

■ 論 文 ■

# 교통류특성을 고려한 軍화물차량群 경로선정

Shortest Path Problems of Military Vehicles Considering Traffic Flow Characteristics

방 현 석

(육군 ○○부대 대위)

김 건 영

(한양대학교 교통공학과 박사과정)

강 경 우

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

## 목 차

- I. 서론
- II. 문헌고찰 및 이론적 배경
  - 1. 기존연구 고찰
  - 2. 최단경로(Shortest Path) 알고리즘
  - 3. 군화물차량군 이동에 관한 고찰
- III. Shier 알고리즘 적용가능성 분석
  - 1. 실험계획
- 2. 실험결과
- IV. 군사적 병참로 적용분석
  - 1. 분석 네트워크 구성 및 분석 대안 현황
  - 2. 분석 결과
  - 3. 가상시나리오 분석
- V. 결론 및 향후연구  
참고문헌

Key Words : 최단경로, Shier 알고리즘, Dijkstra 알고리즘, 군화물차량군, 쌍소법

## 요 약

최단경로문제(Shortest Path Problems)는 군사적 측면에서 매우 중요한 이슈이며, 가상전쟁에서도 매우 중요한 시뮬레이션 대상이다. 그러나, 기존의 軍수송계획모델에는 링크(link)의 비용만을 고려한 하나의 해와 경로만을 찾으므로 그 현실성이 떨어졌다.

본 연구는 Shier 알고리즘을 이용하여 차량群의 특성을 갖는 이동부대가 군사적 개념의 링크 용량과 시간개념의 비용을 갖는 네트워크에서 목적지로 가는 다수의 최단 경로를 찾는 것이다. 이 알고리즘의 수송계획 모델에의 사용가능성 여부를 검증하기 위하여 다양한 크기와 형태의 네트워크를 대상으로 기존의 Dijkstra 알고리즘과 비교 실험을 하였으며, 실제 군 병참 네트워크와 우발상황 네트워크를 대상으로 실증분석을 하였다.

본 연구를 통하여 첫째, 군수송계획 모델에의 적용가능성이 큰 것으로 나타났으며, 군 병참 네트워크를 대상으로 분석한 결과 링크의 비용에 대한 개념전환이 필요한 것으로 나타났다. 둘째, 다양한 제대를 대상으로 분석한 결과 각 대안별로 용량의 제약을 받는 구간이 발생하였으며, 이를 극복하기 위한 취약구간에 대한 대책, 이동수단의 성능향상, 분리행군에 대한 교범상의 반영 등이 필요함이 발견되었다.

연구의 한계점으로는 첫째, 다수 최단경로문제를 군사적 분야에 적용한 기존의 연구들이 대부분 임의의 네트워크를 대상으로 분석했기 때문에, 본 연구에서 군사적 네트워크에 적용한 결과치와의 차이점을 파악하기가 곤란하였다. 둘째, 본 연구는 링크의 용량만을 제약사항으로 두었는데, 교량이나 터널 등의 제약사항을 고려한 분석이 이루어지면, 전차나 공병장비 같은 중차량의 이동계획 수립시에도 보다 현실적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

## I. 서론

최단경로문제(Shortest Path Problems)는 네트워크 이론에서 가장 기본적이고 중요한 문제 중의 하나이다. 많은 종류의 응용문제가 최단경로문제로 모형화되며, 또한 복잡한 최적화문제의 부분문제가 최단경로 문제로 모형화 되기도 한다. 하지만, 현재 軍에서 활용하고 있는 수송모델에는 단지 거리개념에 의한 1개의 최단노선만 묘사되므로 그 현실성이 떨어진다고 할 수 있다. 즉, 최단경로를 구할 때에는 대상 네트워크에서 각 링크(link)의 비용을 대상으로 하며, 이 비용에는 거리뿐만 아니라 시간도 포함된다.

따라서 첫째, 다양한 비용의 특성을 고려할 필요가 있다. 둘째, 용량을 고려한 최단경로를 구하는 것도 매우 중요한 과제이다. 교통공학에서 이동수단(mode)은 단위차량을 기준으로 하며 용량은 도로조건, 교통조건, 교통운영조건 등에 의해 결정된다. 하지만, 군수송계획에서 이동수단은 차량群(platoon)이며, 용량은 도로조건에 의해서만 결정된다.<sup>1)</sup> 셋째, 대상 도로망에서 이동수단과 용량간의 관계를 고려해야 한다. 교통공학에서는 중차량을 승용차계수로 환산하지만 군사적 측면에서는 중차량을 기준으로 한다. 마지막으로, 최단경로를 찾는 알고리즘에서 가장 짧은 경로 외에 둘째, 셋째, ... K째의 짧은 경로가 바람직한 경우가 자주 발생한다. 즉, 급변하는 작전상황에 따른 가용 도로망의 여부에 따라 대안 경로들을 이용해야 하기 때문이다.

본 연구의 목적은 수송 네트워크의 각 링크에 용량과 비용(거리, 시간)이 주어질 때, 정해진 출발점(source)에서 도착점(terminal)까지 주어진 이동수단을 통과시키기 위한 K개의 최단경로를 결정하는 문제를 다루는 것이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는, 기존 연구 고찰을 통해 최단경로문제 중 다수최단경로 문제에 관한 사례를 고찰하고 문제점들을 도출한다. 제3장에서는 Shier 알고리즘의 적용가능성을 분석한다. 제4장에서는 실제 군사적 병참 네트워크를 구성하여 K개의 최단경로와 그 해를 구한다. 마지막으로 제5장은 결론 및 향후연구과제이다.

## II. 문헌고찰 및 이론적 배경

### 1. 기존연구 고찰

최단경로문제 중 특히, 다수최단경로기법을 군사적 개념에 적용한 사례를 보면, 임규환(1989)은 가상 네트워크를 이용한 다수최단경로 문제를 연구하였는데, 링크의 속성 중 용량에 대한 고려가 생략되었다. 김병수(1993)는 링크의 속성 중 용량만을 고려한 K최대용량경로를 결정하는 문제를 다루었다. 서성철과 정규연(1997)은 링크의 속성에 용량을 포함한 하나의 최단경로를 찾는 문제를 다루었는데, 이때 용량을 링크가 수용할 수 있는 능력(1일 통과 차량대수)의 개념이 아닌 지연시간의 개념<sup>2)</sup>으로 분석하였다. 채태석(2001)은 링크의 비용과 용량을 모두 고려한 K최단경로문제를 다루었으나, 링크의 용량을 피로하중(톤)으로 고려하여 분석하였으며, 이동부대의 특성인 차량군에 따른 현실적인 분석은 이루어지지 않았다.

또한, 이러한 다양한 연구들은 기존의 Dijkstra 알고리즘과의 계산량 비교를 통한 Shier 알고리즘의 효과성 검증이 이루어지지 않았으며, 실제 적용면에서 다양한 이동부대 및 대안별 분석, 시나리오 분석 등이 이루어지지 않아 이론적 연구뿐만이 아닌 실제 적용면에서의 분석이 미흡하였다.

### 2. 최단경로(Shortest Path) 알고리즘

최단경로문제는 다음의 네 가지 문제를 다룬다.

- ① 특정의 두 교점간의 최단경로
- ② 특정의 한 교점으로부터 그 외의 모든 교점까지의 최단경로
- ③ 각 교점간의 최단경로
- ④ 두 교점간의 K개의 최단경로

위의 네 가지 문제중 교통이나 군사적 목적에 적용할 수 있는 상황은 ①, ②, ④이다. 이 중 Dijkstra 알고리즘은 문제 ①에 관한 해법이고, Shier 알고리즘은 ②와 ④를 접목시킨 문제에 관한 해법이다.

1) 중무계획에 의거 민간차량의 출입 배제, 교통신호 미운영.

2) 도로의 물리적 제한으로 차량이 평균속도로 이동하지 못하고, 정지 또는 서행함으로 인해 지체되는 시간.

Dijkstra 알고리즘은 가장 효율적인 최단경로 알고리즘의 하나로 알려져 있는데, 최단경로의 부분경로도 또한 최단경로라는 성질을 기초로 개발되었다. 이 알고리즘의 장점은 최적해와 경로를 동시에 탐색함으로써 계산수행속도가 빠르다는 것이다. 많은 교통 관련 프로그램들이 이 알고리즘을 적용하고 있으며, 군수송계획 모델에도 적용하고 있다.

최단경로문제를 해결하는데 있어, 기존의 선형계획법, Primal-dual 알고리즘, Dijkstra 알고리즘 등은 출발점에서 도착점에 이르는 첫 번째 최단경로 산출문제에 국한하고 있다. 그러나, 네트워크에서 첫 번째 최단경로가 우발상황시에 차선(次善)의 최단경로를 신속하게 발견하는 것은 매우 중요하다. K최단경로문제는 이러한 문제를 해결한 것으로 K는 발견하고자 하는 경로 값의 수를 의미한다. 이러한 K최단경로문제는 여러 사람들에 의해 연구되었는데, D.R. Shier가 쌍소법(Double sweep method, 1976)을 고안하였다. 이 방법은 한 특정마디에서 네트워크내의 다른 모든 마디에 이르는 K개의 최단경로와 경로값을 동시에

계산한다. 일반적으로 K최단경로문제에서 차선의 최적해는 민감도분석과 같은 결과를 제공해 주며, 또한 경로값이 동일한 2개 이상의 경로도 밝혀준다. 이러한 Shier 알고리즘의 계산절차는 <그림 1>과 같다.

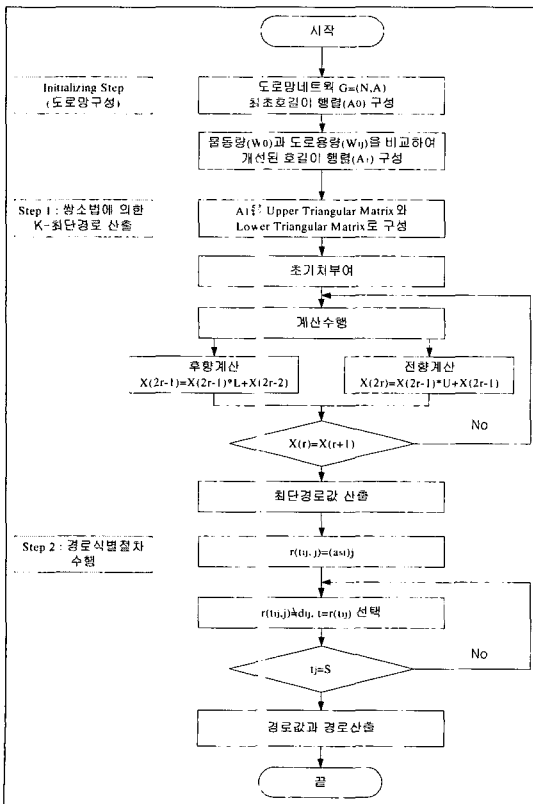
여기에서, 중요한 것은 Initializing Step(도로망 구성)에서 이동수단과 도로의 용량을 비교하여 개선된 도로망을 구성하는 것이다. 이러한 과정이 생략된다면 단지 단위차량의 이동에 대한 K개의 최단경로는 구할 수 있으나, 이동수단이 차량군인 경우에는 용량의 제약을 받는 부분이 있기 때문에 용량과 이동수단과의 비교가 필요하다. Shier 알고리즘 수행시에 산출할 때는 크게 비용과 경로가 있는데, Dijkstra 알고리즘과는 달리 먼저 비용을 산출한 후 경로를 탐색하는 별도의 경로식별절차를 수행해야 한다. 따라서, 출발점으로부터 네트워크상 모든 노드(node)까지의 K개의 비용을 저장하고 있어야 한다.

### 3. 군화물차량군 이동에 관한 고찰

군 병참로로 이용되는 모든 도로는 일반적인 교통 상황에서의와는 달리 충무계획에 의거 군에서 작전권을 가지고 통제한다는 가정하에서 계획을 수립하는 것으로서, 허가되지 않은 민간차량에 의한 방해요소는 배제한다.

이동경로를 선정할 때에는 수작업 및 전산화 모델을 이용하는데, 현재 수송 시뮬레이션 적용모델은 Dijkstra 알고리즘으로 하나의 최단 경로만을 선정하기 때문에, 우발상황을 대비한 예비 이동계획수립이라는 측면은 만족시키지 못하고 있다. 또한, 링크의 용량이 고려되지 않음으로 인해 이동부대가 차량군으로 이동할 때 단위차량의 이동과 동일한 계획수립이 되기 때문에 현실상황이 반영되지 못하고 있다.

군사적 개념의 도로용량은 통상 1일 통과하는 차량대수를 기준으로 평가하며, 양방향 중 전방 추진 1개 방향을 기준으로 한다. 도로의 용량 판단 방법은 판단하는 관점에 따라 여러 가지로 구분될 수 있는데, 본 연구에서는 한·미 연합작전시 공통으로 적용하고 있는 간이 도로용량 판단 방법을 이용하였다. 이 방법은 재래식 전쟁 조건하에서 전략 기획에 사용하기 위하여 도로의 수용능력을 평가하는 실용적 방법을 미국 국방성 정보국에서 개발한 방법으로서, 주한 미군 및 한미연합사에서 적용하고 있으며 한미합



<그림 1> Shier 알고리즘 순서도

동 혼련시 육군본부 및 야전군에서 공통적으로 적용하고 있다.

차량형태를 고려한 안전운행 속도 및 간격에 의해 24시간동안 통과할 수 있는 차로당 중차량대수로 교통공학개념의 용량과는 약간 차이가 있다. 즉, 교통공학에서는 도로, 교통, 교통운영 조건을 고려요소로 두고 용량을 산정하는 반면, 군사적 측면에서는 도로, 교통조건만을 고려한다. 또한, 고려요소 중 중복되는 교통조건에서도 교통공학에서는 타차량에 의한 영향이 주요 변수이나, 군사적 측면에서는 타차량에 의한 방해요소와 안전운행을 위한 요소를 동시에 포함한다.

군사적 측면에서 속도 및 차간거리는 도로 형태에 따라 <표 1>과 같이 3가지 유형으로 구분한다. 도로상의 능력 감소요인(교통소통에 영향을 미치는 주요 요소)으로는 기본수용능력, 차로폭 및 길어깨폭, 커브 및 경사도, 방향전환 및 도중 정차, 노면파손 및 정비 계수가 있다(<표 2>~<표 5> 참조).<sup>3)</sup>

<표 1> 유형별 도로구분

도로구분	평균속도	차간거리	기본수용능력
유형 I (양호상태)	60km/h	100m	14400대/일
유형 II (보통상태)	40km/h	80m	12000대/일
유형 III (자연상태)	25km/h	60m	10000대/일

<표 2> 차로폭 및 길어깨폭 계수

차로수	차로폭(m)	길어깨폭		
		0~1m	1~2m	2m 초과
1	2.7~3.7	0.33	0.38	0.41
	3.7~4.6	0.43	0.48	0.51
	4.6~5.5	0.53	0.58	0.66
2	5.5~6.4	0.63	0.73	0.78
	6.4~7.3	0.71	0.83	0.88
	7.3~11.0	0.81	0.94	1.00
4	11.0~12.8	1.51	1.68	1.72
	12.8~14.6	1.70	1.90	1.94
	14.6~16.5	1.76	1.96	2.00

<표 3> 커브 및 경사도 계수

구분	계수	경사도	커브반경
평지	1.0	2% 미만	60m 이상
기복지	0.9	5% 미만	45m 이상
구릉지	0.8	5~7%	30m 이상
산지	0.6	7% 이상	30m 미만

<표 4> 방향전환 및 도중정차 계수

구분	계수
방향전환 및 교차이동	0.85
도중정차	0.75

<표 5> 노면파손 및 정비 계수

도로구분	유형 I	유형 II			유형 III			
노면상태	양호	불량	무리 없음					
하중도 수분함양	(영향무)		습기	건조	젖음	습기	건조	젖음
자갈	1.0	0.8	0.5	0.4	0.30	0.50	0.40	0.50
모래			0.5	0.4	0.30	0.50	0.40	0.50
점토			0.5	0.4	0.20	0.18	0.57	0
고가소성						0.41	0.40	0
적용도로	고속도로		국도		지방도, 시군도			

종합적으로, 군사적 개념의 도로용량은 기본수용능력 × 차로폭 및 길어깨폭 계수 × 커브 및 경사도 계수 × 방향전환 및 도중정차 계수 × 노면파손 및 정비계수로 산정된다.

### III. Shier 알고리즘 적용가능성 분석

본 실험에서는 Dijkstra 알고리즘과 Shier 알고리즘의 해와 계산량을 다양한 네트워크에 적용·비교함으로써, 군수송계획모델에서의 Shier 알고리즘 적용 가능성 여부를 검토하였다. 실험을 위하여 제2장에서 제시한 각 알고리즘의 절차를 Visual C++ 6.0을 이용하여 프로그래밍 하였으며, IBM호환 PC에서 실험하였다.

#### 1. 실험계획

실험에 사용한 네트워크는 <표 6>과 같은 특성을 가지고 있다. 즉, 크게 2가지의 네트워크 특성을 갖는데, 모든 교점이 연결된 dense한 네트워크와 그렇지 않은 sparse한 네트워크가 있다. 그리고, dense한 경우에서 일반적인 도로와 같이 상·하행선이 같은 링크에 있는 경우를 symmetric, 그렇지 않은 경우를 asymmetric 하다고 설정하였다. 쌍소법(Double sweep method)은 이러한 대상 도로망의 특성에 따라 알고리즘 계산

3) 육군본부, "육로수송운용", 야전교범 55-35, pp.62~67, 1994.

<표 6> 실험 네트워크

구분	node수	link수	구분	node수	link수
Dense한 네트워크 (symmetric)	34	1,123	Sparse한 네트워크	5	14
	56	3,081		7	26
	100	9,900		8	13
Dense한 네트워크 (asymmetric)	53	2,756		10	14
	110	11,990		30	106
	200	39,800		100	368
	250	62,250		110	301
	323	99,401		200	678
403	150,304	250		896	

량이 달라질 수 있기 때문에 네트워크의 특성에 따라 구분하였다. 각 네트워크에 대한 예제는 dense한 네트워크의 경우는 TSP문제를 풀기 위한 예제를 제공하는 인터넷 사이트<sup>4)</sup>에서 임의의 네트워크를 선정하여 실험하였으며, sparse한 네트워크는 임의의 네트워크를 구성하는 프로그램 패키지인 ITRAF 7.0을 이용하였다.

## 2. 실험결과

다양한 형태의 네트워크를 Dijkstra/Shier 알고리즘에 적용하여 해 및 실행시간을 비교한 결과 <표 7>과 같이 도출되었다.

결과에서도 알 수 있듯이 Dijkstra 알고리즘의 해와 Shier 알고리즘의 1st shortest path해는 동일하였으나 계산시간에 있어서 노드수와 네트워크의 형태별로는 차이가 발생하였다. 즉, Dijkstra 알고리즘은 해와 경로를 동시에 찾아가며, 1개의 출발점에서 1개의 도착점까지 1개의 해만을 찾으므로 계산시간이 매우 빨랐으나, Shier 알고리즘의 경우 1개의 출발점에서 모든 노드까지의 K개의 경로값을 산출하는 과정과 그 경로값에 해당하는 경로를 찾는 별도의 과정을 수행하므로 계산시간은 노드가 커질수록 증가하였다.

하지만, 링크의 수와 계산시간은 무관하게 나타났으며, dense한 네트워크의 경우 symmetric한 경우와 asymmetric한 경우의 계산량의 차이는 없었던 반면,

<표 7> 실험 결과

구분	Dijkstra알고리즘		Shier알고리즘			
	해 (계산량)	계산시간 (초)	1st해	2nd해	3rd해	계산시간 (초)
DS	66	0	66	86	92	0.28
	40	0	40	82	85	1.21
	2766	0	2766	2815	2839	6.05
DA	344	0	344	354	361	1.1
	8	0	8	11	12	15.43
	3	0	3	4	5	127.37
	4	0	4	5	6	255.79
	19	0.05	19	20	21	175.59
	16	0.05	16	18	20	322.41
	222	0	222	253	276	0
SP	5	0	5	6	7	0
	14	0	14	16	18	0
	11	0	11	14	15	0.06
	36	0	36	37	38	0.28
	161	0	161	163	164	7.97
	2037	0	2037	2054	2057	20.44
	199	0	199	202	204	93.43
	3454	0	3454	3485	3492	322.19

주 : DS : Dense한 네트워크(symmetric)  
 DA : Dense한 네트워크(asymmetric)  
 SP : Sparse한 네트워크

dense한 경우와 sparse한 경우를 비교할 때 sparse한 경우가 계산시간이 조금 많았다. 즉, 노드가 많아짐에 따라, sparse한 경우 네트워크에서의 계산량이 dense한 경우의 네트워크에서의 계산량보다 많아짐을 알 수 있었다. 이는 sparse한 네트워크에서는 네트워크를 매트릭스(matrix)로 변환할 경우 상호 연결이 되지 않은 node간의 값이  $\infty$ (무한대)로 주어지며, 이러한 값들이 실제 계산수행시에 더 많은 계산 요인으로 작용하기 때문이다.

이와 같은 결론에 따르면, 대상 도로망 네트워크(sparse한 경우)의 노드수가 많아지면 계산량이 많아 결과값을 도출하는데 많은 시간이 소요되나 군수송계획의 특성을 고려한다면 큰 제한사항은 아니며, 따라서 K개의 최단경로를 탐색하여 수송계획에 반영한다면 군 작전에서의 우발상황에 대비할 수 있을 것으로 판단된다.

4) <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/>

## IV. 군사적 병참로 적용분석

### 1. 분석 네트워크 구성 및 분석 대안 현황

본 절에서는 제3장에서 고찰한 Shier 알고리즘을 이용하여 임의로 설정한 군사적 네트워크에 대한 해를 구하였다.

대상 네트워크는 수송제원집에 있는 전국 국도/고속도로 현황과 건교부에서 발행한 고속/일반국도 구간 거리표의 국도/고속도로의 주요 지점(node)에 대한 현황(지명, 거리, 링크의 상태 등)을 이용하였다. 대상 네트워크 현황은 <표 8>과 같다.

대상구역은 제주도를 제외한 전국을 대상으로 하였으며 고속도로 15개 노선과 국도 41개 노선으로 하였다. 출발점과 터미널은 임의의 장소로 정하였으며, 이동부대는 unit/500/1000/3000대로 가정하여 4가지 대안별로 알고리즘을 수행한 후 결과를 분석하였다.

주요 분석 내용으로는 각 대안별로 현재 군수송

계획 수립시 링크비용으로 적용하고 있는 거리를 기초(distance-based)로 한 해와 링크비용을 시간을 기초(time-based)로 한 해에 대해 최단경로의 값과 경로를 비교하고, 다음으로 time-based인 상태에서 링크의 용량을 고려치 않았을 때(이때, 이동부대는 unit)와 고려했을 때의 해와 경로를 비교하였다.

### 2. 분석 결과

대안 1(부산-서울)의 경우 링크비용이 distance-based인 경우와 time-based인 경우 탐색하는 경로에 있어서 분명한 차이점이 발견되었다. 즉, 전자의 경우 고속도로 외에 국도도 탐색하는 반면, 후자는 고속도로 위주로 탐색하는 결과가 도출되었다.

또한, 용량을 고려했을 때 분석 이동부대별로 적용한 결과 이동부대가 unit인 경우와 500/1000/3000인 경우의 해와 경로가 동일하게 나타났다. 즉, 어떠한 이동부대가 이동을 하더라도 용량의 제약은 받지 않는다는 결론을 도출할 수 있었다(<표 9>, <그림 2> 참조).

대안 2(광주-서울)의 경우 distance-based인 경우가 더 많은 국도를 탐색하였고, distance-based인 경우의 2nd 최단경로가 time-based인 경우의 1st 최단경로값을 가짐을 알 수 있었다.

또한, 이동부대가 500/1000인 경우에는 unit인 경우와 동일한 해와 경로를 탐색하였으나, 3000대인 경우에는 탐색 경로중 논산(N23)→공주(N23) 구간의 용량부족(1143대/일)으로 다른 경로를 탐색하였다(<표 10>, <그림 4> 참조).

대안 3(부산-춘천)의 경우 distance-based인 경우가 time-based인 경우에 비해 더 많은 국도를 탐색하였으며, 대안 1의 경우와 같이 탐색경로상의 용량의 제약은 받지 않으므로 unit인 경우와 500/1000/3000인 경우의 해와 경로가 동일하게 나타났다(<표 11>, <그림 3> 참조).

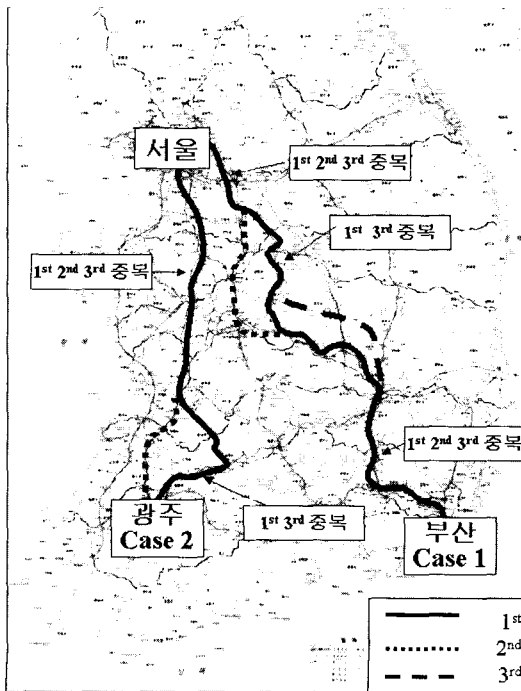
대안 4(광주-춘천)의 경우 링크 비용이 distance-based인 경우와 time-based인 경우가 비슷하게 고속도로 위주의 경로를 탐색하였다. 또한, 이동부대가 500/1000대인 경우에는 unit인 경우와 동일한 결과를 탐색하였으나, 3000대인 경우 탐색경로 중 유성(N32)→대전(E1) 구간의 용량부족(1438대/일)으로 다른 경로를 탐색하는 결과가 도출되었다(<표 12>, <그림 3> 참조).

<표 8> 대상 네트워크 현황

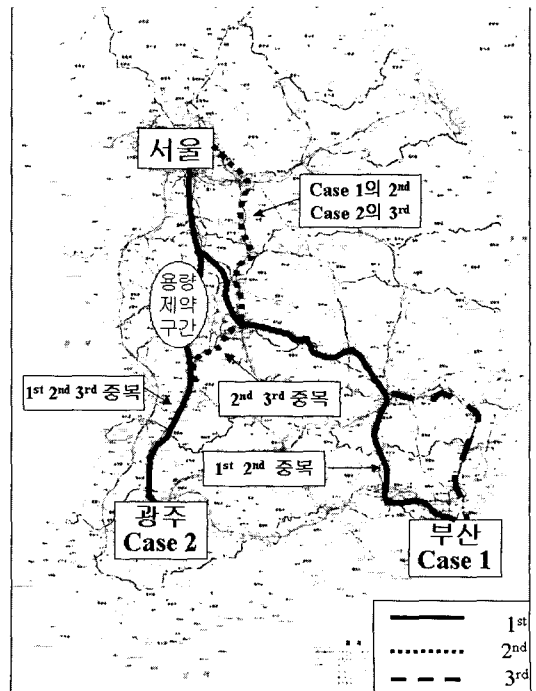
도로명	구간	Node수	도로명	구간	Node수
E1	서울-부산	25	E2	서울-인천	6
E3	회덕-순천	16	E4	신갈-강릉	13
E5	동해-강릉	4	E6	순천-부산	17
E7	대구-마산	10	E8	인양-울산	2
E9	목포-담양	9	E10	서울-남이	11
E11	인천-무안	7	E12	신갈-안산	3
E14	대구-춘천	14	E15	안양-서창	3
E101	의정부-일산	5	N1	목포-판문점	21
N2	목포-부산	14	N3	남해-초산	19
N4	장항-감포	15	N5	마산-김화	16
N6	인천-주문진	14	N7	부산-간성	19
N13	완도-담양	6	N14	거제-울산	13
N17	돌산-양지	14	N19	남해-원주	14
N21	군산-장호원	18	N23	강진-천안	16
N25	진해-청주	11	N26	군산-대구	12
N27	녹동-군산	12	N28	영주-포항	8
N31	울산-양구	16	N32	서산-대전	8
N34	당진-영덕	11	N36	대천-울진	20
N38	평택-삼척	12	N42	인천-동해	13
N43	발안-김화	9	N45	해미-정령	8
N46	인천-고성	14	N47	화성-철원	9
N56	철원-양양	9	N15	고흥-담양	9
N20	산청-포항	8	N22	정읍-순천	9
N24	신안-울산	15	N29	보성-서산	18
N30	부산-대구	11	N33	고성-구미	10
N35	부산-강릉	13	N37	거창-파주	18
N39	부여-의정부	9	N40	대천-공주	4
N44	양평-양양	7	N48	강화-서울	5

<표 9> 대안 1 분석결과(부산-서울)

이동부대	K	주요 경로	경로비용
Unit distance-based (km)	1	부산(E6)→마산(E7)→대구(E1)→영동(N19)→보은(N19)→괴산(N34)→증평(E10)→진천(E10)→이천(N3)→광주(E4)→서울	423.8
	2	부산(E6)→마산(E7)→대구(E1)→영동(E1)→대전(E1)→회덕(E1)→청주(N17)→진천(E10)→이천(N3)→광주(E4)→서울	427.2
	3	부산(E6)→마산(E7)→대구(E14)→가산(N25)→상주(N25)→보은(N19)→괴산(N34)→증평(E10)→진천(E10)→이천(N3)→광주(E4)→서울	427.6
Unit time-based (hr)	1	부산(E6)→마산(E7)→대구(E1)→영동(E1)→회덕(E1)→청주(E1)→천안(E1)→안성(E1)→신갈(E1)→서울	7.32
	2	부산(E6)→마산(E7)→대구(E1)→김천(E1)→영동(E1)→회덕(E1)→청주(E10)→증평(E10)→진천(E10)→이천(N3)→광주(E4)→서울	7.34
	3	부산(E1)→경주(E1)→영천(E1)→대구(E1)→영동(E1)→회덕(E1)→청주(E1)→천안(E1)→안성(E1)→신갈(E1)→서울	7.4
500 time-based (hr)	1	Unit(K=1)인 경우와 동일	7.32
	2	Unit(K=2)인 경우와 동일	7.34
	3	Unit(K=3)인 경우와 동일	7.4
1000 time-based (hr)	1	Unit(K=1)인 경우와 동일	7.32
	2	Unit(K=2)인 경우와 동일	7.34
	3	Unit(K=3)인 경우와 동일	7.4
3000 time-based (hr)	1	Unit(K=1)인 경우와 동일	7.32
	2	Unit(K=2)인 경우와 동일	7.34
	3	Unit(K=3)인 경우와 동일	7.4



(a)

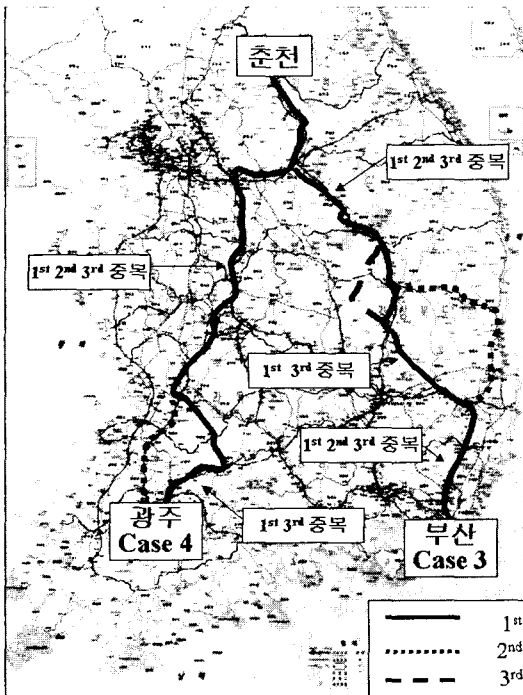


(b)

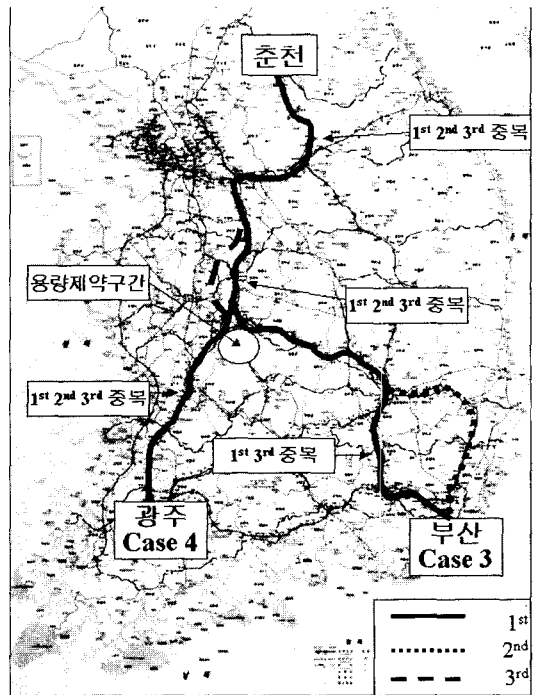
<그림 2> 대안 1, 2의 분석결과(distance-based와 time-based)

〈표 10〉 대안 2 분석결과(광주-서울)

이동부대	K	주요 경로	경로비용
Unit distance-based (km)	1	광주(E9)→순창(N27)→전주(E3)→논산(N23)→공주(N23)→천안(E1)→안성(E1)→신갈(E1)→서울	278.6
	2	광주(E3)→전주(E3)→논산(N23)→공주(N23)→천안(E1)→안성(E1)→신갈(E1)→서울	279.2
	3	광주(E9)→순창(N27)→전주(E3)→논산(N23)→공주(N23)→천안(E1)→안성(E1)→수원(N42)→신갈(E1)→서울	283.4
Unit time-based (hr)	1	광주(E3)→전주(E3)→논산(N23)→공주(N23)→천안(E1)→안성(E1)→신갈(E1)→서울	5.23
	2	광주(E3)→전주(E3)→논산(E3)→회덕(E1)→청주(E1)→천안(E1)→안성(E1)→신갈(E1)→서울	5.34
	3	광주(E3)→전주(E3)→논산(E3)→회덕(E1)→청주(E10)→증평(E10)→진천(E10)→이천(N3)→광주(E4)→서울	5.36
500 time-based (hr)	1	Unit(K=1)인 경우와 동일	5.23
	2	Unit(K=2)인 경우와 동일	5.34
	3	Unit(K=3)인 경우와 동일	5.36
1000 time-based (hr)	1	Unit(K=1)인 경우와 동일	5.23
	2	Unit(K=2)인 경우와 동일	5.34
	3	Unit(K=3)인 경우와 동일	5.36
3000 time-based (hr)	1	Unit(K=2)인 경우와 동일	5.34
	2	Unit(K=3)인 경우와 동일	5.36
	3	광주(E3)→전주(E3)→논산(E3)→유성(E3)→회덕(E1)→대전(E1)→청주(E1)→천안(E1)→안성(E1)→신갈(E1)→서울	5.58



(a)



(b)

〈그림 3〉 대안 3, 4의 분석결과(distance-based와 time based)



〈표 11〉 대안 3 분석결과(부산-춘천)

이동부대	K	주요 경로	경로비용
Unit distance-based (km)	1	부산(E1)→경주(E1)→영천(N28)→의성(E14)→안동(N5)→단양(N5)→원주(E14)→춘천	489.6
	2	부산(E1)→경주(N7)→포항(N7)→영덕(N34)→안동(N5)→단양(N5)→원주(E14)→춘천	506.2
	3	부산(E1)→경주(E1)→영천(N28)→의성(N28)→예천(N28)→단양(N5)→제천(E14)→원주(E14)→춘천	508
Unit time-based (hr)	1	부산(E6)→마산(E7)→대구(E1)→김천(E1)→영동(E1)→회덕(E1)→청주(E10)→증평(E10)→진천(E10)→이천(E4)→원주(E14)→춘천	9.02
	2	부산(E1)→경주(E1)→영천(E1)→대구(E1)→김천(E1)→영동(E1)→대전(E1)→회덕(E1)→청주(E10)→증평(E10)→진천(E10)→이천(E4)→원주(E14)→춘천	9.1
	3	부산(E6)→마산(E7)→대구(E1)→김천(E1)→영동(E1)→회덕(E1)→청주(N17)→진천(E10)→이천(E4)→원주(E14)→춘천	9.21
500 time-based (hr)	1	Unit(K=1)인 경우와 동일	9.02
	2	Unit(K=2)인 경우와 동일	9.1
	3	Unit(K=3)인 경우와 동일	9.21
1000 time-based (hr)	1	Unit(K=1)인 경우와 동일	9.02
	2	Unit(K=2)인 경우와 동일	9.1
	3	Unit(K=3)인 경우와 동일	9.21
3000 time-based (hr)	1	Unit(K=1)인 경우와 동일	9.02
	2	Unit(K=2)인 경우와 동일	9.1
	3	Unit(K=3)인 경우와 동일	9.21

〈표 12〉 대안 4 분석결과(광주-춘천)

이동부대	K	주요 경로	경로비용
Unit distance-based (km)	1	광주(E9)→순창(N27)→전주(E3)→논산(E3)→회덕(E1)→청주(N17)→진천(E10)→이천(E4)→원주(E14)→춘천	418.2
	2	광주(E3)→전주(E3)→논산(E3)→회덕(E1)→청주(N17)→진천(E10)→이천(E4)→원주(E14)→춘천	418.8
	3	광주(E9)→순창(N27)→전주(E3)→논산(N4)→회덕(E1)→청주(N17)→진천(E10)→이천(E4)→원주(E14)→춘천	419.0
Unit time-based (hr)	1	광주(E3)→전주(E3)→논산(E3)→회덕(E1)→청주(E10)→증평(E10)→진천(E10)→이천(E4)→원주(E14)→춘천	7.04
	2	광주(E3)→전주(E3)→논산(E3)→회덕(E1)→청주(E10)→증평(E10)→진천(E10)→이천(E4)→원주(E14)→춘천	7.2
	3	광주(E3)→전주(E3)→논산(E3)→회덕(E1)→청주(N17)→진천(E10)→이천(E4)→원주(E14)→춘천	7.23
500 time-based (hr)	1	Unit(K=1)인 경우와 동일	7.04
	2	Unit(K=2)인 경우와 동일	7.2
	3	Unit(K=3)인 경우와 동일	7.23
1000 time-based (hr)	1	Unit(K=1)인 경우와 동일	7.04
	2	Unit(K=2)인 경우와 동일	7.2
	3	Unit(K=3)인 경우와 동일	7.23
3000 time-based (hr)	1	Unit(K=1)인 경우와 동일	7.04
	2	광주(E3)→전주(E3)→논산(E3)→회덕(E1)→회양(E1)→청주(E10)→증평(E10)→진천(E10)→이천(E4)→원주(E14)→춘천	7.28
	3	광주(E3)→전주(E3)→논산(E3)→회덕(E1)→회양(E1)→청주(E1)→천안(E1)→안성(E1)→신갈(E1)→춘천	7.42

### 3. 가상시나리오 분석

국가의 대동맥인 경부고속도로는 전시 초기에 적의 주요 타격목표이다. 본 절에서는 중요 축인 경부고속도로가 파괴되어 사용이 불가능한 경우를 가상하여 각 대안별(대안 1, 대안 2)로 수송작전에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고자 한다.

먼저, 대안 1의 경우, 경부고속도로의 파괴로 인해, <표 13> 및 <표 14>와 같은 분석결과가 나타났다. 즉, unit/500인 경우 경부고속도로 파괴로 인해 K=1은 1.33h, K=2는 1.71h, K=3은 1.67h의 비용증가를 가져왔고, 이동부대가 1000대인 경우 K=1은 4.43h, K=2는 4.83h, K=3은 4.85h의 비용증가를 가져왔다. 이동부대가 3000대인 경우에는 이동이 불가능한 결과로 나타났다. 이동부대가 1000대인 경우가 unit/500대인 경우보다 비용 증가분이 큰 이유는 경로상 용량부족(가산(N25)→상주 : 869대/일) 때문인 것으로 나타났다.

다음으로, 대안 2의 경우, 경부고속도로의 파괴로 인해, <표 15>, <표 16>과 같은 비용증가를 가져왔다. 즉, unit/500인 경우 경부고속도로 파괴로 인해 K=1은 0.82h, K=2는 0.82h, K=3은 0.84h의 비용증가

<표 13> 경부파괴후 대안 1 분석결과(부산-서울)

K		Unit	500	1000	3000
1	비용(hr)	8.65	좌동	11.75	이동불가
	경로	E6-E7-E14-N25-N19-N34-E10-E4	"	E6-E7-E9-E3-N23-N1	"
2	비용	9.05	"	12.17	"
	경로	E6-E7-E14-N25-N19-N34-E10-E4	"	E6-E7-E9-E3-N23-N1	"
3	비용	9.07	"	12.25	"
	경로	E6-E7-E14-N25-N19-N34-E10-E4	"	E6-E7-E9-E3-N23-N1	"

<표 14> 경부파괴로 인한 비용 증가 현황(대안 1)

K	Unit / 500			1000			3000	
	파괴전	파괴후	차이	파괴전	파괴후	차이	파괴전	파괴후
1	7.32	8.65	1.33	7.32	11.75	4.43	7.32	불가
2	7.34	9.05	1.71	7.34	12.17	4.83	7.34	불가
3	7.4	9.07	1.67	7.4	12.25	4.85	7.4	불가

<표 15> 경부파괴후 대안 2 분석결과(광주-서울)

K		Unit	500	1000	3000
1	비용(hr)	6.05	좌동	6.43	이동불가
	경로	E3-N1-E10-N3-E4	"	E3-N23-N1	"
2	비용	6.16	"	6.85	"
	경로	E3-N23-N36-E10-N3-E4	"	E3-N23-N1-N42-N1	"
3	비용	6.2	"	7.03	"
	경로	E3-N23-N21-E10-N3-E4	"	E3-N23-N1-E4	"

<표 16> 경부파괴로 인한 비용 증가 현황(대안 2)

K	Unit / 500			1000			3000	
	파괴전	파괴후	차이	파괴전	파괴후	차이	파괴전	파괴후
1	5.23	6.05	0.82	5.23	6.43	1.20	5.23	불가
2	5.34	6.16	0.82	5.34	6.85	1.51	5.34	불가
3	5.36	6.2	0.84	5.36	7.03	1.67	5.36	불가

를 가져왔고, 대안 1과 마찬가지로 이동부대가 3000대인 경우 이동이 불가능한 결과를 나타냈으며, 1000대인 경우가 unit/500대인 경우보다 비용 증가분이 큰 이유는 경로상 용량부족(유성(N1)→조치원 : 869대/일) 때문인 것으로 나타났다.

### V. 결론 및 향후연구

본 논문은 다수 최단경로 문제를 군사적 부분에 적용한 기존 연구들의 단점인 링크용량과 이동수단을 교통류의 특성을 갖는 개념으로 적용/분석하였으며, 현재 군수송계획모델에서 적용하고 있는 최단경로 알고리즘의 문제점 및 이에 대한 개선안 그리고, 개선된 알고리즘을 기본 분석도구(tool)로 이용하여 실제 도로망 네트워크에 적용하여 그 효과성을 검증하였다. 또한, 경부고속도로가 파괴되어 사용할 수 없는 가상시나리오를 이용하여 군수송계획에의 효과성을 분석하였다.

기존의 연구들은 링크의 용량을 생략하였거나 지연시간의 개념, 피로하중의 개념 등으로 파악하여, 교통류의 특성을 갖는 용량과 차량군의 특성을 반영하지 못했다. 또한, 현재 군수송계획 모델에 적용하고 있는

Dijkstra 알고리즘은 최적해와 경로를 동시에 탐색함으로써 계산량이 적은 장점이 있는 반면에, 단지 1개의 최단경로만을 탐색함으로써 군 작전의 매우 중요한 특성인 우발상황에 대비하지 못하는 단점이 있다. 이에 대한 보완책으로 비록 계산량은 많으나 사용자가 원하는 만큼(K개)의 최단경로를 탐색함으로써 우발상황에 대비할 수 있는 Shier 알고리즘을 제시하였고, 대상 네트워크는 교통류의 특성을 갖는 군사적 개념의 용량을 적용하였다. 이와 더불어, 도로망 네트워크의 특성인 비용과 용량을 다양하게 적용함으로써 현실성 있는 분석을 하였다. 각 알고리즘의 계산량을 보면, 노드가 많아짐에 따라 sparse한 네트워크가 dense한 네트워크보다 계산량이 많아짐을 알 수 있었다. 다양한 크기의 네트워크를 대상으로 분석해 본 결과 군수송계획의 특성을 고려한다면 알고리즘의 수행 계산량이 제한사항은 아니라는 결론을 도출할 수 있었다.

또한, 실제의 군사적 네트워크를 대상으로 분석해 본 결과 링크의 비용이 거리인 경우와 시간인 경우에 큰 차이가 있었으며 따라서, 현재 수송계획모델에 적용하고 있는 거리에 기초한 개념을 시간에 기초한 개념으로 전환해야 함을 알 수 있었다. 그리고, 네트워크의 실제 용량을 고려하여 차량군의 특성을 갖는 임의의 다양한 이동부대를 대상으로 4가지 대안에 대해 분석해 본 결과 이동부대가 3000대인 경우 각 대안별로 해에 차이가 발생하였다. 이는 용량제한조건 때문인 것으로 나타났다. 또한, 경부고속도로가 사용 불가시에는 국도와 일부 고속도로를 사용하게 되며, 파괴전보다 비용증가가 예상되었으며, 이동부대가 3000대인 경우에는 이동이 불가한 것으로 분석되었다.

본 연구를 통해 이동부대에 따른 병참로상의 제약사항(용량부족)을 해결하기 위해서는 결과에서 도출된 주요 구간에 대한 도로 확·포장 사업의 추진, 이동수단(중차량)의 성능향상, 그리고 현재 차량군이동의 특성을 갖는 차량행군원칙의 변경(예를 들면, 분리된(separated) 행군)과 이를 군 교리상에 반영해야 할 필요성이 도출되었다. 또한, 긴급한 군차량의 이동 등은 전시상황 뿐만 아니라 평시에도 빈번하게 발생하므로, 평시 교통량을 고려한 네트워크의 구성과 이에 대한 알고리즘의 적용도 중요한 발전방안이며, 민간에서 추진중인 지능형 교통체계에 대해 군수송체

계에 적용 가능한 기술을 접목/적용<sup>5)</sup>하여 군 전투력 극대화에 기여해야 할 것이다.

연구의 한계 및 향후연구과제로는 첫째, 본 연구에서는 네트워크를 구성할 때 병참로상 취약시설(터널, 교량 등)의 제약사항에 대해 고려하지 않았으며, 국도이하의 도로에 대한 분석이 이루어지지 않았다. 이러한 면을 고려하여 분석한다면 수송부대의 이동뿐만 아니라, 전차, 장갑차, 중량화물 적재 차량, 공병장비 등의 이동계획수립 및 지역단위 수송계획수립에도 큰 효과가 있을 것이다. 둘째, 지금까지는 남한 지역의 도로망의 대상 네트워크로 두고 분석하였으나, 00작전 이후에는 대부분의 군수지원작전이 북한 지역에서 이루어지므로 북한지역 도로망을 대상 네트워크로 두고 분석하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

**참고문헌**

1. 김병수·김충영(1993), "K-최대용량경로 계산법에 관한 연구", 대한산업공학회지 제19권 제2호, pp.105~117.
2. 서성철·정규련(1997), "최적 보급수송로 선정을 위한 다항시간 Algorithm", 한국군사운영분석학회지, 제23권 제2호, pp.103~119.
3. 성기석·박순달(1991), "수송네트워크에서 최대물동량 경로문제의 최적해법", 한국경영과학회지, 제16권 제1호, pp.1~12.
4. 임규환(1989), "K-최단경로기법을 이용한 부대 이동경로 선정에 관한 연구", 한국군사운영분석학회지.
5. 채태석(2001), "K-최단경로 기법을 이용한 전평시 물동량 수송경로 선정에 관한 연구", 국방대학교 석사학위 논문.
6. 건설교통부(2001), "고속/일반국도 구간거리표".
7. 국군수송사령부(1999), "수송제원집".
8. 육군본부(1994), "육로수송운용", 야전교범 55-35.
9. 육군본부(1997), "이동관리", 야전교범 55-11.
10. Dreyfus, S. E(1969), "An Appraisal of Some Shortest-path Algorithms", Operations Research, Vol.17, pp.395~412.
11. Shier, D. R(1976), "Iterative Method for

5) 이동화물 차량의 실시간 위치추적, 최적경로 선정, 위협화물/차량 관리 등.

- Determining the k Shortest paths in a Network", Networks, Vol.6, pp.205~229.
12. G. L. Xue and S. Z. Sun(1993), "The Shortest path Network and Its Applications in Bicriteria Shortest path Problems", Network Optimization Problems, pp.355~362.
13. Huey-Kuo Chen, Ginny Feng(2000), "Heuristics for the stochastic/dynamic user-optimal route choice problem", European Journal of Operational Research 126.

☞ 주 작 성 자 : 방현석

☞ 논문투고일 : 2002. 9. 27

논문심사일 : 2002. 12. 2 (1차)

2003. 2. 10 (2차)

2003. 4. 4 (3차)

심사판정일 : 2003. 4. 4

☞ 반론접수기한 : 2003. 8. 31

### **A Study of the Analysis on the Accident Reduction Effect of the Median**

KIM, Gyeong-Seok · KANG, Seung Lim

A median is a safety feature most commonly used to separate opposing traffic on a divided highway. In designing highways, the selection and installation of a median can be a critical part from a safety viewpoint because road crossing accidents are definitely more serious than other accidents. In regard to the important function of the median, the proper countermeasure ought to have been provided and thorough study should have been carried out. In this paper, traffic accident data are analyzed to examine the accident reduction effect of the median, which are gathered from all over 4-lane national roads in Korea. The traffic accident data were categorized into two groups by the existence of a median. For more effective analysis, the data have been classified by accident type, severity, and occurrence time. To compare the effectiveness of median installation, not only the accident frequency but also the accident severity, EPDO, and the occupancy rate of specific accidents have been used as a mode of effectiveness. The analysis of the effectiveness of medians shows that both the accident frequency and the accident severity could decrease by providing a median. Also the section where a median was supplied showed the improvement of overall safety through fewer serious and fatal crashes as well as fewer head-on crashes. Therefore, conclusions can be drawn from results of this study that the median installation is an important means to increase the safety of over 4-lane national roads. This study is expected to provide the reasonability of the median installation by identifying the reduction of traffic accident after the median installation and to play a major role in selecting sections where the median is to be offered.

### **Queue Detection using Fuzzy-Based Neural Network Model**

KIM, Daehyon

Real-time information on vehicle queue at intersections is essential for optimal traffic signal control, which is substantial part of Intelligent Transport Systems(ITS). Computer vision is also potentially an important element in the foundation of integrated traffic surveillance and control systems. The objective of this research is to propose a method for detecting an exact queue lengths at signalized intersections using image processing techniques and a neural network model. Fuzzy ARTMAP, which is a supervised and self-organizing system and claimed to be more powerful than many expert systems, genetic algorithms, and other neural network models like Backpropagation, is used for recognizing different patterns that come from complicated real scenes of a car park. The experiments have been done with the traffic scene images at intersections and the results show that the method proposed in the paper could be efficient for the noise, shadow, partial occlusion and perspective problems which are inevitable in the real world images.

### **Shortest Path Problems of Military Vehicles Considering Traffic Flow Characteristics**

BANG, Hyunseok · KIM, Gunyoung · KANG, Kyungwoo

The shortest path problems(SPP) are critical issues in the military logistics such as the simulation of the War-Game. However, the existing SPP has two major drawbacks, one is its accuracy of solution and the other is for only one solution with focused on just link cost in the military transportation planning models. In addition, very few previous studies have been examined for the multi-shortest path problems without considering link capacity reflecting the military characteristics. In order to overcome these drawbacks, it is necessary to apply

the multi-shortest paths algorithm reflecting unexpected military incidents.

This study examines the multi-shortest paths in the real networks using Shier algorithm. The network contains both military link capacity and time-based cost. Also, the modes are defined as a platoon(group) rather than unit which is used in most of previous studies in the military logistics. To verify the algorithm applied in this study, the comparative analysis was performed with various sizes and routes of network which compares with Dijkstra algorithm. The major findings of this study are as follows:

- 1) Regarding the unique characteristics of the military transportation plan, Shier algorithm, which is applied to this study, is more realistic than Dijkstra algorithm. Also, the time based concept is more applicable than the distance based model in the military logistics.
- 2) Based on the results from the various simulations of this study, the capacity-constraint sections appeared in each scenarios. As a consequence, the alternatives are necessary such as measures for vulnerable area, improvement of vehicle(mode), and reflection of separated-marching column in the military manuals.

Finally, the limits and future research directions are discussed:

- 1) It is very hard to compare the results found in this study, which is used in the real network and the previous studies which is used in arbitrary network.
- 2) In order to reflect the real military situations such as heavy tanks and heavy equipment vehicles, the other constraints such as the safety load of bridges and/or the height of tunnels should be considered for the future studies.

### Development of a Microscopic Traffic Simulator for Evaluating Signal Operating Strategy of Traffic Adaptive Control System

LEE, Young-lhn · HAN, Donghee

Many cities, recently, have converted optimized fixed-time control to adaptive traffic system in the control of their signalized traffic network. The expected benefit from the adaptive traffic system is its ability to constantly modify signal timing to most effectively accommodate changed traffic conditions. While the potential benefits from this control structure may be significant, few studies have compared the effect of implementing this method of signal control against other alternative signal control strategies, because it is too difficult to evaluate the efficiency of the real-time adaptive system.

The objectives of this research are : to develop a microscopic simulator and to compare the effect at isolated intersections, corridors, and networks between the fixed signal timing plan and adaptive traffic signal system. This simulator will have allowed more sophisticated analysis techniques for the study of traffic control. Also, this research using this simulator evaluated a real-time traffic responsive signal system used in Seoul Korea

### Solution Algorithms for Logit Stochastic User Equilibrium Assignment Model

LIM, Yongtaek

Because the basic assumptions of deterministic user equilibrium assignment that all network users have perfect information of network condition and determine their routes without errors are known to be unrealistic, several stochastic assignment models have been proposed to relax this assumption. However, it is not easy to solve such stochastic assignment models due to the probability distribution they assume. Also, in order to avoid all