

# 강우시 철도성토사면의 열차운전규제기준에 관한 연구

## A Study on the rail-transport operation control for railway embankment under rainfall

김현기\*                      박영곤\*\*                      신민호\*\*\*                      김수삼\*\*\*\*  
Kim, Hyun-Ki              Park, Young-Kon              Shin, Min-Ho              Kim, Soo-Sam

---

### ABSTRACT

There are a close relationship between natural disasters and train safety. So it is very important to guaranty train safety using reasonable rail-transport operation control against disasters. Therefore, based on the past record of rainfall at failure, rail-transport operation control for railway embankment under rainfall was set up. After slope check list at home and abroad had been analyzed, new slope check list was suggested and site investigations were carried out using this check list. In order to evaluate the stability of railway slopes under rainfall, explanatory variables and subordinate variables were selected for multi-variate analysis and critical rainfall was defined by statistical process.

Rail-transport operation control including regional and geological properties was suggested by analyzing the critical rainfall and rail-transport operation control in other country, and this will be a good tool to control train speed under rainfall and to secure train safety.

---

### 1. 서론

강우에 대한 열차운전규제기준의 설정을 위해 국내 철도연변 사면에 대한 통계적 해석방법을 통한 한계우량 이용방안을 제시하였지만, 이의 적용과정에서 몇 가지 문제점들이 발견되었다. 먼저, 사면점검양식의 설정에 있어서 당초 일본철도총합연구소의 사면점검양식을 기반으로 하였기 때문에 현장조사를 실시함에 있어 일본과 국내의 지반·지질이 서로 차별되는 점을 고려하지 않아 사면점검양식의 재작성이 필요하게 되었다. 또한, 통계해석을 실시하기에는 현재 현장조사자료가 충분하지 않으며, 전국적으로 일괄적으로 적용하고 있는 강우시 운전규제기준을 개선하여 지역·지형별 적정 열차운전규제기준으로 전환하는 것이 필요하게 되었다.

따라서, 본 연구에서는 철도 성토사면의 거시적인 위험도를 평가하기 위하여 국내외에서 사용되고 있는 사면채점표를 분석하여 철도성토사면에 적용할 수 있는 사면점검양식을 작성한 후, 이를 이용하여 과거 강우에 의해 피해가 발생했던 성토사면을 현장 조사하였다. 피해시 강우량을 보간법에 의해 추정하여 누적우량(cumulative rainfall)과 시간우량(hourly rainfall)을 구한 후, 통계해석을 통해 붕괴시의 한계우량 예측식을 산정함과 동시에 철도성토사면의 내강우성 평가 점검양식을 제안하였다. 또한 제안된 한계우량과 국내의 기준을 비교·분석하여 강우, 태풍 등의 자연상황에 대처할 수 있는 철도 운행 및 운전규제기준을 정립하고자 하였다.

---

\* 한국철도기술연구원 시설연구본부 주임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 시설연구본부 선임연구원, 정회원

\*\*\* 한국철도기술연구원 시설연구본부 시설연구본부장, 정회원

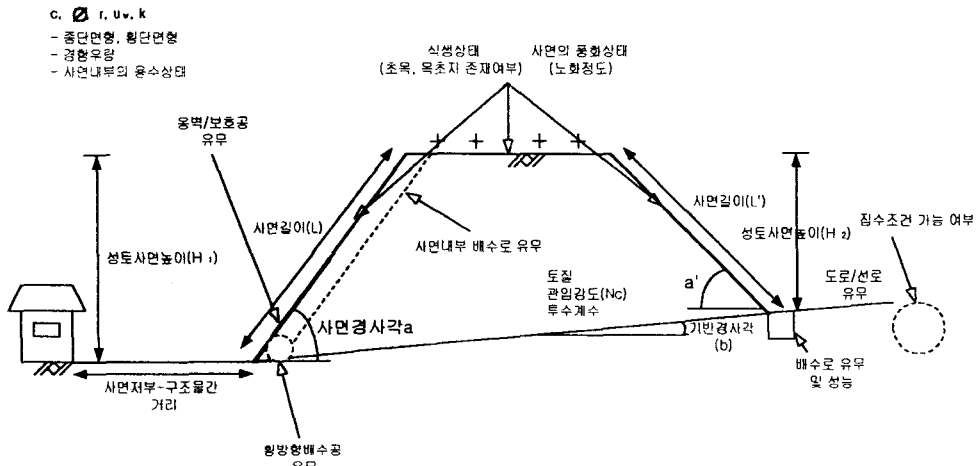
\*\*\*\* 한양대학교 토목환경공학과 교수, 정회원

2. 철도연변 성토사면의 점검양식 및 현장조사

2.1 점검양식 제안

현장조사 점검양식을 작성하기 위해 국내·외 각 기관에서 사용하고 있는 사면안전도 평가양식의 조사·측정항목을 종합하였고 이에 따라 현장조사 점검양식을 제안하였다.

철도연변 성토사면의 점검양식에서 고려되는 측정항목을 <그림 1>에 나타내었다.



<그림 1> 성토사면 점검양식에 사용되는 사면 형상 및 제원 일람

노선명	구분	구분	세면		비고	
			노선	구분		
1호선	성토	사면	1	노선	노선	
			2	노선	노선	
			3	노선	노선	
			4	노선	노선	
			5	노선	노선	
			6	노선	노선	
			7	노선	노선	
			8	노선	노선	
			9	노선	노선	
			10	노선	노선	
			11	노선	노선	
			12	노선	노선	
			13	노선	노선	
2호선	성토	사면	14	노선	노선	
			15	노선	노선	
			16	노선	노선	
			17	노선	노선	
			18	노선	노선	
			19	노선	노선	
			20	노선	노선	
			21	노선	노선	
			22	노선	노선	
			23	노선	노선	
3호선	성토	사면	24	노선	노선	
			25	노선	노선	
			26	노선	노선	
			27	노선	노선	
			28	노선	노선	
			29	노선	노선	
			30	노선	노선	
			31	노선	노선	
			32	노선	노선	
			33	노선	노선	

<그림 2> 성토사면 점검양식

순번	구분	구분	성토사면			비고
			노선	구분	구분	
1	성토	사면	노선	구분	구분	
2	성토	사면	노선	구분	구분	
3	성토	사면	노선	구분	구분	
4	성토	사면	노선	구분	구분	
5	성토	사면	노선	구분	구분	
6	성토	사면	노선	구분	구분	
7	성토	사면	노선	구분	구분	
8	성토	사면	노선	구분	구분	
9	성토	사면	노선	구분	구분	
10	성토	사면	노선	구분	구분	
11	성토	사면	노선	구분	구분	
12	성토	사면	노선	구분	구분	
13	성토	사면	노선	구분	구분	
14	성토	사면	노선	구분	구분	
15	성토	사면	노선	구분	구분	
16	성토	사면	노선	구분	구분	
17	성토	사면	노선	구분	구분	
18	성토	사면	노선	구분	구분	
19	성토	사면	노선	구분	구분	
20	성토	사면	노선	구분	구분	
21	성토	사면	노선	구분	구분	
22	성토	사면	노선	구분	구분	
23	성토	사면	노선	구분	구분	
24	성토	사면	노선	구분	구분	
25	성토	사면	노선	구분	구분	
26	성토	사면	노선	구분	구분	
27	성토	사면	노선	구분	구분	
28	성토	사면	노선	구분	구분	
29	성토	사면	노선	구분	구분	
30	성토	사면	노선	구분	구분	
31	성토	사면	노선	구분	구분	
32	성토	사면	노선	구분	구분	
33	성토	사면	노선	구분	구분	

<그림 3> 사면현장조사 개소(예)

다음으로 <그림 1>에서 도시된 각 항목을 그룹으로 나누어 표현하였다. 기반조건, 사면형상, 집수 및 배수조건, 사면피복상태, 대책공법, 지반재료 및 표토조건, 예상피해정도, 경험우량으로 대항목을 구분하였고, 하위로 세부항목을 결정하여 현장조사 아이টে임을 결정하였다. 철도연변 성토사면의 현장조사 항목을 구분하여 <그림 2>와 같은 점검양식을 제안하였다.

## 2.2 현장조사

기본 자료의 획득 및 이를 바탕으로 통계분석을 실시하기 위하여 철도연변 사면의 현장조사를 실시하였다. 대상현장으로는 전국의 보선사무소에서 입수된 재해대장을 근거로 하여 강우에 의한 사면피해 정보(철도연변 사면 붕괴 시간, 장소, 위치, 선구 등)를 비교적 명확하게 얻을 수 있는 개소를 선정하였으며, 현장을 직접 방문하여 조사하고 관련 자료를 얻는 것으로 하였다.

그러나, 전국보선사무소의 자료가 통일성이 부족하고 재해 발생에 관한 정보를 간략하게 정리한 것이 많은 점, 강우량이 세계적인 이상기후의 영향으로 국지성 호우가 자주 발생하는 점 등에 기인하여 경기북부지역을 총괄하고 있으며, 국지성 호우에 의한 피해가 비교적 많고, 재해대장 기록이 상당히 충실한 청량리 보선사무소 관할 지역을 대상으로 현장조사를 실시하였다. 사면현장조사 대상현장은 경춘선 및 경의선 전지역과 교외선 및 중앙선 일부구간으로 국한하여 실시되었다.

철도연변 사면의 현장조사는 위의 점검양식에 의거하여 청량리 보선사무소의 협조를 받아 실시하였으며, 선정된 개소는 집중호우에 의해 피해가 발생한 52개소로 <그림 3>에 일 예를 보였다.

## 3. 철도성토사면의 내강우성 평가를 위한 통계해석

통계해석을 위한 설명변수를 정의하기 위해 초기에 설정한 철도연변 절·성토사면점검양식에서 중복되는 세부항목과 편중되어 표기되어지는 세부항목은 제거 또는 통합하여 세부항목 수를 줄이고, 각각의 세부항목의 분포분석을 통하여 <표 1>과 같은 새로운 성토사면용 사면점검양식을 제안하였다.

<표 1> 성토사면용 점검양식(성토사면 통계해석용 설명변수)

대분류	대항목	소항목	카테고리			
사면 상황	기반 조건	지질	퇴적암류		화강암류	
		지반경사각	10°미만		10°이상	
	구조 형상	사면높이(H)	3m미만	3m이상 10m미만	10m이상	
		사면경사(°)	40°미만	40°이상 60°미만	60°이상	
	표토 조건	관입강도	40	40~60	60	
		토질	점성토	실트	사질토	
		식생상태	나대지	수풀	초목	
		사면풍화도	심함		보통	
		대책공법유무	유		무	
	배수 조건	집수/배수주변지형	I	II	III	IV
선로횡단배수로 유무		유		무		
선로상황	사면과 구조물간 거리	10m미만		10m이상		
	강의 유수에 의한 침식가능	유		무		
	종단형태	평탄-단일구배		절성토경계/유입구배점		
	횡단형태	순성토		편결개/편성토		

철도연변 사면의 현장조사 자료를 바탕으로 각 항목에 대한 답(카테고리)을 작성하여 행렬(matrix)화하고 외적기준을 붕괴시의 강우량으로 하여 수량화 I류 해석을 실시하였다<sup>1)</sup>. 수량화 해석은 일종의 선형회귀분석이므로 본 연구에서는 121가지 경우에 대한 분석 결과를 기초로 하여

그 상관성이 가장 높은 선형회귀식을 한계우량식으로 정의하였다. 지금까지 진행된 통계해석 결과에 근거하여 상관성이 가장 높은 경우를 목적변수로 정의하였는데, 철도연변의 성토사면에 대하여  $r^{0.3} \cdot R^{0.3}$ 이 가장 크게 계산(상관계수 0.67)되어 목적변수로 이 값을 적용하기로 하였다.

철도연변 성토사면 점검양식의 카테고리에 가중치가 부여되어 <표 2>와 같이 나타낼 수 있으며, 이를 이용하여 철도의 최일선 현업 종사자인 선로반 인력에 의해 청량리 보선사무소 관할 지역의 강우시 수해우려 사면에 대한 자료를 획득할 수 있으며, 이에 근거하여 강우시 열차운전규제 기준의 설정도 가능하다. 현장 실무자가 <표 1>을 이용하여 담당구역내의 사면을 평가할 때, 간단히 소항목을 질문으로 정하고 측정 및 조사에 의한 답이 어떤 카테고리에 해당하는가를 판단한 후, 각 카테고리의 가중치를 모두 합한 값이 해당사면의 내강우성이 되며, 이것을 식으로 제시하면 다음과 같다.

$$\sum(\text{카테고리의 가중치}) = \text{내강우성} = S \quad (1)$$

사면점검양식을 기입함에 의해 카테고리의 가중치의 합이 정해지고, 이 값을 성토사면의 목적변수와 동등하다고 놓으면 각 사면별로 다음과 같은 형태의 한계우량이 작도될 것이다. <그림 4>, <그림 5>는 한계우량곡선의 예를 제시한 것이다.

<표 2> 성토사면용 사면점검양식(가중치)

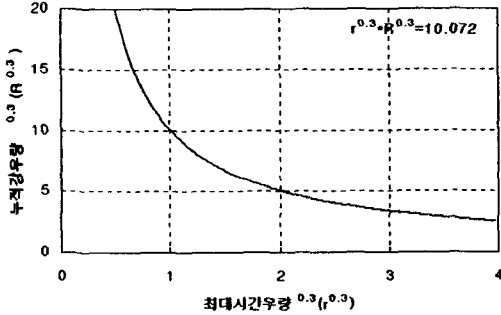
대분류	대항목	소항목	카테고리			
사면상황	기반조건	지질	퇴적암류		화강암류	
			0.35		-0.35	
		지반경사각	10°미만		10°이상	
	0.02		-0.03			
	구조형상	사면높이(H)	3m미만	3m이상10m미만	10m이상	
			-0.03	0.01	0.29	
		사면경사(°)	40°미만	40°이상60°미만	60°이상	
			-0.18	0.51	0.16	
	표토조건	관입강도	40	40~60	60	
			-0.02	-0.14	0.20	
		식생상태	나대지	수풀	초목	
			0.12	-0.02	0.21	
		사면풍화도	심함		보통	
			0.11		-0.07	
	대책공법유무		유		무	
			-0.08		0.40	
	배수조건	집수/배수주변지형	I	II	III	IV
			0.79	-0.35	0.31	-0.35
선로횡단배수로 유무		유		무		
		-0.03		0.04		
선로상황	사면과 구조물간 거리	10m미만		10m이상		
		-0.70		0.06		
	강의 유수에 의한 침식가능	유		무		
		-0.33		0.15		
	횡단형태	평탄-단일구배		절성토경계/유입구배점		
		0.08		-0.73		
횡단형태	순성토		편절개/편성토			
	0.01		-0.62			
상수 : 9.88						

#### 4. 강우시 열차운전규제기준(안)

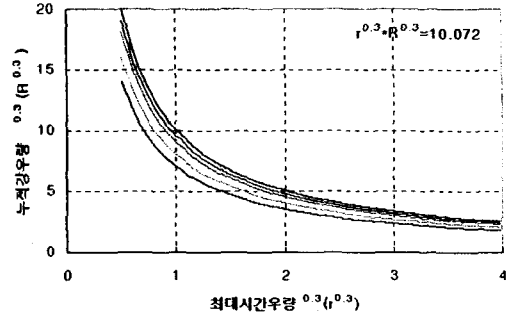
##### 4.1 한계우량곡선의 확률분포선

본 절에서는 제안하는 열차운전규제기준(안) 설정을 위해 '한계우량곡선의 확률분포선 작도'에 관하여 서술하도록 한다. 먼저 한계우량곡선의 확률분포선의 정의를 말하면, 사면점검양식에 의해

사면현장조사를 실시하면 한계우량곡선이 작도되어진다. 작도된 한계우량곡선으로 위험사면에 대하여 강우시 선로안정성을 파악할 수는 있지만, 자연현상이라는 것은 상당한 외력변수에 의해 돌발적으로 발생하는 경우가 상당수이므로 보다 안전측으로 고려하고자 한계우량곡선식으로 판정되는 사면의 내강우성을 95%, 90%, 80%, 70% 등으로 감소시켜 표현하는 것을 말한다.



<그림 4> 성토사면의 한계우량곡선 예

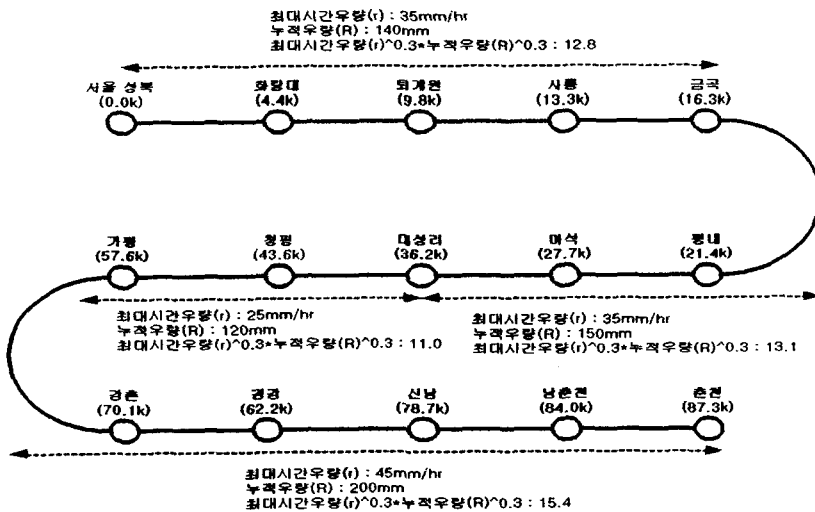


<그림 5> 성토사면의 한계우량곡선 확률선

이와 같이 확률선으로 한계우량을 표현하는 것은 본래 사면의 내강우성보다 안전측으로 규제기준을 설정하여 열차의 안전운행을 좀더 확보할 수 있는 배경이 된다. 하지만, 운전규제기준 설정에 있어 과도한 운전규제는 열차운전규제가 과도하게 자주 발령되어 승객에게 불안감을 줄 수 있고, 연착 등의 손실도 발생할 수 있는 양면성이 있다. 따라서 운전규제기준의 설정시 충분한 고려가 필요하다고 하겠다.

#### 4.2 일부구간에 대한 강우시 열차운전규제기준(안) 적용

한계우량식에 의해 산출된 한계우량에 대하여 95%, 90%, 80%, 70%의 확률선을 작도하여 국내 및 외국의 우량규제기준과 비교하여 타당한 값을 갖는 경우를 선정한 결과 70%확률선이 가장 적당하다고 판단되었다. 70%확률선을 이용하여 열차운전규제기준을 설정함에 있어 대표적인 예로 현장조사 대상지역이었던 경춘선 구간을 선정하여 규제기준을 제시해 보도록 한다.



<그림 6> 경춘선 구간의 강우시 열차운전규제기준 예

먼저 경춘선 구간을 관할지역으로 하고 있는 청평보선분소의 협조로 서울 성북역부터 춘천까지 87.3km 구간을 크게 4단계로 나누고 각 구간에 해당되는 운전규제기준을 설정하였다. 각 구간별로 이미 현장조사된 자료에 근거하여 가장 한계우량값이 적은 개소가 구간을 대표하는 것으로 하였으며, 우량지표 표시는 '최대시간우량( $r$ )', '누적강우량( $R$ )', '최대시간우량 $0.3 \times$ 누적강우량 $0.3$  ( $r^{0.3} \times R^{0.3}$ )'으로 표현하였다. <그림 6>은 경춘선 전구간에 대한 강우시 열차운전규제기준의 예를 보인 것이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 사면현장조사 결과와 통계해석을 통하여 철도연변 성토사면의 점검양식(안)을 제안하였으며, 각 사면별로 한계우량곡선을 작도할 수 있도록 하였고, 이를 이용하여 강우 및 태풍시 철도연변 사면의 내강우성 평가가 이루어질 수 있으며, 현재 철도청에서 운용중인 운전규제가 전국적으로 일괄적인 '강우시 운전규제'로 적용되고 있음에 착안하여 지역적 특성을 고려한 강우시 열차운전규제기준(안)을 제안하였다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통기술혁신 5개년사업의 일환으로 건교부의 연구지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, 2000, "철도시설의 안정성 강화기술 개발", 건설교통기술혁신 5개년사업 제1차년도 연차보고서
2. 신민호 외, 2000, "강우시 철도성토사면의 안정성 평가에 관한 연구", 한국철도학회가을학술발표회 논문집
3. A. B. Fourie, 1998, "Predicting rainfall-induced slope instability", Proc. Instn. Civ. Engrs. Geotech. Eng., 131, Apr., 115-118
4. Katsuya Okada et al., 1994, "Statistical risk estimating method for rainfall on surface collapse of a cut slope", Soils and Foundations Vol. 34, No. 3, pp. 49~58
5. 杉山友康 外 1, 1996, "降雨による切取のり面の表層崩壊に関する危険度評價手法", RTRI Report Vol. 10, No. 6, pp. 37~42