□ 研 究 論 文 □

韓國軍事運營分析學會誌
第17卷, 第2號, 1991. 12. 31.

戰時 最短輸送經路 選定
(Determination of the Shortest Transportation Path in Wartime)

尹鍾玉, 河碩太*

Abstract

In transportation network problems, it is often desirable to select multiple number of the shortect paths. On problems of finding these paths, algorithms have been developed to choose single shortest path, k-shortest paths and k-shortest paths via p-specified nodes in a network. These problems consider the time as the main factor.

In wartime, we must consider availability as well as time to determine the shortest transportation path, since we must take into account enemy's threat. Therefore, this paper addresses the problem of finding the shortest transportation path considering both time and availability.

To accomplish the objective of this study, values of k-shortest paths are computed using the algorithm for finding the k-shortest paths. Then availabilties of those paths are computed through simulation considering factors such as rates of suffering attack, damage and repair rates of the paths.

An optimal path is selected using any one of the four decision rules that combine the value and availability of a path.

*國防大學院

1. 序論

戰時에 특정지역에서 다른 지역으로 部隊를 移動시키거나 物資를 輸送할 때 最短時間內에 임무를 수행할 수 있는 移動路를 選定하는 것은 作戰遂行上 매우 중요하다. 경우에 따라서 支援時間이 遲延되었을 때에는 그 作戰은 전혀 가치가 없을 수도 있다. 지금까지의 부대이동에 관한 연구는 이러한 시간을 기준으로 최단경로를 선정하고 있다[3, 6].

戰時의 狀況과 特性을 고려해 볼 때 피아간 戰力增援이나 物資輸送을 저지 혹은 지연시키기 위한 攻擊行動을 취하기 때문에 敵의 威脅을 고려하지 않을 수 없다. 아무리 最短時間에 목적지까지 갈 수 있는 移動路를 選定했다 하더라도 그 도로가 적의 공격으로 도중에 移動이 挫折된다든지 長時間 遲延될 수도 있다. 뿐만 아니라 敵의 威脅에 취약한 도로를 따라 이동할 경우 직접적으로 敵의 攻擊標的이 될 수도 있다. 그러므로 敵의 威脅에 대한 道路의 可用度는 輸送經路選定에서 매우 중요한 要素가 된다.

本 硏究는 敵의 威脅과 戰線의 위치, 도로의 被害 및 修理에 대한 상황을 토대로 戰時 可用度를 고려한 最短輸送經路를 選定하는 문제를 취급한 것이다.

戰時 最短輸送經路를 選定하기 위해서는 多數의 最短經路가 필요하며 그 경로들에 대한 經路값과 可用度를 구해야 하는데 多數의 最短經路값은 k-最短經路法[2]을 이용하여 계산하고, 可用度는 도로에 대한 敵攻擊率, 道路의 被擊率, 被害率 및 修理率 등을 고려하여 구한다.

可用度計算에서 고려되는 被害(破壞)率과 修理率에 대해서는 현재 사용되고 있는 戰爭練習用 軍敎材[5]를 이용한다.

전시 최단수송경로선정에 있어서 經路값과 可用度를 折衷시키기 위하여 距離(혹은 時間) 및 可用度順 비교, 距離(혹은 時間) × 非可用度 비교, 그리고 多目標計劃法의 하나인 發生技法(generation technique)의 加重値法 및 制約法[1]을 사용한다.

2. 戰時 道路網의 可用度

가. 可用度 決定要素

體系의 可用度를 구하기 위해서는 故障率, 修理率, 重復設計(redundancy) 및 각종 支援體系(검사 및 지원장비, 예비 및 수리부품, 인원과 기술훈련, 물자수송 및 운반취급, 설비 및 기술자료 등)와 같은 여러가지 決定要素들이 고려될 수 있다[4, 7, 8]. 따라서 可用度의 決定要素들을 x, y, z, ……라고 하면 時點可用度函數 A(t)는

$$A(t) = f(x, y, z, \cdots) \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

로 나타내어진다. 체계가 理想的인 支援環境下에 있을 때 可用度를 구하기 위한 決定要素는 故障率, 修理率 및 重復設計가 될 것이다.

戰時 道路網에 대한 可用度를 구하기 위해서는 道路網을 구성하는 個別的인 道路의 可用度를 먼저 구해야 하는데 각 道路의 可用度에 관련된 요소들을 고찰해 보면, 作戰地域에

대한 敵의 攻擊頻度(또는 被擊間 時間), 각 도로가 被擊될 確率, 被擊時, 生存될 確率 및 損傷率(被害率)과 修理能力 등이 고려되어야 한다. 그러나 各各의 道路에 대하여 可用度를 구하는 문제에서 重復設計는 없다. 여기서 支援體系의 기능은 理想的이라고 보고 임의의 i라는 道路에 대한 時點可用度 $A_i(t)$는

$$A_i(t) = p\{E_{i1} \cup E_{i2}E_{i3} \cup E_{i2}E_{i4} \cup E_{i2}E_{i5}E_{i6}\}. \quad \cdots\cdots (2)$$

여기에서

E_{i1} : i道路가 攻擊을 받지 않는 사상,

E_{i2} : i道路가 攻擊을 받는 사상,

E_{i3} : i道路가 生存하는 사상,

E_{i4} : i道路가 半破狀態로 破壞되는 사상,

E_{i5} : i道路가 完破狀態로 破壞되는 사상,

E_{i6} : t시점 이전에 使用可能狀態로 修理되는 사상

E_{i1}, $E_{i2}E_{i3}$, $E_{i2}E_{i4}$ 및 $E_{i2}E_{i5}E_{i6}$는 相互排他的이기 때문에

$$\begin{aligned} A_i(t) &= p(E_{i2}) + p(E_{i2}E_{i3}) + p(E_{i2}E_{i4}) \\ &\quad + p(E_{i2}E_{i5}E_{i6}) \\ &= p(E_{i1}) + p(E_{i2})\,p(E_{i3}|E_{i2}) + p(E_{i2}) \\ &\quad p(E_{i4}|E_{i2}) + p(E_{i2})\,p(E_{i5}|E_{i2})\,p(E_{i6}| \\ &\quad E_{i2}E_{i5}). \end{aligned} \quad \cdots\cdots (3)$$

나. 狀況設定

敵은 아군의 戰力을 增員하기 위한 部隊移動이나 중요한 物資를 전선지역으로 輸送하는 것을 저지하기 위한 攻擊行動을 취할 것이다. 이러한 敵攻擊에 의한 威脅이 항상 존재하는 戰時狀況下에서 주로 戰線方向으로 부대가 이동하거나 물자가 수송되며 敵에 의한 威脅은 戰線에 가까운 지역일수록 증가된다.

敵의 공격횟수는 포아송분포를 따른다고 가정한다. 이 분포에 따라 敵이 공격하였을 때 戰線의 位置와 作戰狀況 및 道路의 重要性에 따른 敵攻擊의 頻度數에 의하여 被擊地域과 道路 및 標的이 결정된다.

敵의 공격을 받았을 때 도로의 被害狀態는 運用狀態(被害를 입지 않은 狀態), 半破狀態(制限的 使用), 完破狀態(使用不可)이다. 이때 道路에 被害를 입히는 것은 敵에 의한 被擊이며 天才地變과 적의 진행을 차단하기 위하여 自意에 의한 爆破行爲는 고려되지 않는다고 가정한다.

도로가 被害를 입었을 때는 修理를 실시한다. 細部地域別 修理率은 동일하나 被害狀態別 修理率은 差異가 있다고 본다.

적의 공격으로 인한 피해 및 수리상황을 고려하여 도로의 被害狀態 및 狀態間 轉移는 〈그림 1〉과 같다.

다. 戰時 道路網의 可用度

戰時 輸送經路를 구성하는 道路網의 可用度는 도로망을 구성하는 각 도로의 連結構造가 고려되어 계산된다. 이때 도로의 連結構造는 直列, 竝列 그리고 直列과 竝列의 混合 등이 있을 수 있으나 하나의 輸送經路上에서는 直列構造이다.

(1) 각 道路에 대한 可用度

전시 도로의 可用度에 대한 決定要素들을 이용하여 가용도를 구하는 수학적인 모형을 만

들기는 매우 어렵다. 왜냐하면 敵의 攻擊頻度, 도로가 被擊될 確率, 生存確率 및 被害率 그리고 修理率들간의 相互關係가 매우 복잡하기 때문이다. 그러나 敵의 攻擊實施로부터 修理까지 순서대로 事件의 형태로 표시하는 것이 용이하므로 事件의 形態를 順序에 맞게 綜合하여 컴퓨터시뮬레이션 모형을 수립하여 可用度를 구하려고 한다.

敵의 攻擊은 地域이 戰線으로부터 떨어져 있는 程度와 적과 아군의 戰鬪狀況에 따라 그 程度(頻度)가 다를 것이다. 이 점을 고려하여 아군 지역을 여러 개의 細部地域으로 나눈 다음 각 도로의 可用度를 구한다.

敵의 攻擊時間은 敵이 攻擊率 p를 갖는 敵攻擊間 時間에 대한 確率分布로써 결정된다. i번째 細部地域에 속한 j번째 道路에 있어서 그 地域 및 道路의 敵攻擊頻度數인 f_i, f_{ij}를 부여하여 被擊對象地域 및 道路를 결정한다. 이때 被擊對象道路가 이미 破壞되어 있으면 다음 공격사상을 발생시킨다.

피격도로는 生存될 수도 있고 破壞될 수도 있으며 이것은 生存確率에 의존한다. 生存된다면 다음 공격사상을 발생시키고 破壞된다면 被害狀態는 앞에서 설정한 3가지 중 하나가 될 것이며 被害狀態에 따라서 修理가 실시된다.

修理가 실시되면 可用度를 계산하기 위하여 不可用(故障)時間을 산출해야 하는데 완파상태에서 반파상태로 수리하는 소요시간만 누적한다. 왜냐하면 반파상태는 사용가능한 상태이기 때문에 반파상태에서 운용상태로 수리하는 시간은 不可用時間에 포함시키지 않는다.

시뮬레이션으로 가용도를 계산하는 절차를 요약하면 〈그림 2〉와 같다.

〈그림 2〉와 같은 일련의 절차에 따라 시뮬레이션을 수행한 후 각 道路의 可用度 A_{ij}를 구하는 식은 다음과 같다.

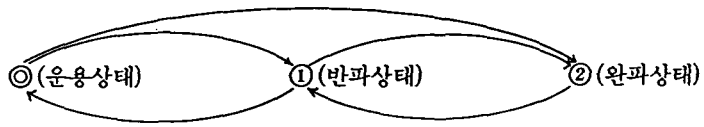
$$A_{ij} = \frac{T_{ij}}{T}$$

$$= 1 - \frac{R21_{ij}}{T}, \quad i = 1, 2, \cdots, \quad j = 1, 2, \cdots (4)$$

여기서 i는 細部地域의 번호, j는 道路番號, T_{ij}는 i지역내 j도로의 運用時間, 그리고 $R21_{ij}$는 i지역내 j도로가 완파상태에서 반파상태로 수리되는 總修理時間(不可用時間)이다.

각 道路에 대한 可用度를 구하기 위하여 不可用時間을 산출하는 시뮬레이션 네트워크는 〈그림 3〉과 같다. 여기에서 사용되는 변수들은 다음을 의미한다.

EXPON(1/P) : SLAM Ⅱ 변수(지수분포),
P : 敵攻擊率



〈그림 1〉 戰時 道路의 被害 및 修理狀態 變化

ATRIB(1) : SLAM Ⅱ 변수(1 : 敵攻擊時間)

T : ATRIB(1)의 直前 敵攻擊時間

TBATK : 敵의 攻擊間時間

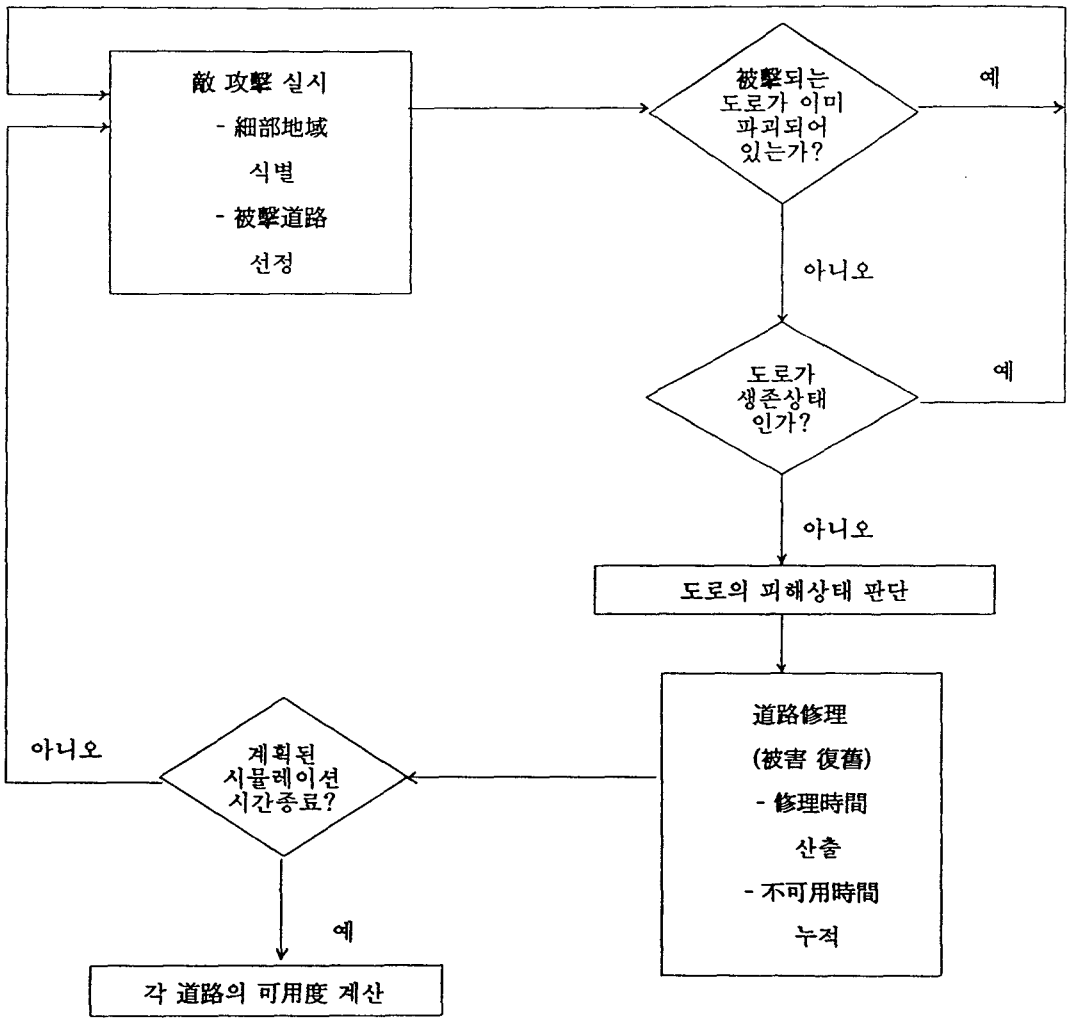
ARRAY(1, I) : SLAM Ⅱ 변수(道路의 狀態)

ARRAY(2, I) : SLAM Ⅱ 변수(道路修理累積時間)

ARRAY(3, I) : SLAM Ⅱ 변수(細部地域 i에 대한 豫想 敵攻擊 頻度數)

ARRAY(4, I) : SLAM Ⅱ 변수(각 道路에 대한 豫想 敵攻擊 頻度數)

ARRAY(5, L) : SLAM Ⅱ 변수(道路의 被害狀態)



〈그림 2〉 각 道路의 可用度計算 흐름도

ARRAY(6, L) : SLAM Ⅱ 변수(橋梁에 대한 修理時間)

ARRAY(7, L) : SLAM Ⅱ 변수(陰路地域에 대한 修理時間)

FB : 도로상에서 橋梁에 대한 豫想 攻擊頻度數

HR : 도로가 상태 1에서 상태 0으로 修理되는 時間

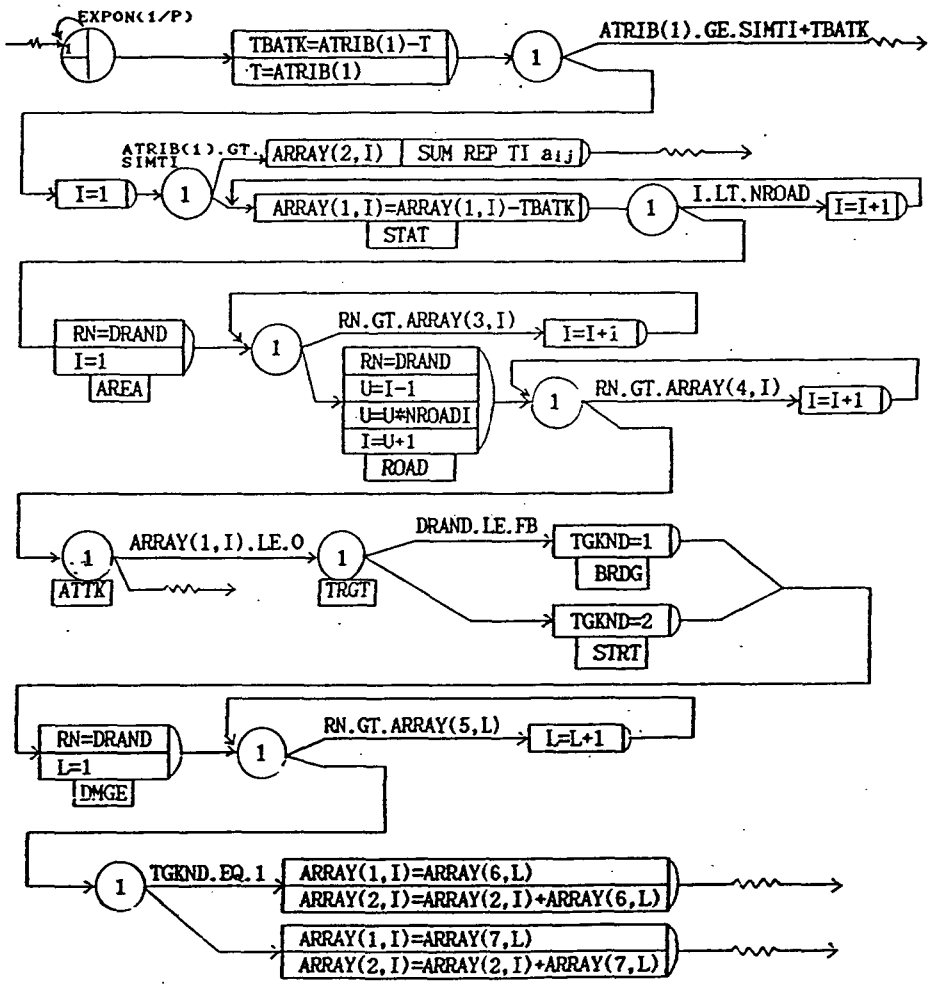
CR : 도로가 상태 2에서 상태 0으로 修理되는 時間

DRAND : SLAM Ⅱ 네트워크 변수(亂數)

RN : 亂數(=DRAND)

NROADI : 세부지역 i내의 도로수

NROAD : 총 도로수



<그림 3> 시뮬레이션 네트워크

TGKND : 표적의 종류(교량 : 1, 애로지역 : 2)
SIMTI : 시뮬레이션 기간

(2) 道路網의 可用度 計算

輸送經路 k를 구성하는 道路網의 可用度를 A_k라 한다면 A_k는 經路上의 모든 道路의 可用度 A_{ij}가 다음과 같이 구해진다.

$$A_k = \prod_{\forall (ij) \in k} A_{ij}, \quad k = 1, 2, \ldots\ldots (5)$$

3. 可用度를 考慮한 最短輸送道路

가. k-最短經路 計算

出發地點을 源마디, 目的地를 着마디, 도로로 연결되는 기타 主要地點(주로 都市)을 中間마디로 하고 각 마디간의 도로를 弧로 하여 〈그림 4〉와 같이 도로 네트워크를 구성한다. 弧상의 數는 弧값으로서 두 마디간 移動에 소요되는 時間이다.

위와 같이 구성되는 도로 네트워크를 바탕으로 k개의 最短經路값을 k-最短經路法[2]을 이용하여 구한다.

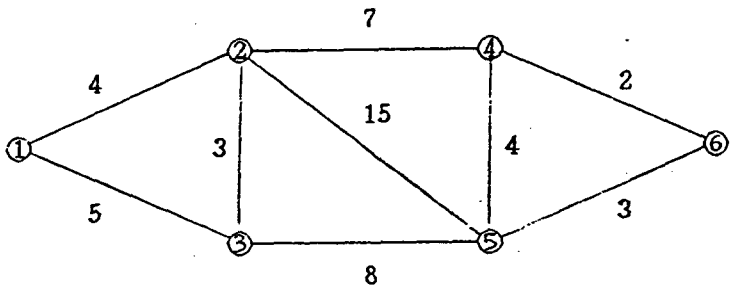
나. 可用度를 考慮한 最短輸送經路 選定

k개의 最短經路가 순서대로 계산되면 각 經路에 대하여 〈식 5〉를 이용하여 定常狀態의 可用度를 계산한다. 經路값과 可用度가 계산되면 最適經路를 선정하는 문제는 어떤 형식의 意思決定規則을 따라야 한다. 여러가지 방법으로 意思決定規則을 설정할 수 있겠지만 여기서는 위 두 가지 값을 折衷시키기 위하여 다음과 같은 방법들을 고려할 수 있다.

(1) 距離(혹은 時間) 및 可用度順 비교

k-最短經路法에 의하여 계산된 經路값과 각 경로들에 대한 可用度를 각각 순서대로 나열한다. 輸送經路에서 距離나 時間은 클수록 불리하고 可用度는 작을 수록 불리하므로 經路값은 작은 값으로부터 큰 값을 갖는 경로순으로, 可用度는 큰 값을 갖는 경로에서 작은 값을 갖는 경로순으로 나열한다.

經路값과 可用度가 순서대로 나열되면 어떤 경로를 最適經路로 선택할 것이냐 하는 문제는 어느 요소에 어떻게 비중을 두고 결정할 것인지 意思決定者의 決心事項이다.



〈그림 4〉 道路네트워크의 例

(2) 距離(혹은 時間) × 非可用度 비교

經路값은 距離 혹은 時間인 반면 可用度나 非可用度는 確率槪念이다. 그래서 可用度 혹은 非可用度의 확률적인 성질을 고려하였을 때 하나의 방법으로 '距離(혹은 時間) × 非可用度'의 값을 계산하여 비교할 수 있다.

임의의 경로값에 대하여 그 경로의 可用度나 非可用度를 적용할 때 經路값이나 非可用度는 작아야 유리하고 可用度는 커야 유리하므로 經路값에 非可用度를 적용하여 가장 작은 값을 갖는 경로를 最適經路로 선정한다.

(3) 加重値法

또 다른 방법으로 두 目標의 단위가 서로 다른 경우에 이것을 결합시키기 위하여 加重値法[1]을 사용할 수 있다. 그런데 經路값과 可用度의 두 가지 目標를 결합할 때 이 각각은 最適化方向이 서로 반대이기 때문에 時間과 非可用度의 합으로 결합되어야 한다. 따라서 경로 k에 대한 經路값을 T_K, 可用度를 A_k, 이 두가지 값이 절충된 目標函數 값을 B_k라 하면 다음과 같은 函數를 설정할 수 있다.

$$B_k = T_k + w(1-A_k), \qquad (6)$$

여기에서 k : 輸送經路番號

w : 非可用度에 대한 加重値

可用度를 고려한 最短輸送經路는 〈식 6〉에서 계산된 값들 중에서 가장 작은 B_k값을 갖는 經路가 最適經路가 된다.

(4) 制約法

制約法[1]은 하나의 目標를 最適化시키는 반면에 모든 나머지 目標들을 어떤 값으로 制約條件에 포함시키는 것이다.

戰時 輸送經路에 대하여 經路값과 可用度의 두 목표가 있을 때 이 두 목표 중 어느 하나의 목표를 制約條件으로 하고 다른 하나를 最適化할 수 있다. 移動時間이 T시간 이내이어야 할 때 문제는 어느 경로들이 T시간 이내에 이동이 가능하고 그 경로들 중에서 可用度가 가장 큰 경로는 어느 것인가, 또는 可用度를 A 이상 유지해야 한다면 어느 경로가 可用度를 충족시키면서 最短經路로 선정될 것인가 하는 것이다.

다. 알고리즘

可用度를 고려한 最短輸送經路를 選定하기 위한 절차는 다음과 같다.

〈단계 1〉 主要地點 및 地點間 道路들을 네트워크로 작성하고 각 弧에는 移動所要時間을 부여한다.

〈단계 2〉 k-最短經路法으로 k개의 最短經路값 T_k를 계산하여 나열한다.

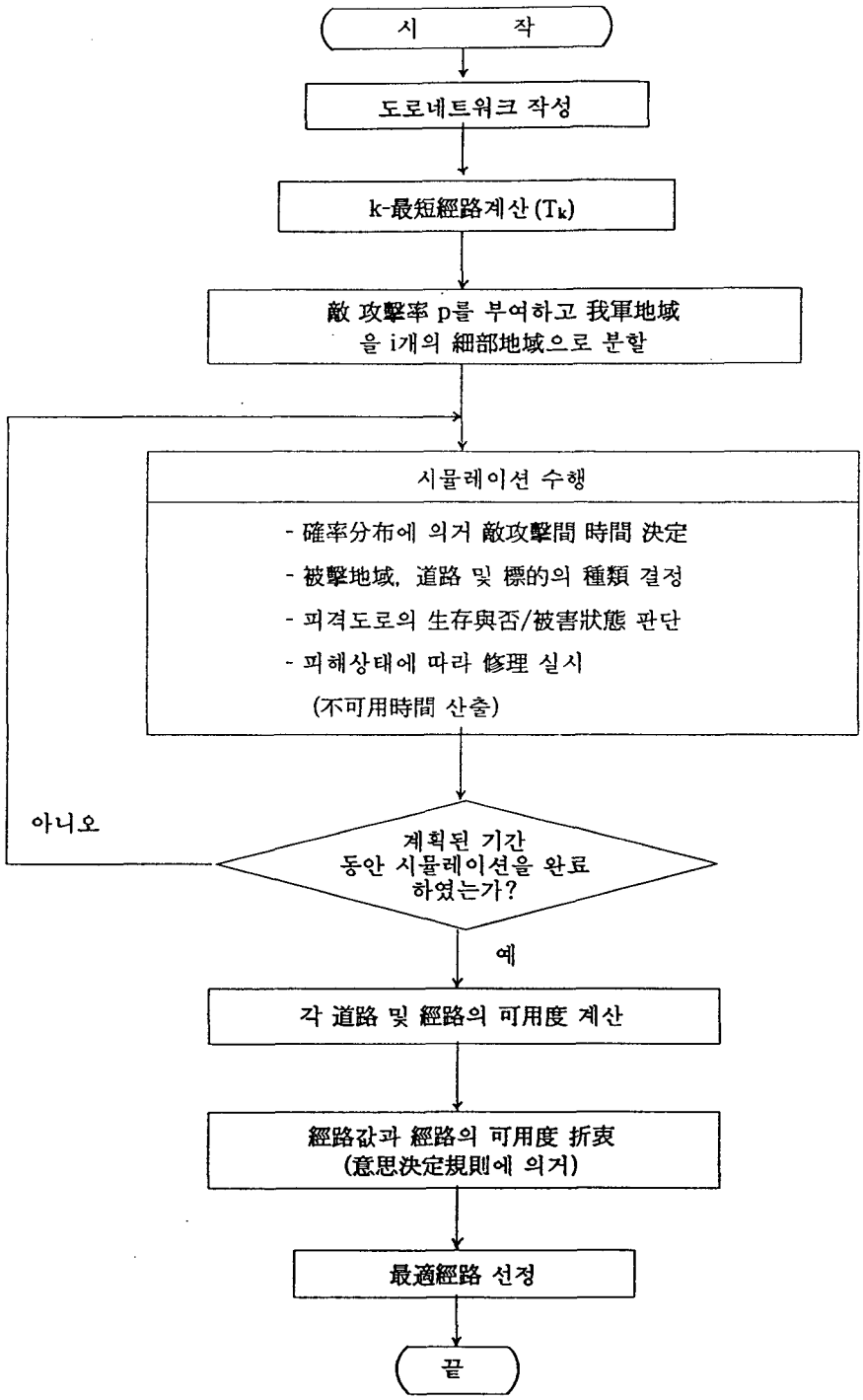
〈단계 3〉 k개의 最短經路에 대한 定常狀態의 可用度를 다음과 같이 구한다.

① 敵攻擊率 p을 부여하고 我軍 地域을 i개의 細部地域으로 분할한다.

② 각 道路 a_{ij}의 可用度를 계산하기 위한 시뮬레이션을 수행한다.

i) 敵이 공격하는 時間은 주어진 確率分布에 의해 결정된다.

ii) 敵이 공격할 細部地域과 지역내에서 被擊될 道路를 결정한다. 그리고 被擊되는 標的의 種類는 橋梁이 우선적으로 선택된다.



〈그림 5〉 可用度를 고려한 最短輸送經路選定의 흐름도

iii) 피격되는 도로가 생존인가?

그렇다면 GO TO 〈단계 3〉의 ②, 그렇지 않다면 다음을 계속한다.

iv) 공격을 받은 도로가 어떤 상태로 被害를 받는가, 修理는 어떻게 실시되는가를 敎育用 戰爭練習 軍敎材를 이용하여 결정한다.

v) 피격도로가 修理되는 시간 중에서 상태 2에서 상태 1로 수리되는 時間을 累積(不可用時間)한다.

③ 계획된 기간 동안 시뮬레이션을 실시하였는가?

그렇다면,

$$A_{ij}=1-\frac{\text{不可用時間}}{\text{시뮬레이션 期間}}$$

에 의해 각 道路의 可用度를 계산하며, k-最短經路法으로 계산된 經路(輸送經路)를 구성하는 각 도로를 식별하고 경로 k의 可用度 A_k를 다음과 같이 계산한다.

$$A_k=\prod_{\forall(ij)\in k} A_{ij}$$

그렇지 않다면,

GO TO 〈단계 3〉의 ②.

〈단계 4〉 일정한 意思決定規則에 따라서 戰時 可用度를 고려한 最短輸送經路를 선정한다.

위에서와 같은 최적의 경로를 선정하기 위한 절차에 관하여 흐름도를 작성하면 〈그림 5〉와 같다.

라. 例題

다음과 같은 狀況을 가정하자. 특정임무를 부여받은 부대가 신속히 작전을 수행하기 위하여 현위치인 진천에서 임무를 수행할 진지(서울)로 部隊移動을 실시하고자 한다. 현재의 戰線은 인천 - 서울 - 춘천 - 주문진을 연하는 선 북방에 있으며 敵의 攻擊은 戰線에 가까울수록, 서울과 대전을 연결하는 축선에 많은 頻度로 실시될 것으로 예상되는데 敵攻擊의 약 60%가 수원 - 광주 - 양평을 연하는 선 북방에 실시되고 30%는 용인 - 원주를 연하는 선 북방에, 그 이남으로 나머지 약 10%가 실시될 것으로 본다.

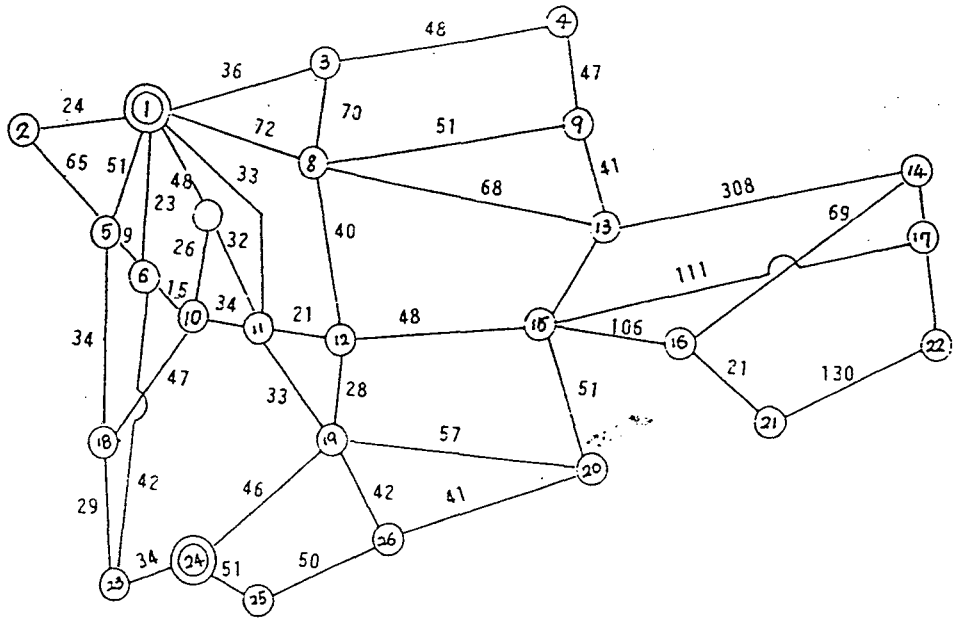
(1) k-最短經路 計算

我軍 地域의 道路網을 〈그림 6〉과 같이 하나의 네트워크로 작성한다. 여기에서 각 弧上의 數는 部隊移動時 소요되는 시간을 나타낸다.

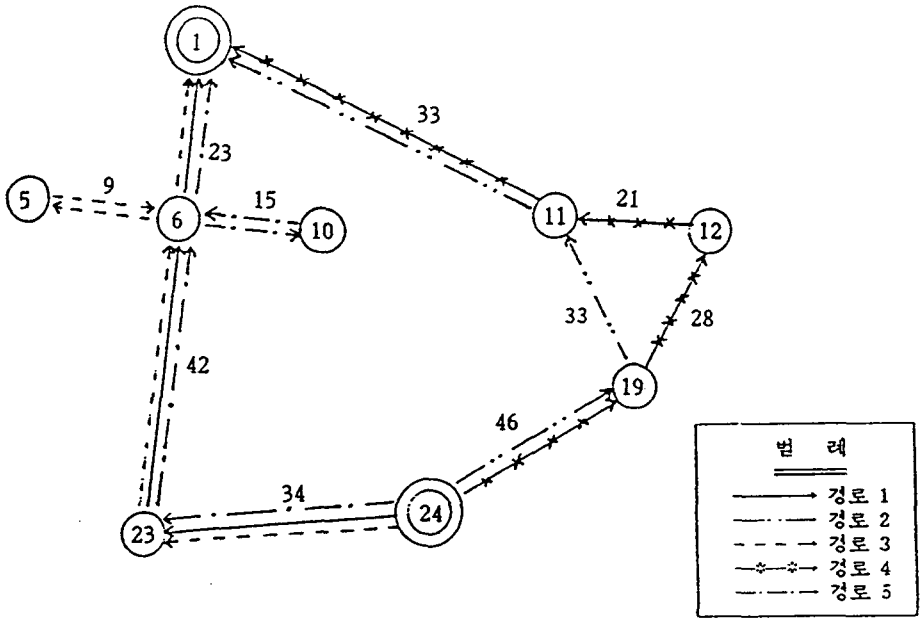
k-最短經路法을 이용하여 最短經路를 계산하면 k=5일 때 〈그림 7〉 및 〈표 1〉과 같다. 이 때 사용되는 프로그램언어는 FORTRAN77이며 國防大學院 컴퓨터팩캐이지 KSHORT(K-shortest path) 부프로그램을 사용한다.

(2) 輸送經路別 可用度 計算

계산된 5개의 經路들 중에서 經路 3과 5는 往復過程이 있으므로 제외된다. 제외된 2개의 經路외 나머지 3개의 經路들에 대해서 각각의 可用度를 구하기 위해 3개의 經路들을 모두 포함할 수 있는 我軍 地域을 細部地域(12개)으로 분할한 다음 시뮬레이션을 수행한다. 〈그림 8〉은 我軍 地域을 細部地域으로 분할한 것이다.



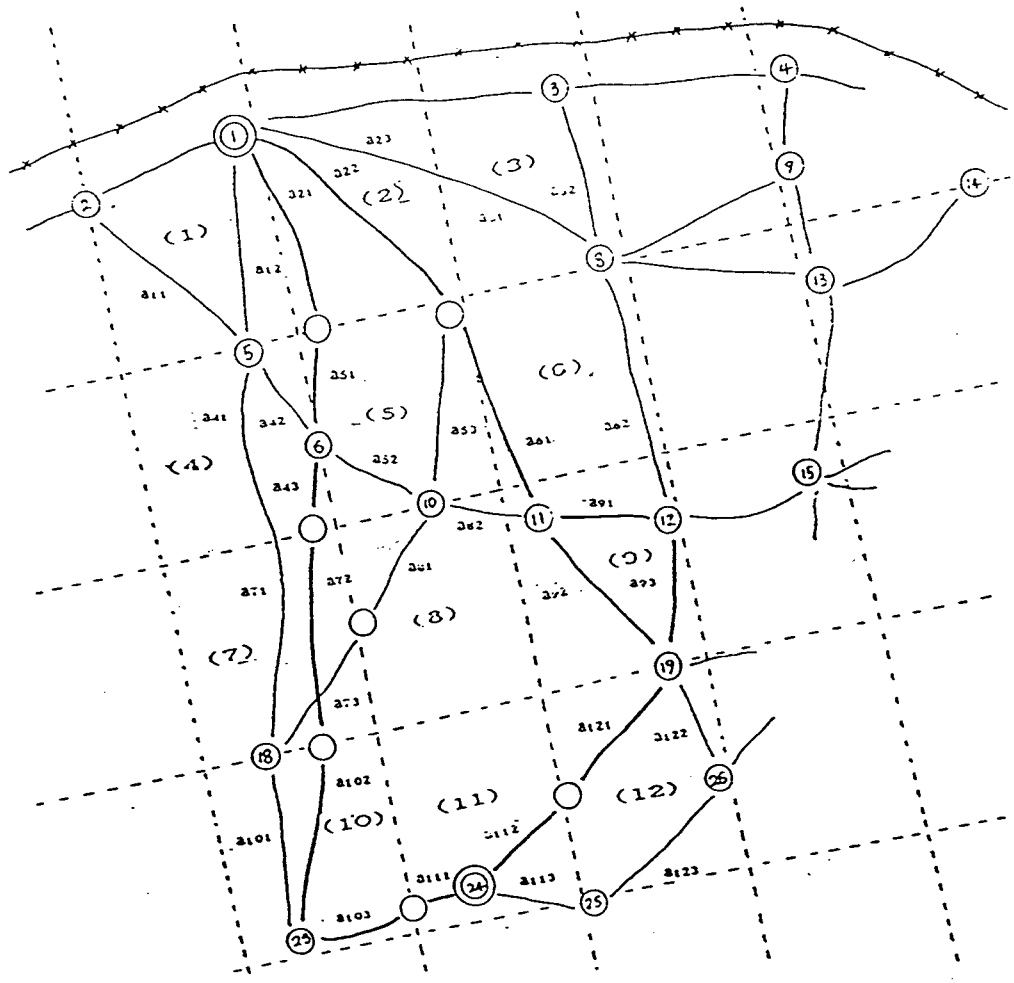
〈그림 6〉 道路네트워크



〈그림 7〉 k= 5인 最短經路

〈표 1〉 k= 5인 最短經路

經路番號	經路값	連結마디
1	99.00	24, 23, 6, 1
2	112.00	24, 19, 11, 7, 1
3	117.00	24, 23, 6, 5, 6, 1
4	128.00	24, 19, 12, 11, 7, 1
5	129.00	24, 23, 6, 10, 6, 1



〈그림 8〉 地域의 分割

(가) 入力資料 들의 세부내용은 〈표 2〉와 같다.

시뮬레이션을 수행하기 위해 入力되는 資料

〈표 2〉 入力資料

구 분	내 용							비 고
敵 攻擊間時間에 대한 분포 : 지수분포, (敵攻擊率 p=1/4)								
細部地域에 대한 敵攻擊頻度數	地域	1	2	3	4	5	6	總頻度數 100 기준
	頻度數	20	22	15	12	12	6	
	地域	7	8	9	10	11	12	
	頻度數	5	2	2	2	1	1	
각 道路에 대한 敵攻擊 頻度數	地域	1			2			地域別 總頻度數 100 기준
	道路	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	
	頻度數	50	50	0	40	35	25	
	地域	3			4			
	道路	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{41}	a_{42}	a_{43}	
	頻度數	100	0	0	30	60	40	
	地域	5			6			
	道路	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{61}	a_{62}	a_{63}	
	頻度數	40	30	30	50	50	0	
	地域	7			8			
	道路	a_{71}	a_{72}	a_{73}	a_{81}	a_{82}	a_{83}	
	頻度數	35	45	20	50	50	0	
	地域	9			10			
	道路	a_{91}	a_{92}	a_{93}	a_{101}	a_{102}	a_{103}	
	頻度數	30	40	30	40	40	20	
	地域	11			12			
	道路	a_{111}	a_{112}	a_{113}	a_{121}	a_{122}	a_{123}	
	頻度數	33	33	34	35	35	30	
橋梁을 우선 攻擊할 確率 : 0.8								

被害率	亂 數	橋 梁	道 路
	0 - 16	- 1개소 노면 파손 - 輸送能力 50%	- 대화구 형성(1) - 輸送不可
	17 - 33	- 1개소 노면 파손 - 輸送能力 20%	- 대화구 형성(2) - 輸送不可
	34 - 50	- 1개소 교절 피해 - 輸送不可	- 대화구 형성(3) - 輸送不可
	51 - 67	- 1개 교각, 2개 교절 파괴 - 輸送不可	- 도로절단(25%)
	68 - 84	- 2개 교각, 2개 교절 파괴 - 輸送不可	- 도로절단(50%)
	85 - 99	- 3개 교각, 4개 교절 파괴 - 輸送不可	- 도로절단(100%)

修理時間	被 害 內 容		修 理 時 間
	道 路	대화구 형성	5
		절단(100m)	6
	橋 梁	교절(1개)	24
		교각(1개)	72

(나) 出力資料

위와 같은 入力資料를 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과로 산출된 불가용시간을 이용하여 可用度 A_{ij}를 구하면 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 各 道路의 可用度

地域	1			2			3			4		
道路	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{41}	a_{42}	a_{43}
A_{ij}	.5825	.5880	*	.6220	.6615	.7400	.4800	1.000	*	.8065	.7915	.7515
地域	5			6			7			8		
道路	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{61}	a_{62}	a_{63}	a_{71}	a_{72}	a_{73}	a_{81}	a_{82}	a_{83}
A_{ij}	.7410	.7965	.7735	.7910	.8365	*	.8750	.8570	.9370	.9275	.9320	*
地域	9			10			11			12		
道路	a_{91}	a_{92}	a_{93}	a_{101}	a_{102}	a_{103}	a_{111}	a_{112}	a_{113}	a_{121}	a_{122}	a_{123}
A_{ij}	.9400	.9200	.9470	.9620	.9420	.9684	.9556	.9524	.9510	.9819	.9764	.9833

(다) 各 經路에 대한 可用度

〈표 3〉의 자료를 이용하여 각 經路別 可用度를 구하면 〈식 5〉에 의하여

$A_1 = A_{21} \cdot A_{51} \cdot A_{43} \cdot A_{72} \cdot A_{102} \cdot A_{103} \cdot A_{111}$

$= .6220 \cdot .7410 \cdot .7515 \cdot .8570 \cdot .9420 \cdot .9684 \cdot .9556$

$= .2754$

$A_2 = A_{22} \cdot A_{61} \cdot A_{92} \cdot A_{121} \cdot A_{112}$

$= .6615 \cdot .7910 \cdot .9200 \cdot .9819 \cdot .9524$

$= .4502$

$A_4 = A_{22} \cdot A_{61} \cdot A_{91} \cdot A_{93} \cdot A_{121} \cdot A_{112}$

$= .6615 \cdot .7910 \cdot .9400 \cdot .9470 \cdot .9819 \cdot .9524$

$= .4356$

가 된다. 여기에서 비가용도 $1-A_k$는 각각

$1-A_1 = 1-.2754 = .7246 = 72.46\%$,

$1-A_2 = 1-.4502 = .5498 = 54.98\%$,

$1-A_4 = 1-.4356 = .5644 = 56.44\%$.

(3) 最短輸送經路 選定

이상에서와 같은 經路別 非可用度를 k-最短經路값과 折衷하여 可用度를 고려한 最短經路를 選定하는데 앞에서 제시한 4가지 방법을 사용한다.

(가) 時間 및 可用度順 比較

經路값과 可用度를 순서대로 나열하면 〈표 4〉와 같다.

〈표 4〉의 經路값과 可用度를 고려하여 보면 두 가지 요소 모두가 가장 좋거나 나쁜 결정적인 경로는 없다. 그런데 2번 경로와 4번 경로를 비교해 보면 4번 경로는 2번 경로에 비해 경로값과 가용도 모두가 나쁘므로 4번 경로는

고려대상에서 제외시켜도 된다. 따라서 1번과 2번경로의 經路값과 可用度를 각각 비교해 보아야 한다. 1번 경로는 經路값면에서 우수한 반면 可用度면에서 많은 차이를 보이면서 가장 나쁘고 2번 경로는 可用度면에서 가장 좋으면서 經路값면에서도 대체로 양호하다. 결론적으로는 意思決定者의 판단에 의해 最適經路가 선정되겠지만 分析者의 입장에서 고려한다면 2번 경로를 건의할 만 하다.

(나) 時間 × 非可用度 비교

'時間×非可用度'의 값을 계산하면 〈표 5〉와 같다.

〈표 5〉와 같이 '時間×非可用度'값을 기준으로 最適經路를 선정한다면 최소값을 갖는 2번 경로가 될 것이다.

(다) 加重値法

經路값과 可用度를 〈식 6〉과 같이 결합할 때 加重値 w의 값에 따라 最適經路는 달라지게 된다. 이러한 다양한 加重値에 따른 절충치 B_k값은 〈표 6〉과 같다.

〈표 6〉에서 보는 바와 같이 時間과 非可用度가 折衷되었을 때 w의 값에 따라 B_k의 가장 작은 값을 갖는 經路는 1번 經路가 될 수도 있고 2번 經路가 될 수도 있다. 非可用度에 0.7 이하의 加重値를 주게 되면 1번 經路가 最適이 되고 非可用度에 0.8 이상의 加重値를 주게 되면 2번 經路가 最適이 된다. 반면 4번 經路는 어떤 경우든 最適이 되지 않는다.

〈표 4〉 經路값 및 可用度

順　　位	經路番號	經路값	經路番號	可用度
1	1	99.00	2	0.4502
2	2	112.00	4	0.4356
3	4	128.00	1	0.2754

〈표 5〉 時間 × 非可用度

輸送經路	時間	非可用度	時間 × 非可用度
1	99	0.7246	71.7335
2	112	0.5498	61.5776
4	128	0.5644	72.2432

〈표 6〉 w값에 따른 B_k값

w값		.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
B_k 값	B_1	127.98	135.23	142.48	149.72	156.97	164.21	171.46
	B_2	133.99	139.99	144.99	150.49	155.98	161.48	166.98
	B_4	150.98	156.22	161.86	167.51	173.15	178.80	184.44

(라) 制約法

〈표 4〉에서 보는 바와 같이 時間을 制約條件으로 하고 可用度를 最適化시킬 때 시간조건을 120분 이내로 한다면 最適經路는 2번 경로가 될 것이다. 반면 可用度를 制約條件으로 하고 時間을 最適化시킬 때 可用度條件이 적어도 0.4이상은 유지되어야 한다고 한다면 이때도 2번 경로가 最適이 될 것이다.

可用度를 고려하지 않고 시간만 고려하여 最短輸送經路를 選定할 때는 당연히 1번 經路가 택하여진다. 그러나 적의 위협에 대한 可用度를 고려한다면 경로값과 가용도의 결합방법, 時間이나 혹은 可用度 어느 정도의 비중을 두느냐에 따라 본 예제에서와 같이 最短輸送經路는 달라지게 된다.

4. 結言

輸送네트워크에서 最短經路를 선정할 때 지금까지의 연구에서는 단지 時間(혹은 距離)만을 고려하고 있다. 그러나 戰時狀況下에서는 시간만 고려할 수 없다. 왜냐하면 피아간 상대방의 後續戰力의 增援이나 物資輸送을 저지하거나 파괴하여 상대적으로 우세를 달성하기 위하여 攻擊을 할 수 있기 때문이다. 상대방이 도로를 사용할 징후를 포착하여 事前에 도로를 破壞할 수 있고, 道路使用中에 破壞할 수도 있다. 따라서 戰時 最短輸送經路를 선정할 때 戰時 敵의 威脅에 대한 도로의 可用度가 중요한 要素가 되므로 本 研究에서는 時間과 道路網의 可用度를 고려하여 戰時狀況下에서 最短輸送經路를 선정하는 方法을 제시하였다.

可用度 계산시 關聯要素들간의 關係가 복잡하여 하나의 數學的 模型을 구성하기가 곤란하였다. 따라서 可用度를 구하는 일련의 절차를 事件의 形態로 표시하여 그것을 순서대로 종합하고, 戰線의 位置, 敵攻擊率, 道路의 被擊率 및 修理率을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다.

最短時間부터 k번째 最短時間까지의 經路값은 k-最短經路法을 이용하여 계산하였으며 이것을 可用度와 절충시켜 最適의 經路를 선정할 수 있도록 하였다. 經路값과 可用度를 절충시키는 방법 4가지를 제시하였다.

參 考 文 獻

1. 國防大學院, 計量的 意思決定(서울 : 國防大學院, 1991), pp. 587-598.
2. 國防大學院, 네트워크理論과 應用(서울 : 國防大學院, 1986), pp. 95-96, 151-163.
3. 金潤吉, "p個 特定地點을 經由하는 k-最短經路計算法에 관한 硏究"(國防大學院, 碩士學位論文, 1990).
4. 朴景洙, 信賴度工學 및 整備理論, 第6版(서울 : 喜重堂, 1986), pp. 247-248.
5. 육군대학, 교육참고 4-5-(11) : 전쟁연습, 1989, pp. 204-206.
6. 林柱煥, "k-最短經路計算法을 이용한 部隊移動路選定에 관한 硏究"(國防大學院, 碩士學位論文, 1989).
7. Blanchard, B. S. and Wolter J. F, *Systems Engineering and Analysis*, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1981, pp. 336-337.
8. Kapur, K. C. and L. R. Lamberson, *Reliability in Engineering Design*, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1977, pp. 227-228.