

■ 論 文 ■

# GIS를 활용한 위험물 수송관리시스템개발 (울산시 사례연구)

GIS based Hazardous Materials Transportation Management Systems  
(A case study for Ulsan city)

**김 시 곤**

(남서울대학교 지리정보공학과 조교수)

**안 승 범**

(교통개발연구원 책임연구원)

## 목 차

- I. 서론
    - 1. 연구의 배경 및 목적
    - 2. 연구의 내용 및 수행방법
  - II. 위험도분석모형개발 및 피해최소화방안
    - 1. 위험도분석모형의 유형 및 특징
    - 2. 위험도분석모형개발
    - 3. 위험도계산
    - 4. 위험물 사고의 피해최소화방안
  - III. 위험물수송관리를 위한 GIS도입방안
    - 1. GIS의 구성요소 및 기능
    - 2. 교통량 및 사고데이터 수집
    - 3. 피해규모노출 데이터 수집
  - IV. 위험물 수송관리 시범시스템 개발
    - 1. 시범지역선정 및 시스템개발 방향
    - 2. 울산시 위험물 수송현황
    - 3. 데이터베이스 구축
    - 4. 링크별 위험도분석
    - 5. 최저위험노선 분석
  - V. 결론 및 향후연구과제
    - 1. 결론
    - 2. 향후과제
- 참고문헌

## 요 약

복잡한 현대 문명 생활을 영위하는 가운데 각종 위험물질이 날마다 생산되어 운반되어지고 있다. 이러한 위험물질이 운반되는 과정에서 위험물사고발생은 불가피하다. 위험물사고는 발생확률은 낮지만 일단 사고발생시 인명, 환경, 재산피해가 심각하기 때문에 가능한한 피해를 최소화하기 위한 대책이 필요하다. 본 연구에서는 공로수송에 있어 위험물질운송에 따른 경로별 위험도 분석을 위한 모형을 개발하고, 본 모형에 기초하여 계산된 링크별 위험도를 낮추기 위한 대책을 제시하였다. 각 링크별 위험도를 계산하기 위해서는 링크별 교통량, 사고데이터 및 위험물질별 사고시 피해영향규모 등을 결정해야 하는 바, 이러한 작업은 사실상 수작업으로 불가능하다. 이를 자동적으로 수행하는 방안으로 지리정보시스템을 활용하였다. 또한, 여러 가지 위험물질별 위험도 분석에서 위험물사고 저감대책, 위험물사고시 피해최소화 대책 등 일련의 작업을 하나의 시스템에서 이루어지도록 하는 의사결정지원시스템 형태의 위험물수송관리시스템으로 개발하였다. 최종적으로는 위험물질 중 대부분을 차지하는 석유·화학물질을 가장 많이 다루는 지역인 울산지역을 시범지역으로 선정하여 본 연구에서 제시한 모형을 적용해 보았다.

# 1. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

현대 사회의 문화생활을 존속·발전시키기 위하여 새로운 위험물질이 날마다 생산되고 저장되며 또한 이는 각종 교통수단을 통하여 운반되어 지고 있다. 위험물로 분류되는 물질은 10만여 가지로 알려져 있다(Hobeika, 1991). 이러한 위험물질이 저장되고 운반되는 과정에서 위험물사고 (Accident Associated with Hazardous Materials) 발생은 불가피하지만 가능한 한 이러한 위험물질관련 피해는 줄여야 할 것이다. 지난 3월 춘천호에 위험물차량이 잠수하여 사회적 문제가 된 바 있다. 특히, 위험물질운송에 관련하여서는 거의 무방비 상태인 우리나라의 경우, 위험물질에 대하여 체계적인 대책방안을 제시되어야 할 것이다.

본 연구에서는 각종 교통수단 중 위험물 운송의 대부분을 차지하고 있는 공로수송에 있어 위험물질 운반에 따른 경로별 위험도를 분석하고, 파악된 위험도를 낮추기 위한 대책으로 위험물수송의 위험도분석 및 위험물차량관리 방안을 제시하고자 한다. 구체적으로는, 위험도분석에서 위험물차량관리까지 일련의 의사결정지원시스템 (Decision Support System)으로 묶는 위험물 수송관리시스템을 개발하는 것과 이를 울산시에 적용해 보는 것에 그 목적이 있다.

## 2. 연구의 내용 및 수행방법

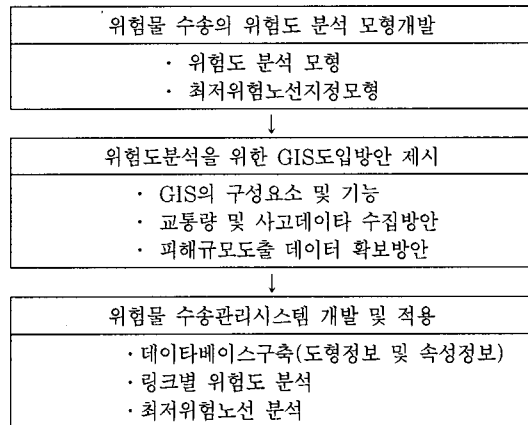
위험물의 생성부터 소비까지는 대부분 생산, 저장, 수송, 저장, 소비 등의 단계를 거친다. 이러한 과정에서 여러 가지 사고가 발생하고 있다. 본 연구에서는 이 중 위험물을 교통수단을 통하여 수송할 시 야기되는 사고에 국한하여 분석한다. 위험물질운반에 관련하여서는 근본적으로 2가지 문제 해결 방안을 제시하는 것으로 귀결되는데 이는 다음과 같다(Kim, 1990).

- 위험물질운반시 위험수준은 어느 정도인가?
- 파악한 위험수준을 낮추기 위한 각종 위험물질운반 대책방안은 무엇인가?

본 연구에서는 위험물질운반시 파생되는 위험수준을 판단하는 기준을 마련한 후, 동 위험수준을 낮출 수 있는 각종 대책 방안 중 하나인 최저위험도노선 지정

방안을 제시하는 내용을 다루고자 한다. 이를 수행하기 위한 주요 연구 내용은 아래와 같다. <그림 1>에 연구수행방법을 나타내었다.

- 위험물 수송의 위험도 분석모형개발 및 사고피해 최소화방안
- 위험물 수송관리를 위한 GIS의 도입방안
- 위험물 수송관리시범시스템 개발 및 적용



<그림 1> 연구의 수행방법(Flowchart)

## II. 위험도 분석모형개발 및 피해최소화방안

### 1. 위험도 분석모형의 유형 및 특징

#### 1) 위험도분석모형의 유형

위험물 수송시 발생되리라 예상되는 위험의 정도를 분석하기 모형으로 크게 3가지로 구분할 수 있다.

- 단순수치 지표법(Enumerative Indices)
- 회귀분석법(Regression Models)
- 확률적 위험평가법 (Probabilistic Risk Assessment Models)

#### (1) 단순수치지표법

본 기법은 위험물 사고발생을 야기할 수 있는 근원을 화학공장, 위험물보관장소 등으로 나누고, 사고발생시 피해의 규모를 인구밀집, 위험물수송수단 종류, 위험물종류 등으로 구분하며 상대적으로 순위를 매김으로써 위험도를 계산하는 가장 단순한 방법이다.

#### (2) 회귀분석법

본 기법은 일일평균교통량, 도로의 기하구조, 사고

진수, 도로의 종류 등을 독립변수로 하여 종속변수인 위험도를 계산하는 방법이다. 도로별로 실제 사고건수와 교통량을 기초로 위험도를 계산할 수 있다.

**(3) 확률적 위험평가법**

본 기법은 위험물 사고확률과 사고발생시 피해규모를 조건부 확률(Conditional probability)의 개념을 적용시켜 위험도를 평가하는 방법이다.

**2) 위험도 분석모형별 특징**

위험물 수송시 야기되는 위험도분석모형은 도로상의 결절점(Node)간 링크(Link)를 통과할 시 예상되는 위험도분석에 초점을 맞추고 있다. 이를 기초로 예상 수송노선의 대안에 따라 위험도를 비교해 보고 상대적으로 낮은 위험도 노선을 제시하기도 한다. 결국, 이러한 목적을 위한 위험도분석은 링크별로 상대적인 위험도 정도를 제시하는 상대적 위험도를 산출하는 특징을 갖고 있다.

이러한 위험물 수송시 위험도를 분석하는 모형의 3가지 유형은 수집할 수 있는 데이터량과 질에 따라 크게 구분되며, 그 결과의 신뢰성 또한 데이터의 량과 질에 비례한다고 볼 수 있다.

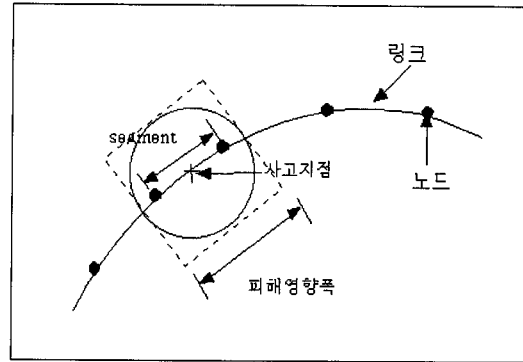
**2. 위험도 분석모형개발**

**1) 모형개발을 위한 전제조건 및 용어**

본 연구에서의 위험물 수송 차량에 의한 위험도 분석이란 도로 시설을 이용하여 위험물을 운반할 시 야기되는 위험도에 국한한다. 도로망상에서의 위험물 차량에 의한 위험도 분석을 하기 위해서는 도로망의 최소단위를 링크(Link)단위로 구분한다. 링크는 이에 속하는 성격이 행정구역 변동, 도로간 교차, 기하구조적 변경 등으로 바뀔 때 노드(Node)로서 구분하는 동질성을 가진 최소 도로 단위로 정의된다.

사고 발생시 피해규모는 위험물차량사고발생 시점, 지점, 위험물의 종류, 위험물 방출량 등에 따라 상이할 것이다. 이러한 피해가능지역을 피해영향지역(Impact Area)라고 정의한다. 이론적으로 피해영향지역은 사고지점에서 적재되어 있는 위험물이 영향을 미칠 수 있는 반경이 형성하는 원이라고 할 수 있다. 그러나, 제안된 위험도 분석이 링크별로 지나는 절대적 위험도가 아닌 링크별 상대적 위험도를 제시하는 만큼,

계산상의 편의를 위하여 원을 형성하는 지름을 변으로 하는 정사각형으로 대체한다. 이 변의 길이를 피해영향 폭(Impact Width)라고 칭한다(〈그림 2〉참조).



〈그림 2〉 위험도 분석모형 개발을 위한 기본 용어

**2) 위험도 분석 모형개발**

위험물수송시 예상되는 위험도는 크게 위험물차량의 사고, 특히 위험물 방출을 수반하는 사고발생확률(Probability)에 비례하고, 동시에 사고발생 시점 및 지점에서의 피해가능규모(Consequence)에 비례하는 사실에 기초하였다. 즉, 위험도는 식 (1)과 같이 단순히 사고발생확률에 피해가능규모를 곱하는 것이다.

$$\text{위험도(Risk)} = \text{사고발생확률(Probability)} \times (\text{피해가능규모(Consequences)})$$

**(1) 사고발생확률**

위험물 차량이 사고를 발생할 확률은 주행차량대수와 링크길이에 영향을 받을 것이다. 우선, 단위 길이당 트럭사고발생률(Truck Accident Rate)를 구하고 사고발생시 위험물 노출가능성을 감안한다면 사고발생확률은 식(2)와 같이 표현 될 수 있을 것이다.

$$P(R)_i = \text{TAR}_i \times L_i \tag{2}$$

여기서,

$P(R)_i$  : 링크 i에서 위험물 수송차량이 야기하는 사고 발생확률

$\text{TAR}_i$  : 링크 i에서 차량사고 발생률 (accident/veh · km)

$L_i$  : 링크 i의 길이(km)

① 트럭사고 발생률(TAR)

트럭사고발생률은 위험물 사고발생확률을 결정하는데 가장 중요한 값이다. 이 값은 주어진 링크에 위험물차량 교통량과 위험물 차량 교통사고에 기초하여 구할 수 있을 것이다. 그러나, 현실적으로 이러한 데이터는 수집이 불가능하다. 이를 극복하기 위해서 위험물 차량의 사고발생특성이 일반차량의 사고 발생특성과 유사하다고 보고 계산하는 방법을 고려하였다. 즉, 위험물차량에 의한 트럭사고 발생률과 일반차량에 의한 차량사고발생률이 유사하다는 것이다.

한편, 트럭교통량은 일일평균교통량에서 도로의 종류별로 트럭이 차지하는 구성비를 곱하여 구할 수 있다. <표 1>에 도로종류별 차량구성비율을 나타내었다.

<표 1> 도로종류별 차종구성비율 (단위:%)

도로의 종류	승용차	버스	화물차	기타
고속도로	53.7	11.9	34.3	0.1
국도	66.9	4.2	28.9	-
지방도	55.5	12.5	31.5	0.5

$$TAR_i = \frac{\# \text{ of Truck Accidents}_i}{TADT_i \times 365 \times \text{Years} \times L_i} \quad (3)$$

여기서,

TAR<sub>i</sub> : 링크 i 에서 Km당 일반 트럭사고 발생률

TADT<sub>i</sub> : 링크 i 에서 일일트럭 교통량

L<sub>i</sub> : 링크 i 의 길이(km)

② 링크의 길이(L<sub>i</sub>)

단위 길이당 똑같은 트럭사고발생율을 가진 링크라면, 링크의 길이가 길수록 동 링크를 지날 때 야기되는 사고 발생확률을 그만큼 크다. 이를 감안하기 위하여 링크의 길이를 고려할 필요가 있다.

(2) 피해가능규모

위험물차량사고로 인한 위험물 방출시 피해가능규모는 사고발생시점과 장소마다 다르다. 왜냐하면, 도심지역에서는 피해가능한 인구 및 건물 등이 많이 노출되어 있을 것이고 산악지역에서는 인구 및 건물 등이 거의 노출되어 있지 않기 때문이다. 또한, 위험물 차량 사고시 방출되는 위험물의 양에 따라서 피해가

능 규모가 달라질 것이다.

이러한 사실들을 모두 모형으로 나타내기가 쉽지 않을 뿐만 아니라, 제안되는 모형은 상대적 위험도 평가 모형인 바, 피해가능 규모는 단지 위험물질별로 영향을 미칠 수 있는 범위 내에 속하는, 즉, 피해가능한 인명 및 물질의 노출량으로 정의하였다. 사고발생시 위험물질별 피해영향거리는 <표 2>에 나타난 바와 같이 미국의 "Technology and Management Systems, Inc"에서 제시한 값을 사용할 수 있다(TMC, 1989).

<표 2> 위험물질그룹별 사고시 평균영향거리 (단위:mile)

Chemical classes	Liquid Pool Fire Model	Dispersion Vapor	Explosion
1) Combustible Liquid	0.041(0.094)		
2) Flammable Liquid	0.009(0.105)		
3) Flammable Solid	Not Modeled	Not Modeled	Not Modeled
4) Flammable LPG	0.042(0.105)	2(3.688)	0.133(0.245)
5) Flammable CG		0.046(0.168)	0.034(0.127)
6) Non-Flammable LPG		12.5(23.5)	
7) Non-Flammable CG		0.022(0.080)	
8) Poison A CG		0.994(0.3650)	
9) Poison A LPG or Liquid	Not Modeled	Not Modeled	Not Modeled
10) Poison B Liquid	Not Modeled	Not Modeled	Not Modeled
11) Poison B Solid	Not Modeled	Not Modeled	Not Modeled
12) Explosive A			0.231(0.261)
13) Explosive B			0.231(0.261)
14) Explosive C			0.231(0.261)
15) Blasting Agents			0.231(0.261)
16) Corrosive Liquids			
17) Corrosive Solids			
18) Organic Peroxides Liquid			
19) Organic Peroxides Solids			
20) Oxidizers			
21) Gasolines	0.052(0.105)		
22) Oxygen		0.002(0.024)	
23) AMA - Anhydrous Ammonia		13.688(25.375)	
24) CLX-Chlorine		42.5(55.313)	
25) EOX-Ethylate Oxide		0.259(0.506)	0.131(0.241)
26) LPG	0.005(0.123)	0.283(0.565)	0.028(0.242)

주 : ( )는 최대영향거리임.

자료 : Simplified Chemical Behavior Models for use in Hazardous Materials Transportation Risk Analysis, Technology and Management System, Inc(TMS), 1989.

구체적으로, 본 연구에서는 인구노출량, 환경노출량, 시설물 노출량의 3가지 노출량을 피해가능 규모의 측정 기준으로 택하였다.

① 인구노출

인구노출이란 위험물 차량의 사고 시점에 따라 피해 가능한 인구 규모를 칭한다. 이는 주간에는 고용자 인구가 많이 노출될 것이며, 야간에는 주거지 인구가 많이 노출될 것이다. 이러한 상황을 고려하여 인구노출은 고용자 인구수와 주거지 인구수로 대별하여 정보가 수집되어야 할 것이다.

② 환경노출

위험물 차량사고시 도로주변의 환경피해규모를 말하며 이는 크게 2가지로 구분하여 주요관심환경과 일반환경으로 나누어 가중치를 부여하는 방안을 택하였다. 주요환경으로는 저수지, 강, 철새서식지 등으로 구분하고, 일반환경은 논, 밭, 숲 등 일반적인 자연환경으로 구분할 수 있다.

③ 시설물 노출

위험물 차량사고 발생시 도로 주변에 위치한 시설물의 피해가능 규모로 이는 주거건물, 상업건물, 공장 건물 등으로 구분하여 접근해 볼 수 있다.

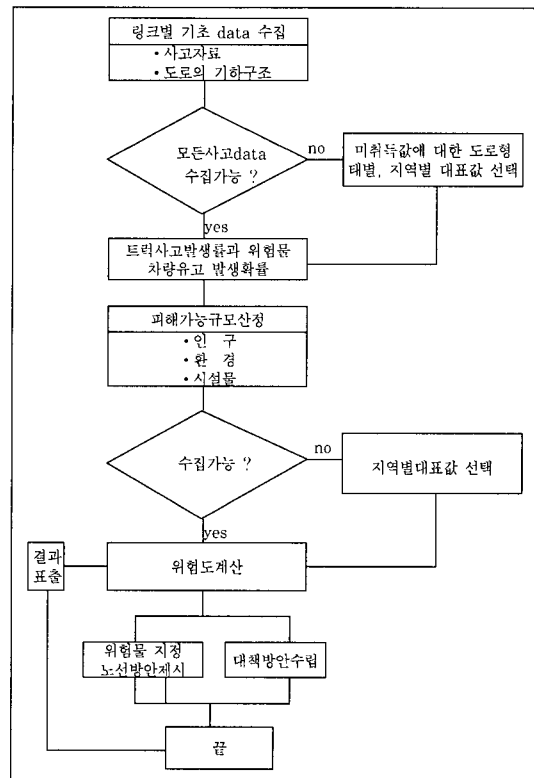
3. 위험도 계산

각 링크별로 사고발생확률과 피해가능규모가 정해지면 단순히 이를 곱하면 링크별 상대적 위험도를 구할 수 있다. 여기서, 사고발생확률은 똑 같으나, 피해가능 규모는 링크별로 크게 인구, 환경, 시설물로 3가지로 구분된다. 따라서 링크별 위험도는 각 노출물종류마다 3가지, 혹은 인구를 고용자인구와 주거지 인구로 대별하면 4가지로 구할 수 있다. 이러한 노출물별 위험도를 계산한 후 이를 종합한 링크별 종합위험도는 제시하지 않았다. 왜냐하면, 중요도에 따른 가중치 부여도 힘들뿐만 아니라, 이러한 값들은 오히려 결과를 왜곡시킬 수 있기 때문이다. 다시말하면, 각 노출물에 따른 위험도를 판단 후 정성적으로 링크별 위험도를 산출하는 것이 타당하리라 판단했기 때문이다.

실제로 링크별 위험도를 구하기 위해서는 링크별로

일일 (위험물)트럭교통량, (위험물)트럭사고발생수, 사고발생시 위험물 방출 확률, 링크주변의 노출물별 피해가능규모 등을 구하여야 된다. 하지만, 많은 경우 원하는 자료를 쉽게 구할 수 없을 뿐만 아니라 존재 하더라도 극단적인 값일 경우 (예를 들면, 새로운 도로의 사고 건수가 "0"이라도, 사고확률은 0이 아님) 위험도 값을 왜곡시킬 수 있다. 이런 경우를 대비하여 도로유형별, 지역특성별 대표값을 구한 후, 이를 활용하도록 하였다.

이상의 위험물 사고 위험도 계산에 관한 흐름도 (Flowchart)를 나타내면 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 위험도 분석 흐름도

4. 위험물사고의 피해최소화 방안

위험물 사고가 발생했을 때 긴급대응하여 피해를 최소화하는 노력을 감안하여 위험도를 구하면, 식(4)와 같이 나타낼 수 있다. 즉, 위험도를 줄이기 위해서는 사고확률 혹은 피해가능규모를 줄이든지, 긴급대응방안을 높이든지 하는 방법으로 귀결된다(Rajagopal, 1990).

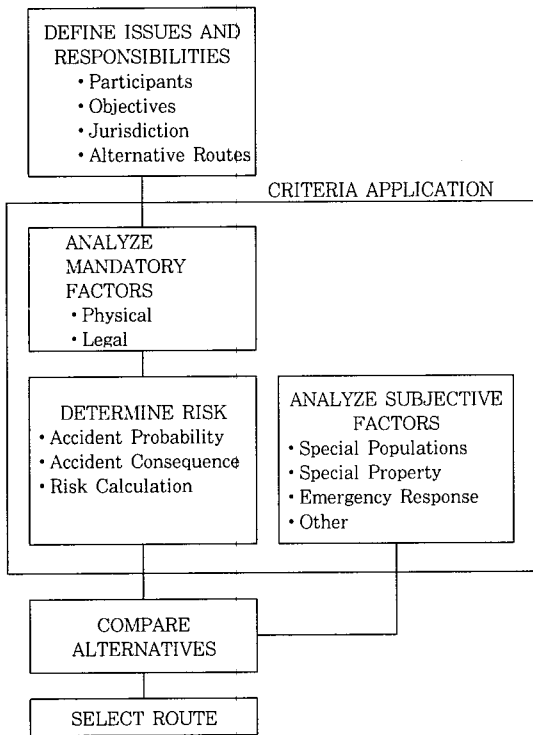
위험도(Degree of Risk) = 사고확률 × 피해가능규모 / 긴급대응방안 (4)

1) 사고발생확률저감방안

(1) 위험물 차량 노선지정방안

1980년 11월 미국 연방교통부(USDOT)에서 「위험물 운반을 위한 노선지정 지침서(Guidelines for Applying Criteria to designate Routes for Transporting Hazardous Materials)」를 발표하였다(FHWA, 1980).

동 지침서에 의하면, i) 물리적, 법적으로 문제가 되는 도로는 우선 배제하고, ii) 사고발생시 사고피해 규모를 줄임으로써 위험도(Degree of Risk) 줄일 수 있는 긴급대응방안 등을 고려한 후 최적노선을 지정하도록 규정하고 있다(〈그림 4〉참조).



〈그림 4〉 위험물 차량노선지정방법 모식도

(2) 사고확률 감소 방안

위험물 운반시 사고발생의 확률을 줄이기 위해서는 운반자의 정신교육도 중요하지만 사고다발지역을 조사하여 도로의 기하구조를 개선하고 이러한 지역을 안전표시판으로 경고하는 방안이 있다.

- 도로의 곡률 반경이 큰 지점에 안전표시판설치
- 가시거리 확보, 중앙분리의 설치 등

(3) 피해가능규모 감소방안

사고발생시 위험물이 인간이나 사회에 미치는 피해를 최소화하기 위하여 다음과 같은 특수시설을 설치하는 방안이 있다.

- 사고발생시 이를 쉽게 감지할 수 있는 장치 마련 : 가스검지기, 긴급호출장치 등
- 주요공공시설(예, 저수지, 터널, 교량 등)의 출입제한 또는 출입허용시 유출위험물의 누수방지 시설물설치 등

(4) 긴급대응능력 향상 방안

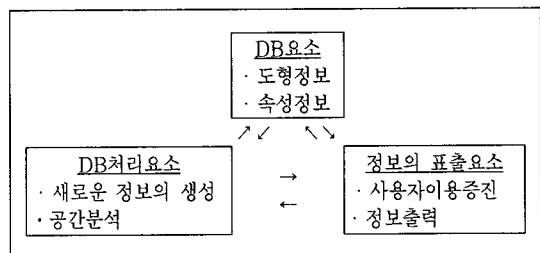
사고발생확률과 사고피해 규모의 분포에 의해 결정되는 위험도는 사실상 긴급대응을 어떻게 잘해 내느냐에 따라 실제 피해 규모를 줄일 수 있다. 이러한 사실에서 긴급대응 능력은 아래의 항목으로 결정되어진다.

- Police Car(순찰차, 경찰차)
- Ambulance Unit(병원 구급차 및 의료인)
- 소방차(위험물 취급장비 포함)
- 긴급출동 시간과 숙련된 구조대원

III. 위험물 수송관리를 위한 GIS 도입방안

1. GIS의 구성요소 및 기능

지리정보시스템(GIS)은 기존의 정보시스템(Information Systems)을 보다 효율적으로 운영하기 위하여 기존 개개의 정보에 공간적 고유좌표를 부여(Geographically Referenced)하여 자료통합의 매개체로 활용하고 있다. 이러한 GIS는 3가지 기능이 있는데 이는 i) 데이터베이스 요소, ii) 자료분석요소, 그리고 iii) 정보표출 요소이다(〈그림 5〉참조).



〈그림 5〉 GIS의 기능상 구성 3요소

데이터베이스 요소란 종이지도를 전산화한 수치지도(Digital Map)와 각종 정보(속성이라고도 함)를 지칭하는 것으로 각종 정보를 좌표와 연결시켜 위치 관계로 묶어 놓은 정보이며, 이를 일반적인 데이터베이스와 구분하기 위하여 GIS DB라고도 한다. 자료 처리 요소는 구축된 데이터베이스를 근간으로 하여 현실 문제를 모델링(모형)하여 이를 분석하는 기능 및 새로운 정보생성을 위한 공간분석기능이 포함된다. 정보표출 요소는 각종 정보 및 공간분석 결과를 비전문가도 알기 쉽게 그래픽 등을 이용하여 의사결정을 지원하는 기능을 담당한다.

## 2. 교통량 및 사고데이터(Exposure Data)수집

링크별로 위험물차량 교통량 및 사고건수 등 위험물차량 흐름의 특성을 자동적으로 파악하기 위해서는 자동차량위치추적(AVL: Automatic Vehicle Location)시스템이 필요하다. 이는 인공위성을 통하여 현재 위험물차량의 위치와 속성 등을 알 수 있도록 하는 시스템이다. 더 나아가, 위험물 차량운전자가 위험물 차량의 통행이 허용되어 있는 노선을 택하고 있는지의 확인을 위해서 또는 현재 위치를 파악하여 집배송의 효율성을 제고하기 위해서는 위험물 차량을 모니터링할 필요가 있다. 또한, 위험물 차량의 사고 발생시점과 위치를 신속히 파악하여 긴급대응함으로써 가능한 사고의 규모를 줄일 필요가 있다. 이러한 위험물 차량관리는 AVL시스템장착 차량을 GIS를 활용한 수치지도상에 나타냄으로써 가능하다. 또한, AVL시스템에 기초한 위험물 수송관리시스템의 구축으로 위험물차량 사고시 화물차량의 종류와 위험물종류를 파악할 수 있어 향후 사고데이터베이스구축에 일익을 담당할 것으로 판단된다.

## 3. 피해규모노출데이터(Consequence Data)수집

위험물수송의 위험도 분석을 위해서는 위험물 트럭 사고 발생확률과 더불어 도로변 주변의 영향거리 폭내의 노출량을 계산해야 할 것이다. 이러한 작업은 특정위험물 종류에 따라 피해영향폭이 다르기 때문에 수작업을 통하여 수행한다는 것은 사실상 불가능하다. 이를 자동적으로 수행할 수 있는 방법으로는 토지이용도를 위시한 각종 수치주제도를 도로망 Layer

와 중첩(Overlay)하여 일정범위내 속성을 계산해 내는 GIS의 영향권분석(Buffering Analysis)기능이 있다.

이러한 수치지도는 1995년 5월부터 건설교통부 주관이 되어 추진 중인 국가지리정보체계 (NGIS : National Geographic Information System)하에서 완성되어 가고 있는 국가수치기본도 및 각종 주제도를 활용함으로써 가능할 것이다.

## IV. 위험도 수송관리 시범시스템 개발

### 1. 시범지역선정 및 시스템개발 방향

본 연구의 시범지역으로는 국내 위험화학물 수입량이 가장 많고 석유화학산업이 발달한 울산시를 선택하였다. 시스템개발은 GIS개념을 적용하기 위하여 GIS tool이 필요할 것인 바, 이러한 GIS tool은 기존 상업용 GIS 패키지인 Arcview를 사용하였다. 수치지도는 국가지리정보체계 (NGIS : National Geographic Information Systems)하에서 아직 울산지역이 모두 입력되어 있지 않기 때문에 AutoCad를 사용하여 입력하였다.

### 2. 울산시 위험물수송현황

#### 1) 울산시의 지역적 특성과 교통 현황

울산시 인구는 '96년말 현재 99만6천명으로 거의 100만에 육박하고 있고, 면적은 1,055.25km<sup>2</sup>이며, 도로율은 16.8%이다. 울산시는 행정구역상 크게 중구, 동구, 북구, 남구의 4지역으로 나누어지나, 경찰서별로는 중부, 동부, 남부 등 3개 경찰서에서 관할하고 있고, 북구는 중부와 동부에서 나누어 관할하고 있다.

울산시를 지나는 국도노선은 7번(경부-부산), 14번(울산-해운대), 24번(언양-경북), 31번(울산-강동) 등이 있다. 울산시는 교통량이 매우 많은 지역적 특성을 갖고 있으며, 언양-울산간 고속도로 일부 구간이 울산 중부지역에 포함되어 있다.

울산지역의 자동차보유대수는 24만5천7백여대이며, 이를 차종별로 보면 승용차가 19만5천여대, 트럭 및 특수차 3만5천여대, 버스 1만1천5백여대, 택시 3천5백6십대 등이다.

2) 위험물 종류 및 위험물차량사고 현황

(1) 조사의 개요

울산지역에서 수송되고 있는 위험물 종류와 위험물 차량사고 현황을 파악하기 위하여 교통개발연구원에서 1998년 6월 25일부터 30일간 현지조사하였다. 조사방법으로는 울산현지 방문조사를 통해 위험물 차량이 운행하는 노선을 파악하고, 위험물 운송업체를 방문, 사고기록을 열람하여 사고발생지점을 파악하였다. 파악된 지점을 대상으로 경찰사고기록을 열람하여 세부내용을 파악하였다. 조사내용은 차량운전자들 대상으로는 수송하는 위험물의 종류, 수송경로 등을 조사하였고, 운송업체에게는 사고기록을 기초로하여 위험물차량사고 건수 및 내용을 파악하였다.

(2) 위험물의 종류

본 조사에서 나타난 위험물종류는 유류이외에도 염산, 메탄올, 황산, 액화질소, 빙초산 등 수십가지인 것으로 분석되었다. <표 3>에 울산지역에서 수송되는 대표적인 위험물 종류를 나타내었다.

<표 3> 울산시지역에서 수송되는 대표적인 위험물 종류

구분 일련번호	종류	소계	구분 일련번호	종류	소계
1	염산	7	12	SM (스탈렌모노머)	6
2	메탄올	3	13	가소제	4
3	에탄올	1	14	JP8(항공류)	2
4	가성소다	1	15	EG(부동액) (에틸렌글리콜)	9
5	알콜	3	16	아스팔트	1
6	M O	3	17	AN(아세테이트 니트릴)	5
7	파라핀	4	18	솔벤트	3
8	황산	3	19	용제(페인트, 본드원료)	1
9	청화소다	2	20	DMT	3
10	MEK 액화질소	1	21	빙초산	2
11	MEK 페인트원료	3	22	VAM	2

※ 기타위험물 : ①중질유 ②MEK ③LATEX ④BTX 1600L  
※ 위험물 총계 : 26종

(3) 일반사고 및 화물차량사고 현황

현재 사고시 작성하는 경찰자료에는 위험물차량사

고 여부는 나타나 있지 않으나 위험물차량사고는 일반화물차량사고와 유형이 비슷하여 본 조사에서는 화물차량사고와 위험물차량 수송경로를 동시에 조사·분석하였다.

조사결과 1997년부터 1998년 중반까지의 화물차량관련사고가 3건 이상인 지점이 총56개이고 10건 이상인 지점도 5개로 나타났다. 위험물차량 수송경로는 화물차량 사고다발지점을 연결한 루트와 거의 동일하였고 최근 도심외곽으로 도로와 북부순환 도로를 많이 이용하나 아직도 위험물차량이 인구밀집의 도심지역과 태화강 근접도로를 이용하는 것으로 나타났다.

울산시는 1년에 약4,638건의 인명피해 교통사고가 발생해 230명이 사망하고 5천여명이 부상자가 발생하였다. 특히, 울산남부의 경우 교통사고건수는 울산 중부와 비슷하나 사망자는 거의 2배에 달하고 있어 대형특수화물 사고의 사고심각도를 나타낸다고 하겠다(<표4>참조).

<표 4> 울산시 교통사고현황('97)

지역	교통사고건수	사망자	부상자
울산중부	1,725	77	1,545
울산동부	944	27	1,697
울산남부	1,969	126	2,244
계	4,638	230	5,486

3. 데이터베이스구축

위험물 수송관리시스템에 필요한 GIS DB는 크게 도형정보와 속성정보로 나타난다. 도형정보와 속성정보의 내용과 종류를 예시해보면 <표 5>와 같다.

<표 5> 데이터베이스의 종류 및 내용

구분	내용	종류
도형정보	위치정보	강, 하천, 도로, 건물과 같은 지형지물과 행정구역 등의 대상물의 지리적 위치를 표현함
	위상정보	점(Point), 선(Line), 면(Polygon) 간의 상호 연관관계를 표현함
속성정보	영상정보	사진, 그림 등 Image 정보를 표현함
	문자정보	각종 관련조서 및 대장, 코드, 명칭 등의 정보를 표현함



1) 도형정보구축

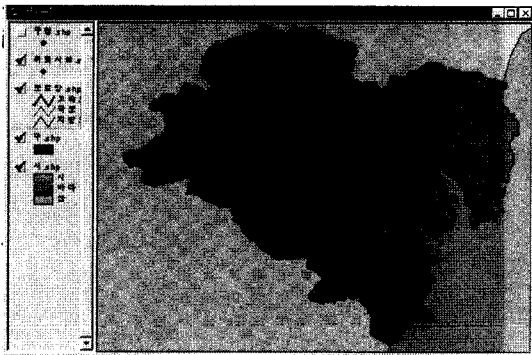
도형정보는 위치정보와 위상정보로 구성된다. 위치 정보는 지리적 공간형상으로 정의하는 순서를 가진 단순좌표로서 2차원 또는 3차원으로 구성된 점, 선, 면의 형태로 정의된다. 위상정보는 점, 선, 면간의 상호연관성 및 인접성 등을 정의한다.

본 연구에서는 위치정보에 중점을 두었으며, 이와 관련하여 위험시설물, 도로, 행정구역을 점, 선, 면의 형태로 각각 입력하였다(〈표 6〉참조).

〈표 6〉 도형정보입력 자료

형태	지형물
점	위험물 취급회사
선	도로망
면	행정구역

우선 위험물을 취급하는 업체를 조사하여 20개 지점을 선정하였다. 그리고 울산시 전역을 대상으로 중요한 도로망을 구성하였고, 울산광역시를 16개의 행정구역별로 구분하였다. 입력이 완성된 도형정보를 〈그림 6〉에 나타내었다.



〈그림 6〉 울산지역을 나타내는 도형정보

2) 속성정보구축

위험물수송관리시스템을 위하여 점의 형태인 위험물취급회사, 네트워크 형태인 도로망 그리고 면 형태인 행정구역에 대하여 속성정보를 구축하였다. 각각의 경우 입력한 데이터 속성내용은 다음과 같다.

(1) 위험물취급회사

점의 형태인 위험물취급회사에 관한 속성정보의 내용은 〈표 7〉과 같다.

〈표 7〉 위험물취급 회사의 속성정보의 내용

필드명	Data Type	설명
Shape	Character	점, 선, 면 구분
ID	Number	위험물취급회사 ID
이름	Character	위험물취급회사명
주소	Character	위험물취급회사 주소
유형	Number	위험물취급회사 유형
Image	Image	위험물취급회사 사진

(2) 도로망

선의 형태인 도로망에 관한 속성정보의 내용은 〈표 8〉과 같다.

〈표 8〉 도로망의 속성정보의 내용

필드명	Data Type	설명
Shape	Character	점, 선, 면 구분
ID	Number	도로 ID
From_nod	Number	시작노드
To_nod	Number	끝 노드
ADT	Number	평균일교통량
일반사고	Number	일반사고수
사망자	Number	사망자수
부상자	Number	부상자수
위험물사고	Number	위험물사고수
Color	Number	도로등급
도로번호	Number	도로번호
도로이름	Character	도로명

(3) 행정구역

면의 형태인 행정구역에 관한 속성정보의 내용은 〈표 9〉와 같다.

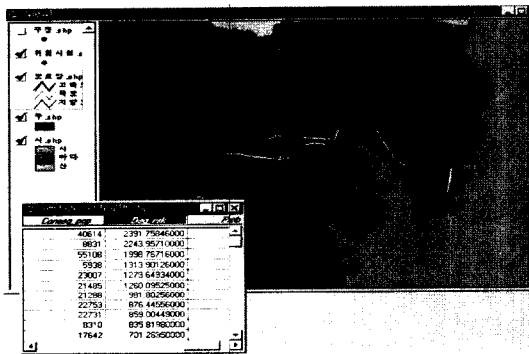
〈표 9〉 행정구역의 속성정보의 내용

필드명	Data Type	설명
Shape	Character	점, 선, 면 구분
ID	Number	행정구역 ID
City_name	Character	행정구역명
Population	Number	인구
Area	Number	면적
일반사고	Number	일반사고
사망자	Number	사망자수
부상자	Number	부상자수
위험물사고	Number	위험물 사고
이륜사고	Number	이륜사고

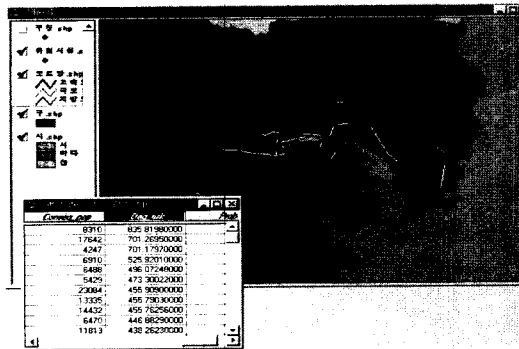
#### 4. 링크별 위험도분석

위험도는 앞에서 설명한 위험도 분석 모형을 토대로 분석하였다. 즉, 단순히 사고발생확률에 피해가능규모를 곱하여 위험도를 분석하였다. 여기서 TAR은 일반사고와 위험물차량사고를 모두 고려하였다. 피해가능규모는 석유·화학물질에 대한 피해영향폭인 0.8Km내에 속하는 인구에 국한하였다. 피해가능규모계산은 GIS기능 중 영향권 분석(Buffering Analysis)기능을 활용하였다.

위험도분석을 실시한 결과로 시범대상지역의 전체 도로망 중에서 위험도가 높은 도로망을 상위 10개와 20개를 제시하였다. 선정된 도로망은 <그림 7>, <그림 8>과 같이 노랗게 표시하였다.



<그림 7> 상위 10개의 위험노선

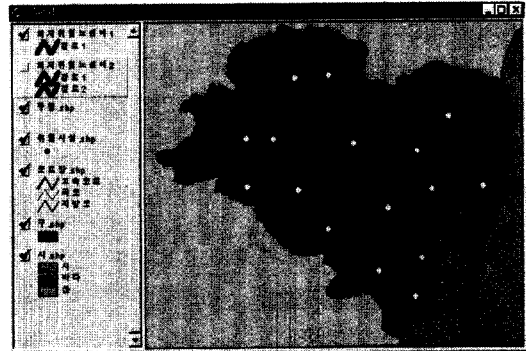


<그림 8> 상위 20개의 위험노선

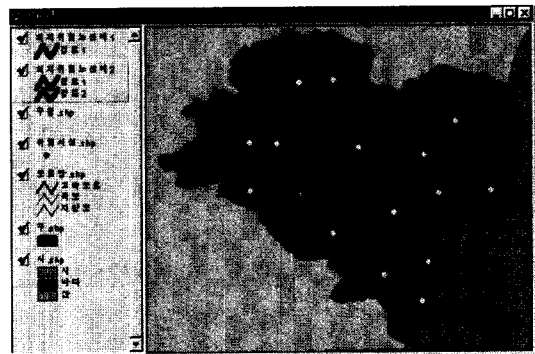
#### 5. 최저위험노선 분석

링크별 위험도 분석에 기초하여 출발지와 도착지간 최저위험노선을 구하였다. 이는 단순히 최단경로를 선택하는 알고리즘에 임피던스(Impedance)를 위험도로

대체하여 구한 것이다. 이는 Arcview에 내재되어 있는 최단경로 기능을 활용하였다. 최저위험노선을 분석하여 그 결과를 실제 지도상에 표출하였다. 단지 출발지와 목적지를 선택하면 최저위험노선을 선정하여 최적 경로를 표시하게 된다. <그림 9>의 경우는 경유지가 있는 경우이며, <그림 10>은 경유지가 없는 경우의 예이다.



<그림 9> 경유지가 없는 경우의 최적경로 예



<그림 10> 중간경유지가 있는 경우의 최저위험노선 경로 예

### V. 결론 및 향후과제

#### 1. 결론

본 연구의 결론은 크게 3가지로 요약된다. 첫째, 링크별로 위험물 차량수송시 야기되는 위험도분석을 위한 모형개발이다. 둘째, 분석된 모형을 수행하기 위하여 필요한 링크별 교통량 및 사고데이터, 피해영향규모 계산은 수계산으로는 불가능한 바, GIS의 AVL기능과 영향권 분석기능을 활용해야 한다는 것이다. 셋째로, 이를 시범적으로 울산시에 적용한 것이다.

1) 링크별 위험도 분석모형제시

위험물운반은 현대문화생활을 영위하기 위하여 불가피하게 발생되며 이러한 위험물 운반도중 사고를 100% 없앨 수는 없는 것이다. 따라서, 인간이 할 수 있는 최선의 방법은 위험물 사고발생확률을 줄여 사고건수를 줄이는 것이고 차선의 방법은 불의의 위험물사고 발생시 피해를 최소화하는 방법일 것이다.

이를 현실적으로 도입하기 위하여 무엇보다도 중요한 것이 도로링크별로 갖는 위험도를 계산할 수 있는 위험도 분석모형을 개발하였다.

2) 위험도분석의 효율성 제고를 위한 GIS의 활용

실제적으로 위험도를 계산하기 위해서는 교통량, 사고건수, 위험물질별 피해가능규모를 모든 링크별로 먼저 구해야 한다. 그러나, 이들은 위험물질별로 다르기 때문에 사실상 수작업으로 불가능하다는 것을 알았다. 이를 극복하기 위하여 일반정보에 위치정보를 묶은 공간정보(GIS DB)를 활용하는 기법인 지리정보시스템 (GIS : Geographic Information Systems)을 활용하였다. 구체적으로는, 링크별 교통량과 사고데이터는 GIS기능 중 자동차차량위치추적(AVL)기법을 활용하는 방안을 제시하였다. 피해영향규모계산은 GIS기능 중 영향권분석(Buffering Analysis)기능을 제시하였다.

3) GIS에 기초한 제시된 모형을 울산시에 적용

GIS에 기초하여 제시된 모형을 울산시에 적용하였다. 그 결과로 노선을 위험순위별로 10, 20개로 제시하고, 이를 기초로 최저위험노선을 수행할 수 있는 위험물수송관리시스템을 개발하였다.

2. 향후연구과제

1) 위험물사고 데이터베이스 구축

현재 경찰청에서 수집·관리하는 교통사고 데이터베이스에는 사고발생지점이 경찰관할 행정구역으로 되어 있어 링크별 사고건수를 쉽게 찾을 수 없다. 더욱이, 위험물 차량사고는 전혀 조사양식(일명, 104호서식)에 포함되어 있지 않기 때문에 사실상 위험물사고 데이터베이스는 전무하다고 해도 과언이 아닐 것

이다. 최소한의 데이터로 화물차의 종류와 위험물종류는 포함되어야 할 것이다. 시급히 정비되어야 할 사항으로 판단된다.

2) Micro 위험도분석모형 개발

본 연구에서는 위험물수송노선대안별 상대적 위험도 비교를 위한 Macro한 위험도 분석모형을 제시하였는 바, 링크 교통흐름특성은 ADT와 트럭ADT만 고려하였고, 피해규모산정시 버스, 승용차 등 주변이용차량에 탑승하고 있는 인구노출은 고려하지 않았다. 향후 AVL시스템 등이 상용화될 경우 시간대별 교통흐름특성을 감안한 Micro한 분석이 이루어져야 할 것이다.

3) 정부차원에서 「(가칭)위험물 안전수송관리법」 제정

지금까지의 위험도 분석을 기초로 하여 위험물 사고발생시 피해를 최소화하는 방안을 찾아낼 수 있었다. 이를 현실에 적용시키기 위해서는 건설교통부에서는 시급히 「(가칭)위험물 안전수송관리법」을 제정하여 위험물 노선지정, 사고발생시 저수지 등 환경오염방지시설 설치기준 마련 등이 제시되어야 할 것이다.

참고문헌

1. A.G. Hobeika and Sigon Kim, "Databases and Needs for Risk Assessment of Hazardous Materials Shipments by Trucks", Transportation Center at Northwestern University, 1991.
2. Sigon Kim, "Development of Risk Assessment Decision Support System (RADSS) for Hazardous Materials Movement", Ph. D. Dissertation, 1990.
3. Rajagopal Sethuraman, "Development of Mitigation Measures for Safe Transportation of Hazardous Materials", Virginia Tech, 1990.
4. 국가정보원, 위험물 운송 차량의 대형사고 요인 및 개선대책", 1997.
5. Office of Technology Assessment (OTA), "Transportation of Hazardous Materials", 1985.
6. FHWA, "Guidelines for Applying Criteria to Designate Routes for Transporting Hazardous

- Materials", 1980.
7. NCHRP, "Risk Assessment Processes for Hazardous Materials Transportation", 1983.
  8. Technology and Management Systems, Inc (TMS), "Simplified Chemical Behavior Models for Use in Hazardous Materials Transportation Risk Analysis", 1989.
  9. "A.G. Hobeika, Sigon kim, and R. Sethuraman, "Characteristics of Hazardous Materials Accidents in Pennsylvania", ASCE, 1993.