교통하중 DB-24를 적용한 결과 안전율의 변화를 살펴보면 수위상승의 경우에 12.09%로 가장 많은 안전율의 감소가 발생하며 홍수위의 경우에 10.87%로 안전율의 감소가 가장 적은 것으로 분석되었다.

본 연구결과 제방겸용도로 건설에 따라 제방의 안정성 감소는 교통하중에 의한 영향보다는 도로 건설을 위한 성토에 따른 영향이 큰 것으로 분석되었다. 그러나 교통하중에 의한 안전율의 감소도 10%이상으로 해석되어 무시할 수 없는 영향으로 판단된다. 기존 제방에 겸용도로를 건설할 경우 도로 건설을 위한 성토와 도로 건설 후 도로를 주행하는 차량의 교통하중을 모두 고려할 경우 안전율의 변화를 분석한 결과는 <표 5>와 같다.

〈표 5〉 겸용도로 건설 전·후 안전율 분석결과

구분		A 제방		B 제방		평균
		TP-1	TP-2	TP-3	TP-4	
저수위	건설전	2,787	2,937	1,650	2,558	2,483
	건설후	1,433	1,557	1,402	1,750	1,536
	감소율	48,583	46,987	15,030	31,587	38,159
홍수위	건설전	2,548	2,562	1,532	2,180	2,206
	건설후	1,401	1,520	1,379	1,643	1,486
	감소율	45,016	40,671	9,987	24,633	32,634
수위상승	건설전	2,828	2,876	1,609	2,478	2,448
	건설후	1,424	1,473	1,409	1,742	1,512
	감소율	49,646	48,783	12,430	29,701	38,229
수위지속	건설전	2,766	2,715	1,593	2,321	2,349
	건설후	1,420	1,452	1,397	1,729	1,500
	감소율	48,662	46,519	12,304	25,506	36,158
수위강하	건설전	2,854	2,891	1,632	2,486	2,466
	건설후	1,420	1,636	1,411	1,738	1,551
	감소율	50,245	43,411	13,542	30,088	37,088



〈그림 5〉 검용도로 건설 전·후 안전율의 변화

검용도로 건설 후 안전율의 변화는 하천수의 변화에 따라 정상류 상태일 때의 안전율 감소에 비해 비정상류 상태일 때의 안전율 감소가 상대적으로 큰 것으로 해석되었다. 검용도로의 건설로 인한 안전율의 감소가 가장 큰 경우는 수위상승의 경우로 38.23%에 달하고 가장 작은 홍수위의 경우에도 32.63%의 안전율 감소가 나타나는 것으로 분석되었다.

따라서 기존 제방에 검용도로를 건설할 경우에는 안전율에 대한 충분한 검토가 이루어지고 안정성이 확보된 후 검용도로의 건설을 추진하여야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구는 기존 제방에 검용도로를 건설함에 따른 제방 안정성의 변화를 살펴보기 위해 낙동강의 2개 제방을 대상으로 현장조사 및 실험을 실시하였고 검용도로 건설을 위한 성토재에 의한 영향과 도로 건설 후 주행하는 차량의 교통하중(DB-24)에 의한 영향으로 구분하여 제방의 안정성 분석을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 검용도로 건설을 위한 성토 후 안전율은 1.667~1.766으로 분석되었고 여기에 DB-24의 교통하중을 적용하였을 경우 안전율이 1.486~1.551로 분석되어 안전율에 대한 일반기준 1.300을 상회하고 있어 검용도

로를 건설하여도 제방의 안전에는 문제가 없는 것으로 분석되었다.

2. 그러나 검용도로를 건설할 경우 제방의 안전율이 상당한 수준으로 저하되는 것으로 분석되어 제방에 검용도로를 건설하는 경우 안정성에 대한 충분한 검토가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

3. 기존 제방에 검용도로를 건설할 경우 안전율이 감소하는 현상은 성토로 인한 사면경사의 증가가 하나의 원인이 되므로 제내지의 사면경사를 기존제방과 동일한 1:2의 경사를 유지하도록 설계하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4. 안전율의 감소가 가장 큰 경우는 비정상류 상태의 수위상승의 경우로 분석되었으며 안전율의 감소가 가장 작은 경우는 정상류 상태의 홍수위일 때로 분석되어 제방검용도로의 건설시에는 비정상류 해석으로 설계하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

5. 검용도로 건설 후 주행 차량의 교통하중에 의해서도 10%이상 안전율이 감소하는 것으로 해석되어 향후 검용도로의 기능을 명확하게 확립하고 설계기준차량을 정확하게 적용하여 제방안정성에 대한 검토를 실시하고 더불어 설계하중 이상 차량의 운행은 엄격히 제한하는 등 검용도로 건설 후 유지관리에도 지속적인 관심을 기울여야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 대구대학교 2007년 신입교수학술연구비가 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 권윤중(2004). “연약지반상 체제 안정성 해석: 전남 화산-가차산 지방도 확포장공사 가군 사례연구.” 석사학위논문. 전남대학교 산업대학원.
- 김수선(2004). “제방도로의 피해사례분석 및 수해방지대책 연구.” 석사학위논문. 한양대학교 공학대학원.
- 김종택(2003). “하천제방의 차수벽 심도 결정에 관한 해석적 연구.” 석사학위논문. 창원대학교 산업정보대학원.
- 박휘운(2007). “배수위 영향을 받는 체제의 수리학적 안정성 해석.” 석사학위논문. 영남대학교.



한건연, 김종해, 최혁준(2002). “낙동강에서의 제방월류/붕괴에 따른 범람홍수 해석.” 학술발표논문집. 대한토목학회, p652-655.

John Karhn,(2004). “*Seepage modeling with SEEP/W.*” Geoslope.

John Karhn,(2004). “*Stability modeling with SLOPE/W.*” Geoslope.

Lane, P. A., & Griffiths, D. V.(2000). “Assessment of Stability of Slopes under Drawdown Conditions.” , *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 126, No. 5.*

접 수 일 : 2008. 5. 23
심 사 일 : 2008. 6. 2
심사완료일 : 2008. 8. 21