

철도강우자동경보시스템의 강우경보기준 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of Rainfall Alert Thresholds for Automatic Rainfall Alarming System

정형일*[†], 김대식*, 소진섭*, 김진우*, 김주원*, 정연일*, 임정운*, 박남성*

Hyeongil Jeong*[†], Daesik Kim*, Jinseop So*, Jinwoo Kim*, Joowon Kim*, Yeonil Jeong*, Jeongun Lim*, Namseong Park*

Abstract In mountainous Korean railway lines, there are a lot of areas which have artificial slopes, such as cut-slopes and embankments. When it rains intensively in the artificial slope areas, it could fail the slopes and flow debris as the shearing stress caused by rised overburden loads increases. Although automatic rainfall alarming system was built in 2004 for the prevention of train accidents caused by the soil disaster, it is utilized as reference materials when it is raining intensively due to increasing train operation costs loss according to the lack of the alarming reliability. This study is aimed at the improvement of rainfall alert thresholds to reuse Automatic Rainfall Alarming System and to improve the alarming reliability

Keywords : Automatic rainfall monitoring system, Alert threshold, Soil disaster, Artificial Slope

초 록 우리나라의 철도노선은 산악지역이 많은 지역적 특성상 절취, 성토 등의 비탈사면이 많은 것이 특징이다. 비가 많이 내렸을 경우에 비탈사면은 상재하중 증가에 따른 전단응력 증대로 평형상태가 무너져 사면붕괴가 발생할 가능성이 커진다. 이러한 토사재해로 인한 열차사고를 예방하기 위하여 2004년 철도강우자동경보시스템이 구축되었으나 경보신뢰성 부족에 따른 철도운영손실 증가로 인해 강우(強雨) 시 참고자료로만 활용하고 있는 실정이다.

본 연구는 철도강우자동경보시스템의 활용성 제고와 강우경보의 신뢰성 향상을 목적으로 하여 그 핵심요소인 강우경보기준 설정에 대해 방법론적으로 접근함으로써 최적의 강우경보기준을 도출 및 적용함에 있다.

주요어 : 철도강우자동경보시스템, 강우경보기준, 토사재해, 비탈사면

1. 서론

지구온난화에 의한 기후변화로 인하여 태풍 및 국지적인 호우의 발생이 빈번해지고 있고 그 강우강도 역시 강해지고 있다. 또한 한국철도공사의 일반선은 오래된 역사와 산악지역이 많은 우리나라의 지리적 특징 때문에 강우에 의한 선로유실, 사면붕괴 등의 재해는 재발 가능성이 큰 문제 중에 하나이다. 이러한 피해를 줄이기 위한 노력의 일환으로 2004년 강우자동경보시스템이 개발되었지만 경보신뢰성 부족에 따른 철도운영손실 증가로 인하여 참고자료로만 활용하고 있는 실정이다. 이 논문은 강우자동경보시스템의 핵심인자인 강우경보기준의 설정에 대해 방법론적으로 접근함으로써 최적의 강우경보기준을 도출 및 적용함에 있다.

[†] 교신저자: 한국철도공사 연구원 기술연구처(jhi8476@korail.com)

* 한국철도공사

2. 본 론

2.1 강우경보기준 설정방법

2.1.1 재해시점 강우이력에 의한 방법

2004년 강우자동경보시스템의 도입 당시 적용되었던 경험적인 방법의 하나로써 기본 이론은 재해 시작시점 이전에 경보를 발령시킬 수 있도록 기준을 설정함에 있고, 일반적으로 사용되는 강우지표는 1시간 동안의 강우량을 나타내는 시간강우량과 일정시간의 강우 단속 후 강우량의 합인 연속강우량(누적강우량)을 사용한다.

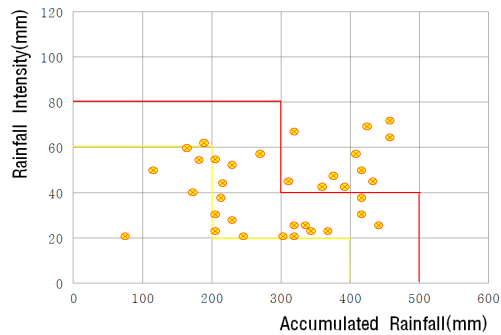


Fig.5 Thresholds by Rainfall Intensity at the time of disasters

강우경보기준 설정방법은 과거 재해기록을 바탕으로 재해발생 시 강우이력을 조사하여 재해 발생시작시점 강우이력의 평균을 열차정지경보의 기준으로 사용하고, 재해발생기간 동안의 강우이력 평균을 열차서행경보의 기준으로 사용한다. 또한 시간강우량과 연속강우량의 상한에 대한 기준설정은 전체 강우이력값을 바탕으로 결정한다. 재해가 발생되지 않았거나 발생하였더라도 그 수가 미미할 경우, 강우경보기준 설정이 어려운 단점을 가지고 있다.

2.1.2 내강우성에 의한 방법

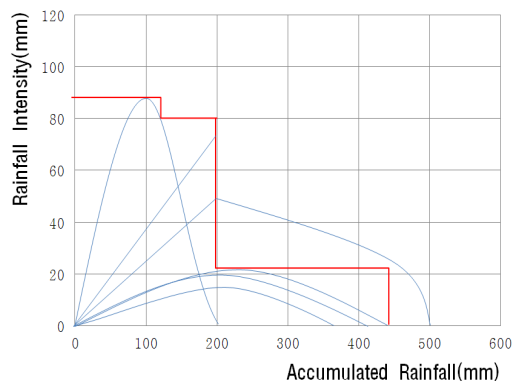


Fig.6 Thresholds by Tolerance to Rainfall Intensity

JR East에서 실효우량 개념을 적용시키기 전까지 사용하였던 방법으로, 해당개소 사면의 내강우성을 이용한 경험적인 방법의 하나이며, 강우지표는 ‘재해시점 강우이력에 의한 방법’과 마찬가지로 일반적으로 시간강우량과 연속강우량이 사용된다. 강우경보기준 설정방법은 우선, 강우이력데이터를 확보하고 재해가 발생하였던 강우이력과 그렇지 않은 이력을 분류한 뒤, 재해 발생 시 강우이력은 발생시점의 강우량 기준 80%지점 이후에는 강우가 발생하지 않은 것으로 하여 강우이력그래프(시간강우량/연속강우량)를 작성한다. 다음으로 그래프의 최상위 점들의 조합 중 불필요한 운전중지를 줄일 수 있는 방향으로 열차정지경보기준을 작성하고 그 기준에서 사면 안전율 기준 1.3과 1.5를 각각 나누어주어 서행 및 주의운전 기준으로 설정하여 강우경보기준으로 활용한다.

2.1.3 한계우량에 의한 방법

일본총합철도기술연구소(RTRI)에서 제시하였고 기본 이론은 대상사면이 비에 얼마나 견디는가를 수치적으로 나타낸 것이며 앞서 살펴본 경험적인 방법들과는 달리, 재해가 발생할 가능성이 있는 대상사면의 토질시험, 강우침투해석 및 사면안전해석을 통해 얻은 안전율, 파괴확률 등의 값을 이용하여 강우경보기준을 설정하는 방법이다. 현재 시스템에 적용하기 위하여 안전율, 파괴확률 등의 결과그래프에서 기준안전율(1.3)에 도달했을 때의 강우정보를 산정하여 시간강우량과 누적강우량 지표를 이용한 강우경보기준으로 전환하여 사용한다.

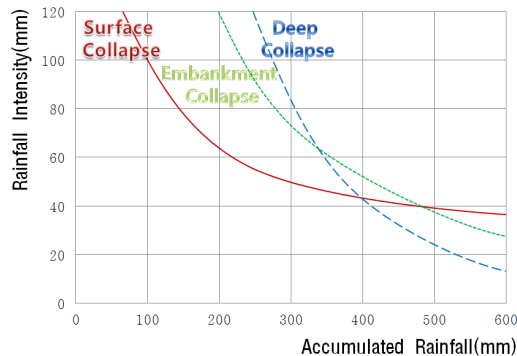


Fig. 7 Thresholds by Critical Rainfall

2.1.3 실효우량에 의한 방법

JR East에서 ‘내강우성에 의한 방법’을 대체하여 2008년부터 사용한 강우경보기준 설정방법으로, Leaky-Barrel Model을 근거로 반감기(감소율)를 적용하고 실효우량이라는 하나의 강우지표를 사용하여 시간에 따른 경보현황을 비교적 명확하게 나타낼 수 있는 방법으로 판단된다. 설정방법은 우선 현행 재해이력을 바탕으로 최적반감기를 선정하고, 그 반감기 값을 실효우량 산출식에 적용시킨다. 과거 강우이력을 실효우량 값으로 환산한 뒤, 현행 강우경보기준과 재해포착율과 경보오류시간 비교를 통하여 최적의 강우경보기준을 설정한다.

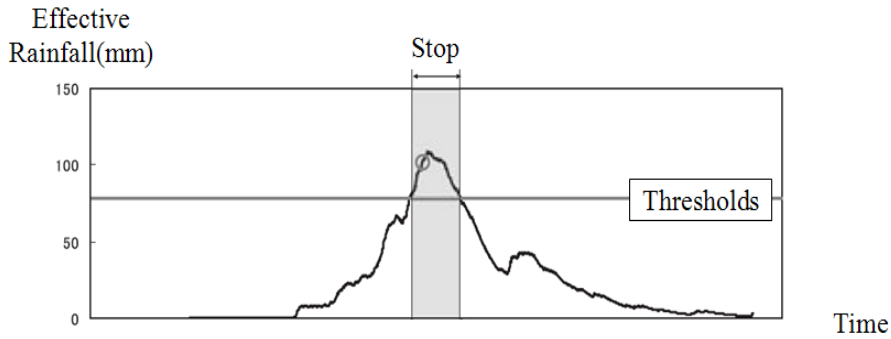


Fig.8 Thresholds by Effective Rainfall

2.2 강우경보기준 개선

2.2.1 기존 강우경보기준

기존 철도공사의 강우자동경보시스템의 강우경보기준은 2004년 시스템 구축 당시 ‘재해 시점 강우이력에 의한 방법’으로 설정되어 현재까지 유지되고 있고 그 값을 나타낸 강우 그래프는 아래의 Fig.9와 같다.

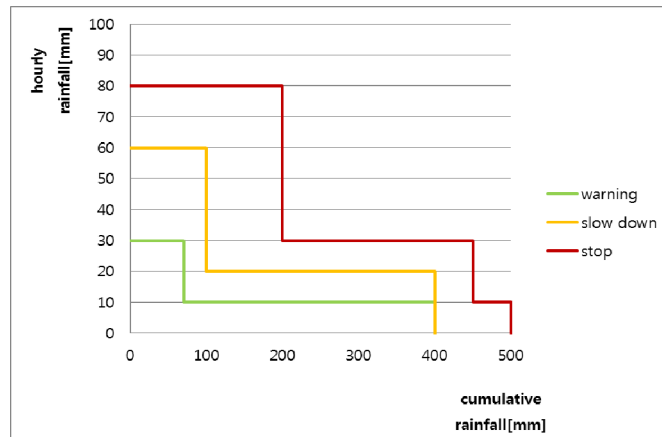


Fig.9 Current Thresholds

2.2.1 새로운 강우경보기준

새로운 강우경보기준 설정을 위하여 2.1절의 방법들 중 실효우량의 방법을 적용하는 것이 가장 타당할 것으로 판단되나 새로운 시스템 구축에 대한 기간 및 비용의 제약으로 인하여 현재 강우자동경보시스템에 적용이 가능한 ‘내강우성에 의한 방법’을 이용하여 총 4곳의 수해취약개소에 대한 새로운 강우경보기준을 도출하였다. 또한 철도강우자동경보시스템에 각각의 강우경보기준을 취약개소 내 우량계별로 적용하였다.

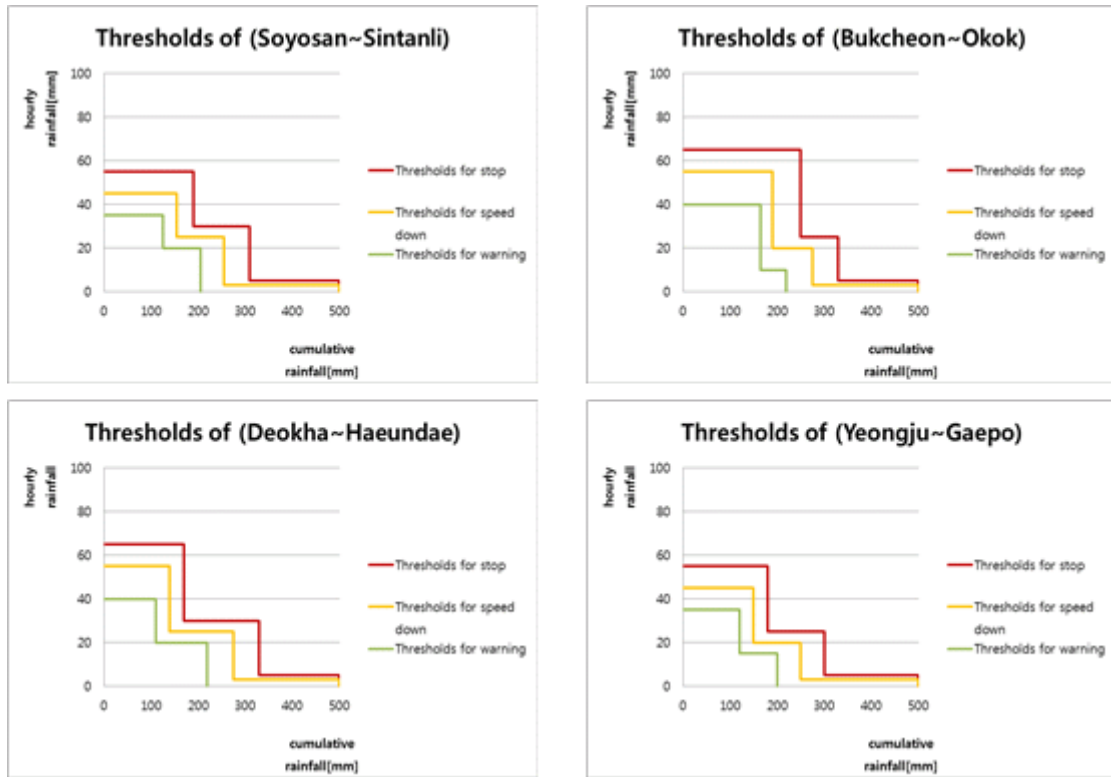


Fig.10 New Thresholds on Rainfall-induced Hazards

2.2.3 강우경보기준 신뢰성 검증

새로운 강우경보기준을 기존의 기준과 성능 비교하고 그 신뢰성을 확인하기 위하여 재해 발생 전 경보를 울릴 확률인 ‘재해포착율’ 과 경보가 발생하였지만 재해가 일어나지 않은 시간인 ‘경보오류시간’ 을 지표로 사용하였다.

Table 1 Comparison between Current Thresholds and New Thresholds

Classification	Current Thresholds	New Thresholds			
		Soyosan ~ Sintanli	Bukcheon ~ Okok	Deokha ~ Haeundae	Yeongju ~ Gaepo
Alarming before disaster probability[%]	41	91	100	100	75
False alarming time[hr/year]	1.5	7.5	8.4	4.5	4.0

우선 경보오류시간(False alarming time)은 기존의 강우경보기준에 비해 새로운 강우경보기준에서 다소 높게 나타났고 재해포착율(Alarming before disaster probability)은 기존의 41%에서 4개소 평균 91.5%로 월등히 높게 나타났다. 즉, 경보오류시간이 다소 늘어남으로 운영적 손실이 다소 증가할 것으로 판단되지만 경보의 본래 기능인 재해 전 경보를 울릴 확률이 월등히 높아져 시스템 신뢰성이 높아질 것으로 판단된다.

3. 결 론

1. 국내외 강우자동경보시스템에서 사용하고 있는 강우경보기준 설정방법에 대해 알아보고 방법별로 분류하여 현재 철도공사 강우자동경보시스템에 적용할 수 있는 최적의 방법을 도출하였다.
2. 앞서 도출된 방법을 적용하여 기존의 강우경보기준보다 경보오류를 최소화하고 경보신뢰성을 높일 수 있는 방향으로 강우경보기준을 개선하여 그 신뢰성을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Raymond C. (1992) Development of rainfall warning thresholds for debris flows in the Honolulu district, OAHU, 92-521, pp.10-20.
- [2] M. Shimamura (2010) Improving alert thresholds for safer and stabler train operation under heavy rainfalls, JR East Tech-review, No.11, pp. 61-65.
- [3] S. Kobashi (1987) The critical rainfall for disasters caused by debris flows and slope failures, Corvallis Symposium, 165, pp. 201-211.
- [4] 이진욱 (2004) 철도강우방재시스템 구축방안 및 강우자동경보시스템 구축, 한국철도기술연구원, pp. 223-246.
- [5] 이성욱 (2006) 기존선 이상기후 발생시 열차의 안전운행 확보방안 연구, 한국철도공사연구원, 06-13, pp. 5-24.