한국철도학회논문집
제10권 제5호 2007년 ▌ pp. 569-575

철도사고 대피경로 탐색을 위한 다수상품 유통문제와 최단경로 해법 연구

A Study on an Algorithm using Multicommodity Network Flow Model for Railroad Evacuation Routing Plan

장병만† · 김시곤*
Byung Man Chang · Si-Gon Kim

Abstract This paper presents a study on a Dijkstra algorithm for shortest paths to destinations and a modified algorithm of Multicommodity Network Flow Problem Model with a network transformation for evacuation planning from railroad accident in a directed network.

Keywords : Railroad Evacuation Planning, Multicommodity Network Flow Problem, Dijkstra Algorithm

요 지 본 논문은 철도사고 및 재난 발생시 사상자및 승객들을 최단시간내에 병원과 대피지점들로 이동시키는 경로를 탐색하는 해법을 제시하고자 한다. 도로용량의 제약이 없이 주요 병원 및 대피지점별로 사상자와 승객을 미리 배정하여 최단경로를 탐색하는 디직스트라 해법활용과 도로의 수송용량과 병원과 대피지점들의 수용용량을 제약조건으로 하여 탐색하는 다수상품유통모형의 활용방안을 제시하고자 한다.

주 요 어 : 철도사고시 대피경로탐색, 최단경로법, 다수상품유통문제

1. 서 론

본 연구에서는 철도역이나 철로 상에서 재난 또는 사고가 발생하여 사고지점에서 중상자, 경상자 및 대피승객의 3가지 유형의 승객들이 생겨서, 이들을 사고처리팀이 사고지점에서 인근에 있는 의료능력과 수용능력이 있는 복수개의 병원과 대피지점으로 수송능력의 한계가 있는 도로들을 통과하여 최소의 시간이나 최단의 통과거리로 수송하기 위한 문제의 효율적인 해법을 찾는 것을 목적으로 하며, 이 재난대피계획 수립에 다수상품 유통문제(Multicommodity Network Flow Problem: MNFP) 모형의 활용성을 제시하고자 한다.

이 철도사고 대피경로의 탐색 해법은 철도사고 발생시의 대피경로 탐색 뿐 아니라, 수송용량의 제약이 있는 철도의 각 노선을 이용하여 다수 종류의 화물이나 상품들을 동시에 다수의 목적지별 수송량만큼씩 최소의 총수송시간이나 비용 또는 거리로 수송하는 경로를 탐색하는 데도 활용할 수 있다.

또한 통상적으로 발생할 수 있는 사고 및 재난발생 지점으로부터 대피를 하기 위한 경로 탐색에 활용할 수도 있다.

관련 선행연구로는 Qingsong외 2인[9]이 최소비용문제(Min. Cost Flow Problem)모형을 활용한 용량제약경로계획의 발견적기법을 이용하여 재난대피계획의 근사해를 구한 것이 있다.

또한 Dijkstra[4]는 네트워크 상에서 하나의 출발지점에서 다른 모든 지점까지의 최단경로들을 구하는 해법을 개발하였다.

그리고 이 연구에서 고려하게 되는 다수상품 유통문제 모형은 대형의 생산유통계획, 수송계획, 사업계획 등의 수리계획 모형에서 자주 등장하는 형태의 모형이다[1]. 일반적으로 다수상품 유통문제에서는 동일한 네트워크 상을 흐르는 다수 개의 상품(commodity)이 존재하고, 네트워크의 각 호(도로)는 고유 용량과 함께 각 상품별로 서로 다른 수송 비용을 가지고 있다. 이러한 다수상품 유통문제는 기존의 네트워크 문제나 최소비용문제에 비해 훨씬 더 복잡한 상황을 표현해

† 책임저자 : 장병만, 서울산업대학교 공과대학 산업정보시스템공학과
E-mail : bmc@snut.ac.kr
TEL : (02)970-6467 FAX : (02)974-2849
* 서울산업대학교 철도전문대학원 철도정책경영학과

낼 수 있다.

본 연구에서는 각 승객유형별로 수송비용이 같다고 가정하여 문제의 계산복잡도를 완화시켜서 다루고자 한다.

여기서 사용하는 notation들은 다음과 같이 정의한다.

G(V,E) : 도로집합 E와 지점집합 V으로 구성된 유방향 네트워크

s : 출발지 또는 사고발생지점

t : 도착지

C_{ij} : 도로 (i,j) 통과 거리 (시간, 비용), $(i,j) \in E$

$\overline{C}_{ij}$: 도로(i,j)를 통과할 때 우회되는 거리의 길이

π_i : T_s상에서 지점 i까지의 최단거리

f_i : T_s상에서 지점 i의 전 지점 (predecessor)

T_s : s 에서 모든 지점(node)까지의 최단경로 나무

$SP(s,a)$: s에서 지점 a까지 최단경로, $SP(s,a) \in T_s$

$N(P^l)$: P^l의 통과지점들의 집합

$L(P^l)$: 경로 P^l의 길이

p : 수송대상자 유형, P: 그 집합

d_{pi} : 지점 i에서 발생하거나 수용하는 p유형의 승객의 수

h : 대상자를 받는 병원과 대피지점의 수

CA_{pi} : 각 병원이나 대피지점 i의 p 유형 승객 수용 용량

x_{pij} : 도로 (i,j)간 수송된 p유형의 승객의 수

2. 철도사고지점에서 병원 및 대피지점까지의 이동 경로 탐색해법 개발

먼저 이 문제의 이동 경로 탐색해법 개발을 사고발생 지점에서 각 병원이나 대피지점까지의 모든 지점으로의 최단경로를 구하는 문제로 생각할 수 있다.

또한 사고지점을 상품의 공급지로 하고, 병원 및 대피지점들을 수용능력의 제약이 있는 수요지로 하고, 승객들을 상품으로 하며, 각 도로를 통과시간과 수송용량의 제약이 있는 양방향의 링크(link)로 표시되는 네트워크 상에서 다수상품 유통문제(Multicommodity Network Flow Problem: MNFP) 모형으로 만들어서 각 승객유형별로 각 병원이나 대피지점으로 몇 명씩 어떤 경로로 이동시키는 것이 좋을지를 결정하는 문제로 생각할 수도 있다.

사고 재난지점에서는 일반적으로 사상자들 가운데서도 중환자는 큰 병원에 먼저 이동시키고 그 외 경상자들은 나중에 병원의 수용능력을 보아서 이동시킨다. 대피지점으로 가는 이들의 경우에는 가까운 대피지점부터 수용능력에 따라 보내지게 된다.

본 연구에서는 중환자와 경상자와 일반승객으로 이동시킬 대상들을 3가지 유형들로 분류하고, 중환자와 경상자들은 병원들로, 그 외 승객들은 대피지점으로, 그 수용능력과 각 통과도로의 용량을 감안하여 이동시켜야 하는 문제의 특성을 고려하여, 최소의 총소요시간이나 총이동거리를 소요하는 병원별 이동인원, 대피지점별 이동인원, 이동경로를 구해야 한다.

여기서 대피지점은 사고처리 후 각자 목적지로 출발하기 전까지 승객들이 휴식하며 대기할 수 있는 장소들을 말하며, 철도사고 대비를 위해 각 지역별로 미리 계약을 맺거나 하여 선정해 놓은 것으로 가정한다.

본 논문에서는 도로용량의 제약이 없고, 주요 병원 및 대피지점들을 미리 선정한 경우와 도로용량의 제약과 각 병원 및 대피지점의 수용 용량의 한계가 있는 경우로 구분하여, 두 가지의 대피경로들을 구하는 해법들을 찾도록 한다.

2.1 도로용량의 제약이 없고, 주요 병원 및 대피지점들을 미리 선정한 경우

이 문제 유형은 치료대상자의 수를 파악하고 병원의 치료능력과 수용능력을 고려하여서 중상자와 경상자를 이동시킬 병원들을 미리 선정해 놓고, 사고발생지점에서 선정된 병원들과 대피지점들로 중상자, 경상자 및 대피승객을 이동시키는 경로들을 찾는 문제가 된다. 사고발생지점에서 선정된 병원들과 대피지점들로 이동시키는 최단경로들을 찾은 후에, 중상자, 경상자 및 대피승객들을 각 병원과 대피지점 별에 따라 나누는 것은 상황에 따라서는 어렵지 않은 문제이므로, 낮은 계산복잡도로 빠른 시간 내에 해답을 구해야 할 경우에 이 해법이 간편하게 사용될 수 있다. 실제 상황 하에서는 실시간의 도로의 용량이 평소와는 달라지기 때문에 도로의 용량을 정확하게 알 수 없어서, 이런 최단경로 해법으로 경로를 빠르게 구하여서 활용하는 것이 필요하다고 사료된다.

해를 구한 후에, 중상자들은 중상을 다룰 수 있는 병원들로 먼저 배정하여 수송하고, 그 다음 경상자들을 수용능력이 남아 있는 병원들에 수송하고, 또 대피승객들을 각 대피 지점으로 수송하도록 하면 된다.

그러므로 이 문제는 사고발생지점에서 선정된 각 병원들과 대피지점들로 이동하는, 출발지에서 모든 지점으로의 최단경로들을 찾는 문제(Shortest Path Problem)가 된다.

이 여러 목적지까지의 최단경로들의 탐색 문제는 Dijkstra[4]가 개발한 최단경로나무 T_s 를 구하여 s에서 모든 지점까지의 최단경로들을 구하는 최단경로 해법을 이용하여 $O(n^2)$ 의 계산복잡도로 쉽게 해를 구할 수 있다[5].

이 Dijkstra 해법으로 해를 구할 때는, 먼저 사고지점 s를 최단경로 후보마디 집합 W에 넣고, $\pi s = 0$으로 둔다.

다음 지점 i∈W⊄SP 중에 s에서의 최단거리 π_i가 가장 짧은 지점 v를 찾아서, v를 최단경로 집합 SP에 넣고, 다른 교차로나 병원 등을 거치지 않고, v에서 직접 연결되는 인근 지점 j들까지의 연결도로 v_j로 연장한 경로 길이 π_j (= π_v + Cvj)들을 구하고, 이 v에서 연결되는 지점 j들은 최단경로 지점 집합 W에 넣고, 지점 j의 이전 지점 f_j를 저장 한다. 이미 j ∈W이면, π_j =min(π_v + Cvj, π_j)로 두고, 지점 j의 이전 지점 f_j를 저장 한다.

그 다음 W=∅이 될 때까지 지점 i∈W⊄SP 중에 π_i가 가장 짧은 지점 v를 찾아서 상기 과정을 반복한다.

상기의 과정을 모든 지점(node)들 가운데서 목적지로 하는 병원들과 대피지점들을 나타내는 지점들이 최단경로 집합 SP에 들어갈 때까지 반복하여, 사고지점에서 각 병원과 대피지점까지의 최단경로들을 구하게 된다.

그러나 이 문제 유형은 몇 군데의 도로에서 수송 차량이 몰려 교통정체를 유발할 수 있다. 이 때는 처음에는 위급한 중상자부터 먼저 수송시키고, 그 다음에 경상자, 그 후에 대피승객을 수송시키는 순서로 시간적인 차이를 두어서 상당 부분 해소할 수 있을 것으로 사료된다.

2.2 도로용량의 제약과 각 병원 및 대피지점의 수용 용량의 제약을 두는 경우

이 연구를 위한 모형은 발생된 3가지 유형의 수송 대상자의 수와 각 유형의 대상자별로 받을 수 있는 각 병원이나 대피지점의 수용용량, 또한 대피시의 교통혼잡을 대비하기 위한 각 도로별 수송용량 등이 제약조건으로 고려되어야 함으로, 이 문제의 모형으로는 모든 목적지점까지의 최단 경로문제나 최소비용문제 보다는 다수상품 유통문제의 모형이 적합하고, 보다 좋은 해를 얻게 한다고 판단된다.

여기서 3가지 유형의 승객을 3가지 상품으로, 사고지점을 상품 유통의 출발지로, 병원과 대피지점들을 각 상품별 도착지로 두면, 다수상품유통문제와 유사한 모형이 되므로, 다수상품유통문제 모형을 이용하여 해를 구해 보도록 한다.

다수상품 유통문제에서의 제약조건식은 첫째는 각 상품이 공유하고 있는 네트워크 상에서 각 상품별 수요, 공급에 대한 제약식이고 둘째는 각 도로의 수송용량의 제약식이다.

주어지는 네트워크가 G(V,E)이라고 하고, V은 n개의 지점(node)집합, E는 m개의 유방향호(arc)집합이라고 하자. 그리고 G를 통해 흐르는 상품들의 개수를 p, 그 집합을 P={1(중상자), 2(경상자), 3(대피승객)} 라고 하자. 사고발생지점을 s, 발생된 p유형의 수송 대상자의 수를 d_{ps}라 하고, p유형의 대상자를 받는 병원과 대피지점이 h개소 있고, 각 병원이나 대피지점의 수용용량은 CA_{pi} 이다. x_{pij}는 도로 (i,j)간 수송된 p유형의 대상자의 수이다.

그러면, 각 대상자별 배정과 수송에 대해서 다음의 다수상품 유통문제(MNFP) 모형과 같이 정형화 될 수 있다.

(MNFP)

minimize

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{i}\sum_{j} c_{ij}\, x_{pij} \tag{4}$$

$$\sum_{j} x_{pij} - \sum_{j} x_{pij} = \begin{cases} d_{pi}, & \text{if } i = s, \ \forall p \\ 0, & \text{if } i \neq s, i \neq t_{ph}, \ \forall p,h \\ -d_{pi}, & \text{if } i = t_{ph}, \ \forall p,h \end{cases} \tag{5}$$

$$\sum_{p} x_{pij} \leq u_{ij}, \quad \forall i, j \tag{6}$$

$$d_{pi} \leq CA_{pi}, \quad \forall i,p, i \neq s$$

$$x_{pij} \geq 0, \quad \forall i,j,p \tag{7}$$

(4)식은 총 이동 시간(거리, 비용)을 최소화하는 목적함수이다.

(5)식은 사고지점 s에서 각 유형의 대상자 수가 d_{ps} 명 발생하며, h개소의 각 병원이나 대피지점 에서 이들을 d_{pi} 명씩 수용하고, 다른 지점들은 통과하는 것을 표현한다.

(6)식은 각 도로를 통해 흐르는 모든 수송인원의 수는 해당 도로의 용량을 넘을 수 없다는 것을 표현한다.

(7)식은 각 병원이나 대피지점에서 수용하는 수는 유형별 수용 능력을 초과할 수 없다는 식이다.

다수상품 유통문제는 (6),(7)의 형태를 부가제약식(side constraint)로 가지는 p개의 최소비용문제(Min Cost Flow Problem)라고 볼 수 있다. 만일 (6),(7)과 같은 부가제약식을 제거한다면 다수상품 유통문제는 p개의 최소비용문제로 축소되고, 최소비용문제는 네트워크 단체법과 같은 알고리즘을 통해 아주 효과적으로 풀릴 수 있다. 즉, 다수상품 유통문제를 풀기 어려운 문제로 만드는 것은 (6),(7)과 같은 부가제약식이라고 할 수 있다[2].

현재까지 다수상품 유통문제를 푸는 방법으로 이미 알려진 것들로는 크게 세 가지로 분류될 수 있다. 첫째는 비용부여(cost-directive) 방법이고, 둘째는 상품배분(resource-directive) 방법, 셋째는 기저분할방법(partitioning method)이다[1].

비용부여 방법은 각 상품들이 공유하고 있는 호에 비용(cost)을 추가로 부여하여 (6)와 같은 수송용량제약식의 역할을 하도록 하는 방법이다. 라그랑지 완화방법과 Dantzig Wolfe의 분해원리 등이 이러한 방법에 속하며, 각 호에 부여되는 최적비용을 구하기 위해 연속된 부 문제들을 풀어나가게 된다. 이에 반해 상품배분 방법은 각 호의 용량을 각 상품별로 분배하여 주는 형식을 취한다. 최적 분배를 찾기 위해 비용부

여 방법과 유사하게 연관된 부문제를 연속적으로 풀어간다. 기저분할방법은 다수상품 유통문제를 선형계획법 문제로 취급하여 심플렉스법으로 풀 때 적용될 수 있는 방법이다. 즉, 다수상품 유통문제를 네트워크 제약식과 같은 특수구조를 가지는 선형계획법 문제로 보고, 이의 특성을 활용하여 심플렉스법을 효율화한 방법이다. 기저분할방법에서는 기저행렬을 네트워크 제약식 부분과 부가제약식 부분으로 분할하여, 축소된 기저행렬의 역행렬을 유지한다. 부가제약식 개수의 크기를 가지는 축소된 기저를 활용하므로 전체 기저행렬을 유지하는 방법에 비해 아주 효과적이게 된다. 물론, 부가제약식을 제거한 p개의 최소비용문제를 푼 다음 쌍대심플렉스법을 활용하여 풀고 있다.

현재까지 알려진 실험 연구들에 의하면 기저분할방법이 가장 우수하다고 할 수 있다[10]. 그러나, 심플렉스법의 특성상 문제의 크기가 대형이 될 경우 그 성능이 현저히 저하된다.

본 연구에서는 많이 개발되어 있는 선형계획법을 위한 팩키지들 가운데 대형의 선형계획문제 유형에 효율적인 LINGO를 이용하여서, 병원 및 대피지점까지 사상자들을 병원으로 이동시키고, 또한 승객 등을 대피지점으로 이동시키는 이동경로를 탐색하는 다수상품 유통문제를 푸는 방식을 채택하기로 한다.

그리고 대피 이동의 특성상 만약 수송경로 상에서 심한 교통체증이나 사고 발생으로 통과가 어려운 도로들이 발생하면. 이 도로(호)들을 네트워크 상에서 통과시간을 무한대 값으로 주어서 못가게 하여서 제거한 후에 해법을 수행하도록 한다.

그리고 MNFP 모형의 계산복잡도가 NP Complete [5]이므로, 계산의 복잡도를 줄이는 방안으로, 수송시 중상자를 우선 수송하고, 다음 경상자, 그 다음 일반 무사고 승객을 수송하는 식으로 승객 유형별로 축차적으로 시간을 두고 수송할 수 있다는 가정 하에, 각 승객의 유형을 구분하지 않고 다음과 같이 완화(relaxation) 시켜서 풀 수 있다.

즉 먼저 중상자만 수송하는 최소비용문제를 1차로 풀고, 그 다음 중상자의 수송량 만큼 도로용량을 감소시키고 병원들의 수용능력도 조정한 후 경상자만 수송하는 최소비용문제를 2차로 풀고, 그 후 경상자의 수송량 만큼 도로용량을 다시 감소시키고 대피지점들의 수용용량만 고려하여 대피승객 만을 수송하는 최소비용문제를 3차로 푸는 방식으로, 3개의 최소비용문제로 나누어 풀 수도 있다.

이 경우 기존에 나와 있는 최소비용문제를 푸는 우수한 알고리즘들을 이용하여 빠른 시간 내에 해를 구할 수 있다.

이 해법은 중상자 수송 중심으로 해를 구하게 되어 전체 수송시간의 최소화는 이룰 수 없게 된다.

또한 각 병원이나 대피지점별 수송인원을 미리 확정 배분하는 가정 하에 각 병원이나 대피지점의 유형별 수용능력에 관한 식(7)을 제거하고 수송경로를 찾아서 해를 구한 후에 중상을 다룰 수 있는 병원들에는 중상자들을 배정하여 수송하고, 그 다음 경상자들을 수용능력이 남아 있는 병원들에 수송하고, 또 대피승객들을 각 대피 지점으로 수송하도록 하면 된다. 그러나 이 도로용량의 제약만 완화(relaxed) 된 문제에서는 주요 병원 및 대피지점들의 수용능력 제약이 있어도 수송인원들은 최단경로를 따라 배정되게 됨으로, 앞 절의 도로용량의 제약이 없고, 주요 병원 및 대피지점들을 미리 선정한 경우와 같은 모든 지점까지의 최소경로문제를 푸는 것이 되므로 생략한다.

2.3 계산복잡도(Complexity)의 검토

재해발생 지점에서 각 병원과 대피지점까지의 각 도로의 용량과 병원 및 대피지점의 수용능력을 완화시키고 최단경로를 구하는 Dijkstra법은 계산복잡도가 $O(n^2)$이고[5], 각 승객의 유형을 구분하지 않고 완화(relaxation) 시켜서 승객유형별로 3개의 최소비용문제(Min. Cost Flow Problem)를 푸는 해법도 계산복잡도는 NP Complete이고[5], 각 도로의 용량과 각 병원 및 대피지점의 수용능력의 제약조건식을 가지고 있는 다수상품 유통문제 풀이를 위한 계산복잡도도 NP Complete이다[5].

3. 재난대피 경로 해법

재해발생 지점에서 각 병원과 대피지점까지의 경로를 구하는 2가지 해법을 정리하면 다음과 같다.

3.1. 각 지점까지의 최단경로문제 모형 해법 Dijkstra 해법

– 도로용량의 제약이 없고, 주요 병원 및 대피지점들을 미리 선정한 경우의 해법

단계 1. 사고지점 s를 최단경로 후보마디 집합 W에 넣고, $\pi_s = 0$으로 둔다.

단계 2. 마디 $i \in W \not\subset SP$ 중에 s 에서의 최단거리 π_i가 가장 짧은 마디 v를 찾아서, v를 최단경로 집합 SP에 넣는다.

단계 3. v에서 직접 연결되는 인근 지점 j들까지의 연결도로 (v,j) 로 연장한 경로 길이 π_j (= π_v + Cvj)들을 구하고, v에서 연결되는 지점 j들은 최단경로 지점 집합 W에 넣고, 지점 j의 이전 지점 f_j를 저장한다.
이미 j $\in$W이면, π_j=min(π_v + Cvj, π_j).

단계 4. W=∅이면 STOP, 아니면 단계 2로 간다.

3.2. 다수상품 유통문제 모형 이용 해법

－도로용량의 제약과 각 병원 및 대피지점의 수용 용량의 제약을 두는 경우의 해법 절차

단계 1. 네트워크 $G(V,E)$의 도로(호)와 거리값, 유형별 수송 대상자 수, 각 병원과 대피지점별 수송인원에 관한 정보를 입력한다.
- 3가지 유형의 승객별 가상의 출발지점을 3개소 추가하고, 가상의 호(도로)의 거리는 0, 수송용량은 무한대로 한다.

단계 2. 다수상품 유통문제 모형 문제의 선형계획법 모형을 LP-Package을 이용하여 풀이한다.

단계 3. 각 병원과 대피지점로 배정되는 승객유형별 수송 인원과 수송경로들을 정리한다.

4. 적용예제

본 연구에서는 평택역에서 사고가 발생시 인근지역의 병원과 대피지점으로 승객들을 대피시키는 예제를 만들어 사례연구를 하기로 한다.

평택역(4번 지점)에서 철도사고가 발생하여, 중상자 150명, 경상자 200명, 대피해야 할 승객이 350명이 발생하여서, 평택지역의 대형병원 2개소에 중상자를, 이 병원들을 포함하여 다른 병원들에 경상자를, 그리고 3개소의 대피지점으로 승객들을 수송하는데, 도로 네트워크의 구조와 각 도로의 통과시간 및 용량은 다음 Fig. 1과 같다고 하자.

네트워크 상에서의 각 병원, 대피지점의 정보, 승객 유형별 가상 출발지와 대피승객 정보는 Table 1과 같다

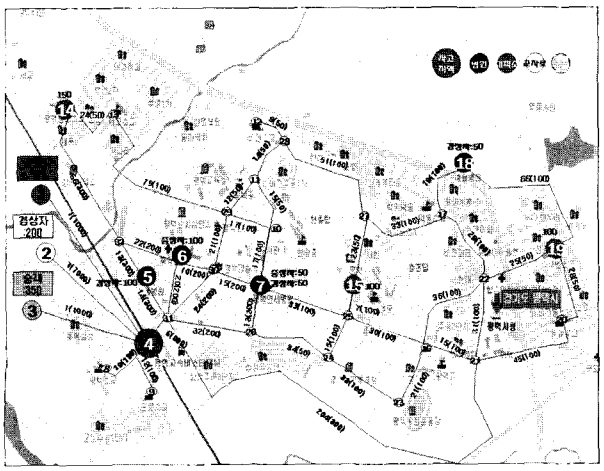

Fig. 1. The network of PyungTaek city with link traversal time and capacity data

각 도로의 통과시간(c_{ij})와 도로의 통과능력(u_{ij}), 병원및 대피지점의 승객 유형별 용량(d_{pi})은 Fig. 1을 참조한다.

4.1. 도로용량의 제약이 없고, 주요 병원 및 대피지점들을 미리 선정한 경우

먼저 도로용량의 제약이 없고, 주요 병원 및 대피지점들을 미리 선정한 경우를 가정하여 Dijkstra 해법을 활용하여 병원과 대피지점까지의 최단경로들을 구한 결과는 Table 2와 같다.

4.2. 도로용량의 제약과 각 병원 및 대피지점의 수용 용량의 제약을 두는 경우

이 문제는 수송 승객 유형이 3가지여서 각 유형별 승객이 출발하는 가상의 출발 지점을 3개 만들어 사고지점인 평택역과 거리 0, 도로용량 무한대의 가상의 호(도로)로 연결하였다. LINGO extended version으로 수식화하여 풀이 하였다.

Table 1. Capacities and locations of hospitals and resting places

지점	위치	수용능력(d_{pi})	비고
평택역	4	사고발생지역	
병원	6	중상자:100	중앙병원
병원	7	중상자:50, 경상자:50	평택연세병원
병원	5	경상자:100	서울병원
병원	18	경상자:50	예솔병원
대피지점	14	150	
대피지점	15	100	
대피지점	19	100	
가상출발지	1	중상자:150	
	2	경상자:200	
	3	승객 :350	

Table 2. The shortest evacuating paths by Dijkstra algorithm

지점	위치	수용능력 (d_{pi})	최단경로 거리	수송경로
평택역	4	사고지역	0	
병원	6	중상자:100	26	4-31-6
병원	7	중상자:50, 경상자:50	39	4-31-30-7
병원	5	경상자:100	20	4-31-5
병원	18	경상자:50	154	4-31-30-7-25-15-27-17-18
대피지점	14	150	89	4-31-5-32-14
대피지점	15	100	79	4-31-30-7-25-15
대피지점	19	100	163	4-31-30-7-25-16-22-19
총수송거리			53750	

LINGO를 이용할 때 각 병원 및 대피지점의 수용능력과 각 지점간 도로의 통과시간과 각 도로의 통과능력 및 각 지점간 연결 정보를 입력한다.

다수상품 유통문제 모형으로 풀이를 하였으며, 그 결과는 총수송시간은 시간이고, 각 승객 유형별 인원별 통과 경로는 다음 Table 3과 같고, 평택지역에서의 유형별 경로 그림은 Fig. 2와 같다.

다수상품 유통문제 모형으로 풀이를 하면 도로용량이 고려되어 각 지점으로의 수송이 최단경로로만 이루어지지 않고 최단경로와 우회도로들로 분산되는 것을 볼 수 있다.

최단경로로만 수송할 경우 목적함수인 총수송거리는 53,750으로 다수상품 유통문제 모형으로 풀이를 하였을 때의 총수송거리 62,100보다 8,350만큼 단축되지만, 부분최단경로인 31-30-7-25 도로에 수송차량들이 몰려 큰 교통정체 문제가 발생할 것으로 사료된다.

이는 다수상품 유통문제의 계산복잡도가 높은 것을 해결할 수 있는 컴퓨터의 능력과 각 도로의 수송용량이 정확하게 주어지는 문제만 해결되면, 현실적으로 다수상품 유통문제 모형을 이용하는 것이 타당함을 보여주는 예가 될 수 있다.

Table 3. The optimal evacuating paths by MNFP model

승객 유형	수송 경로	경로 거리	수송 인원	비고
중상자	(1-)4-31-30-7	39	50	병원 7
	(1-)4-31-6	26	100	병원 6
경상자	(2-)4-31-5	20	100	병원 5
	(2-)4-31-30-7	39	50	병원 7
	(2-)4-31-30-29-11-28-27-17-18	174	50	병원 18
일반 승객	(3-)4-31-30-7-25-16-22-19	163	50	대피지점 19
	(2-)4-31-21-20-19	283	50	
	(2-)4-31-26-7-25-15	91	50	대피지점 15
	(2-)4-31-26-24-25-15	94	50	
	(2-)4-31-5-32-14	89	150	대피지점 14
총수송거리		62100		

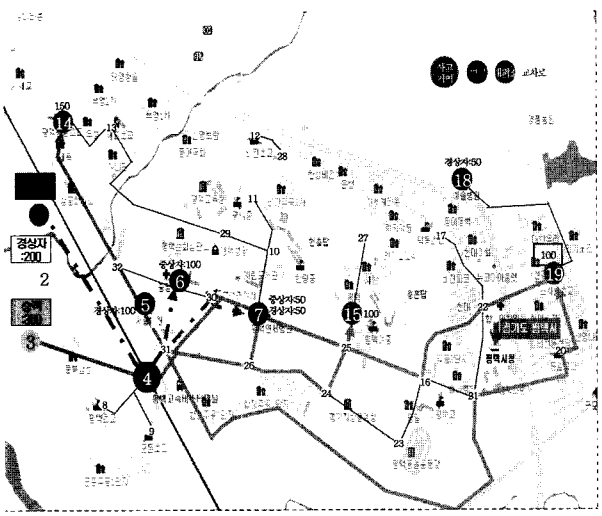

Fig. 2. The evacuating paths to hospitals and resting places by MNFP model

5. 결론 및 추후 방향

본 연구에서는 재해발생 지점에서 각 병원과 대피지점까지의 경로탐색을 위해 다수상품 유통문제(MNFP) 모형으로 변환하여 해를 구하는 방안을 제시하고, 최단경로문제 모형과 최소비용문제 모형을 이용하는 방안들도 제시하였다.

추후 또한 기존의 다수상품 유통문제(MNFP) 모형의 알고리즘의 실행을 보다 효율적으로 할 수 있으면서 계산 복잡도가 낮은 보다 효율적인 해법을 찾는 것과, 실제 도로망이나 교통·수배송 등 활용 영역에서의 검증이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원의 "철도사고 및 비상대응 관리 체계 구축"의 사업의 지원으로 수행하였으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Ahuja, R.K, T.L Management and J.B Orlin (1993), Network Flows, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
2. Casto, J. and N.Nabona (1996), "An implementation of linear and nonlinear multicommodity network flows," European Journal of Operations Research, Vol.92, pp.37-53.
3. Choi, I.C and D.Goldfarb (1990), "Solving multicommodity network flow problems by an interior point method," SIAM Proceedings on Applied Mathematics, Vol.46, pp.58-69.
4. Dijkstra, E.W. (1959), A note on two problems in connection with graphs, Numerische Mathematik, 1, pp.269-271.
5. Garey, M R and D.S. Johnson (1979), Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness, Freeman and company.
6. Hadjiconstantinou, E., and N. Christofides (1999), An efficient implementa -tion of an algorithm for finding K shortest paths, Networks, 34, pp.88-101.
7. Katoh, N., T. Ibaraki, and H. Mine (1982), An efficient algo-

rithm for K shortest simple paths, Networks, 12, pp.411-427.
8. Lawler, E.,Combinatorial Optimization (1976) : Networks and Matroids, Holt Reinhart and Winston, New York.
9. Qingsong Lu, Besty George and Shashi Shekhar (2005), "Capacity Constrained Routing Algorithms for Evacuation Planning: A Summary of Results", 9th Int'l Symposium on Spartial and Temporal Databases, LNCS 3633, pp.291-307.
10. 임성묵, 설동렬, 박순달 (2001), "다수상품 유통문제를 위한 내부점 방법", 대한산업공학회지, 제27권, 제3호, pp.274-280.
11. 장병만 (2001), "복수최단경로의 새로운 최적해법", 한국경영과학회지, 제26권 제3호, pp.79-94.
12. 장병만, 김시곤 (2006), "복수지점으로의 재난대피를 위한 복수최단경로문제와 다수상품 유통문제 해법 연구", 한국LBS학회지 제4권 제1호, pp.39-50.

(2007년 9월 14일 논문접수, 2007년 10월 15일 심사완료)