

# 서울정책포커스

2007. 4. 9 제20호

## 위험물질 운송차량의 전자신고제 도입을 위한 이동차량 관리방안

신성일(서울시정개발연구원 연구위원)

### < 목 차 >

요약

1. 문제의 제기
2. 위험물질 운송차량 관리 실태
3. 외국의 위험물질 운송관리 사례 및 선행연구
4. 위험물질 운송차량 관리개선을 위한 접근방향
5. 위험물질 운송차량의 다목적 경로 및 스케줄 관리방안

## 요 약

위험물 운송차량은 사고발생시 위험물의 종류에 따라 일반차량의 교통사고와는 비교도 안 될 정도의 인명, 재산, 환경피해를 유발한다. 산업화와 도시화가 심화됨에 따라 운송되는 위험물의 양과 종류가 급격히 증가하여 위험물의 안전한 운송과 처리 문제는 시민의 안전한 삶을 보장하는 데 매우 중요한 사항이 되고 있다. 최근 테러 위협 등 다양한 수단으로 위험물 운송차량이 악용될 가능성이 있어 운송차량의 안전한 관리에 대한 공공과 민간의 특별한 경각심이 요구되고 있다.

선진 외국의 경우 위험물과 관련된 사고가 인간과 자연에 커다란 영향을 미친다는 점을 일찍부터 인지하고, 운송과 관리에 대한 체계적인 연구와 투자로 노하우를 축적해 왔다. 그러나 한국의 경우 중앙정부나 지방자치단체에서 위험물 운송차량의 사고발생 확률이 매우 낮다는 이유로 체계적인 관리의 필요성을 깊이 인식하지 못해 관련 연구와 투자는 아직 초보적인 단계에 머물러 있다. 더욱이 위험물 운송차량을 일반화물차량과 동일하게 취급하여 이동경로의 관리/파악이 되지 않고 단속에 주로 의존하는 등 체계적인 관리가 시급한 실정이다. 위험물 운송차량의 실질적인 안전성을 확보하기 위해서는 근본적으로 위험물의 실시간 이동상황 및 안전성을 파악하여 신속한 상황대처를 하여야 하며, 이를 위해서는 위험물 운송차량이 출발지를 떠나 도착지에 이르기까지 상시적으로 관리·감독할 수 있는 경로 및 스케줄 관리전략이 중요하다.

본 연구에서는 운송업자가 인터넷과 같은 매체를 통하여 위험물질의 종류, 운전자 이름, GPS 및 통신장치 장착여부, 차량번호, 차량의 출발 및 도착시점, 요구되는 주행시간 등을 신고서에 작성하여 제출하면 관리자는 운송업자의 스케줄과 기 접수된 타 위험물 운송차량과의 위험도 상충(복합작용 위험물)을 고려하여 최적 및 대안경로(복수)를 선정하고 이를 운송업자에게 통보하는 방안을 제시하였다. 그리고 서울시를 대상으로 사례연구를 통해 다목적 경로탐색기법의 적용 가능성을 검토했다.

## 1. 문제의 제기

### ○ 위험물의 정의

- 위험물안전관리법에 따르면 위험물이란 인화성 또는 발화성 등의 성질을 가지는 것으로서 대통령령이 정하는 물품을 말함.
- 일반적으로 위험물은 물질의 화학적, 물리적 또는 생물학적 성질 등 그 물질 자체의 특성에 의해서, 또는 2종류 이상의 물질이 접촉하거나 마찰되어 폭발·인화·유독·산화·부식·방사성·질식·자연발화·전염·중합·동상 등 생명체에 위험을 초래하거나 재산상의 손해를 야기하는 물질 또는 제품을 말함<sup>1)</sup>.

### ○ 위험물질의 사용량 증가

- 2004년 현재 우리나라 위험물질 제조량은 26,688천 톤, 수입량과 수출량은 각각 4,370천 톤과 5,550천 톤으로 유통량(=제조량+수입량-수출량)은 25,487천 톤임(<표 1> 참조).

<표 1> 연도별 위험물질 유통량 현황

(단위 : 천톤)

구 분	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04
제조량(a)	15,282	15,269	16,409	16,566	17,616	20,806	21,791	26,688
수입량(b)	4,912	4,342	3,576	3,988	3,543	3,640	4,042	4,370
수출량(c)	3,063	5,428	4,390	4,174	4,709	4,538	4,582	5,550
유통량 (a+b-c)	17,131	14,183	15,595	16,380	16,450	19,908	21,251	25,487

자료: 환경부, 2005, 「2004년 유독물 유통·취급실태 조사결과」.

1) 안승범, 2001, "육상에서의 위험물 수송", 「월간 교통」.

- 2004년 위험물질 유통량은 1997년에 비해 50% 가까이 증가하였으며, 매년 지속적인 증가추세에 있음.

○ 위험물질 사고의 위험성

- 위험물 운송차량은 전복이나 충돌 시 화재, 폭발, 중독, 환경오염 등 심각한 피해를 유발함.
- 일례로 2004년 북한의 용천역 가스폭발사고는 반경 4km 이내의 건물에 심각한 피해를 주는 등 도시구조를 변화시킬 만큼 위협적이었음.
- 2001년에는 울산시 한 초등학교 앞에서의 스테아린사납 유출 및 장시간 방치로 인근주민들과 600여명의 초등학생들이 납 성분 유독물질에 무방비 상태로 노출되었음<sup>2)</sup>.
- 2005년에는 인천 도심에서 휘발유 탱크로리가 전복되어 휘발유 2만 4,000리터가 유출되며 불이나 인근 주차차량 5대와 전신주 3개가 불길에 휩싸이며 7,700여 가구에 1시간 40여 분간 전기공급이 중단되었음<sup>3)</sup>.
- 2000년에는 경남 남해고속도로에서 독극물인 아크릴레이트 400여 리터가 유출되어 인근 개천의 물고기 수백 마리가 폐사하고 농작물이 타들어 갔으며, 일부지역에서는 지하수로 스며들어 급수가 중단되었음<sup>4)</sup>.

---

2) 문화일보, 2001. 4. 13.

3) 조선일보, 2005. 6. 6.

4) 국민일보, 2000. 7. 6.



[그림 1] 위험물질 유출사고

## 2. 위험물질 운송차량 관리 실태

### ○ 위험물 운송관련 법규

- 위험물질 운송과 관련해서는 위험물안전관리법, 고압가스안전관리법, 유해화학물질관리법, 총포·도검·화약류단속법, 원자력법 등에서 개별적으로 다루고 있으며, 도로교통법, 교통안전법에서도 위험물질 취급에 대하여 규정하고 있음. 그러나 국내에는 위험물 관리에 대한 규정이 하나로 정리되어 있지 않고, 위험물 수송에 관한 통일된 법이나 제도가 따로 없는 것으로 파악됨.
- 과거에는 소방법 시행규칙에 운반경로 등에 관한 서면 승부에 대한 사항이 명시되어 있었으나 1995년 12월 규제완화 차원에서 전면 삭제되고<sup>5)</sup> 위험물 제조소 설치허가증이 운행허가증과 같은 효력을 갖게 되면서 위험물 적재차량도 일반화물차량과 동일하게 운행이 가능하게 되어 도시내부로 진입하는 위험물차량의 경로를 파악할 수 없게 되었음.
- 위험물질의 운송은 주로 「위험물 안전관리 기본법」에 따라 관리되고 있음

5) 소방법 시행규칙 제27조 삭제(1995년 12월 개정)

며, 기타 개별법에서는 주로 '운송자 책임 및 주의'와 관련한 법률이 주를 이루고 있음.

<표 2> 위험물 운송시 관리 대상

관리 대상	관리 내용
위험물 운송자(위험물안전관리기본법 제21조, 제28조)	국가자격기술자 또는 안전교육을 받은 자
운송책임자(위험물안전관리기본법시행규칙 제52조)	차량에 동승하여 위험물 안전 확보 및 운전자 감독
위험물 안전카드(위험물안전관리기본법시행규칙 제52조)	위험물에 대한 정보를 기록. 운송책임자가 소지
운반신고(총포·도검·화약류등단속법시행규칙 제38조, 원자력법시행령 제235조, 동령 시행규칙 제90조)	특정 위험물에 대하여 해당관할지구 경찰서 및 소방서에 신고
위험물질 표지판(위험물안전관리기본법시행규칙 제50조)	차량에 위험물질 표시

○ 위험물질 운송관리 기관

- 위험물질 운송에 관해서는 환경부에서 관리하고 있어 도심으로 진입하는 위험물 운송차량에 대한 해당 지방자치단체의 관리가 어렵기 때문에 사고시 신속하게 대처하지 못하고 있는 실정임.
- 위험물 제조소 및 취급소에 대한 신고 위주의 관리체제로서 위험물 운송이 비교적 자유롭고, 이동중인 차량에 관한 정보 및 관리가 부족함.

○ 서울시 위험물질 관리체계

- 서울시는 별도의 위험물질 운송에 대한 관리를 하지 않고 있으며, 일반 화물 차량과 동일하게 취급하고 있음.
- 서울지방경찰청은 도로교통 고시에 의해 도심으로 진입하는 중차량 및 일부 위험물 차량에 대한 운행을 금지/제한하고 있음.

<표 3> 서울지방경찰청고시 화물차량의 운행 금지/제한 내용

차 종	제 한 시 간	제 한 구 역	비 고
3.6톤 이상 10톤 미만 화물자동차, 건설기계 및 특수자동차	07:00~22:00	도 심 권	토·일·공휴일 제외
10톤 이상 화물자동차, 건설기계 및 특수자동차	07:00~22:00	도 심 권	
	07:00~10:00	올림픽대로 구간 (하일.C-행주대교)	토·일·공휴일 제외
고압가스 운반탱크로리 및 폭발물 운반자동차	24시간	도 심 권	
단, 도심권내 도로 중 강변북로, 양화로, 연희로, 세검정길, 정릉길, 길음교, 종암사거리를 연결하는 도로는 07:00~10:00까지만 3.6톤 이상 화물자동차, 건설기계 및 특수자동차(고압가스 운반탱크로리, 폭발물 운반자동차 제외)의 통행을 제한한다.			

### 3. 외국의 위험물질 운송관리 사례 및 선행연구

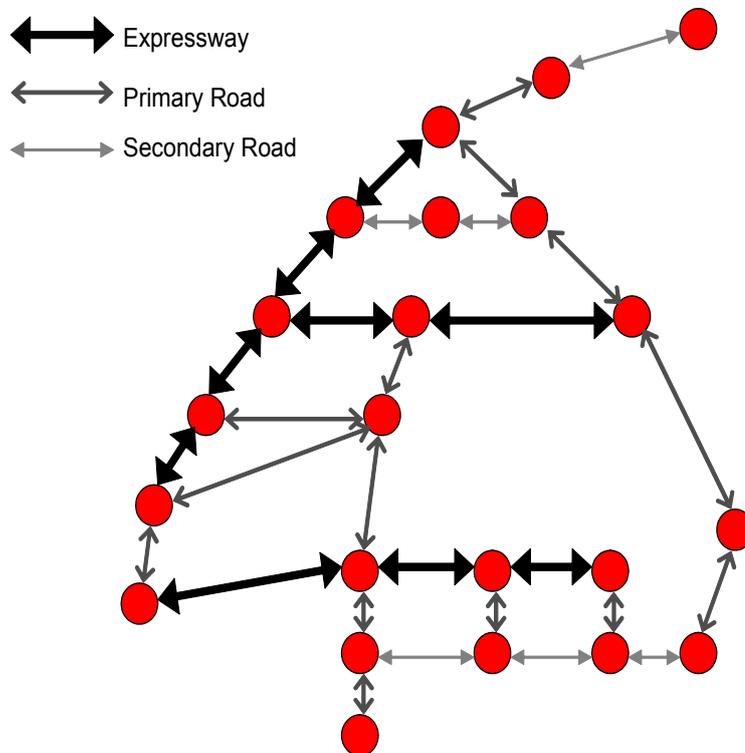
○ 미국의 '위험물 수송차량을 위한 경로선정 지침서' 작성<sup>6)</sup>

- 노출인구, 환경, 도로형태 등을 고려하여 경로의 상대적인 위험도를 평가하고, 경로의 연속성, 타 기관과의 협의, 지방관할권, 비상대응능력 등을 고려하여 최적경로를 선정할 수 있는 기준을 제시함.

6) Federal Highway Administration, 1996, *Highway Routing of Hazardous Materials Guidelines for Applying Criteria*, U.S. Department of Transportation.

○ 싱가포르의 다목적 경로/스케줄 선정 연구<sup>7)</sup>

- 복합적인 시간 변동(multiple time-varying)의 속성을 가지고 있는 네트워크에서 시간 제약을 고려한 위험물질 수송차량 다목적 경로와 스케줄에 관한 새로운 방법론을 제시하였으며, 실제 싱가포르의 이순 산업 공원에서 주룽섬까지 통행하는 액화가스 탱크로리를 대상으로 사례 연구를 실시함.



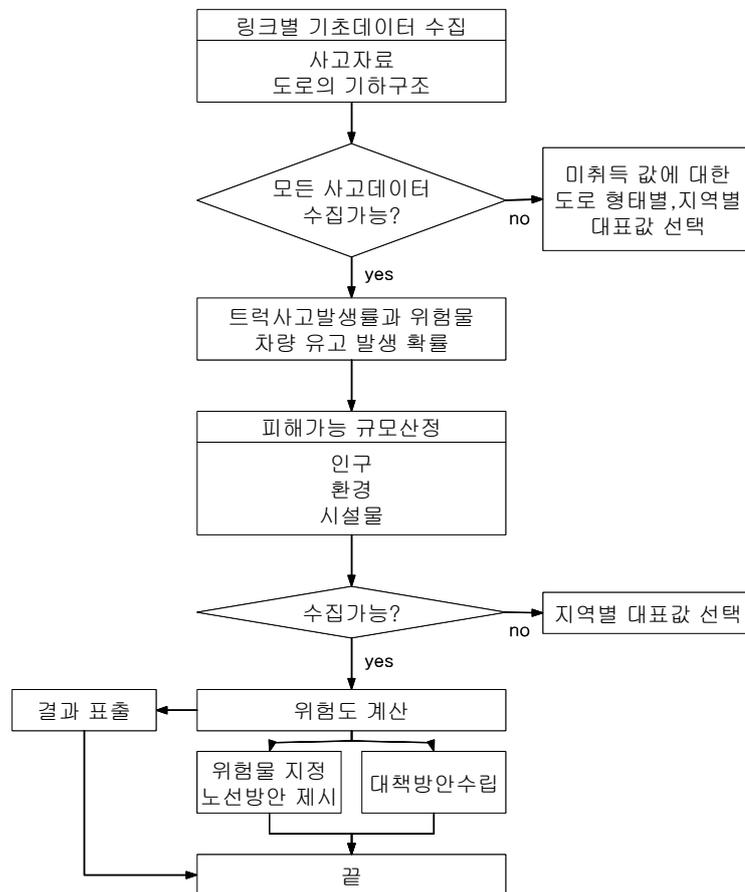
[그림 2] 싱가포르 위험물차량 관리 네트워크 예

7) Qiang Meng, Der-Hong Lee and Ruey Long Cheu, 2005, "Multiobjective Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Window Constraints in Hazardous Material Transportation", *Journal of Transportation Engineering*, pp.699~707.

○ GIS를 활용한 위험물 수송관리시스템 개발 (김시곤 · 안승범, 1999)<sup>8)</sup>

- 위험물 운송의 대부분을 차지하는 공로수송에 있어 위험도 분석모형 개발을 통해 위험물질 운반에 따른 경로별 위험도를 분석하고, 파악된 위험도를 낮추기 위한 위험물 차량관리 방안을 제시함.

위험도(Risk)=사고발생확률(Probability)×피해가능규모(Consequence)



[그림 3] 위험도 분석 흐름도

8) 김시곤 · 안승범, 1999, "GIS를 활용한 위험물 수송관리시스템개발(울산시 사례연구)", 「대한교통학회지」 제17권 제2호.

- 위험물 수송을 위한 위험도 및 최적경로 산정 (조용성 · 오세창, 1999)<sup>9)</sup>
  - 위험물 수송을 위한 최적경로 선택모형으로서 경제적 비용을 최소화할 수 있는 목적(통행시간의 최소화)과 안전성을 최대화할 수 있는 목적(위험도의 최소화) 두 가지를 고려하는 다목적 계획 모형<sup>10)</sup>의 사용을 제안함.

#### 4. 위험물질 운송차량 관리개선을 위한 접근 방향

- 위험물질을 탑재한 차량이 경로를 이동하는 동안에는 지속적으로 위치를 추적하고 차량의 이상 징후를 포착했을 경우, 즉각적으로 상황을 파악하여 조치를 취할 수 있어야 함.
- 현재와 같이 컴퓨터, 통신, 위치추적과 같은 최첨단 장치가 실용화되고 발전하고 있는 상황에서 위험물 운송차량이 출발지를 떠나 도착지에 이르기까지 상시적으로 관리·감독하기 위한 이상적인 관리체계는 (그림 4)와 같이 요약됨.

9) 조용성 · 오세창, 1999, "위험물 수송을 위한 위험도 및 최적경로 산정(수도권 사례를 중심으로)", 「대한교통학회지」, 제17권 제1호.

10) 최소화 :  $TR_i = w_1 T_i + w_2 R_i$

제약조건 :  $w_1 + w_2 = 1$

$$T_i \geq 0$$

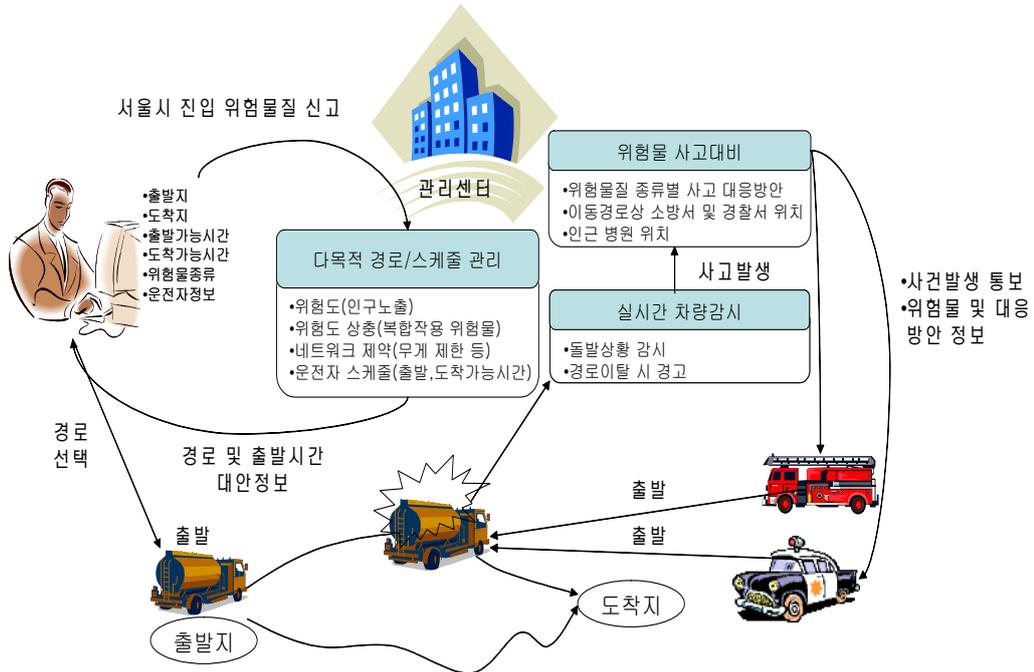
$$R_i \geq 0$$

여기서,  $TR_i$  : 위험도와 통행시간을 최소화하기 위한 목적함수값

$T_i$  : 도로구간  $i$ 의 통행시간

$R_i$  : 도로구간  $i$ 의 위험도

$w_1, w_2$  : 각 기준목표에 대한 상대적 비중



[그림 4] 위험물 운송 차량에 대한 이상적 관리체계 제안

○ 위험물질 운송업자의 사전 신고

- 운송 정보(출발지, 도착지, 위험물 종류, 위험물 양, 누출시 대처방법) 및 운송업자의 스케줄(출발가능시간, 도착가능시간)을 사전 신고함.

○ 관리자의 대안경로(복수) 선정

- 운송업자의 스케줄과 기 접수된 타 위험물 운송차량과의 위험도 상충(복합작용 위험물)을 고려하여 최적 및 대안경로(복수)를 선정하고 이를 운송업자에 제시함.

○ 운송업자의 경로 선택

- 운송업자가 제시된 (복수)경로 중 가장 적합하다고 판단되는 경로를 통행경로로 선택하면, 선택된 통행경로는 관리자에게 전달됨.

- 운송업자는 선택한 통행경로를 이용하여 위험물질을 운송함.
- 위험물 운송차량 관리
  - 위험물질 운송차량에 대한 모든 정보가 센터에 입력되어 출발시점에서 도착 시점까지의 차량의 안전한 통행을 유도하기 위한 종합적이고 상시적인 관리가 가능함.

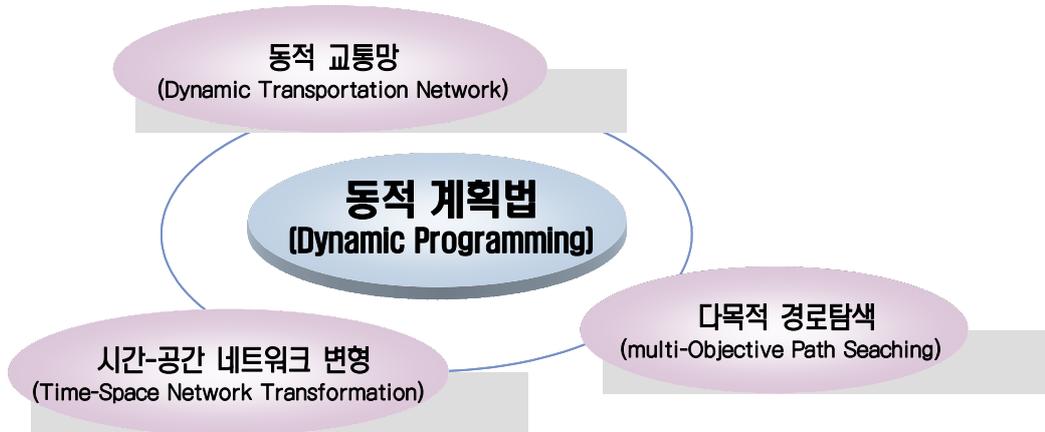
## 5. 위험물질 운송차량의 다목적 경로 및 스케줄 관리방안

- 본 연구에서는 실시간적으로 운행될 위험물 운송차량의 스케줄과 경로를 관리하는 방안을 제시하기 위하여 핵심이 되는 경로탐색기법을 제안하는 동시에 서울시를 대상으로 현실적인 적용 가능성을 평가하였음.

### 1) 경로탐색기법 제안

- 시간창(Time Window)<sup>11)</sup> 속성을 고려하기 위한 시간-공간네트워크 변형을 통하여 위험물 운송차량의 관리에 적용하는 방안을 제안하고, 또한 비지배 경로를 탐색할 수 있는 방안으로 동적계획법(Dynamic Programming)을 근거로 하는 다목적 경로탐색기법을 제안함((그림 5) 참조).

11) 도착시간과 출발시간이 쌍으로 존재하여, 운송차량이 도착시간과 출발시간사이에 도착하고 출발해야 하는 제약시간을 의미함. 예를 들면, (a,b)의 시간창이 있다고 하면, 차량은 a시간 또는 그 이후에 도착해야 하나, b시간 이전 또는 b시간까지는 출발해야 함. 차량의 출발시간, 도착시간, 대기시간, 특정지점의 교통망 통행규제시간에 관한 스케줄을 표현함.



[그림 5] 동적 계획법 개념도

○ 동적 교통망

- 긴급 상황 발생시 실시간적으로 움직이고 있는 차량들의 경로변경 및 우회 가능 여부를 판단하기 위한 동적 교통망을 구축함.

○ 시간-공간네트워크 변형

- 차량의 실시간적인 움직임을 포함하는 동적 네트워크에 출발시간과 도착시간, 교통망의 서비스 시간, 일정 지점에서의 대기시간을 표현하는 시간창의 속성을 반영하기 위하여 네트워크를 정적 네트워크로 변형함.

○ 다목적 경로 탐색

- 변형된 네트워크상의 위험물차량 통행가능 경로에 위험도, 통행시간, 통행비용 등 다목적 속성을 고려하여 비지배경로<sup>12)</sup>(Non-Dominated Path: 이하

12) 다수의 목적(기준)중 하나라도 다른 경로에 비해 우위에 있다면 그 경로는 비지배경로임.  
 예) (위험도,통행시간)의 두가지 목적을 최소화하는 경로집합에 경로1: (5,7), 경로2: (3,5), 경로3: (8,4)와 같은 3개의 경로가 있다고 가정하면, (5,7)은 (3,5)에 지배 당하여(5>3, 7>5) 경로집합에서 삭제되지만, (3,5)와 (8,4)는 비지배경로 관계여서(3<8, 5>4) 경로2와 경로3이 비지배경로에 포함됨.

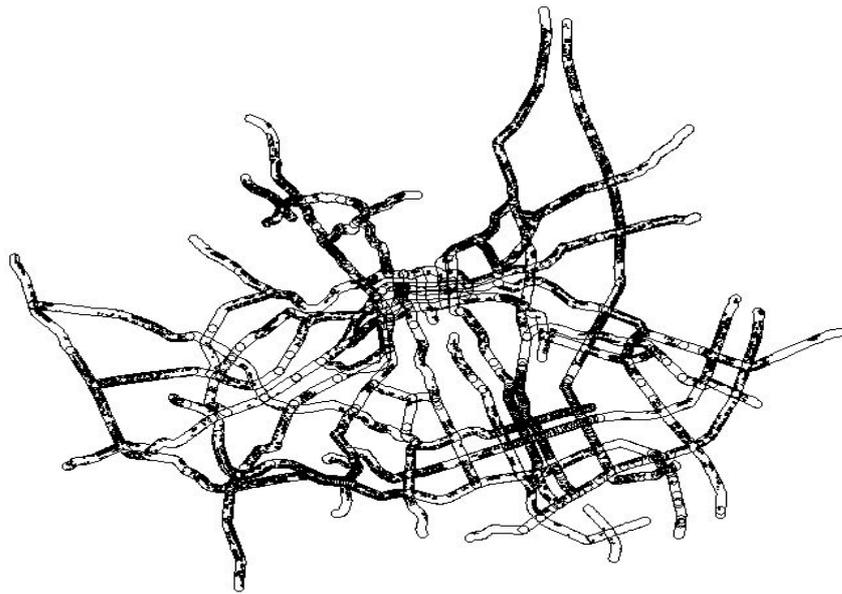
NDP)를 발견하기 위해 순차적으로 K개의 경로를 탐색하는 기법의 활용방안을 제안함<sup>13)</sup>.

## 2) 사례연구 및 결과분석

- 제안된 알고리즘의 현실 적용 가능성과 적합성을 판단하기 위해 서울시를 대상으로 사례 연구를 실시하였음.

### ○ 분석 네트워크

- 적용된 교통망은 서울시 주간선도로 위계 이상의 도로를 대상으로 하여 127개의 노드와 207개의 링크로 구축됨.



[그림 6] 분석 네트워크

13) 제안된 알고리즘은 유입링크기반 네트워크 확장기법에 근거한 K경로 탐색 알고리즘을 활용하여 탐색하는 것임. 알고리즘 수행을 위해 시간-공간네트워크 변형으로 변형된 교통망에 대하여 2차 네트워크변형을 시도하여 최적경로탐색을 반복적으로 시도함.

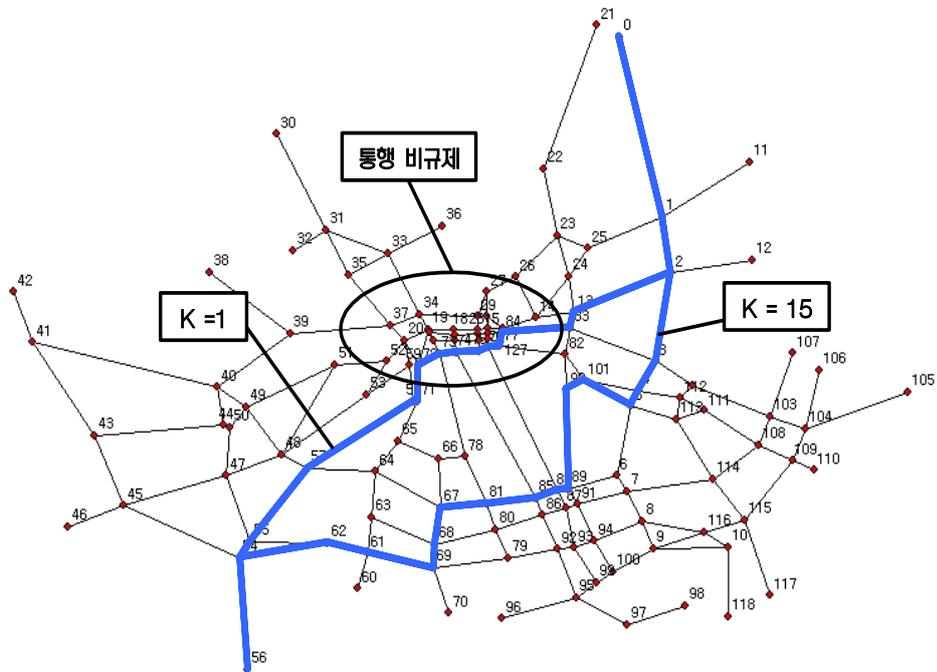
- 임의의 출발지에서 도착지로의 경로를 선택하는 속성으로는 사고위험과 운송업자의 비용을 고려하였고, 사고위험요소는 위험도와 운송차량의 경로변경횟수로, 그리고 운송업자의 비용요소는 통행시간으로 구성함.
- 위험도는 링크(도로)를 중심으로 200m내의 평균인구밀도로 단순화하여 정의함.
- 통행 비 규제 시 분석 결과
  - 서울시를 통행하는 위험물 운송차량에 대해 통행상의 규제가 없다는 전제하에 분석을 실시함.
  - 출발지와 도착지로 금천구와 노원구의 한 지점을 임의 선정하였음.
  - 출발지에서 오전 7:00 정각에 출발한 차량에 대해 통행제약 가정이 없는 경우 300개의 경로 중 최대 15개의 NDP(비지배경로)의 탐색결과가 <표 4>와 같이 요약됨.
  - (그림 7)은 위험도에 따라 탐색된 15개 NDP 중 대표적인 경로 k=1, 15를 도식화한 것으로 k=1은 도심을 통과하나 k=15는 경로의 변경이 적은 외곽으로 통행하는 것으로 나타났으며, 두 경로의 통행시간은 각각 73분과 91분으로 나타남.
  - 도심을 통과하는 이유는 도심이 상대적으로 평균노출인구는 많은 지역이어도 통행시간이 적거나 경로변경회수가 적을 수 있기 때문임<sup>14)</sup>.

---

14) 자료 구축 상 평균노출인구, 경로변경회수, 통행시간이 통행경로 선택에 유사한 비율로 영향을 미친다고 가정하였음.

<표 4> 15개의 비지배경로(NDP) (300개 경로 중)

k	위험도	평균노출인구	통행시간(분)	통행거리(Km)	경로변경횟수
1	48.3	54.2	73.4	36.7	9
2	48.8	49.3	77.5	38.7	10
3	48.9	60.5	69.3	34.7	10
4	49.3	55.6	73.4	36.7	11
5	49.4	58.8	72.0	36.0	10
6	49.9	53.9	76.0	38.0	11
7	50.9	48.8	81.7	40.9	12
8	50.9	34.6	92.4	46.2	12
9	51.5	40.9	88.3	44.1	13
10	51.5	34.6	94.6	47.3	11
11	52.0	67.2	73.6	36.8	8
12	52.0	39.2	91.0	45.5	13
13	52.1	40.9	90.5	45.3	12
14	54.0	39.3	98.1	49.0	10
15	54.6	47.6	92.6	46.3	11



[그림 7] 통행 비규제 NDP (k=1,15)

- <표 5>는 k=1,15인 NDP의 통행경로(노드, 통행시간)와 통행도로를 나타내고 있음.

<표 5> k=1, 15 NDP

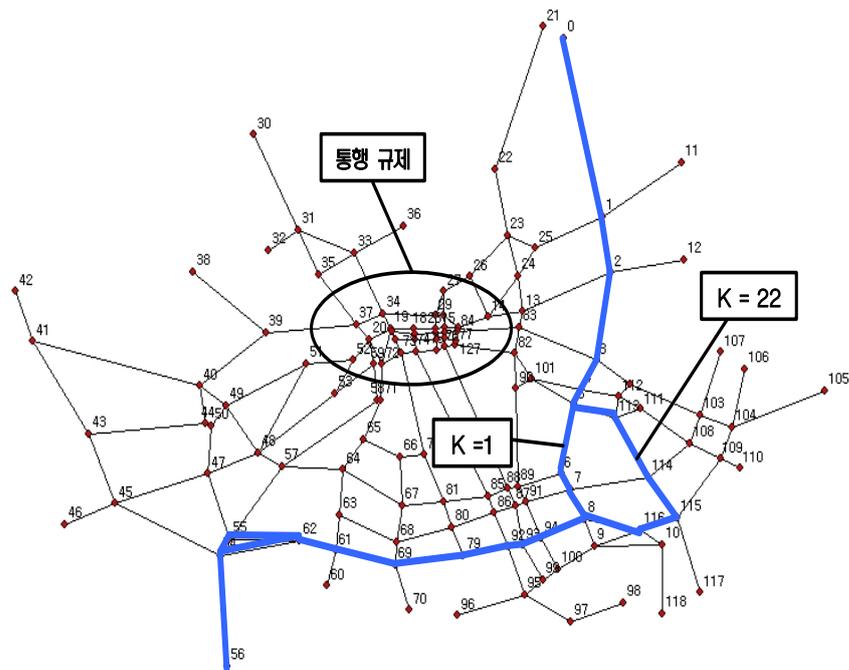
구분	내용	비고	
k=1	통행 경로	56 <sup>00</sup> →54 <sup>11</sup> →55 <sup>13</sup> →57 <sup>19</sup> →58 <sup>25</sup> →71 <sup>25</sup> →72 <sup>28</sup> →73 <sup>30</sup> →74 <sup>31</sup> →75 <sup>33</sup> →76 <sup>34</sup> →77 <sup>35</sup> →127 <sup>35</sup> →84 <sup>36</sup> →83 <sup>42</sup> →13 <sup>43</sup> →2 <sup>51</sup> →1 <sup>56</sup> →0 <sup>72</sup>	노드도착시간
	통행 도로	시흥대로→대방로→원효로→한강로→퇴계로→흥인문로→청계천로→고산자로→망우로→동1로	경로9번 변경
k=15	통행 경로	56 <sup>0</sup> →54 <sup>11</sup> →62 <sup>19</sup> →61 <sup>24</sup> →69 <sup>30</sup> →68 <sup>32</sup> →67 <sup>36</sup> →81 <sup>40</sup> →85 <sup>44</sup> →88 <sup>46</sup> →89 <sup>47</sup> →90 <sup>57</sup> →101 <sup>58</sup> →5 <sup>62</sup> →4 <sup>63</sup> →3 <sup>66</sup> →2 <sup>73</sup> →1 <sup>78</sup> →0 <sup>94</sup>	노드도착시간
	통행 도로	시흥대로→남부순환로→봉천로→남부순환로→동작대로→사평로→봉은사로→연주길→광나룻길→구의로→동2로→동1로	경로11번 변경

○ 통행 규제시 분석결과

- 도심 지역은 서울지방경찰청 고시에 근거하여 10톤 이상 화물차, 가스 및 유류운반탱크로리, 폭발물 운반차량, 건설기계, 트레일러·레커차 등 특수자동차와 3.5톤 이상~10톤 미만 화물차는 통행의 규제를 받고 있음. 따라서 도심 4대문 안에 오전 7:30~9:00시까지 통행 규제가 있다는 가정 하에 분석을 실시함.
- 출발지에서 오전 7:00 정각에 출발한 차량에 대해 도심 통행제약이 존재하는 경우 300개의 경로에서 최대 22개의 NDP의 탐색결과가 <표 6>으로 요약됨.
- 통행규제제약이 존재하는 경우에는 위험물 운송차량이 도심을 통과할 수 없기 때문에 통행시간이 장시간 소요되더라도 외곽지역의 경로를 선택하게 됨. (그림 8)에서 보듯이 22개 NDP 중 대표적인 경로인 k=1, 22 모두 통행경로가 남부순환로와 송파대로 근방의 외곽지역으로 선택됨.

<표 6> 22개의 비지배경로(NDP) (300개 경로 중)

k	위험도	평균노출인구	통행시간(분)	통행거리(Km)	경로변경횟수
1	58.5	49.7	103.1	51.5	8
2	58.6	50.1	102.8	51.4	8
3	58.9	52.4	102.0	51.0	8
4	60.8	74.4	91.7	45.8	6
5	62.3	78.0	91.3	45.7	8
6	62.4	64.7	99.9	49.9	10
7	62.7	68.1	98.9	49.4	9
8	62.7	68.5	98.6	49.3	9
9	62.9	67.9	98.1	49.1	11
10	63.1	70.8	97.8	48.9	9
11	64.0	72.5	96.7	48.4	12
12	65.0	85.9	90.5	45.2	10
13	65.3	89.1	89.0	44.5	10
14	65.5	97.6	84.5	42.2	8
15	65.6	70.0	106.2	53.1	7
16	65.6	70.4	106.0	53.0	7
17	65.7	92.5	88.9	44.4	8
18	65.8	89.1	90.9	45.5	9
19	66.0	72.7	105.2	52.6	7
20	67.1	94.4	88.7	44.3	11
21	67.3	97.0	88.1	44.1	10
22	67.8	94.7	94.8	47.4	5



[그림 8] 통행 규제 NDP (k=1,22)

- 아래 <표 7>은 통행규제 시 위험물 운송차량의 통행경로(노드,통행시간)와 통행도로를 나타낸 것으로 k=1 경로는 103분, k=22 경로는 95분의 통행시간이 소요되었음.

<표 7> k=1, 22 NDP

구분	내용	비고
k=1	통행 경로 56 <sup>00</sup> →54 <sup>11</sup> →62 <sup>19</sup> →61 <sup>24</sup> →69 <sup>30</sup> →79 <sup>36</sup> →92 <sup>40</sup> →93 <sup>41</sup> →94 <sup>43</sup> →8 <sup>48</sup> →116 <sup>53</sup> →115 <sup>57</sup> →114 <sup>62</sup> →113 <sup>67</sup> →5 <sup>71</sup> →4 <sup>72</sup> →3 <sup>75</sup> →2 <sup>82</sup> →1 <sup>87</sup> →0 <sup>103</sup>	노드 도착시간
	통행 도로 시흥대로→남부순환로→봉천로→남부순환로→송파대로→자양로→구의로→동2로→동1로	경로8번 변경
k=22	통행 경로 56 <sup>00</sup> →54 <sup>11</sup> →55 <sup>13</sup> →62 <sup>22</sup> →61 <sup>27</sup> →69 <sup>33</sup> →79 <sup>39</sup> →92 <sup>43</sup> →93 <sup>44</sup> →94 <sup>46</sup> →8 <sup>51</sup> →7 <sup>55</sup> →6 <sup>57</sup> →5 <sup>63</sup> →4 <sup>64</sup> →3 <sup>67</sup> →2 <sup>74</sup> →1 <sup>79</sup> →0 <sup>95</sup>	노드 도착시간
	통행 도로 시흥대로→봉천로→남부순환로→영동대로→동2로→동1로	경로5번 변경

### 3) 활용 효과

- 위험물 운송차량이 경로를 이동하는 동안에는 지속적으로 위치를 추적하고 차량의 이상 징후를 포착했을 경우 즉각적으로 상황을 파악하여 조치를 취할 수 있도록 예방 및 대비 단계의 관리가 진행되어야 하며, 만약 사고로 인해 위험물이 누출될 경우 위험물의 종류에 따라 위험지역 대피, 위험지역 경보, 위험물 확산저지 등의 신속한 대응 및 복구 조치가 있어야 함.
- 본 연구에서 제안한 다목적 경로/스케줄 관리전략은 위험물질 특성 및 운행 스케줄 등의 정보가 사전에 신고되고, 선택된 대안경로를 통해 차량이 이동하기 때문에 출발지에서 도착지에 이르기까지 상시적인 관리를 가능하게 함. 즉 방재 4단계의 예방·대비·대응·복구 전 단계에 걸쳐 종합적인 위험물 운송차량 관리를 가능하게 함.

신성일 | 서울시정개발연구원 연구위원  
02-2149-1099  
ssi@sdi.re.kr