

GIS 기반 철도 위험물 수송의 위험도 관리 표준화 방안

A Study on Standardization of Risk Management based on GIS for Railway HAZMAT Movement

팽정광† 김시곤* 박민규**
Paeng, Junggoang Kim, Sigon Park-Minkyu

ABSTRACT

The types and quantities of Hazmat and Hazmat transport are gradually increasing, keeping pace with industrialization and urbanization. There are currently more than 1,000 types of Hazmat, and new types are added every year. At present the safety management for Hazmat transport only considers reducing accident probability, but even when an accident involving Hazmat-carrying vehicles occurs, that is not regarded as a Hazmat-related accident if the Hazmats do not leak out from the containers carrying them. Based on this principle, in turn, the methods to reduce risk ($\text{Risk} = \text{Probability} \times \text{Consequence}$) have to be developed by incorporating accident probability and consequence. By using Geographic Information System (GIS), a technical method was invented and is automatically able to evaluate the consequence by different types of Hazmat. Thus this study analyzed the degree of risk on the links classified by the Hazmat transport pathways. In order to mitigate the degree of risk, a method of 7-step risk management in transporting Hazmat on railway industries was suggested. The 7-step risk management is defined as the following: 1st step: buliding up GIS DB, 2nd step: calculating accident probability on each link, 3rd step: calculating consequence by Hazmat types, 4th step: determination of risk, 5th step: analysis of alternative plans for mitigating the risk, 6th: measure of effectiveness against each alternative, and 7th step: action plans to be weak probability and consequence by the range recommended from ALARP. In conclusion, those 7 steps are recommended as a standardization method in this study.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

첨단 기술의 발전과 산업화·도시화는 위험물의 양과 종류의 증가를 가져왔고, 더불어 위험물 수송도 증가하고 있다. 현재 위험물은 약 10만 종류가 넘고 매년 새로운 위험물이 생겨나고 있지만 아직까지 위험물 수송체계에 대한 효율적 관리가 이루어지지 않고 있다. 위험물 수송은 단지 국내 문제만이 아니라 국제적인 관심사로 다루어지고 있으며, 위험물 수송과 관련하여 국제협정이 일반화되어 있는 상태로 우리도 이러한 국제적 협정에 따라 관련 규정을 준수하고 있다. 1977년 11월 인천에서 고성능 폭발물을 싣고 광주로 가던 화물열차가 이리역에서 정차하던 중 폭발사고를 냈다. 당시 화약류 등의 위험물은 역 내에 대기시키지 않고 바로 통과시켜야 하는 원칙을 무시하였고, 허술한 안전 의식이 인재를 불러왔다는

† 책임저자 : 팽정광, 교통안전공단, 검사운영본부장
E-mail : jgpaeng@hanmail.net

TEL : (031)481-0115 FAX : (031)481-0450

* 정회원, 서울산업대학교 철도경영정책학과, 교수

** 정회원, 서울산업대학교 철도경영정책학과, 박사과정

비판을 받았다. 이렇게 위험물 수송 과정에서 위험물 사고(Accident associated with Hazmat)의 발생은 완전히 피할 수 없지만 가능한 그 피해를 줄이도록 해야한다. 현재까지의 연구 사례를 살펴보면 철도 안전을 위해서 단순히 사고발생 저감을 위한 연구위주로 수행되었지만, 이는 철도 안전 정책의 선택과 실행에 있어 비효율적 측면이 많았다. 즉, 사고발생확률과 피해규모를 감안한 위험도를 관리하기 위한 방안이 필요할 것으로 사료된다.

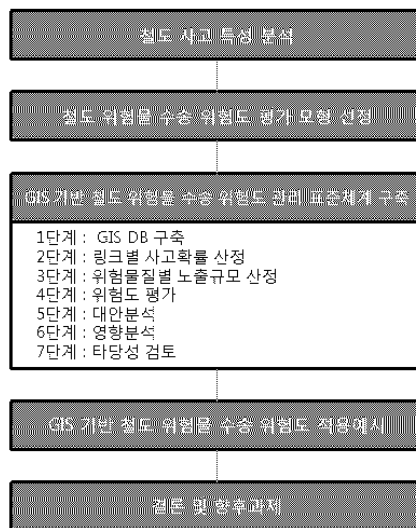
따라서 본 연구에서는 위험물 수송 수단 중 철도 수송에 있어 경로의 링크별 위험도를 분석하고, 이러한 위험도를 낮추기 위한 대책으로 GIS에 기반한 7단계의 위험물 수송 위험도 관리 표준화 방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위

일반적으로 위험물은 생산, 저장, 수송, 저장, 소비까지 총 5단계를 거치고, 특히 수송 시에 사고 발생 확률이 높다. 본 연구에서는 2007년에 발생한 철도 사고 DB를 범위로 선정하며, GIS에 기반한 링크별 위험물 수송 위험도를 도출한다. 이러한 위험도 관리는 위험도 저감 대안을 마련하고 그 영향을 평가한 후 최적 대안을 선정하는 표준화 방안을 마련하도록 한다.

1.3 연구의 추진절차

본 연구의 목적인 위험물 수송의 표준화를 구축하기 위해서는 다음과 같은 추진절차를 거친다.



<Figure 1> 연구 추진절차

2. 철도사고 특성 분석

위험물 수송이 이루어지고 있는 일반철도의 2007년도 사고 발생 특성을 분석한 결과 철도 운행장애를 포함한 205건의 사고가 발생하였고 자살을 제외하면 58명이 사망하였다. 이 중 열차 운행과 직접 관련이 있는 공중사상자 및 건널목 사상자가 47명, 4명으로 전체 사망자의 87%를 차지하고 있다. 따라서 철도 수송 위험물 관리 표준화 방안에서는 위험도 감소를 위한 대안으로 공중사상 및 건널목 사상자를 감소시킬 수 있는 대안을 중심으로 검토하도록 한다.

<Table 1> 일반철도 사고 현황(2007)

	사고 건수	사망자수				
		합계	공중사상	건널목 사상	여객사상	직원사상
발생건수	205	58	47	4	5	2

3. 철도 위험물 수송 위험도 평가 모형 선정

위험물 수송 위험도를 분석하기 위해 검토 가능한 모형은 크게 3가지 모형으로 단순수치 지표법(Enumerative Indices), 회귀분석법(Regression Models), 확률적 위험평가법(Probabilistic Risk Assessment Models) 등이 있다.

3.1 위험도평가 모형 분류 및 선정

3.1.1 단순수치지표법 (Enumerative Indices)

단순수치지표법은 위험물 사고의 발생가능 근원을 화학공장, 위험물 보관소 등으로 나누고, 사고발생시 피해의 규모를 인구밀집, 위험물수송수단, 위험물 종류 등으로 구분하여 순위를 매겨서 위험도를 계산하는 가장 단순한 방법이다. 하지만 정확도 측면에서는 다른 모형에 비해 상대적으로 떨어지는 단점이 있다.

3.1.2 회귀분석법(Regression Models)

회귀분석법은 일일평균교통량, 철도 사고량, 철도 및 선로의 종류 등을 독립변수로 하여 종속변수인 위험도를 계산하는 방법이다. 본 연구에서 위험도를 평가하는 궁극적인 목적이 위험물 최적 수송 경로 선정을 통한 위험도 관리 표준화 방안인 만큼 철도 운송횟수, 철도 사고량 등을 변수로 하는 회귀분석법이 가장 타당한 것으로 판단된다.

3.1.3 확률적 위험평가법(Probabilistic Risk Assessment Models)

확률적 위험평가법은 위험물 사고확률과 사고발생시 피해규모를 조건부 확률(Conditional probability)의 개념을 적용시켜 위험도를 평가하는 방법이며, 가장 정확한 위험도 평가가 가능하지만 활용되는 기초 자료의 획득에 어려움이 있다.

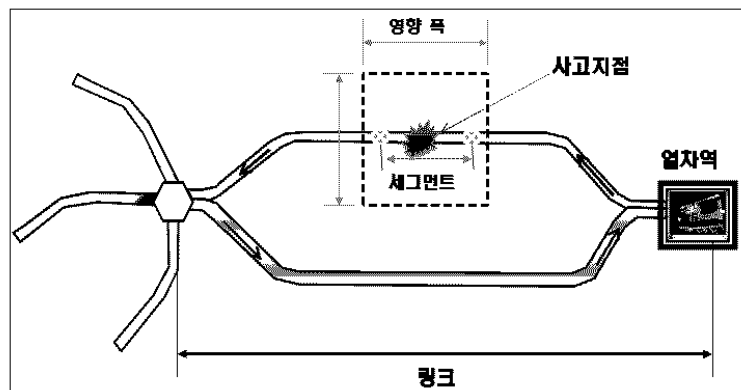
3.2 위험도평가 모형 개발을 위한 전제조건

3.2.1 일반 전제

본 연구에서 철도 위험물 수송에 의한 위험도 분석이란 철도 선로를 이용하여 위험물을 운반할 때 야기되는 위험도에 국한하고 있으므로 제시하고자 하는 위험도 분석 모형은 위험물을 적재, 하역 시의 각종 위험물 사고는 포함하지 않다. 또한, 링크별 위험물 철도 차량이 수반하는 절대적 위험도를 규명하는 것은 힘들기 때문에 상대적으로 링크별 위험정도를 구분하는 상대적 위험도를 제시하고자 하였다.

3.2.2 피해규모 산정을 위한 전제

사고 발생 시 피해규모는 풍향, 지형에 따라 달라지나 일반적으로 위험물질이 미치는 영향폭을 감안하여 원내 포함된 인구, 건물, 환경으로 대체하였다. 또한 계산을 단순화하기 위해 원면적 대신 피해영향폭을 제공한 정사각형의 면적으로 대체하였고, 피해 영향폭은 위험물질별로 상이하나 본 연구에서는 가장 일반적인 2Km로 가정하였다.



<Figure 2> 위험도 분석모형 개발을 위한 기본 용어 설명

3.3 위험도 평가 모형

위험물 수송 시 예상되는 위험도는 크게 위험물 수송 열차의 사고, 특히 위험물 방출을 수반하는 사고 발생확률(Probability)에 비례하고, 동시에 사고발생 지점에서의 피해가능규모(Consequence)에 비례한다. 즉, 위험도는 사고발생확률에 피해가능규모를 곱함으로써 구할 수 있다.

$$\text{위험도}(R) = \text{사고발생확률}(P) \times \text{피해가능규모}(C) \quad \dots\dots\dots(\text{식-1})$$

3.3.1 사고발생확률(P)

위험물 수송 열차의 사고발생 확률은 열차운행 횟수와 링크길이에 영향을 받는다. 우선, 단위 길이당 열차사고발생률(Train Accident Rate)을 구하고 사고발생 시 위험물 노출가능성을 감안한다면 사고발생 확률은 아래와 같이 표현 될 수 있다.

$$P(R)_i = TAR_i \times P(R/A)_i \times L_i \quad \dots\dots\dots(\text{식-2})$$

- 여기서, $P(R)_i$ = 링크 i에서 위험물 수송열차가 야기하는 사고 발생확률
- TAR_i = 링크 i에서 열차사고 발생률(accident veh/veh·km)
- $P(R/A)_i$ = 링크 i에서 열차사고 시 위험물 방출 확률
- L_i = 링크 i의 길이(km)

(1) 열차사고 발생률(TAR_i)

열차사고발생률은 위험물사고발생확률을 결정하는데 가장 중요한 값으로, 이 값은 주어진 링크에 위험물 열차 사고량, 위험물 열차 운행횟수 등에 기초하여 구할 수 있다.

$$HTAR = \frac{\text{Number of Hazmat Train Accidents}_i}{TADT_i \times \text{Number of Hazmat Train Running}_i \times 365 \times \text{Years} \times L_i} \quad \dots\dots(\text{식-3})$$

- 여기서, $HTAR_i$ = 링크 i에서 위험물 열차사고 발생률
- $TADT_i$ = 링크 i에서 일일 열차 운행횟수
- $\text{Number of Hazmat Train Running}_i$ = 링크 i에서 위험물 철도운행횟수
- 365 = 활용된 자료의 기간에 대한 일수
- Years = 활용된 자료의 기간에 대한 년수
- L_i = 링크 i의 길이(km)

(2) 열차사고 시 위험물 방출 확률, (P(R/A))

열차사고발생 시 위험물이 방출하는 확률은 사고마다 다르겠지만, 해당 선로 및 지역별로 그룹핑 하였고, 이러한 확률을 반영하기 위하여 과거 사고기록 데이터에 기초하여 열차 선로의 링크별로 위험물방출확률이 구해질 수 있다.

3.3.2 피해가능규모(C)

위험물 열차사고로 인한 위험물 노출 시 피해가능규모는 사고발생시점과 장소마다 다를 수 있다. 예컨대 중심상업지구 등의 도심지역에서는 인구 및 건물 등이 피해에 많이 노출되고 산악지역에서는 인구 및 건물 등이 거의 노출되어 있지 않다. 또한, 위험물 열차 사고 시 방출되는 위험물의 량에 따라서 피해가능 규모가 달라질 수 있다.

이러한 사실들을 모두 모형으로 나타내기가 쉽지 않을 뿐만 아니라, 제안되는 모형은 상대적 위험도를 평가하기 위한 모형이다. 따라서 피해가능 규모는 단지 위험물질별로 영향을 미칠 수 있는 범위 내에 속하는 즉, 피해 가능한 인명 및 물질의 노출량으로 정의하였다. 구체적으로, 본 연구에서는 인구노출량과 환경노출량을 피해가능 규모를 측정 기준으로 선택하였다. 이를 바탕으로 정리하면 아래와 같이 세 종류의 노출 규모를 감안할 수 있으며, 노출 규모는 사고 발생 시간과 위험물 유형에 따라 달라진다.

<Table 2> 피해 가능규모 측정기준

	사고 시간	
	주간	야간
인구노출	고용 인구	거주자 인구*
토지 노출	토지 이용 형태에 따라 좌우됨 - 거주 지구 - 상업 지구	
환경 노출	강*, 저수지*, 야생 지구 ...	

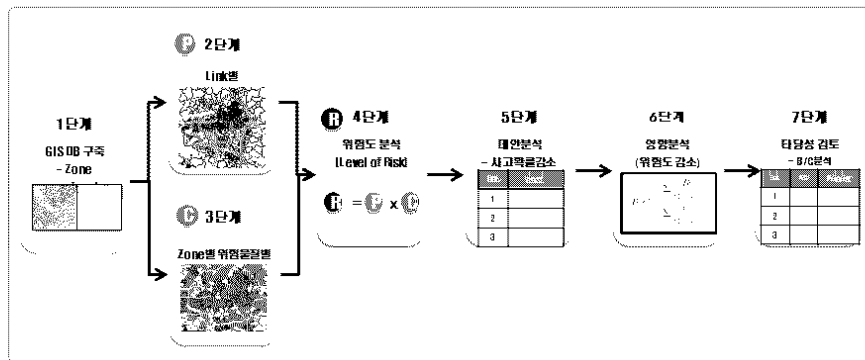
※ 본 연구의 대상

3.3.3 위험도 계산

각 링크별로 사고발생확률과 피해가능규모가 정해지면 이를 곱하여 링크별 상대적 위험도를 구할 수 있으며, 사고발생확률은 모두 같지만 피해가능 규모는 링크별로 크게 인구와 환경으로 구분할 수 있다. 실제로 링크별 위험도를 구하기 위해서는 링크별로 일일열차 운행횟수, 열차사고 발생건수, 사고발생시 위험물 방출 확률, 링크주변의 노출물별 피해 가능 규모 등을 구해야 한다. 하지만, 많은 경우 원하는 자료를 쉽게 구할 수 없을 뿐만 아니라 존재하더라도 극단적인 값일 경우 위험도 값을 왜곡시킬 수 있으므로, 이런 경우를 대비하여 철도 노선, 지역특성별 대표 값을 구한 후 이를 활용하도록 하였다.

4. GIS기반 철도 위험물 수송 위험도 관리 표준체계 구축

철도 위험물 수송 위험도 관리 표준체계를 구축하기 위해 지리정보시스템(GIS)이 기반이 되는 이유는 위험물질별로 달라지는 노출범위(규모)를 자동적으로 계산하는 버퍼(Buffer) 기법 등의 활용이 가능하기 때문이며, 만약 GIS를 사용하지 않고 수작업으로 수행할 경우에는 많은 노동과 비용이 소요된다.



<Figure 3> 위험물질별 도로 O-D간 위험물 수송관리 표준화 절차도

4.1 위험물 수송 표준관리체계

본 연구에서 개발하고자 하는 위험물 수송 표준관리 체계는 향후 SOC 건설, 비상대응 계획 등의 계획용으로 활용될 수 있으며 운영기관에서의 실시간 조치를 위한 운영용으로 활용되기에는 무리가 있다. 이러한 관점에서 철도 위험물 수송 관리를 위해 다음과 같은 7단계의 표준화 절차를 설정하였다.

4.2 GIS DB 구축(1단계)

GIS DB는 위치정보와 속성정보로 구성된다. 위치정보는 지리적 공간형상으로 정의하는 순서를 가진 단순좌표로서 2차원 또는 3차원으로 구성된 점, 선, 면의 형태로 정의되며 점, 선, 면간의 상호연관성 및 인접성 등은 위상으로 정의될 수 있다. 속성정보는 점, 선, 면으로 표현되는 형상의 관련 정보로서 문자, 숫자, 영상으로 표시된다.

<Table 3> GIS DB 구성요소

구 분	위 치 정 보
점(Point)	사고지점, 주요시설, 역
선(Line)	철도 노선
면(Polygon)	행정구역(3,572개 소촌), 저수지 및 강

4.3 링크별 사고확률 산정(2단계)

위험물 수송 열차의 사고발생 확률은 열차운행대수와 링크 길이에 영향을 받는다. 단위 길이 당 열차 사고발생률(Train Accident Rate)을 구하고 사고발생 시 위험물 노출가능성을 감안한다면 사고발생확률은 위의 (식-2)에서 구할 수 있다. 교통안전공단에서 취합한 철도사고통계를 참고로 하였으며, 이를 기반으로 GIS 속성자료로 활용하기 위해 해당 자료를 입력하였다.

4.4 위험물질별 노출규모 산정(3단계)

위험물질별 노출 규모를 산정하기 위해 철도 네트워크에서 3,572개 존의 인구밀도에 대한 링크별 인구 노출 규모와 저수지 및 강에 대한 환경노출 규모를 구분하여 다음과 같이 산정할 수 있다.

<Table 4> 위험물질별 노출규모 산정에 대한 대상

구 분	피 해 대 상
인구노출	- 피해가능한 인구규모
	- 주간에는 고용자인구, 야간에는 주거지인구
환경노출	- 철도주변의 환경피해규모
	- 주요 관심환경과 일반환경으로 나누어 가중치를 부여하는 방안

4.4.1 인구노출규모

GIS 공간분석을 통하여 위험물 수송에 의한 인구노출규모를 산정할 수 있으며, 통계청 의 국가통계포털(KOSIS)에서 “2007 인구통계”자료를 활용하여 Arcview Table Join 기법을 통하여 인구밀도와 Zone의 인구통계자료를 구축할 수 있다.

4.4.2 환경노출규모

철도망에서의 위험물 수송에 의한 환경노출규모 산출은 Arcview Field Calculator를 이용하여 산출 할 수 있다. 이것은 환경노출규모의 최소단위를 링크단위로 구분하여 그 값들을 최종 철도망의 링크별 환경 노출규모로 표출이 가능하다.

4.5 위험도 평가(4단계)

위험도(R)는 단순히 사고발생확률(P)에 피해가능규모(C)를 곱하는 것으로, 이 함수를 Arcview에서 구현하여 인구노출 위험도 및 환경노출 위험도를 철도 노선에서 분석하여 표출한다. 링크가 붉은 색에 가까울수록 상대적 위험도가 높게 나타난다.

4.6 대안분석(5단계)

위험물 철도 수송 시 위험도 감소를 위해서는 앞에서 살펴본 함수와 같이 사고확률 감소 대안과 피해 규모 감소 대안을 구분하여 선정한다. 앞에서 살펴 본 철도사고의 특성에 따라 사고확률을 감소하기 위

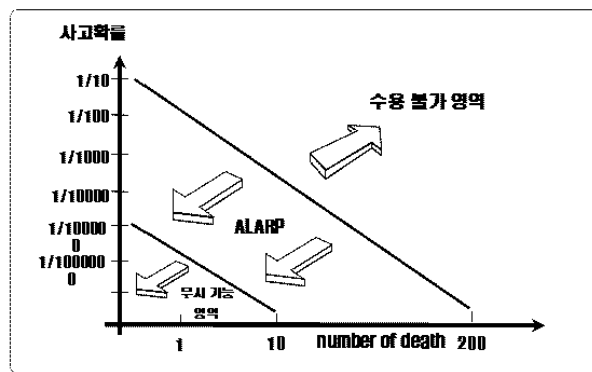
해서는 공중사상사고와 건물목 사상사고에 대한 예방대책을 마련하는 것이 가장 효율성이 높은 것으로 판단된다.

4.7 영향분석(6단계)

위험도 감소 대안별 영향분석은 영향 평가의 객관성 유지와 평가 방법의 현실화를 고려하여 균일한 척도로 비교가 가능한 비용편익분석(Benefit Cost Analysis)을 이용한다. 비용편익비가 1보다 클 경우 투자의 효과가 있는 것으로 보며, B/C비가 큰 대안일수록 사업 우선성이 있다고 볼 수 있다.

4.8 타당성 검토(7단계)

철도사고 위험도 감소를 위한 대안의 영향분석은 ALARP(As Low As Reasonably Practicable)이 허용하는 범위까지 수행될 수 있다. 이때의 ALARP은 서비스수준(Level of Service)과 유사한 개념으로 사회적으로 합의된 임의의 가치로 볼 수 있으며 더욱 낮은 값을 갖추도록 해야한다.



<Figure 4> ALARP 수준의 설정

5. GIS 기반 철도 위험물 수송 위험도관리 적용예시

5.1 개요

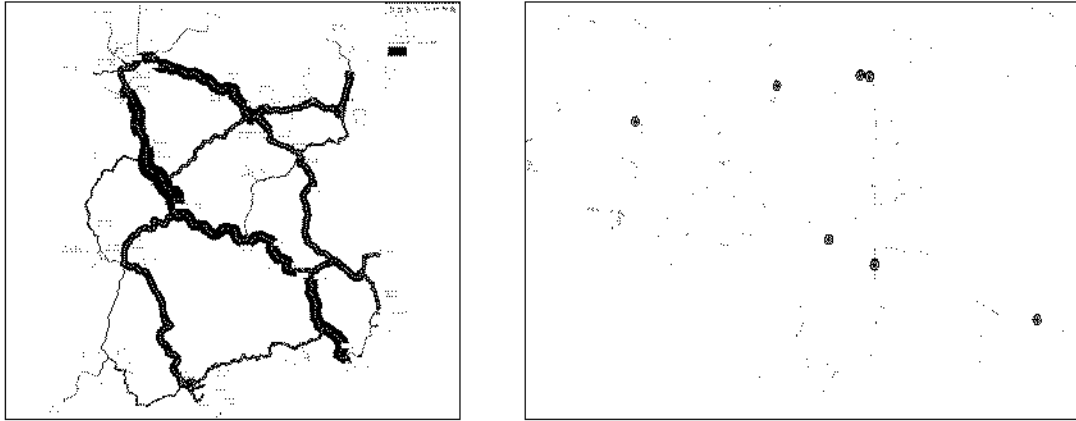
철도 위험물 수송관리 표준화 절차에 의하여 GIS S/W인 ArcView를 활용하여 철도수송 위험물 관리 표준화 방안을 마련하였다. 2007년도의 철도 운행횟수 및 사고건수를 대상으로 전국 철도망으로 네트워크를 구성하고, 3,572개의 행정구역별 소존을 구성하였다. 이러한 절차를 통해 주어진 출발지(O)-도착지(D)간 위험물 수송 최적수송경로를 분석하고, 위험도를 저감할 수 있는 대안의 설정과 타당성을 분석하도록 하였다.

5.2 위험도 기반 철도 위험물 수송 최적경로 도출

앞에서 제안한 위험물 수송관리 7단계 중 1~4단계를 통해 위험도에 기반한 철도 위험물 수송 최적경로를 도출할 수 있다.

5.2.1 GIS DB 구축

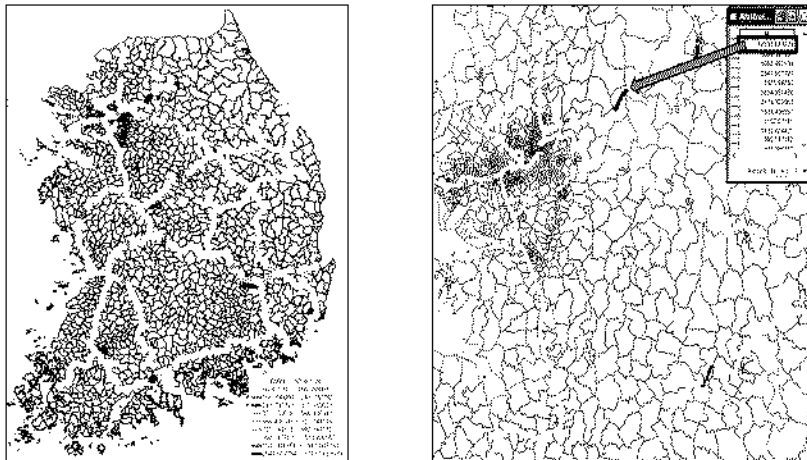
ArcView를 활용하여 점(철도역), 선(철도선로), 면(행정구역, 강, 저수지) 데이터 등의 위험물 관리를 위한 GIS DB를 구축한다. 관련기관의 통계자료를 통하여, 철도운행횟수, 인구밀도, 사고량 등 속성정보를 통해 철도 위험물 최적수송경로 도출을 위한 GIS DB를 구축하였다.



<Figure 5> 철도 링크별 위험물 수송량(좌) 및 열차 사고지점(우)

5.2.2 링크별 사고발생확률(P) 산정

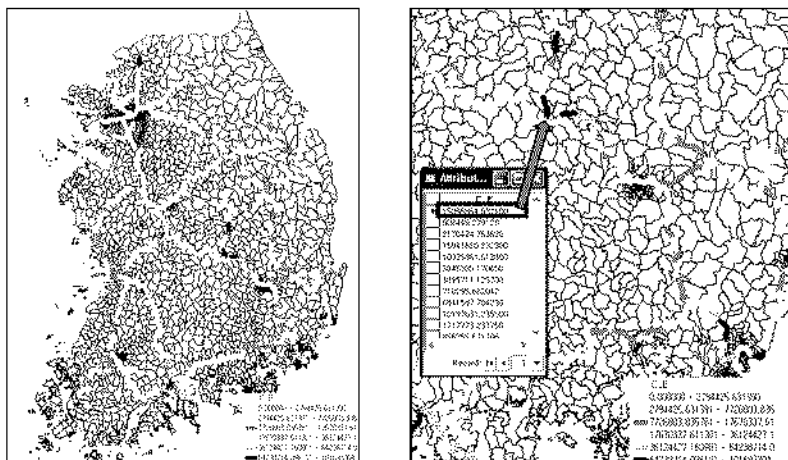
위험물 수송 철도망에서의 위험도 분석을 위해 행정구역별 인구밀도를 산출하여 속성자료를 구축할 수 있고, ArcView Tool을 이용하여 사고지점별 사고량, 철도 링크별 교통량을 구축한다. 그리고 $P(R)_i = TAR_i \times P(R/A)_i \times L_i$ 공식에 따라 사고발생확률을 산출하여 철도망에 도출하였고 그 결과는 다음과 같이 표출된다.



<Figure 6> 철도 링크별 사고발생확률(P)

5.2.3 준별 위험물질별 노출규모(C) 산정

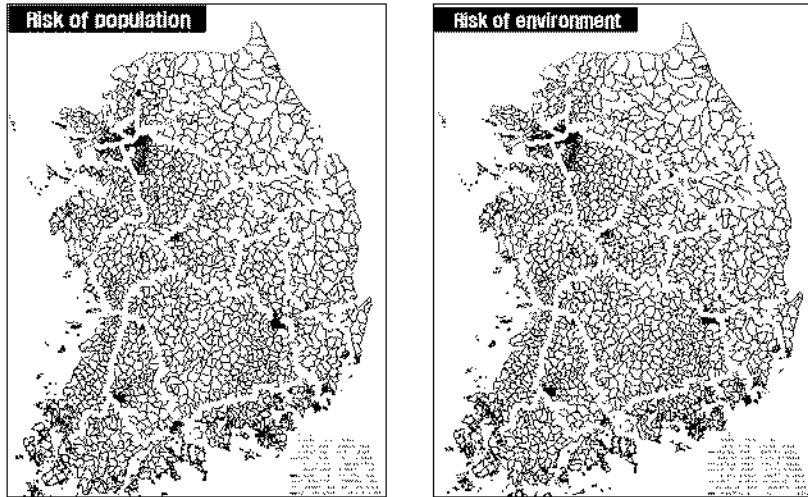
ArcView Field Calculator를 이용하여 링크별 사고발생 시 위험 영향을 미칠 수 있는 인구노출 노출 규모와 환경 노출규모를 산출하여 철도망에 표출하였다.



<Figure 7> 철도 링크별 인구노출규모(C)

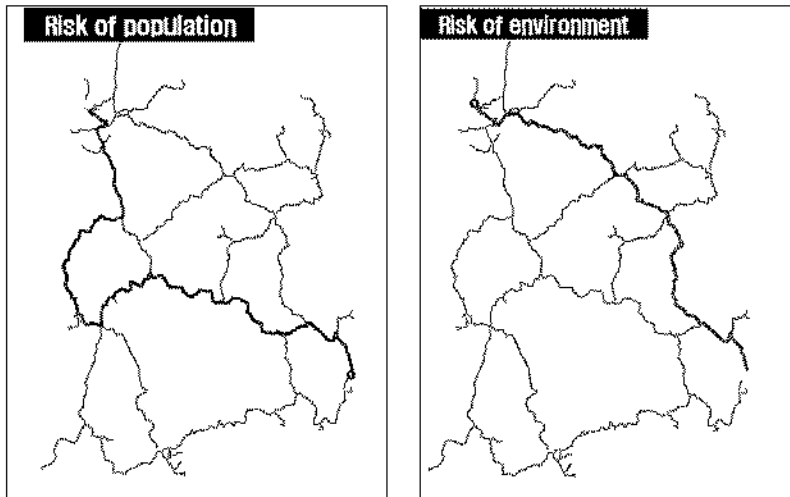
5.2.4 위험도(R) 분석을 통한 철도 위험물 수송 최적경로 도출

위험도는 사고발생확률과 노출규모의 곱으로 구하고, 이 함수를 Arcview에서 구현하여 인구노출 위험도 및 환경노출 위험도를 철도망에 표출하며 분석한 그림은 다음과 같다.



<Figure 8> 철도 링크별 위험도 분석(좌:인구, 우:환경)

분석된 인구노출 위험도와 환경노출 위험도를 기준으로 GIS의 최적분석기법을 활용하여 철도 위험물 수송 최적경로를 철도망에 표출하였다. 이때 동일한 위험물을 수송하더라도 인구 및 환경에 대한 가중치가 달라 선택 기준에 따라 다른 최적 수송경로가 도출된 것을 알 수 있다.



<Figure 9> 위험도를 통한 철도 위험물 수송 최적경로 분석결과(좌:인구, 우:환경)

5.3 대안평가 및 타당성 분석

5.3.1 대안분석

철도 위험물 수송 시 위험도 감소를 위해서는 앞에서 살펴본 함수식에서 사고발생확률(P) 감소와 피해규모(C)의 감소 대안을 선정할 수 있다. 이러한 위험도 감소 방안을 살펴보면, 선로 직선화, 선로올타리 및 감시설비구축, 지장물 검지 등 첨단보안설비 확충, 선로개량, 구축물 개량 등이 존재한다. 위험물 사고확률 감소를 위해 설정한 각 대안별로 실시 유무에 따른 사고감소 영향을 분석하여 경제성 검토(B/C분석) 자료로 활용할 수 있다.

2006년에 발생한 철도사고로 인한 사회적 비용은 약 476억원으로 추정된다. 사망사고 1건당 31,187만원의 사고비용이 발생하고 있으며, 사망자 1인당 30,940만원의 사고비용이 발생한 것으로 추정되었다.

<Table 5> 철도사고 비용

항목	사고비용(만원)	비고
사망사고	1건당	31,187
	1인당	30,940

※ 출처 : 2006년 교통사고비용 추정(한국교통연구원)

<Table 6> 위험도 감소 대안별 편익

대안	시설물	설치비(억원)	감소효과(%)	편익(억원)
대안1	선로 직선화	820	50	10.8
대안2	선로올타리 및 감시설비 구축	100.8	59	12.8
대안3	지장물 검지 등 첨단보안설비 확충	85.6	19	4.12
대안4	선로 개량 (레일증량화 및 장대화)	245.4	35	7.58
대안5	구축물 개량 (터널 및 교량)	67.5	35	7.58

※ 주 : 일부 대안 시설물에 대한 객관적 사고 감소효과에 관한 자료가 없어 교통안전시행계획 등의 사고통계를 참고로 함

5.3.2 영향분석

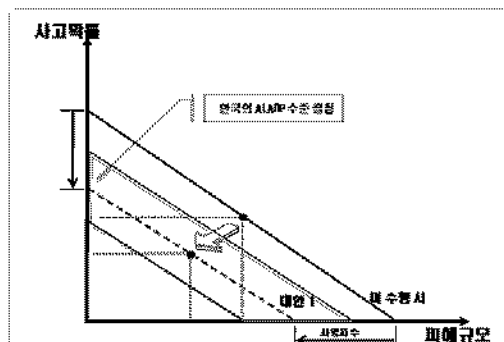
위험도 감소 대안별 영향분석은 일반적으로 경제성 평가에 사용되는 방법인 비용편익분석(Benefit Cost Analysis)을 활용하였다. 일반적으로 편익은 건설 후 20년간 산정되어지고 할인율은 5.5%를 적용하였으며, 각 대안별로 설치비용과 철도사고 사망자 1인당 순평균 비용에 대해 B/C분석을 실시하였다. 그 결과 1보다 높게 나타난 대안은 '선로올타리 및 감시설비 구축'이 1.60으로 나타났고, 다음으로 '구축물 개량(터널 및 교량)'이 1.41로 분석되어, '선로올타리 및 감시설비 구축' 대안이 가장 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

<Table 7> 사고확률 감소 시설물별 B/C비

	선로곡선반경 개선	선로올타리 및 감시설비 구축	지장물 검지 등 첨단보안설비 확충	선로개량(레일증량화 및 장대화)	구축물 개량 (터널 및 교량)
B/C비	0.16	1.60	0.61	0.38	1.41

5.3.3 타당성 검토

철도 위험물 수송의 위험도를 관리하기 위해서 경제성 분석을 통해 도출된 대안 등을 통해 ALARP(As Low As Reasonably Practicable) 수준과의 비교 검토를 시행한다. 국내의 적정 ALARP 수준을 만족하기 위해서는 최적대안의 사고발생확률과 사망자수가 허용 범위 내에 포함되는가를 통해서 도출된 대안의 타당성을 검토할 수 있다.



<Figure 10> 국내 허용 가능한 ALARP 수준의 결정

6. 결론 및 향후과제

6.1 결론

기존의 철도 안전 연구는 단순히 철도 사고 감소를 위한 대안 마련에서 접근해왔지만 본 연구에서는 이러한 방식에서 탈피하여 GIS를 기반으로한 철도 링크별 위험도 관리 7단계 표준화 방안을 제안하였다. 선택된 대안은 2007년도 일반철도 사고특성을 분석한 결과 공중사상사고와 건널목 사상사고의 빈도가 높아 이를 예방하기 위한 대안들을 중심으로 선택하였다. 비록 완벽한 자료를 이용한 것은 아니지만, 적용결과 대안별 사고감소 편익에 대해서 경제성을 비교 분석함으로써 개선 사업 시 우선순위를 알아볼 수 있는 가능성을 파악할 수 있다.

그 결과 제시한 5개의 대안 중 가장 경제성이 높은 대안은 '선로올타리 및 감시설비 구축'으로 B/C 비가 1.60으로 나타나, 철도 위험물 수송에서의 위험도 감소를 위한 최적대안으로 선정되었다. 또한 국내에서 허용 가능한 ALARP 수준을 만족하기 위해서는 철도 사고발생확률과 사망자수가 허용 범위내에 도달하도록 관리되어야 할 것이다.

6.2 향후과제

본 연구는 철도 위험물 수송에 대한 위험도 관리 표준화 방안을 마련한 것이다. 본 연구에서 제시한 위험도 저감 대책별 정확한 사고 감소율을 제시한 연구가 없어, 기존의 철도사고 데이터를 가공하여 일부 오차 범위가 발생할 수 있다. 하지만 추후 더욱 세분화되고 정확한 대안별 위험도 감소율을 적용한다면 더욱 의미있는 논문이 될 것이다. 또한 국내의 철도 위험물 수송에 대한 ALARP 범위가 정의되지 않아 선택된 최적 대안의 타당성 검토가 어려웠지만, 추후 이러한 ALARP 범위를 설정하는 별도의 연구를 진행한다면 완성된 표준화 방안을 마련할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 오주택(2004), "철도건널목 안전관리 시스템", 한국교통연구원
2. 오주택(2005), "철도건널목 안전관리시스템", 한국교통연구원
3. 조성훈, 서선덕, 권경숙(2004), "건널목 개선사업 효과의 계량적 평가 방법의 적용", 한국철도학회.
4. 김영호(2002), "로스엔젤레스 알라미다코리도 사업의 편익·비용분석2", KINX10110317
5. 건설교통부(2006), "철도안전종합계획",
6. 건설교통부(2007), "교통안전연차보고서(2007)"
7. 건설교통부(2006), "교통안전시행계획(2006)"