

폭우로 인한 열차사고 예방에 관한 연구

김기영* · 서규석* · 최병기* · 강경식**

*명지대학교 산업경영공학과 · **명지대학교 안전경영연구소

A Study on the Prevention of Train Accidents Caused by Heavy Rains

Ki Young Kim* · Gyu Suk Seo* · Byung Gie Choi* · Kyung Sik Kang**

*Department of Industrial Management Engineering, Myongji University

**Safety Management Laboratory, Myongji University

Abstract

The specific feature of trains as a means of transportation is that, on one side, at once they can carry big loads but, at the same time, if an accident occurs, it potentially leads to many human casualties or big material losses.

Especially, train accidents caused by bad weather conditions result in many fatal losses of human lives and property. In Korea many railways run either in mountainous areas or along rivers thus making them especially susceptible to natural hazards. The types of damages inflicted by heavy rains resulting from rapidly changing meteorological conditions are diverse; and not only their scope is big but also they repeat regularly.

Consequently, this study analyses the reasons why such effects of heavy rains on the railway conditions, damage to the railways caused by heavy rains or cases of stone fall as well as other types of accidents are not avoided. Study also, on the basis of laws related to movement in poor weather conditions and specifics of train braking, identifies systematic and technical problems and suggests and emphasizes new complex measures on their prevention.

Keywords : Analysis of heavy rain consequences, Problem identification and countermeasures.

1. 서론

열차는 1회의 운행으로 대량수송을 할 수 있는 장점이 있으나, 한 번의 사고로도 많은 희생자를 낳거나 매우 큰 손실을 가져올 수 있는 특성이 있다.

열차운행 중 자연재해로 인한 위험성은 매우 크며, 더욱이 최근 들어 지구의 온난화와 기후변화로 인하여 과거와는 다른 날씨패턴을 보이고 있다. 특히, 우기에는 국지성 집중호우의 발생을 사전에 예측하기가 매우 어려운 실정이다.

폭우란 국지성 집중호우와 같은 뜻으로 짧은 시간에

좁은 지역에서 많은 양의 비가 내리는 현상을 말한다.

즉, 시간과 공간의 집중성이 매우 강한 비를 의미하며, 일반적으로 한 시간에 30mm이상이나, 하루에 80mm이상의 비가 내릴 때 또는 연 강수량의 10%에 상당하는 비가 하루에 내리는 정도를 말한다. [1]

우리나라의 철도는 산악지역과 하천을 따라 부설되어 있는 곳이 매우 많아 집중호우와 같은 악천후의 영향으로 하천이 범람하여 선로가 침수되거나 유실되는 경우도 있으며, 선로연변의 산기슭에서 산사태 또는 낙석이 발생되어 열차운행선내로 유입되는 등 다양한 형태로 열차운행에 위협을 받고 있다.

† 본 논문은 명지대학교 안전경영연구소 협력에 의해 이루어진 논문 임.

† 교신저자: 김기영, 충북 제천시 영천동 1105 번지 철도 1관사 6-1호

M · P : 010-4211-1869, E-mail : kgy1326@hanmail.net

2009년 1월 접수; 2009년 2월 수정본 접수; 2009년 2월 게재확정

이와 같이 폭우로 인하여 열차운행 선에 돌발적인 사태가 발생되었을 때, 위험성을 사전에 감지하지 못하고 여객열차가 정상적인 속도로 통과한다면 매우 큰 사고로 이어질 수도 있다. 하지만 어떠한 사고라도 그 손실의 발생은 재해의 형태에 따라서 이루어지는 것이 아니라 여러 가지 주변 환경의 조건에 의하여 그 경·중이 결정될 수 있는 것이다. [2]

예상치 못한 국지성 폭우가 내려도 열차운행에 전혀 영향을 미치지 않도록 배수관로 확보나 산사태를 방지하기 위한 옹벽구축 등과 같은 시설 적 측면의 1차적 대책이 가장 먼저 선행되어야 한다.

그러나 시설 적 측면의 안전대책은 한계점이 있으므로 많은 노력과 투자에도 불구하고 우기에 많은 양의 비가 내리면 그 역할을 완벽하게 다하지 못하고 재해가 또다시 발생하는 악순환을 되풀이 하고 있다.

따라서, 기상악화로 폭우가 발생하여 재해의 우려가 있을 때, 이를 사전에 즉시 감지하고 적의 안전조치를 취할 수 있도록 하기 위한 시스템적 대책과, 이미 열차운행 선에 폭우로 인하여 다양한 형태로 이례사항이 발생되었을 때, 접근하는 열차의 기관사가 전방에 돌발 상황을 인지하고 직접사고로 이어지는 것을 방지하기 위한 기술적 위기관리방안을 본, 연구를 통하여 제시하고자 한다.

2. 연구방법 및 범위

2.1 연구방법

열차운행 중 급격한 폭우현상으로 인하여 나타나는 2차적인 돌발 상황에서 사고위기에 대처하기 위한 방안을 모색하고자 폭우가 열차운행 선에 어떠한 형태로 위험성을 주고 있는가를 분석하였으며, 분석결과를 뒷받침하기 위하여 폭우의 영향으로 인해 발생되었던 사고현황을 형태별로 분류하여 조사하였다.

또한 폭우로 인한 돌발적인 상황에서 열차사고를 예방하기 위한 관계법규를 분석하여 제도적 문제점을 도출하였으며, 열차운행 중 기관사가 위험성을 인지하였을 때 사고를 모면하기 위하여 비상정차조치를 취한 후 열차가 완전히 정차할 수 있는 비상제동 가능거리를 분석하여 기술적 문제점을 발견하고 이에 따른 안전대책을 도출하였다.

2.2 연구의 범위

우리나라의 철도는 현재 한국철도공사가 운영하는 국철과 지방자치단체가 운영하는 도시철도(지하철)로 구분하나 본, 연구에서는 한국철도공사에서 운영하는 국철을 대상으로 하였으며, 자연재해 현상 중 열차운행에 다양한 형태로 위험을 주고 있는 폭우의 영향을 중심으로 연구하였다.

3. 폭우로 인한 영향평가

3.1 폭우로 인한 위험성분석

폭우는 짧은 시간에 많은 양의 비가 내리게 되며, 매우 다양한 형태로 열차운행에 위험을 초래하고 있을 뿐만 아니라, 피해도 매우 크다.

특히, 우기에는 평상시와 달리 장기간에 걸쳐 매우 많은 강수량을 보이게 되므로 강 수위가 높아지게 된다. 이때, 선로연변에 많은 양의 국지성 폭우가 내리게 되면 하천이 범람하게 되고, 배수로가 제 역할을 다하지 못하는 경우, 배수불량현상 등으로 <그림 1>과 같이 열차운행선로가 유실되거나 침수되는 현상이 발생하게 된다. [3]

또한, 아래 <그림 2>에서 보는바와 같이 폭우로 인하여 선로연변의 산기슭이나 비탈면의 지반이 약해지게 되면, 산사태 및 낙석 등이 발생하여 열차운행 선내로 유입되기도 한다.



<그림 1> 폭우로 인한 선로침수 및 유실



<그림 2> 선로위로 떨어진 낙석

이와 같이 예상치 못한 폭우로 인하여 열차운행 선의 선로가 유실되거나 낙석, 산사태 등과 같은 위험성이 발생할 수 있다.

더욱 위험한 것은 열차운행 선에 돌발 상황이 발생되었을 때, 기관사가 위험성을 사전에 감지하지 못하였거나, 감지하였더라도 발견거리가 너무 짧을 경우 비상정지에 필요한 제동거리부족 등으로 위험 점을 통과하면 열차가 전복되거나 탈선되는 등 매우 큰 사고로 이어질 수 있다.

3.2 재해사례분석

<표1>은 최근 3년간 폭우가 원인이 되어 발생한 재해건수 현황으로, 이를 분석해보면 폭우로 인한 재해는 연 평균 10건이 발생하였다. 또한 연도별로 증가와 감소를 반복하는 것을 알 수 있다. 이는 당해 연도의 기상변화에 따라서 재해발생빈도도 함께 변화하는 것으로 분석된다. [4]

아래의 <표2>는 폭우가 원인이 되어 2차적으로 발생한 재해건수를 형태별로 분류한 것으로서 열차의 정상운행에 지장을 초래한 직접원인으로 볼 수 있다.

아울러, <표1>과 <표2>를 비교·분석해 보면 2005년도에는 폭우의 원인으로 인한 재해건수가 7건인데, 비하여 같은 해에 선로가 유실되거나 침수된 재해는 단 한 건도 없다.

낙석 및 산사태와 수목전도 등의 재해만 7건이 발생한 것으로 보아 선로 변 하천이 범람하여 선로에 영향을 줄 정도로 강우량이 많거나 지속적으로 내리지는 않았으나, 산악지역을 통과하는 선로연변에 국지성 폭우가 발생하여 이와 같은 결과가 나타난 것으로 분석된다. [4]

<표1> 폭우로 인한 재해발생건수

원인 \ 년도	2005	2006	2007	계(건)
	폭우	7	13	

<표2> 재해형태별 발생건수

재해형태 \ 년도	2005	2006	2007	계	총계(건)
	선로유실 및 침수	0	7	4	
낙석 및 산사태	2	2	3	7	
수목전도	5	4	3	12	

또한 폭우의 영향으로 최근 3년간 총 30건의 재해가 발생하였으며, 그 중 선로유실 및 선로침수가 차지하는 재해비율은 36.7%로 연 평균 3.7건이 발생하였다.

산사태와 낙석으로 인한 재해는 23.3%로 연 평균 2.3건이 발생하였으며, 수목전도재해가 40.0%에 연 평균 4건이 발생한 것으로 분석되어, 폭우로 인하여 가장 많이 발생하는 재해는 수목전도이며, 그 다음은 선로유실 및 침수, 낙석 및 산사태 순으로 나타났다.

4. 제도적 장치 및 비상제동력 분석

4.1 위기관리를 위한 제도적 장치

철도안전관리규정 제38조(철도운행관련 업무규정의 제정)에 따라 철도운행에 있어서 안전성을 유지하고 재해우려 약천후 조건에 대비하는데 필요한 사항을 정하는 것을 목적으로, 철도운행에 관한 안전지침을 수립하여 시행하고 있는데, 폭우와 같은 기상악화 시 주요지침을 분석하면 다음과 같다.

첫째, <표3>과 같이 철도운행에 관한 안전지침 제37조에 의거 철도기상주의보 및 기상경보를 발령할 때는 기상청의 기상특보발표와 제36조1항(지사의 보고)에 의한 보고 등을 종합 분석하여 재해우려 및 약천후 발생이 예상되는 경우 동 지침 제38조에 의거 본사의 종합관제실장이 철도기상특보를 발령하게 되며, 이때 호우특보발령기준은 <표4>와 같다. [5]

<표3> 철도운행에 관한 안전지침

제37조(철도 기상주의보 및 기상경보) 기상청의 기상특보발표와 제36조1항의 규정에 의한 보고사항 등을 종합 분석하여 제38조 규정에 의한 공사자책 기상주의보 또는 기상경보를 발령 한다.

제38조(철도주의보 및 철도경보의 발령요령) 재해우려 및 약천후 발생이 예상되는 경우에는 본사의 종합관제실장(이하 "실장"이라 한다)이 철도기상특보를 발령한다.

<표4> 철도호우특보발령기준

호우주의보	호우경보
12시간 강우량이 80mm 이상 예상될 때	12시간 강우량이 150mm 이상 예상될 때

<표3>에서 볼 때 철도기상특보는 기상청의 기상특보 발표와 지사의 보고사항을 종합 분석하여 발령하도록 규정하고 있다.

그러나 기상청의 예보에 정확도가 낮은 수준이고, 특히 열차운행과 관련하여 영향을 미치는 악천후 중 가장 큰 위험성이 있는 호우특보의 경우, 최근 5년간 기상청의 예보 적중률은 평균 69.2%로 정확도가 매우 떨어진다. [6]

또한 각 지사 등에서 관할구역의 기상상태를 점검하는데 있어서도 정확한 계측장치에 의하지 않고 선로 순회점검자의 주관적 판단에 따라 보고된다는데 문제점이 있다.

이와 같이 기상청의 낮은 예보적중률과 기관사 및 선로 순회자 등 관계자의 주관적 판단에 따른 보고에 의존하여 악천후로 인한 위험성으로부터 수많은 승객들의 안전을 보장한다는 것은 매우 불안정한 대책인 것이다.

둘째, 철도운행에 관한 안전지침 제40조(기상청 기상특보 및 철도기상특보발령 시 조치)에 의하여 기상특보가 발령되면, 아래의 <표5>에서 보는바와 같이 기상청 기상특보가 발령되었을 때와 철도기상특보가 발령되었을 때로 각각 구분하여 단계적으로 적법한 조치를 취하도록 규정하고 있다. [5]

<표5> 기상특보발령 시 조치사항

제40조(기상청 기상특보 및 철도기상특보발령 시 조치)

①기상청에서 기상특보가 발령되었을 경우 해당지역의 지사장은 철도기상특보가 발령되지 않았더라도 자체적으로 관할 시설의 안전조치에 대한 확인점검 및 비상연락체계를 확보하고 적의의 필요한 안전조치를 우선 시행하고, 철도주의보 발령에 대비하여야 한다.

②철도기상특보를 발령하였거나 다른 발령 권에 의하여 발령되었을 경우, 해당지역의 각 분야별 조치는 다음 각 호와 같다.

가. 주의보발령 시 철도재해를 예방하기 위하여 소속직원으로서 하여금 담당구역을 순회하도록 하여야 한다.

나. 경보발령 시 지사장(시설팀장), 은 재해우려지역과 시설에 감시원을 배치하여야 한다.

다. 경보발령 시 기관사는 재해우려지역을 15km/h 이하의 속도로 운전하여야 하며, 열차운행에 위험이 있다고 판단되면 즉시 정차하여야 한다.

기상청의 기상특보가 발령되면 관할 시설의 안전조치에 대한 확인점검을 하고 철도호우주의보를 발령하면, 소속직원을 지정하여 담당구역을 순회하도록 되어 있으며, 호우경보가 발령되면 재해우려지역과 시설에 감시원을 배치하도록 규정하고 있다. <표4>로 볼 때 철도호우주의보 발령기준은 12시간 강우량이 80mm 이상 예상될 때 발령하게 되어 있다는 점과 호우경보는 12시간 강우량이 150mm 이상 예상될 경우 발령한다.

순회과정에서나 감시원배치만으로 폭우가 내리는 악조건에서 시야확보의 어려움 등으로 인하여 갑작스런 산사태나 낙석 등의 위험성을 사전감지 하고 조치를 취한다는 것은 실효성이 매우 낮을 수밖에 없다.

또한 철도호우경보가 발령되었을 경우 사전에 지정되어 있는 재해우려개소와 시설에 대하여만 열차의 속도를 15km/h 이하로 통과하도록 제한하며, 감시자를 배치하게 되어있다.

그러나, 국지성폭우 등으로 예상치 못한 장소에서 돌발 상황이 발생되었을 경우, 안전하다고 판단하여 정상 속도로 운행하던 열차는 예상치 못한 위험성으로 대형 사고가 발생할 수 있는 것이다.

4.2 돌발 상황 시 열차의 비상제동력 분석

폭우가 원인이 되어 2차적으로 선로유실 및 침수, 수목전도, 산사태 및 낙석 등이 발생되었을 때 이를 어느 정도 신속하게 감지하고 적의의 조치를 취하느냐에 따라 사고의 유·무가 결정될 것이다.

열차를 운행하는 기관사가 전방에 예상치 못한 선로 유실 또는 낙석 등과 같은 위험성을 감지할 수 있는 투시거리에는 한계점이 있다. 특히 야간이나 폭우가 내리는 상황에서 시야확보는 더욱 좁아질 수밖에 없다.

이와 같은 조건에서 돌발 상황을 인지하고 비상정지를 위한 제동을 체결했을 때 위험 점을 통과하기 전에 정차를 하게 되면 사고는 발생하지 않는다. 그러나 통과하게 되면 사고가 발생하게 되며, 또한 얼마나 빠른 속도로 열차가 위험 점을 통과하느냐에 따라서 그 사고의 경·중이 결정된다.

열차의 특성상 통상적인 비상제동거리는 식 (4)에서 보는바와 같이 매우 길므로 돌발적으로 나타난 위험 점을 통과하기 전에 정차하기란 매우 어렵다. [7]

$$\text{제동거리} = \text{공주거리} + \text{실제동거리} \quad \text{식 (4)}$$

$$(1) \text{ 여객열차의 비상제동거리 } S = \frac{V^2}{20}$$

$$(2) \text{ 화물열차의 비상제동거리}$$

공차인 경우 $S = \frac{V^2}{14}$, 영차인 경우 $S = \frac{V^2}{10}$

영·공차혼합인 경우 $S = \frac{V^2}{12}$

여기서, S : 거리(m), V : 열차속도(km/h)

영차 : 화물을 적재한 열차

공차 : 화물을 적재하지 않은 열차

위, 식 (4.1)을 근거로 대입하여 비상제동거리를 계산하면 80km/h로 운행하고 있던 여객 열차의 경우, 기관사가 운행선 전방에 낙석이 발생되어있음을 감지하고 비상 변을 작동한 시점으로 부터 완전히 비상정지 할 때까지의 제동거리는 320미터에 이른다.

$$S : \frac{V^2}{20} = \frac{80 \times 80}{20} = 320m$$

이와 같이 비상정차에 필요한 거리로 보아 알 수 있는 것은 철도가 직선으로만 부설되어 있는 것이 아니라, 산악과 하천을 따라 곡선으로 설치되어 있는 구간과 수많은 터널을 열차가 통과하고 있다는 점을 감안하면, 폭우로 인한 각종 돌발 상황이 전방에 발생되었을 때 열차를 운행하는 기관사가 전도주시를 철저히 하고, 신속히 대처하여 사고를 방지하기란 매우 어렵다고 분석된다.

5. 결론 및 제언

예상치 못한 기상이변현상은 최근에 와서 우리나라 뿐만 아니라 세계 각국에도 큰 영향을 주고 있으며, 이러한 기상의 급 변화로 발생하는 폭우의 영향이 열차 운행에 있어서도 매우 큰 위험성을 주고 있다는 점을 본, 연구를 통하여 알 수 있었다.

또한 이에 따른 재해예방대책수립 및 시행에도 많은 문제점이 있는 것으로 분석되어 다음과 같은 대책을 강구하여 제시하고자 한다.

첫째, 열차운행에 안정성을 유지하고자 폭우로 인한 재해가 예상되는 경우, 철도호우특보를 발령하고 조치를 취함에 있어 실질적이고 정확한 계측을 위하여, 현재 고속(K.T.X) 선에만 설치되어있는 기상검지장치 즉, 기상조건을 검지하고 관련정보를 실시간으로 고속관제

센터에 전송함으로써 운행가능여부, 속도감속 등 운행 제한을 정확한 계량화에 의하여 판단하도록 하는 설비를 열차안전운행확보 차원에서 기존의 전 철도노선으로 확대구축 하여야 한다.

특히 재해우려개소로 지정관리하고 있는 장소에는 더욱 시급히 도입하여 선로연변에서 발생하는 폭우로 인한 재해에 체계적으로 대응하여야 할 것이다.

둘째, 폭우로 인하여 돌발적으로 발생하는 산사태 및 낙석 등, 다양한 형태의 위험성을 인간의 철저한 점검 활동만으로 사전에 발견하여 사고를 예방한다는 것은 현실적으로 어렵다.

또, 열차를 운행하는 기관사가 전방에 돌발 상황을 목격하여도 투시거리의 한계와 비상제동거리의 한계 때문에 위험 점 통과 이전에 비상정차를 시켜 사고를 방지한다는 것도 불안정한 대책으로 분석되었다.

그러므로 기관차에서 운행선 전방에 선로상태를 충분히 거리에서 투시하여 장애를 감지하였을 경우, 비상경보음이 울림으로서 운전 중인 기관사에게 비상사태 발생을 주시시켜주고, 동시에 모니터를 통하여 상황을 판단하고 이에 즉시 대처할 수 있는 방호장치 또는 비상정지를 위한 자동제어시스템 등의 도입이 요구된다.

최근 들어 저탄소 녹색성장의 정책에 따라 철도노선은 더욱 확대하여 나가고 있으며, 경영혁신을 위한 자구노력이 활기차게 하고 있다. 그러나 폭우와 같은 악천후 등으로 인한 열차사고가 근절되지 않는다면, 공기업으로서의 철도공사는 국민적 지탄을 모면하기 어려울 뿐만 아니라 목표달성을 저해하는 가장 큰 원인이 될 것이므로 안전사고예방을 위한 투자와 노력에 애감이 없어야 할 것이다.

6. 참고 문헌

- [1] 기상청, 기상배움터, “용어사전,” (2008)
<http://www.kma.go.kr/index.html>
- [2] 강경식외 25인, “안전경영 과학론,” (2006):11
- [3] 한국철도공사, “자연재해발생 통보,” (2008):2-3
- [4] 한국철도공사, “2007철도사고보고서,” (2008):38-41
- [5] 한국철도공사, 업무포털, “법무관리,” (2008)
<http://www.korail.com/>
- [6] 기상청, “국정감사 주요업무보고,” (2007):4
- [7] 한국철도공사, “운전이론,” (2006):62-63

저자 소개

김기영



충주대학교에서 공학석사학위를 취득하였고, 명지대학교 산업공학과 박사과정에 재학 중이며, 주요 관심분야는 안전관리, 인간공학 등이다. 현재 한국철도공사 충북지사에서 근무하고 있다.

주소: 충북 제천시 영천동 1105번지 철도 1관사 6-1

서규석



충주대학교에서 공학석사학위를 취득하였고, 명지대학교 산업공학과 박사과정에 재학 중이며, 주요 관심분야는, 산업재해보상보험법, 안전관리 등이다. 현재 한강노무법인의 원장으로 재직 중이다.

주소: 충북 충주시 가금면 창동리 산 21-12

최병기



연세대학교 경제대학원에서 경제학 석사학위를 취득하였고 명지대학교 대학원 산업공학 박사과정에 재학 중이며, 관심분야는 안전관리, 국제HRD 등이다. 한국산업인력공단에서 국제협력국장으로서 재직하고 있다.

주소: 서울 마포구 마포동 442번지 마포보성아파트 102동 1205호

강경식



현 명지대학교 산업공학과 교수, 명지대학교 안전경영연구소 소장, 명지대학교 산업대학원 원장, 대한안전경영과학회 회장, 경영학박사, 공학박사

주소: 경기도 성남시 분당구 정자1동 파크뷰 APT 611동 3103호