

## 고속철도의 안전운행을 위한 강우시 열차운전규제기준의 제안

### A Development of Rail-Transport Operation Control for High-Speed Railway under Rainfall

신 민 호\*, 홍 만 용\*\*, 이 성 혁\*\*\*, 김 현 기\*\*\*\*, 김 정 기\*\*\*\*\*

Shin, Min ho / Hong, Man Yong / Lee, Seong Hyeok / Kim, Hyun KI / Kim, Jung Ki

---

#### Abstract

Korea High-Speed Railway has various safety systems to secure safe and stable transportation and makes assurance doubly sure to minimize casualty and property damage caused by natural disasters. But, there is no regulation that reflects domestic railway line, climate, topographical and geological characteristic in introducing the foreign regulations yet. Therefore, it is necessary for us to modify a regulation which is suitable to domestic high-speed railway. In this study, it is possible to establish more reasonable boundary rainfall by grasping and improving the troubles with existing boundary rainfall that is scheduled to be utilized for high-speed rail-transport operation control under rainfall. Also, it is possible to insure the safety of train by four steps such as 'normal operation', 'warning issue', 'train speed control' and 'train stop' using the established boundary rainfall. It will go far toward minimizing the occurrence of natural disasters

**Key words** : safety system, natural disaster, boundary rainfall, operation control

---

#### 요 지

건설중인 경부고속철도에서는 열차의 운행안전을 확보하기 위하여 다양한 안정시스템을 채택하고 있어 예기치 못한 재해발생으로 인한 인적·물적 피해의 최소화에 만전을 기하고 있으나, 국외규정이 도입되는 과정에서 국내 선로, 기후, 지형·지질학적 특성을 반영한 국내규정으로는 정립되어 있지 않은 현실이다. 따라서, 본 연구에서는 강우시 고속철도의 안전한 운행을 위해 현재 설정되어 운용 예정인 강우시 운전규제를 위한 경계우량의 문제점을 파악하고 보완함으로써 보다 합리적인 경계우량의 재설정이 가능하였다. 또한, 이를 이용하여 CTC 등의 중앙통제기구에서 정상운행·경계발령·열차속도규제·운전정지의 4단계로 강우상황에 따라 열차의 안전을 명확하게 확보할 수 있을 것이며, 자연재해 발생 최소화에 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

---

\* 한국철도기술연구원 기술조정실장  
\*\* 철도청 시설본부 본부장  
\*\*\* 한국철도기술연구원 궤도노반연구팀 선임연구원  
\*\*\*\* 한국철도기술연구원 궤도노반연구팀 주임연구원  
\*\*\*\*\* 한국철도기술연구원 궤도노반연구팀 주임연구원

## 1. 서 론

최근 우리나라는 지구온난화에 따른 엘니뇨, 라니냐 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 8월 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 적절하게 판별하여 추출하고, 추출된 개소에 대한 명확한 진단도 평가를 통해 방호/대책공을 설치하여 영구적인 안정성을 확보하는 방안이 기본이지만, 예산상의 문제로 모든 우려개소에 대한 적용은 어려움이 있다. 이에 대한 대처방안으로는 보다 소규모의 예산으로 재해검지시스템을 구축하여 운용하는 방안과 최소한의 예산으로 운용이 가능한 자연재해에 대한 열차운전규제기준이 있다.

고속철도시스템은 속시성, 정시성, 안전성 및 대량 수송성 등이 타 수송수단에 비하여 비교우위에 있으며, 건설중인 경부고속철도에서는 열차의 운행 안전을 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 열차운전규제 기준을 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 검지하여 관련정보를 운영자에게 전송하여 상황에 따라 열차를 감속 또는 정지하도록 하는 설비로써 강풍검지장치, 강우검지장치, 강설검지장치 등이 있다.

### (1) 강풍 검지장치

선로변의 풍속을 검지하여 강풍발생시 열차운행 속도를 규제할 수 있도록 풍속검지장치를 설치하고 검지된 정보를 역과 CTC사령실로 전송하고 표시반에 검지상태를 표시하여 현장설비들을 집중 감시할 수 있도록 한다. 이때 풍속에 초당 20m 이상 시에는 풍속에 따라 단계적으로 감속운행을 하도록 하고 초당 35m 이상 시에는 열차운행을 중지시킨다.

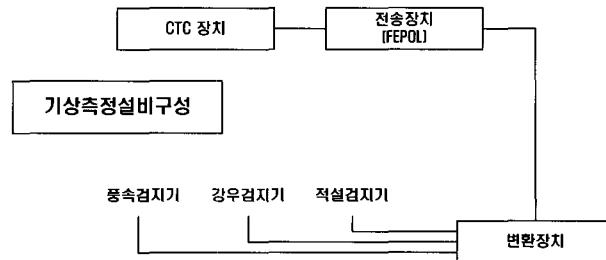


그림 1. 기상측정설비 구성도

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

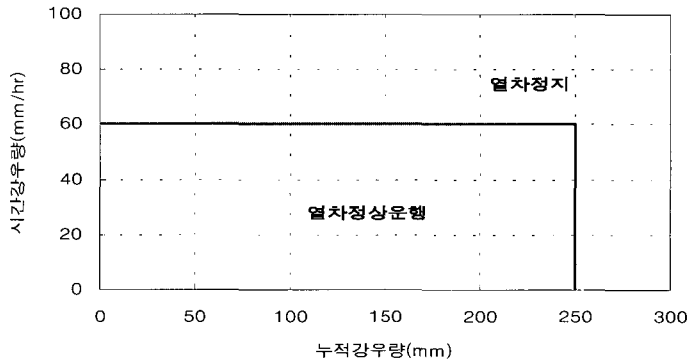


그림 2. 고속전철의 강우시 운전규제기준

(2) 강우검지장치

선로변의 강우량을 측정하여 집중호우 발생 또는 연속되는 강우로 지반이 침하하거나 노반의 붕괴사고가 우려되므로 선로변에 강우검지장치를 설치하여 검지된 정보를 역과 CTC사령실로 전송하여 시간당 강우량이 60mm 이상이거나 일일 연속강우량이 250mm 이상인 경우 열차운행은 정지시킨다.

(3) 강설검지장치

선로변의 적설량을 측정하여 폭설이 발생할 경우, 열차운전 속도를 규제할 수 있도록 적설검지장치를 설치하여 검지정보는 연동역과 CTC사령실로 전송되어 표시반에 검지정보상태에 따른 경보표시를 제공하여 현장설비를 집중감시하여 기관사에게 이를 통보하여 감속등의 조치를 취할 수 있도록 한다.

(4) 열차운행기준

선로변 약 20km간격으로 설치된 각종 센서로부터 강우량, 적설량 및 풍속을 검지하여, 열차종합사령실에서 열차감속, 정지 및 주의운행을 지시하도록 되어 있다. 다음의 표 1은 기상상황에 따라 발표

되는 경계 조건 및 조치사항에 대한 일람이며, 그림 2는 강우에 대한 시간강우량 및 누적강우량(연속우량)에 대한 제반조건을 그래프로 표시한 것이다.

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, 열차서행과 같은 강우상황 변경 단계를 두어 보다 세밀하고 체계적으로 접근하는 자세도 필요할 것으로 판단된다.

3. 고속철도 강우시 열차운전규제기준의 제안

3.1 용어 정의

경부고속전철의 강우시 운전규제기준에서 사용될 강우량 지표를 정의하도록 한다.

그림 3에서 기상청 발표 강우량은 시간대별로 발표되어 그 중간의 강우상황을 파악할 수 없으나,

표 2. 강우량 지표

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

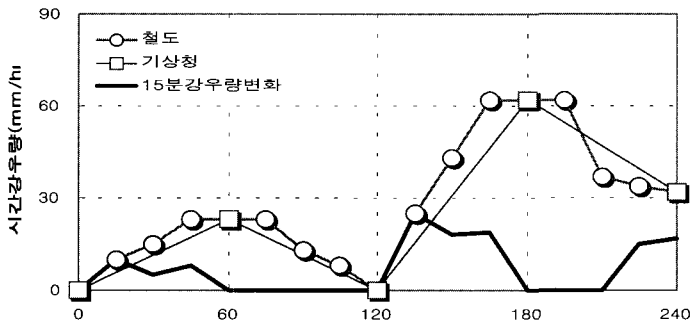


그림 3. 강우량 지표별 강우상황 표시 예

본 연구에서 제안한 강우지표의 정의에 의하면 15분 강우량으로 현재 강우상황을 직접 판단할 수 있으며, 측정시각을 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 발령기준치를 설정하여야 한다.

#### (2) 강우시 열차운전규제기준 설정

강우에 의한 비탈면 붕괴 등의 발생인자로서 누적강우량과 시간강우량(강우강도)의 두가지가 중요하며, 일반적으로 누적강우량이 클수록 붕괴가 발

생할 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·통계적 방법에 근거하지 않고, 현행 고속철도의 강우시 운전규제 규정을 보완하여 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 보

표 3. 경계의 구분 및 내용

구분	철도청 선로경계비교	재 해 내 용
경계	제3종경계와유사	강우량이 기준 경계우량에 도달한 경우, 재해가 발생할 우려는 거의 없지만 현장에 따라서는 재해 전조의 일부가 관측되는 경우가 있다.
속도규제	제2종경계와유사	강우량이 기준 경계우량에 도달한 경우, 과거의 경험에서는 재해가 발생한 경우는 없지만 장소적·시간적으로 이상 강우로 경미한 재해가 발생할 가능성이 있다.
운전중지	제1종경계와 유사	강우량이 기준 경계우량에 도달한 경우, 재해가 발생할 가능성이 있다.

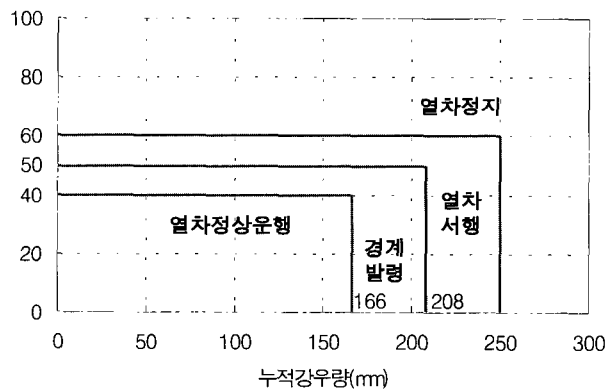


그림 4. 제안된 고속철도의 강우시 열차운전규제기준(안)

완토록 하였다. 속도규제 및 경계발령 기준의 결정 방법은 누적강우량과 시간강우량의 조합에 의한 운전중지 기준에 대하여 속도규제 및 경계발령 기준으로 각각 1.2 및 1.5의 안전율을 예상한 값을 부여 함에 의해 설정하였다(그림 4 참조). 이와 같이 안전율을 결정 한 이유는 국내 철도현실상 과거의 강우 data가 부족하고 연속적인 이력 또한 존재하지 않기 때문에, 재해 발생시의 시간우량·누적우량을 통계적으로 분석한 재해 발생 가능한 강우량으로부터 안전측으로 고려할 수 있는 최소치이기 때문이며, 일본의 경우에서도 ‘강우에 대한 열차운전규제 요령’에서 경계·서행·정지의 기준치로 본 안전율을 적용하고 있다.

(3) 약한 강우에 대한 운전중지 및 속도규제 기준 설정

시간강우량이 일정치보다 약한 강우가 지속되는 경우는 누적강우량이 위에서 서술한 기준으로 제시 한 운전중지 발령기준을 초과하더라도 재해가 발생

할 우려가 없다고 고려할 수 있다. 이와 같은 약한 강우에 대한 운전중지 및 속도규제 발령기준을 별도로 지정하여 과도한 열차의 운전 통제가 발효되 지 않도록 고려하였다.

그림 5에 있어 A 및 B는 여기에서 말한 약한 강우에 대한 운전중지 및 속도규제 발령 시간강우 량이며 C는 이와 같은 약한 강우에 대한 운전규제 등 발령기준의 적용 상한 누적우량, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>는 운전규제 기준으로부터 결정한 운전중지, 속도규제 및 경계발령 기준의 누적강우량을 보인 것이다. 일 본의 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 B 의 값 미만의 약한 강우로 지속되는 경우에 운전규 제가 발령되지 않으면 때때로 누적강우량이 무제한 으로 증가하는 사태가 발생할 수 있기 때문에 이를 피하기 위해서 설정하였다. C는 누적강우량이 운전 중지 기준을 초과한 후, 시간강우량 A의 일정 강

도로 강우가 계속되는 경우에 있어서 이 일정한 강우에 의한 우량합계의 재현확률년수가 소정의 값을 가지도록  $C$ 를 결정한 것으로 구하는 방법은 다음과 같다.

① 시간우량  $A$ 의 일정한 강도로  $t$ 시간 내리기 계속할 때의 우량의 합계를  $P=A \cdot t$ 로 구한다.

② 10년확률 24시간우량  $R_{10}^{24}$ 에서 임의단속시간  $t$ 에 대한 10년 확률강우강도를 아래 식을 이용하여 구한다.

$$rI = \frac{R_{10}^{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t}\right)^{7/3}$$

③  $rI$ 의 강우강도로  $t$ 시간 내린 우량합계는  $P=rI \cdot t$ 이며, 두 식의 교점의 우량값  $P$ 는 시간우량  $A$ 에서 일정하게 강우가 지속하는 경우의 10년 확률우량과 동일하므로 아래 식을 이용하여  $C$ 를 구한다.

$$C = C_1 + P$$

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.

#### (4) 열차운전규제 해제방안 설정

열차운전규제가 시행된 후 해제방안의 설정을 위해 각 구간마다에서 '강우중단시간'을 결정하여 활용하도록 한다.

- ① 강우중단의 개시 시각에 있어서 누적우량을  $q$ 라 한다(그림 7 참조).
- ②  $q$ 와 누적우량의 경계발령기준치(그림 5에 있

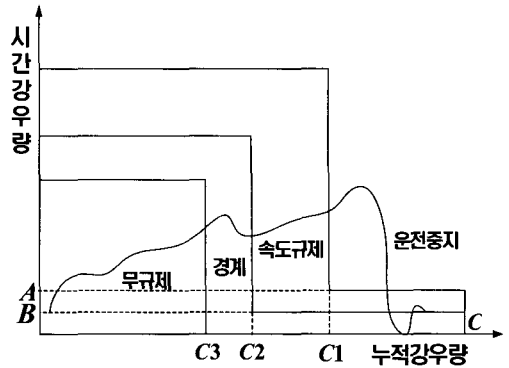


그림 5. 약한 강우에 대한 열차운전규제기준 설정 개념도

어서 점  $C_3$ 의 누적우량)과의 차  $Q=q-C_3$ 를 구한다.

③ 강우중단이 12시간 지속하면 연속우량은  $q$ 에서 0으로 되지만, 이것에 대해서 1시간마다의 일정한 수치의 감소율  $R$ 을 가정하면,

$$R = q/12$$

④ 누적우량  $q$ 가 가상의 감소율의 원인으로 경계발령기준치  $C_3$ 까지 감소하는 시간  $T$ 를 계산하면,

$$T = Q/R = 12(q - C_3)/q$$

⑤ 이  $T$ 를 '강우중단시간'으로 정의한다.

매 강우시마다  $T$ 를 계산하여 활용함은 운용에 불필요한 노력을 요구하므로 대상구간마다의 '강우중단시간'을 전산화하거나 표로 작성하여 사용되어야 할 것이다.

그림 6과 표 4는 강우시 고속철도의 안전운행을 위한 열차운전규제기준(안)과 그 기준값을 나타낸다.

표 4. 강우시 고속철도의 열차운전규제기준값

구분		시간강우량(mm/hr)	누적강우량(mm)
열차정상운행		0~40	0~167
경계발령	강우상황	40~50	167~208
	약한 강우	0~2.5	208~430
열차서행	강우상황	50~60	208~250
	약한 강우	2.5~5	250~430
열차정지	강우상황	60이상	250이상
	약한 강우	5이상	250이상

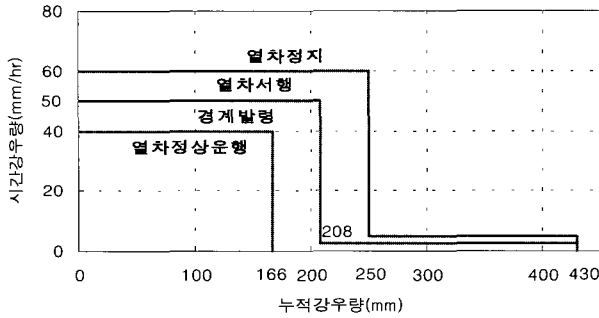


그림 6. 고속철도의 안전운행을 위한 강우시 열차운전규제기준(안)

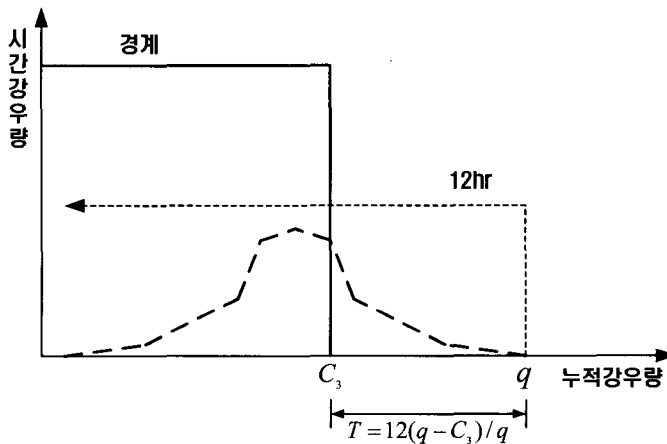


그림 7. 운전규제 해제방안 모식도

운전규제 등의 해제의 판단은 가능하면 강우가 종식경향을 보이는 것을 확인한 후 시행되어야 한다. 특히 누적강우량이 기준을 초과한 후에 있어 경계의 해제는 위에서 기술한 강우중단시간  $T$ 가 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. 결 론

철도의 안전운행을 위한 3가지 주체는 재해우려 시설물을 추출하고 건전도를 평가하는 검사와 방호/대책공 설치 및 재해감지장치 설치 등의 방호대책 그리고 자연재해에 대한 열차운전규제기준을 들 수 있다.

본 연구에서는 강우시 고속철도의 안전한 운행을 위해 현재 설정되어 운용 예정인 강우시 운전규제를 위한 경계우량의 문제점을 파악하고 보완함에 의해, 보다 나은 강우시 고속철도 안전운행을 위한 경계우량으로 재설정 가능하였으며, 이를 이용하여 CTC 등의 중앙통제기구에서 정상운영·경계발령·열차속도규제·운전정지의 4단계로 강우상황에 따라 열차의 안전을 명확하게 확보할 수 있으며, 자연재해 발생 최소화에 기여할 수 있을 것이라 판단된다. 추후 지형적 특성 및 강우의 국지적 성격을 반영할 수 있도록 지속적으로 강우시 열차운전규제기준이 개발되어야 하며, 더 나아가 현행의 통계적·경험적 방법에서 탈피한 공학적 개념을 갖는 열차운전규제기준의 개발이 필요로 된다.

#### 참 고 문 헌

1. '철도시설물안전성강화기술개발' 연구보고서, 건

- 교부 건설교통기술혁신사업, 2002.9,
2. '강우시 선로 및 사면방재를 위한 강우자동경보 장치개발' 연구보고서, 한국철도기술연구원 기업 공동연구, 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. '降雨に関する運轉規制等要領(在來線)解説(平成2년 5月)', JR東日本