

# 철도 노반유실검지시스템 구축에 관한 연구

## A Study on the Sensing System Construction of a Missing Roadbed

김기영\*·강경식\*\*

Ki Young Kim\*·Kyung Sik Kang\*\*

### Abstract

A railroad has a benefit of the mass transportation of a passenger and cargo, but just a time of accident could cause a huge loss of a human life and property.

Especially, a typhoon and a localized torrential downpour usually happened in summer season have caused average 38.29 times of the missing roadbed which support the railroad in recent 7 years. If a train would pass on this railroad which the roadbed was missed, there could be a huge accident and many people will die.

But, the security issue is not satisfied because the method of sensing the missing roadbed is depending solely on the naked eye inspection by a person in charge. So, in this study, I would like to suggest the missing roadbed real-time sensing and train operation system to reduce the possibility of the railroad accident by controlling the operation of train when the missing roadbed condition would be sensed in the real-time system.

**Key-words** : missing roadbed, sensing system, localized torrential downpour, tension, displacement value

### 1. 서론

철도산업이 발전함에 따라 열차운행횟수가 증가하고 고속철도(K.T.X)의 경우 시속 300Km까지 운행하는 등 열차운행속도 또한 빠르게 향상되고 있다. 이에 따라 열차의 안전운행확보도 보장되어야 할 것이다.

---

본 논문은 명지대학교 안전경영연구소 협력에 의해 이루어진 논문 임.

\* 명지대학교 산업경영공학과

\*\*명지대학교 안전경영연구소

열차사고는 단, 한 번의 발생으로도 매우 많은 인명피해와 재산상의 손실을 초래하는 등 사고가 대형화된다는 점을 간과해서는 안 된다. 그 실례로 1993년 3월 28일에 발생한 구포열차전복사고는 승객이 무려 78명이나 사망하고 163명이 중경상을 입는 대형 사고였으며, 참사의 원인은 열차운행선상에 노반침하가 발생된 것을 감지하지 못하고 열차를 정상속도로 운행하였기 때문이었다. 이와 같이 열차운행 중 발생하는 전복사고는 대부분 운행선상에 선로가 유실되었거나 지반침하현상 등이 발생된 것을 사전에 감지하지 못한 것이 가장 큰 원인이었다.

현재 국내의 국유철도는 한국철도공사에서 운영하고 있으며, 철도시설에 대한 건설은 한국철도시설공단에서 담당하는 등 건설과 사용이 이원화되어있다[1]. 철도시설은 초기 계획 및 건설단계부터 자연재해로 인한 사전안전성평가 등 철저한 연구·분석을 통하여 건설하는 것이 매우 중요하다. 그러나 국내철도는 이미 110년이란 긴 역사를 가지고 있으므로 대부분 일제강점기를 전·후로 부설된 곳이 많고 당시의 기술적 낙후성 및 시대적 상황 등으로 견고하게 시공되지 못한 것이 사실이다.

따라서 집중호우로 인한 철도피해가 가중되고 있으며, 특히 철도노반유실현상이 발생될 경우 열차운행 중 대형 사고를 유발할 수 있어 이에 대한 안전관리가 절실히 필요함으로 본 연구를 통하여 노반의 상황을 실시간으로 모니터링하고 정량적 데이터에 의해 위험성을 관리할 수 있도록 시스템을 구축하고자 한다.

## 2. 노반유실의 원인 및 피해분석

### 2.1 노반유실의 원인

집중호우는 지속 시간이 수십 분에서 수 시간 정도이며, 비교적 좁은 지역(보통 반경 10~20 km 정도)에 집중적으로 내린다. 또한 천둥·번개를 동반하기도하며, 태풍·장마전선·발달한 저기압·수렴대 등에 동반되어 2~3일간 지속되기도 한다[2].

이와 같은 집중호우현상이 철도연변에 발생될 때 토사면 붕괴는 대부분 강우 전 불포화 상태에서 존재하던 부(-)의 간극수압(모관흡수력)이 강우로 인해 사면 내 함수량이 증가함에 따라 점차 감소하고 결국 전단강도의 감소가 유발되어 발생한다[3].

그러나 아래 [그림 2.1]에서 보는 철도노반유실현상은 다음과 같이 발생 원인을 달리 해석할 수 있다. [그림 2.1]의 <A>는 집중호우가 발생될 때 열차운행선상부의 비탈면 등에서 계곡으로 급격하게 유입된 계곡수의 증수로 철도노반하부에 배수단면부족현상을 초래하며 노반이 유실된 상황이며, <B>는 노반자체가 연약지반상태에서 계속된 침투수의 영향으로 함수율이 상승하며 유실된 현상이고, <C>는 터널입구에서 발생된 노반붕괴현상으로 터널내부에서 발생된 유출수 및 노반상부에서 유입된 우수가 원인이며, <D>의 경우는 노반을 따라 형성된 결 도랑이 호우로 증수되며 성토노반에 붕괴가 일어난 현상이다. 이와 같은 원인 외에도 철도연변에 하천이 있는 경우 하천의 범람으로 노반에 침식작용을 일으키며 유실로 발전할 수 있고, 선로횡단하수의 영향 등도 노반유실의 원인이 되고 있다.



[그림 2.1] 호우로 인한 철도노반 유실

## 2.2 호우로 인한 철도노반 피해분석

아래 <표 2.1>는 최근 7년간 발생한 철도호우피해 502건 중 피해발생률이 높은 5순위까지를 보여주고 있으며, 노반유실, 궤도매물, 산사태, 옹벽전도, 선로침수 순으로 많이 발생되고 있음을 알 수 있다.

이는 최근 7년간 발생한 총 피해대비 82.07%에 해당하고 그 중 본 논문의 주제가 되는 철도노반유실피해가 268건이며, 전체피해의 53.39%로 가장 많이 발생하였다.

따라서 최근 7년간 발생한 노반유실피해는 연평균 38.29건, 궤도매물 10.57건, 산사태 4.29건, 옹벽전도 3건, 선로침수 2.71건으로 분석된다.

<표 2.1> 최근 7년간 호우피해 종류별 상위 5순위[4]

순위	피해종별		
	피해종류	발생수(건)	발생빈도(%)
7년 계		502	100.0
1	노반유실	268	53.39
2	궤도매몰	74	14.74
3	산사태	30	5.98
4	옹벽전도	21	4.18
5	선로침수	19	3.78
5순위 계		412	82.07

### 2.3 노반유실 위험성관리 실태 및 문제점 분석

현재 국유철도에는 호우에 의한 재해예방대책으로 고속철도(KTX)에는 강우량 및 풍속을 실시간으로 검지하는 기상검지시스템이 구축되어 있으며, 낙석 및 산사태 또는 차량이 선로위로 낙하하는 것을 감지하기 위한 철도지장물 검지시스템이 있다[5].

기존 일반철도에는 우량계를 설치하여 일정수준의 강우량을 감지하였을 경우에는 경보음이 울리도록 하는 강우자동경보시스템이 구축되어 있다. 그러나 이와 같은 지장물 검지장치는 선로위에서 발생하는 위험성을 감지하기 위한 시스템이며, 기상검지장치 및 강우자동경보시스템은 선로연변에 내리는 강우량 등의 정보를 파악하고 열차운행을 통제하기 위한 시스템일 뿐, 철도노반이 유실되었을 경우 이를 즉시 확인할 수 있는 시스템은 없다.

또한 철도운행에 관한 안전지침에 의하여 기상청의 기상특보가 발령되면 관할 시설의 안전조치에 대한 확인점검을 하고 철도호우주의보를 발령하면, 소속직원을 지정하여 담당구역을 순회하도록 하며, 호우경보가 발령되면 재해우려지역과 시설에 감시원을 배치하도록 규정하고 있다[6].

그러나 철도노반유실의 위험성을 주는 호우특보에 대한 기상청의 예보 적중률은 최근 5년 평균 69.2%로 정확도가 매우 떨어진다는데 문제점이 있다[7].

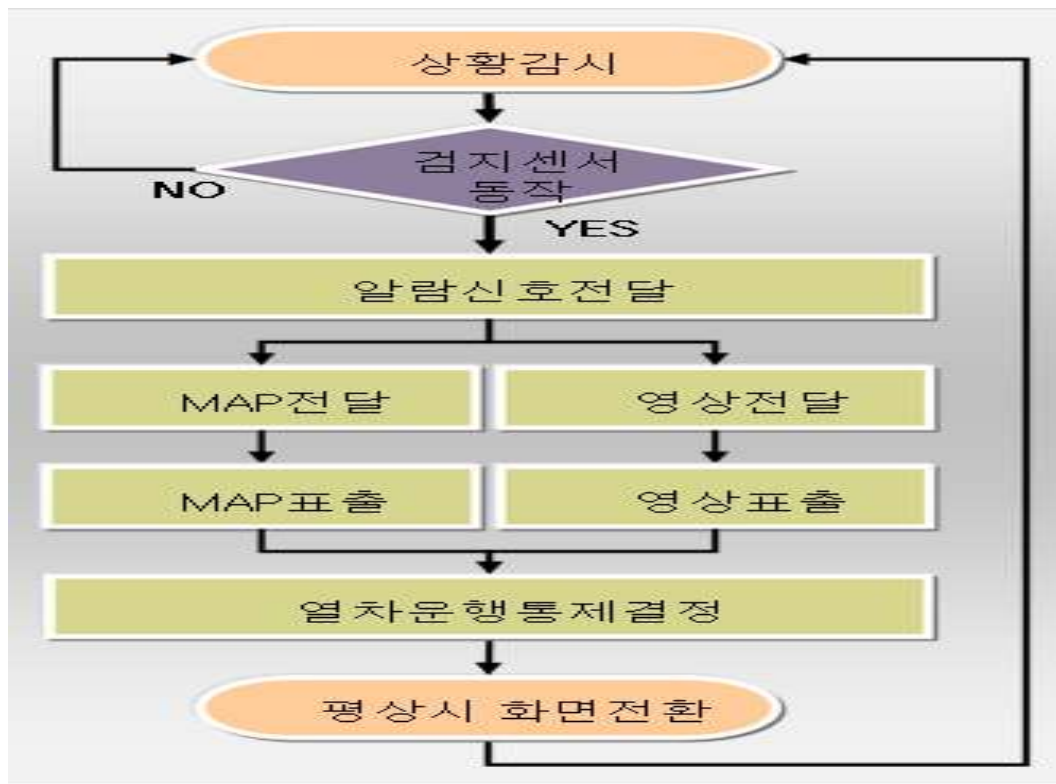
또한 철도호우주의보 발령은 12시간 강우량이 80mm이상 예상될 때, 철도호우경보는 12시간 강우량이 150mm이상 예상될 경우 발령한다, 이때 재해예방을 위하여 호우특보 발령 수위에 따라 해당 직원에게 담당구역을 순회하게 하거나 재해우려지역과 시설에 감시원을 배치하도록 규정하고 있다. 그러나 이와 같이 기상청의 낮은 예보적중률과 선로 순회자 등 관계자의 보고에 의존하여 열차안전운행을 보장한다는 것은 신뢰성이 떨어질 뿐만 아니라 매우 불안정한 대책으로 사료된다.

### 3 검지시스템 구축방안

#### 3.1 검지시스템의 운영체계

집중호우 등의 영향으로 철도노반이 유실되는 경우 실시간 감지를 목적으로 수행하는 본, 연구의 노반유실 검지시스템운영 시나리오는 아래 [그림 3.2]에서 보는 바와 같으며, 노반유실 검지시스템은 현재의 인간에 의한 노반유실 인지방법을 과학적이면서도 실시간으로 검지방안이다. 따라서 신뢰도가 높아야하며, 유실정보를 신속정확하게 입수할 수 있어야 한다.

본, 시스템은 노반유실 검지와이어 및 현장감시용 카메라가 노반의 상황을 상시 감시하며, 노반유실현상이 발생하는 순간 검지기 내부에 설치된 검지센서에서 유실정보를 입수하고 알람신호를 철도관제센터에 전송하게 된다. 이때 철도관제센터의 근무자는 시스템모니터를 통하여 노반유실발생 위치를 정확하게 확인할 수 있다. 아울러 노반유실 우려구간에 설치된 감시용 카메라를 통하여 유실상황을 모니터링하면서 동시에 2초 간격으로 전송되는 텐션와이어의 변위 값을 확인하고 열차운행통제를 결정하게 된다.



[그림 3.2] 시스템의 운영시나리오

## 3.2 시스템의 주요구성 및 기능

### 1) 노반유실 검지용 지주 및 텐션와이어

철도노반유실이 발생될 때 실시간으로 검지하는 시스템을 구축하기 위하여 가장 기본이 되는 것은 노반비탈사면에 설치하는 현장 검지설비이다. 와이어 텐션에 변화 값을 이용하기 위해 유실우려 비탈사면에는 일정간격으로 지주를 고정하고 와이어를 설치하여 텐션 값을 입력하게 된다. 이때 지주 및 와이어의 설치는 매설 형을 채택하였다. 이는 앞서 분석하여 알 수 있듯 주로 산악과 하천을 통과하는 노선에서 노반유실이 많이 발생하므로 야생동물 및 기타 노반활동과 관련성 없는 움직임에 의한 오작동을 고려한 결과이다. 아울러 매설에 따른 부식문제의 보상을 위하여 검지와이어 및 지주에 재질은 특수강 처리가 요구된다.

와이어 및 지주는 노반유실을 가장 먼저 검지할 수 있는 위치에 설치되어야 하나 현장의 노반유실우려구간은 높이 및 길이, 환경 등이 모두 달라 특정한 표준을 정할 수는 없으므로 상황에 따라 지주거리 및 설치위치 등이 결정되어야 할 것이다.

### 2) 노반유실 검지기

노반유실 검지를 위한 지주 및 검지와이어 설치 후 검지 선에 텐션을 주고 유실시 텐션의 변화를 검지하기 위한 검지기내부에는 탄소스프링과 검지용 센서가 내장되어 있다.

탄소스프링의 재질은 고탄성소재를 사용한 스프링으로 검지와이어와 연결하고 와이어의 인장하중을 상시 지탱하여 주며 노반유실이 발생하면서 와이어를 밀어 인장력 변화가 발생하면 변위된 인장력을 검지센서부로 전달하게 된다. 탄소스프링을 통한 인장력에 변화를 검지한 센서에서는 전압변동으로 상태 값을 표출하여 전위차 ±값을 검지기자료처리기(Local Process Unit)로 송출하게 된다.

앞서 밝힌 바와 같이 전국철도노선에서는 해마다 집중호우의 영향으로 철도노반유실이 많이 발생되고 있으나 현재 유실우려구간으로 별도 지정·관리되고 있는 곳은 단지 몇 곳에 불과 하다. 그러나 본, 시스템의 연구는 전국 철도노선에 유실위험성이 있는 우려개소가 수백 개 또는 그 이상이 되어도 적용 가능하도록 네트워크방식을 채택하였다.

### 3) 노반유실 검지기자료처리기

자료처리기는 검지기와 운영프로그램을 연결하는 장치이며, 검지기 운영에 필요한 전원을 공급하고 검지센서에 필요한 데이터를 제공함과 아울러 노반유실발생시 검지기로부터 변위된 전위차를 수신하여 검출된 전위차 ±값의 절대치를 측정하고 운영프로그램에 제어 신호를 전송하는 기능을 수행한다.

검지기 자료처리기는 IP방식으로 운영함으로써 시스템관리의 효율성을 높였으며 집중호우 등으로 노반유실이 발생되어 검지와이어의 텐션에 초기설정 값이 변동하게 되면 노반유실복구 후 필요한 데이터 값을 기준으로 텐션이 유지되도록 재설정하여 주는 기능도 함께 수행한다.

## 4. 노반유실 검지시스템의 효과 검증

### 4.1 시스템 검증을 위한 실험과정

본, 연구에서는 노반유실 검지시스템구축에 대한 효과 검증을 위하여 실험용 시스템 모형을 제작하였으며, 실험모형의 크기는 지주와 지주사이(가로)의 간격 2m, 지면과 와이어의 간격(세로)은 1m로 하였다. 또한 텐션와이어의 직경은 2mm의 경강와이어를 사용하고 텐션의 변화를 입수하기 위한 검지기를 지주에 부착하였다.

아울러 검지기에서 전송하는 정보를 변환하여 전위차로 연산 후 송출 하는 기능이 있는 검지기자료처리기와 연동하여 변위 값을 직접 확인하고 데이터를 얻기 위하여 사용자 모니터와 연동시켰으며, 최종적으로 와이어의 텐션 기본 값 10을 설정하여 실험준비를 마쳤다.

철도노반유실이 진행됨에 따라 노반 면에 설치된 검지용 와이어는 유실되는 토압에 의해 기본 설정된 텐션 값보다 점차적으로 상승하게 된다.

따라서 본, 실험에서도 텐션와이어에 물리적 힘을 가하고 와이어 텐션에 변화를 실험 장치와 연동한 모니터에 연산처리 된 변위 값이 표시되도록 하였으며, 실험의 신뢰성을 높이기 위하여 와이어에 텐션을 10mm단위로 100mm까지 10회의 변위를 주었으며, 이와 같은 실험을 동일한 방법으로 모두 5회 반복하여 텐션 변화 값에 대한 데이터(Data)는 총 50회를 얻었다.

### 4.2 실험결과

아래 <표 4.1>은 모두 5회의 실험결과에 대한 평균측정값을 나타내고 있으며 아래 [그림 4.1]는 평균측정값을 그래프로 보여주고 있다.

<표 4.1> 5회 평균측정값

기준 값	변위 값 (mm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
27	평균 측정 값	28.2	30.2	33.6	39	45.4	52.6	61.8	72	84.2	98.6
	측정값의 차	1.2	2	3.4	5.4	6.4	7.2	9.2	10.2	12.2	14.4

기준 값은 매회 모두 동일하게 27을 주었으며, 변위 값이 10mm씩 상승할 때의 평균측정값에 변화를 최초 기준 값부터 순서대로 보면 1.2, 2, 3.4, 5.4, 6.4, 7.2, 9.2, 10.2, 12.2, 14.4로 각각 나타났으므로 평균측정값의 차에 대한 평균측정 차는 7.16임을 알 수 있다.



[그림 4.1] 5회 평균측정값

아래의 [그림 4.2]은 검지와이어의 텐션 값 10을 주고, 텐션와이어가 10mm 간격으로 100mm까지 밀렸을 때 운영자화면으로 전송된 변위 값을 보여주고 있다.

LocalHost	센서에 명령어를 전송하였습니다.
LPU01	2 : 1 : 0 : 27 : 27 : 27 : 27 : 27 : 27 : 27 : 27 : 27
LocalHost	센서에 명령어를 전송하였습니다.
LPU01	2 : 1 : 0 : 28 : 28 : 28 : 28 : 28 : 28 : 28 : 28 : 28
LocalHost	센서에 명령어를 전송하였습니다.
LPU01	2 : 1 : 0 : 30 : 30 : 30 : 30 : 30 : 30 : 30 : 30 : 30
LocalHost	센서에 명령어를 전송하였습니다.
LPU01	2 : 1 : 0 : 34 : 34 : 34 : 34 : 34 : 34 : 34 : 34 : 34
LocalHost	센서에 명령어를 전송하였습니다.
LPU01	2 : 1 : 0 : 39 : 39 : 39 : 39 : 39 : 39 : 39 : 39 : 39
LocalHost	센서에 명령어를 전송하였습니다.
LPU01	2 : 1 : 0 : 45 : 45 : 45 : 45 : 45 : 45 : 45 : 45 : 45
LocalHost	센서에 명령어를 전송하였습니다.
LPU01	2 : 1 : 0 : 52 : 52 : 52 : 52 : 52 : 52 : 52 : 52 : 52
LocalHost	센서에 명령어를 전송하였습니다.
LPU01	2 : 1 : 0 : 61 : 61 : 61 : 61 : 61 : 61 : 61 : 61 : 61
LocalHost	센서에 명령어를 전송하였습니다.
LPU01	2 : 1 : 0 : 72 : 72 : 72 : 72 : 72 : 72 : 72 : 72 : 72
LocalHost	센서에 명령어를 전송하였습니다.
LPU01	2 : 1 : 0 : 83 : 83 : 83 : 83 : 83 : 83 : 83 : 83 : 83
LocalHost	센서에 명령어를 전송하였습니다.
LPU01	2 : 1 : 0 : 98 : 98 : 98 : 98 : 98 : 98 : 98 : 98 : 98

[그림 4.2] 인장력 상승에 따른 변위 값의 변화

실험에서 검지와이어 변화에 따른 시간의 제한은 무시하였고 L.P.U에 기본 값은 27로 설정하였다. 텐션와이어가 10mm 밀림에 의해 첫 번째 검지된 변위 값은 28이었으며, 50mm가 밀렸을 때 검지된 변위 값은 45였고, 마지막으로 텐션와이어가 100mm 밀렸을 때 검출된 변위 값은 98을 나타냈다.



실험에서 텐션와이어의 변화는 곧 노반유실로 인한 검지와이어의 변화이다. 따라서 사용자화면에 전송된 변위 값은 노반유실의 정도를 나타내는 것이다. 또한 이 측정 수치로 반복성 및 비주기성을 판단할 수 있으므로 노반이 붕괴되기 시작하여 수치가 지속적으로 상승하면 붕괴의 규모가 점차 확대되고 있음을 의미하며, 일정규모의 붕괴가 발생하고 멈추게 되면 검지기자료처리기(L.P.U)에서 전송하는 데이터 값도 변화되지 않고 최종 수치를 동일하게 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다.

### 4.3 시스템에 대한 안전성평가

본, 시스템은 노반유실을 실시간으로 검지하여 열차가 유실구간을 진입하지 못하도록 함으로서 대형열차사고를 예방하는데 목적을 두고 수행하였다.

철도노반유실현상은 앞서 분석한 바와 같이 여름철에 태풍을 동반한 집중호우의 영향으로 많이 발생되고 있다. 따라서 노반유실 검지시스템도 여름철에 필요성이 가장 크며, 특히 안전성이 유지되어야 한다. 본, 시스템을 안전성면에서 평가하면 다음과 같이 네 가지로 분류할 수 있다.

첫째, 노반유실이 발생되면 검지기에 입력된 기준 값 이상으로 검지와이어에 텐션변화가 발생하고 관제센터모니터를 통하여 유실의 규모를 정량적 데이터로 확인할 수 있도록 하였다.

둘째, 노반유실이 발생하면 검지와 동시에 관제센터에 알람을 경보함으로서 근무자에게 위험성을 주시시켜 주의력을 가지고 상황에 대처하도록 하였다.

셋째, 노반유실이 발생하면 관제센터의 근무자가 즉시 알 수 있도록 유실위치를 명확히 모니터에 표시하는 기능을 가지고 있으며, 아울러 유실현장의 감시용 카메라는 자동으로 유실지점을 찾아 변화되는 현장의 상황을 관제센터의 근무자가 직접모니터링 할 수 있도록 전송함으로서 긴박한 상황에 능동적으로 대처함은 물론 유실현장에 관계자가 도착하기 까지 변화되는 상황을 관찰할 수 있도록 안전성을 높였다.

넷째, 관제센터에서 위험상황을 인지하고 해당노선에 운행되고 있는 열차의 기관사에게 운전규제를 명할 때 발생할 수도 있는 통신두절상황에 대비하여 노반유실이 발생된 폐색구간에 설치된 철도신호기에 노반유실발생과 동시에 정지신호를 현시하도록 폐일세이프 개념의 안전성을 도입하였다.

## 5. 결 론

철도노반유실 검지시스템은 경미한 노반유실현상도 검지할 수 있도록 하였으나, 간혹 발생하는 노반완전유실현상을 실시간으로 검지하여 열차가 위험구간에 진입하지 않도록 함으로서 열차전복 대형 사고를 예방하는데 더 큰 의미를 두고 연구를 수행하였다.

노반유실이 발생할 때 텐션와이어에 인장력의 변화를 검지기에서 입수하여 검지기자료처리기를 거쳐 사용자 모니터를 통해 유실정보를 정량적으로 확인할 수 있다는 것은 이미 실험에서 검증되었다. 따라서 이와 같은 연구의 결과를 실제 적용하는 것도

무엇보다 중요하다.

최근에 건설한 철도는 노반유실우려가 그다지 크지 않다. 근래에 들어 철도건설공법은 매우 발전하였기 때문이다. 그러나 국내철도의 대부분이 일제 강점기에 건설되었거나 수십 년 전에 부설되었기에 기술의 낙후성과 시대적 상황 등으로 견고 하게 설계되지 못한 관계로 집중호우에 더욱 취약하다. 따라서 이와 같이 취약성이 큰 철도노선에는 우선적으로 검지시스템을 구축하여 열차사고를 예방하여야 할 것이다.

## 6. 참 고 문 헌

- [1] 국토해양부(2008), 철도정책
- [2] 기상청(2009), 기상정보 「용어사전」
- [3] 김범주(2008), 「지반의 함수비 조건에 따른 Mohr-Coulomb 강도 정수의 변화」, 한국지반환경공학회, 제9권, 1p
- [4] 한국철도공사(2008), 「수해발생현황분석」
- [5] 한국철도공사(2009), K006신호설비기능
- [6] 한국철도공사(2009), 철도운영에 관한 안전지침
- [7] 기상청(2007), 국정감사 주요업무보고, 4p