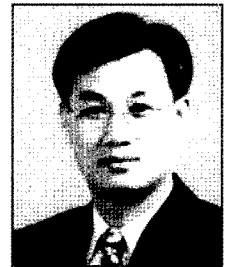


# 고속철도의 안전운행을 위한 강우시 열차운전규제기준의 제안



\* 신민호  
\*\* 김현기  
\*\*\* 김정기

## 1. 서론

최근 우리나라는 지구온난화에 따른 엘니뇨, 라니뇨 등 세계적인 이상기후에 의한 국지성 호우가 매년 다발하고 있으며, 이에 따른 철도선로피해도 기상상황 악화와 동반하여 증가 추세에 있다. 또한 국내에서 자주 발생하는 대표적인 재해 원인으로는 태풍을 들 수 있는데 이와 같은 태풍은 매년 7월에서 8월 사이에 우리나라를 관통하면서 막대한 피해를 유발시킨다. 특히 2002년 8

월 31일부터 9월 1일까지 한반도를 관통한 제15호 태풍 루사(RUSA)는 약 이틀동안 최대시간강우량 101mm/hr, 총 강우량 898mm의 사상유례 없는 강우와 강풍을 동반하며, 도로·철도·농경지·가옥 등 국내 전 기반시설에 대하여 막대한 피해를 입혔다. 특히 철도의 경우 총 48개소의 피해지역이 발생하였으며, 이로 인한 복구비용만도 약 1,472억원 정도로 추정하고 있다.

매년 증가추세에 있는 이상기후로 인한 자연재해를 미연에 방지하기 위해서는 재해우려시설물·개소를

### ■주■ ■※

- 1) \* 한국철도기술연구원 기획조정실장
- \*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 토구조연구그룹 주임연구원
- \*\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 토구조연구그룹 연구원

적정하게 판별하여 추출하고, 추출된 개소에 대한 명확한 건전도 평가를 통해 방호/대책공을 설치하여 영구적인 안정성을 확보하는 방안이 기본이지만, 예산상의 문제로 모든 우려개소에 대한 적용은 어려움이 있다. 이에 대한 대처방안으로는 보다 소규모의 예산으로 재해감지시스템을 구축하여 운용하는 방안과 최소한의 예산으로 운용이 가능한 자연재해에 대한 열차운전규제기준이 있다.

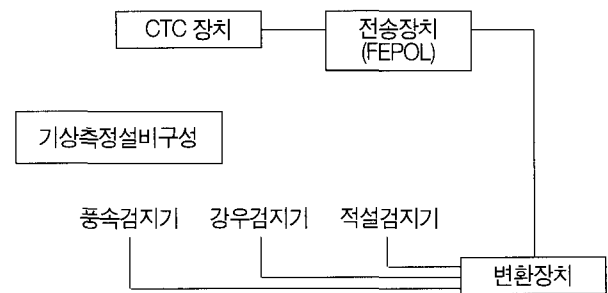
고속철도시스템은 속시성, 정시성, 안전성 및 대량수송성 등이 타 수송수단에 비하여 비교우위에 있으며, 건설중인 경부고속철도에서는 열차의 운행안전을 확보하기 위하여 열차안전운행감시시스템, 속도 및 사건기록시스템, 열차화재감시시스템, 운전자 운전감시시스템, 충돌안전시스템, 열차 사행동 및 탈선방지시스템의 첨단 감시·제어시스템을 채택하고 있어 예기치 못한 재해발생으로 인한 인적·물적피해의 최소화에 만전을 기하고 있으나, 국외규정이 도입되는 과정에서 국내 선로, 기후, 지형·지질학적 특성을 반영한 국내규정으로는 정립되어 있지 않은 현실이다.

따라서 본 고에서는 현재 건설중인 고속철도의 열차안전운행감시시스템 중 기상감시시스템에 있어 강우시 열차안전확보를 위한 현행 열차운전규제기준을 수정·보완한 보완방안을 제안하여 최소한의 비용으로 최대한의 안전성을 갖는 고속철도시스템의 구축에 작게나마 기여하고자 하였다.

## 2. 고속철도의 기상감시시스템 및 열차운전규제기준 현황

경부고속철도의 선로에서의 급격한 기상조건 변화(태풍, 집중호우, 폭설)는 고속으로 주행하는 열차에 직접적인 위협요소가 될 수 있으므로 변화하는 기상조건을 감지하여 관련정보를 운영자에게 전송하여 상황에 따라 열차를 감속 또는 정지하도록 하는 설비로써

강풍검지장치, 강우검지장치, 강설검지장치 등이 있다. 선로변 약 20km간격으로 설치된 각종 센서로부터 강우량, 적설량 및 풍속을 검지하여, 열차종합사령실에서 열차감속, 정지 및 주의운행을 지시하도록 되어 있다. 다음의 표 1은 기상상황에 따라 발효되는 경계조건 및 조치사항에 대한 일람이며, 그림 2는 강우에 대한 시간강우량 및 누적강우량(연속우량)에 대한 제반조건을 그래프로 표시한 것이다.

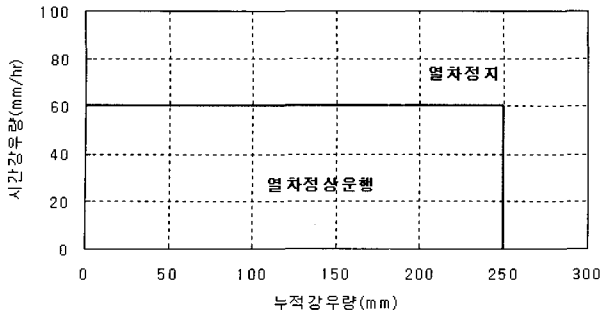


〈그림 1〉 기상측정설비 구성도

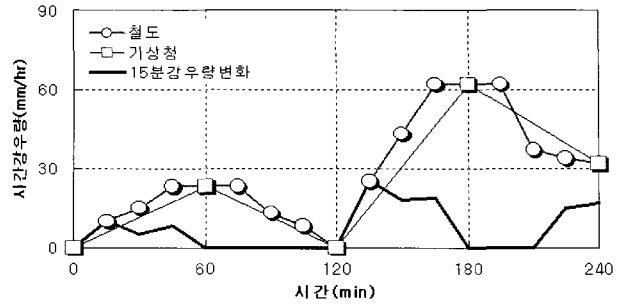
이와 같은 열차운행기준은 고속전철 및 시스템을 프랑스에서 도입함에 따라 기상감시시스템 및 경계조건 등도 여과없이 적용하게 된 것으로, 강우관련 규정에 있어서도 평지가 많은 프랑스의 기상관련 규정을 국지성 호우가 자주 발생하는 산악구간이 많은 우리나라에 적용함에는 어려움이 있다. 또한, 열차의 정상운행 및 운행정지로 양분되는 경계구분도 경계발령, 열차사행과 같은 강우상황 변경단계를 두어 보다 세밀하고 체계적으로 접근하는 자세도 필요할 것으로 판단된다.

〈표 1〉 기상상황에 따른 경계조건과 조치사항

기상	경계조건	조치사항
강우	시간강우량 60mm/hr 이상	열차운행중지
	일일 연속 250mm 이상	열차운행중지
강풍	풍속 20m/s 이상	열차감속운행
	풍속 35m/s 이상	열차운행중지



〈그림 2〉 고속철도의 강우시 열차운전규제기준



〈그림 3〉 강우량 지표별 강우상황 표시 예

### 3. 고속철도 강우시 열차운전규제기준의 제안

#### 3.1 용어 정의

경부고속철도의 강우시 운전규제기준에서 사용될 강우량 지표를 정의하도록 한다.

그림 3에서 기상청 발표 강우량은 시간대별로 발표

〈표 2〉 강우량 지표

강우량 지표	기상청	고속철도
15분강우량	-	- 측정시간을 기준으로 15분 전부터 측정시간까지 내린 강우량의 합
시간강우량 (연속우량= 강우강도)	- 매시 정각에 발표 - 발표 1시간 전부터 발표시간까지 내린 강우량의 합	- 측정시간을 기준으로 1시간 전부터 측정시간까지 내린 강우량의 합
누적강우량	- 강우 종료시까지 강우량 총합	- 강우중단이 12시간 미만인 경우, 강우종료시까지 강우량 - 강우중단이 12시간 이상일 경우, 0mm로 재설정됨

되어 그 중간의 강우상황을 파악할 수 없으나, 본 연구에서 제안한 강우지표의 정의에 의하면 15분 강우량으로 현재 강우상황을 직접 판단할 수 있으며, 측정시간을 기준으로 한 시간강우량이 수치 및 그래프로 제시되어 추후 강우상황이 악화될 것인지, 개선될 것인지에 대한 개략적 판단에 일조할 수 있다.

### 3.2 강우시 열차운전규제기준(안)의 제안

#### (1) 강우시 열차운전규제기준 발령기준

고속철도의 강우시 열차운전규제 등의 발령은 앞서 기술한 운전규제 기준치에 의해서 시행하는 것으로 하며, 운전규제 등으로 정상운행, 경계, 속도규제, 운전중지의 4가지의 구분을 정의하여, 각각의 구분에 대하여 다음 표에 제시한 재해 등의 내용에 대응해서 발령 기준치를 설정하여야 한다.

#### (2) 강우시 열차운전규제기준 설정

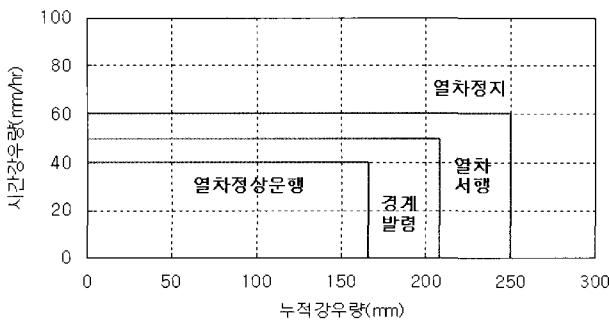
강우에 의한 비탈면 붕괴 등의 발생인자로서 누적강우량과 시간강우량(강우강도)의 두가지가 중요하며, 일반적으로 누적강우량이 클수록 붕괴가 발생할 때의 시간강우량은 작아진다. 또 비탈면의 구조는 결정적으로 개별성이 강하기 때문에 붕괴가 발생한 우량을 이론적으로 구하는 경우가 곤란하지만, 침식·풍화의 진행 또는 수문환경의 변화를 무시하고 단기간을 고려하게 되면 그 장소에 있어서 반복적인 강우데이터로부터 내력이 얻어지는 우량을 추정하는 것은 가능하다. 국내의 경우 철도연변의 강우량 데이터가 부족하고, 특히 고속철도의 경우 신선을 건설함에 따라 지역적 강우량 집계에 어려움이 있으므로 운전규제 등의 발령기준우량의 결정에 있어 일반적인 경험적 방법에 근거하지 않고, 현행 고속철도의 강우시 운전규제 규정을 보

〈표 3〉 경계의 구분 및 내용

구분	철도청 선로경계비교	재해내용
경계	제3종 경계와 유사	강우량이 기준 경계우량에 도달한 경우, 재해가 발생할 우려는 거의 없지만 현장에 따라서는 재해 전조의 일부가 관측되는 경우가 있다.
속도 규제	제2종 경계와 유사	강우량이 기준 경계우량에 도달한 경우, 과거의 경험에서는 재해가 발생한 경우는 없지만 장소적·시간적으로 이상 강우로 경미한 재해가 발생할 가능성이 있다.
운전 중지	제1종 경계와 유사	강우량이 기준 경계우량에 도달한 경우, 재해가 발생할 가능성이 있다.

완하여 작성하는 것으로 하였다.

현행 고속철도 구간에 있어 안전한 운행이 보장되는 강우지표는 그림 2에 보인 바와 같으며, 시간강우량, 누적강우량의 강우지표로 열차의 정상운행 및 열차운전중지의 조치를 취할 수 있다. 본 연구에서는 이렇게 정의된 강우지표에 근거하여 누적강우량 및 시간강우량의 조합에 의한 운전중지 기준에 속도규제 및 경계발령의 기준치를 추가하여 보완토록 하였다. 속도규제 및 경계발령 기준의 결정방법은 누적강우량과 시간강우량의 조합에 의한 운전중지 기준에 대하여 속도규제 및 경계발령 기준으로 각각 1.2 및 1.5의 안전율을 예상한 값을 부여함에 의해 설정하였다(그림 4 참조).

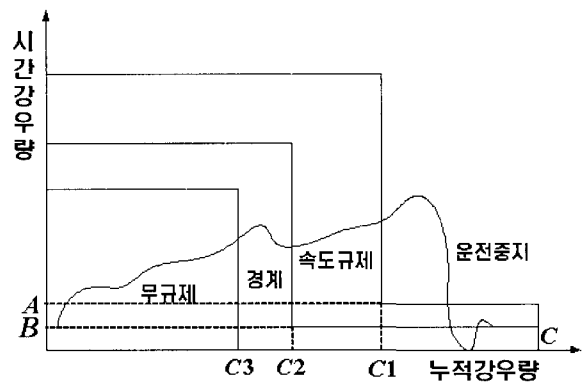


〈그림 4〉 제안된 고속철도의 강우시 열차운전규제기준(안)

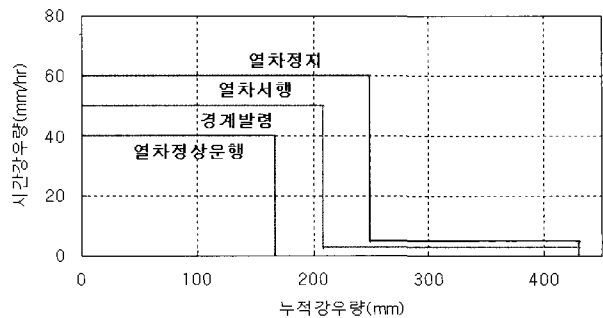
(3) 약한 강우에 대한 운전중지 및 속도규제 기준 설정  
시간강우량이 일정치보다 약한 강우가 지속되는 경우는 누적강우량이 위에서 서술한 기준으로 제시한 운

전중지 발령기준을 초과하더라도 재해가 발생할 우려가 없다고 고려할 수 있다. 이와 같은 약한 강우에 대한 운전중지 및 속도규제 발령기준을 별도로 지정하여 과도한 열차의 운전 통제가 발효되지 않도록 고려하였다.

그림 5에 있어 A 및 B는 여기에서 말한 약한 강우에 대한 운전중지 및 속도규제 발령 시간강우량이며 C는 이와 같은 약한 강우에 대한 운전규제 등 발령기준의 적용 상한 누적우량  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ 는 운전규제 기준으로 부터 결정한 운전중지, 속도규제 및 경계발령 기준의 누적강우량을 보인 것이다. 일본의 경우 A는 5mm/hr로 정의하고 있으며, 과거 운전지장을 초래하는 재해의 시간우량이 5mm/hr 미만의 경우는 그 값을 사용한다. 또 B는 A의 50% 정도의 값으로 한다. C는 시간강우량이 A 또는 B의 값 미만의 약한 강우로 지속되는 경우에 운전규제가 발령되지 않으면 때때로 누적강우량이 무제한으로 증가하는 사태가 발생할 수 있기 때



〈그림 5〉 약한 강우에 대한 열차운전규제기준 설정 개념도



〈그림 6〉 고속철도의 안전운행을 위한 강우시 열차운전규제기준(안)

문에 이를 피하기 위해서 설정하였다. C는 누적강우량이 운전중지 기준을 초과한 후, 시간강우량 A의 일정 강도로 강우가 계속되는 경우에 있어서 이 일정한 강우에 의한 우량합계의 재현확률년수가 소정의 값을 가지도록 C를 결정하였다. 본 연구에서 계산한 C 값은 430mm로 산정되어 이를 적용토록 하였다(그림 6 참조). 추후 실제 강우량 데이터에 의해 지속적으로 보완되어야 할 것으로 사료되지만, 그림 6으로 제시된 고속철도의 강우시 열차운전규제기준(안)에 의해 자연재해 발생에 대하여 보다 높은 안전성을 확보할 수 있을 것이다.

운전규제 등의 해제의 판단은 가능하면 강우가 종식 경향을 보이는 것을 확인한 후 시행되어야 한다. 특히 누적강우량이 기준을 초과한 후에 있어 경계의 해제는 위에서 기술한 강우중단시간 T가 경과하여 해제가 가능하게 되는 경우라도 강우중단이 12시간 이상이 되지 않는 사이에 1mm라도 추가 우량이 발생하면 경계의 재발령이 필요하게 된다는 것을 고려해서 신중하게 판단하도록 한다. '약한 강우'의 경우 운전중지 및 속도규제의 해제에 대해서도, 이것과 동일하게 고려한다.

#### 4. 결론

철도의 안전운행을 위한 3가지 주체는 재해우려시설물을 추출하고 건전도를 평가하는 검사와 방호/대책공 설치 및 재해검지장치 설치 등의 방호대책 그리

고 자연재해에 대한 열차운전규제기준을 들 수 있다.

본 연구에서는 강우시 고속철도의 안전한 운영을 위해 현재 설정되어 운용 예정인 강우시 운전규제를 위한 경계우량의 문제점을 파악하고 보완함에 의해, 보다 나은 강우시 고속철도 안전운행을 위한 경계우량으로 재설정이 가능하였으며, 이를 이용하여 CTC 등의 중앙통제기구에서 정상운행·경계발령·열차속도규제·운전정지의 4단계로 강우상황에 따라 열차의 안전을 명확하게 확보할 수 있으며, 자연재해 발생 최소화에 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

#### 참고문헌

1. '철도시설물안정성강화기술개발' 연구보고서, 건교부 건설교통기술혁신사업, 2002.9,
2. '강우시 선로 및 사면방재를 위한 강우자동경보장치개발' 연구보고서, 한국철도기술연구원 기업공동연구, 2002.11 예정
3. '경부고속열차의 안전성 확보대책', 건교부, 2000.
4. 'Risk Assessment and Risk Communication in Civil Engineering', CIB Report, Publication 259, 2001. 3
5. '降雨に關する運轉規制等要領(在來線)解説(平成2년 5月)', JR東日本