

## 퍼지 最短經路技法을 利用한 部隊移動路 選定에 關한 研究

(A Study on Decision to The Movement  
 Routes Using Fuzzy Shortest path Algorithm)

崔在忠, 金忠英\*

### Abstract

Shortest paths are one of the simplest and most widely used concepts in deterministic networks. A decision of troops movement route can be analyzed in the network with a shortest path algorithm. But in reality, the value of arcs can not be determined in the network by crisp numbers due to imprecision or fuzziness in parameters. To account for this reason, a fuzzy network should be considered. A fuzzy shortest path can be modeled by general fuzzy mathematical programming and solved by fuzzy dynamic programming. It can be formulated by the fuzzy network with linguistic variables and solved by the Klein algorithm. This paper focuses on a revised fuzzy shortest path algorithm and an application is discussed.

### 1. 서론

戰爭에 있어서 輸送의 寄與度는 戰術的인

輸送 또는 行政的인 輸送을 막론하고 戰爭의  
 勝敗에 크게 影響을 미친다는 것은 過去 戰例  
 를 통하여 잘 알려져 있다. 現代戰은 특히 機

\* 國防大學院

動性이 강조되고 있으며 따라서 필요한 兵力과 補給品을 要求하는 時間과 場所에 보내기 위하여 効果적인 輸送方法의 선정은 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 輸送方法에는 陸路, 鐵道, 水路, 航空 등이 있으며, 특히 陸路輸送은 融通性이 많아 戰鬪地域 및 後方地域에 공히 活用되고 있다. 陸路 輸送時間은 道路幅, 包裝狀態, 地形條件, 視界등 여러 要素의 影響〔5〕을 받는다.

特定地域에서 다른地域으로 部隊를 移動하거나 物資를 輸送하고자 할때 最短時間內 수송할 수 있는 輸送路를 選定하는 것이 매우 重要하다. 最短距離 部隊移動路를 選定하는 문제는 일반적으로 道路網을 네트워크(network)으로 構成하고 弧값( $C_{ij}$ )은 輸送距離 또는 輸送時間으로 나타낸 다음에 네트워크理論을 적용하여 最短經路를 選定하고 있다. 이때 輸送네트워크內 弧값( $C_{ij}$ )은 마디 i에서 마디 j까지 移動時間으로 표현하고 있으며 移動時間은 鋪裝與否, 道路幅, 地點間의 距離에 의해 決定하고 있다.

지금까지 輸送네트워크內 弧값( $C_{ij}$ )은 마디 i에서 마디 j까지 移動時間으로 표현하고 있으며 移動時間은 鋪裝與否, 道路幅, 地點間의 距

離에 의해 決定하고 있다. 그러나 輸送時間은 鋪裝與否, 道路幅, 뿐만 아니라 <表 1>에서 보는 것과 같이 道路의 車輛通行量, 特定區間의 周邊狀態, 氣候, 道路統制條件, 視界 등 다른 要素에 의해 影響을 받는다고 생각할 수 있다. 그러므로 鋪裝與否, 道路幅, 地點間의 距離를 고려하여 결정한 輸送네트워크內 弧값( $C_{ij}$ )은 마디간 移動時間을 충분히 설명하지 못하고 있는 실정이다.

<表 1>는 部隊移動路 選定時 移動時間에 影響을 미치는 主要 考慮要素들을 보여주고 있지만, 이 要素가 移動時間에 미치는 影響은 불확실하며 이 要素들의 影響을 고려하여 加重值를 부여하고자 한다면 어느 정도의 값을 부여하는 것이 바람직한지 잘 알려져 있지 않아 曖昧하다. 이러한 曖昧性을 잘 설명하는 것은 Zadeh교수가 제시한 퍼지이론〔15〕이며, 本論文은 輸送問題에 퍼지이론을 적용하여 퍼지最短經路技法으로 最短經路값 및 經路를 구하고자 한다.

研究方法은 기존 퍼지最短經路模型을 고찰하고, Klein模型을 이용하여 輸送問題에 적용할 수 있도록 새로운 기법을 도출하며, 決定的 네트워크內 弧값( $C_{ij}$ )이 道路幅, 鋪裝狀態, 마디

<表 1> 最短距離 選定時 考慮要素

區 分	要 素
道 路	○ 道路幅 ○ 移動距離 ○ 路面狀態 ○ 地形條件
輸 送 裝 備	○ 輸送手段의 種類
其 他	○  차량통행량 ○ 氣候 ○ 其他(敵 狀況, 障礙物, ....) ○ 道路 統制條件

간의 距離(distance)를 제외한 其他要素가 포함되지 않는 短點을 補充하기 위하여 마디간 移動時間에 言語變數를 기초로 하는 퍼지수를 부여한다. 그리고 퍼지最短期路模型을 적용하여 輸送問題를 해결하고, 그 結果를 분석하며 검토한다.

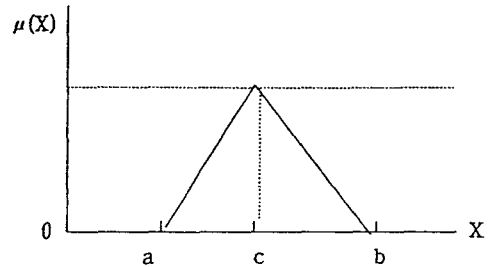
(greater than 3)" 등의 퍼지집합을 나타내는 데 사용하고, 所屬函數에 따라서 많은 형태로 표현이 가능하다. 특히 삼각퍼지수는 點 a, c, b를 알고 있으면 a와 b의 所屬도는 "0"이고 c의 所屬도는 "1"이므로 <그림 1>과 같이 표현된다. 따라서 삼각퍼지수는 (a, c, b)로 간단하게 표현된다.

## 2. 퍼지 最短期路技法 考察

### 가. 퍼지 理論

- (1) 삼각퍼지수(triangular fuzzy number : TFN)

實數인 퍼지집합으로 볼록(convex)하고, 所屬函數가 正規的(normalized)이며 連續인 것을 퍼지수라 한다[4]. 퍼지수는 통상 "대략 5 정도(approximately 5)", "3 보다 큰수



<그림 1> 삼각 퍼지수

- (2) 擴張 原理(extension principle)

여러 퍼지집합을 더하거나 빼거나 곱하거나 나누는 계산법을 四則演算이라고 하며 이러한 퍼지집합의 연산은 擴張原理를 사용하여 가능하다[16].  $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n$  는 퍼지 집합이고 이들의 구성원소는 각각  $X_1, X_2, \dots, X_n$  라하며 이들의 특정치를  $x_1, x_2, \dots, x_n$  이라고 할때 함수  $f: X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \rightarrow Y, y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  라 하면 함수 f에 의해  $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n$  이 통합하여 얻어지는 원소 y로 구성된 퍼지집합 B의 所屬函數는 式(1)과 같이 定義된다.

$$\tilde{B} = \{ (y, \mu_{\tilde{B}}(y) | y=f(x_1, x_2, \dots, x_n), (x_1, x_2, \dots, x_n) \in (X_1, X_2, \dots, X_n) ) \} \quad (1)$$

$$\mu_{\tilde{B}}(y) = \begin{cases} \text{Sup} \min (\mu_{\tilde{A}_1}(x_1), \dots, \mu_{\tilde{A}_n}(x_n) ), & \text{만약 } f^{-1}(y) \neq \phi \\ 0, & \text{기타} \end{cases}$$

단,  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

式(1)에서  $\mu_{\tilde{B}}(y)$  는 X의 구성원소가  $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n$  의 所屬度값중 가장 적은 값을 택하며, 동일한 y값에 대해서는 가장 所屬도가 큰 값을 의미한다. 예를 들어,  $f(y) = x_1 + x_2$  이고

$x_1$  : 5에 가까운 정수( $\tilde{5}$ ) =  $\{(3, 0.3), (4, 0.6), (5, 1), (6, 0.6), (7, 0.3)\}$ ,

$x_2$  : 2에 가까운 정수( $\tilde{2}$ ) =  $\{(1, 0.6), (2, 1), (3, 0.8)\}$ ,

y의 퍼지집합을 7 이라면

$$7 = \{(3, 0.3), (4, 0.6), (5, 1), (6, 0.6), (7, 0.3)\} \oplus \{(1, 0.6), (2, 1), (3, 0.8)\}$$

$$= \{(4, 0.3), (5, 0.6), (6, 0.6), (7, 1), (8, 0.8), (9, 0.6), (10, 0.3)\} \text{가 된다.}$$

(3) 퍼지數의 演算

퍼지집합연산을 위하여 一般演算과 구분하기 위해 "+, -"의 演算符號를 퍼지 演算에서는 "⊕, ⊖"로 표현한다. 어떤 삼각 퍼지數  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ,  $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ 에 대한 演算은 다음과 같다(4).

1)  $\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \tilde{C}$

$$\tilde{C} = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$$

2)  $\tilde{A} \ominus \tilde{B} = \tilde{D}$

$$\tilde{D} = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1)$$

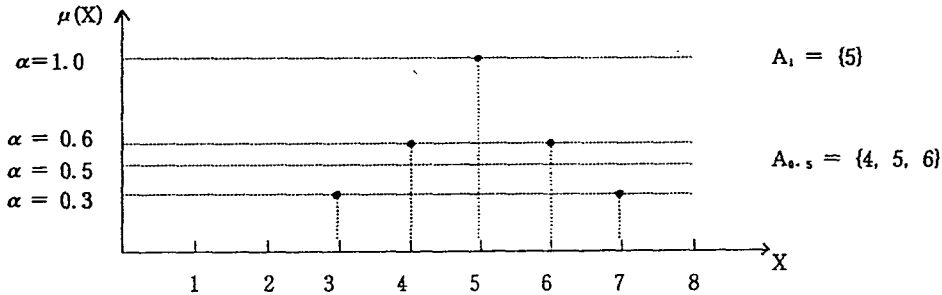
(4) α-수준集合 (α-level set, α-cut)

어떤 퍼지集合에서 所屬度가 α 이상인 원소들의 集合으로 아래와 같이 表現된다(16).

$$A^\alpha = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}, \quad 0 < \alpha \leq 1$$

예를 들어 대략 5 정도의 퍼지집합  $\tilde{A}$ 가 아래와 같다면 α=0.5의 水準集合은 <그림 2>과 같이 所屬度가 0.5 이상인 構成元素만을 갖는 一般集合이 된다.

$$\tilde{A} = \{(3, 0.3), (4, 0.6), (5, 1), (6, 0.6), (7, 0.3)\}$$



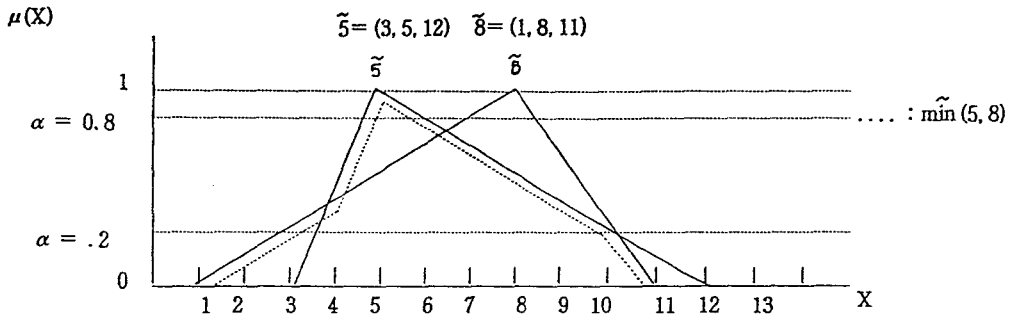
<그림 2> α-수준集合

(5) 두 퍼지數(fuzzy number)의 最小(min)연산(14)

퍼지數는 항상 서로 크기를 비교할 수 없다. <그림 3>와 같이 두 삼각퍼지數를 비교하면, α = 0.8인 경우에는 5가 적고, α = 0.2 경우에는 8이 적다. 퍼지집합은 크기를 비교할때 一般集合과 같이 모든순서(total order)의 구조를 갖지 않으며 부분적으로 비교할 수 밖에 없다. 그러므로

두 퍼지수  $\tilde{5}$ 와  $\tilde{8}$ 의 크기를 비교하여 최소(min)를 구하는 경우에는 擴張原理(式(1))를 적용하여 5와 8를 비교하여 구한 퍼지집합은 <그림 3>과 같이 점선으로 나타난다.

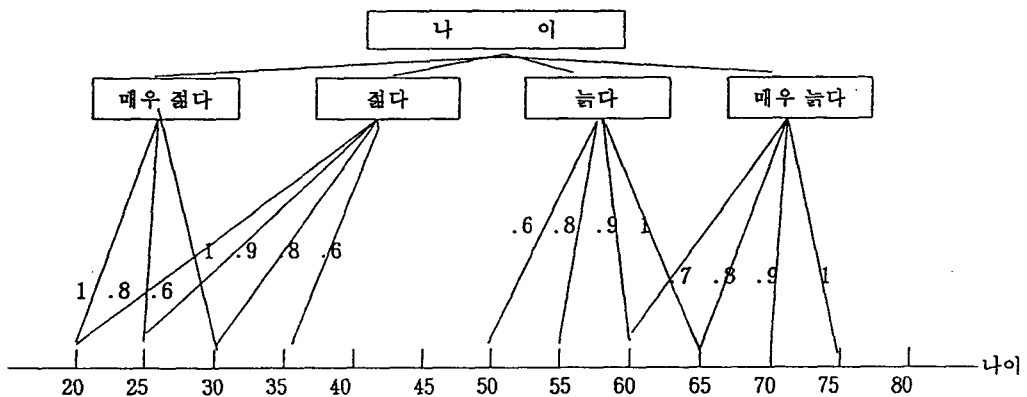
예를 들어 <그림 3>에서 所屬度( $\mu$ )가 0.8일때  $\tilde{5}$ 의 퍼지집합에 닿는 값은 4.5와 6.2이고,  $\tilde{8}$ 의 퍼지집합에 닿는 값은 7.1과 8.5이며 이들값의 최소치는 각각 4.5와 6.2이다. 各 所屬度값에 대하여 이러한 점을 연결하면 <그림 3>와 같이 점선으로 나타난다.



<그림 3>  $\tilde{5}$ 와  $\tilde{8}$ 의  $\tilde{\min}$  그래픽 해

(6) 言語 變數(linguistic variable)

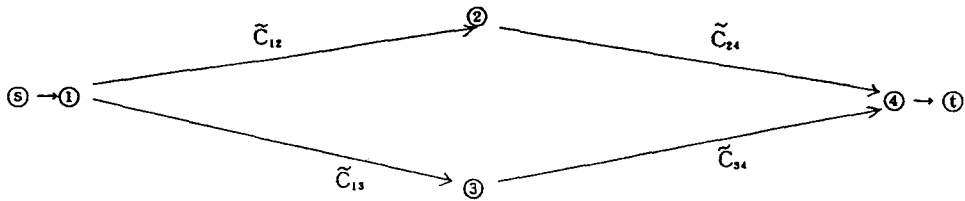
數値가 아니고 單語, 또는 文章으로 표현되는 變數를 퍼지論理(fuzzy logic)에서 言語變數라고 한다(16). 20세이면 "젊다" 라는 命題가 있으면, 一般集合에서는 20세이면 젊고, 25세이면 젊지 않다고 표현한다. 그러나 25세이면 일반적으로 "젊다"고 보지만 集合의 境界(boundary)가 명확한 일반집합에서는 "젊다"는 집합에 포함되지 않는다. 이와 같은 言語的 變數의 曖昧性을 <그림 4>와 같이 퍼지집합으로 표현할 수 있다. 20세정도이면 "젊다"는 집합에 所屬度가 1.0 이고, 25세이면 0.8, 30세이면 "젊다"는 집합에 포함될 所屬度가 0.6 정도 된다.



<그림 4> 言語變數에 따른 所屬函數

## 나. 퍼지네트워크의 數學的 模型

네트워크에서 마디 i에서 마디 j까지 마디값 즉 弧값( $C_{ij}$ ) 이 퍼지수로 표현된다면 가장 단순한 퍼지네트워크는 <그림 5>과 같이 표현할 수 있다.



<그림 5> 퍼지 네트워크

퍼지最短經路 값을 구하기 위한 네트워크는 N를 마디의 集合이라고하고  $f_{ij}$  를 마디i에서 마디j로 흐르는 흐름양이라고 할때 式(2)와 같이 나타낼 수 있다. 式(2)는 目的函數의 係數가 퍼지수인 線型計劃 (linear programming)問題이다(8).

$$\text{MN } \sum_i \sum_j C_{ij} f_{ij}$$

$$\text{s.t } \sum_k f_{sk} - \sum_j f_{jk} = 1$$

$$\sum_k f_{ik} - \sum_j f_{ji} = 0$$

$$\sum_k f_{tk} - \sum_j f_{jt} = 1$$

단, 모든  $f_{ij} \geq 0$

k는 타 마디로부터 흐름을 받는 마디의 總稱,  $k \in N$

j는 타 마디로 흐름을 보내는 마디의 總稱,  $j \in N$

i 중간마디, s 源마디, t 着마디,  $i, s, t \in N$

네트워크의 각 弧값 ( $C_{ij}$ ) 이 fuzzy한 경우 式(2)과 같이 線型計劃模型을 構成할 수 있다. Dubois와 Prade(9)는 퍼지動的計劃法(10, 11)을 적용하여 퍼지네트워크의 퍼지最短經路 값을 구하였고, Klein(12)이 퍼지最短經路 값에 해당하는 經路를 구하는 計算法을 제시하였다. 다음은 두 모형을 토의하기로 한다.

## 다. Dubois 와 Prade 模型

決定的(deterministic) 네트워크에서 마디 1에서 마디 n까지 이르는 最短經路 값에 대한 動的計劃法은 式(3)과 같다(3). Dubois 와 Prade는 決定的 動的計劃法을 適用하여 마디값과 弧값 ( $C_{ij}$ )

을 퍼지집합으로 表現하고 퍼지演算을 사용하여 퍼지最短經路 模型을 式(4)과 같이 提示하였다.

$$f(N) = \{0\},$$

$$f(i) = \min_{i \in G} \{c_{ij} + f(j) \mid (i,j) \in E\} \quad (3)$$

단,  $f(i)$  : 마디  $i$  에서 마디  $n$  까지 最短經路 값

$c_{ij}$  : 마디  $i$  와 마디  $j$  간의 弧 값

式(4)에서 境界條件(boundary condition)으로 마디  $n$ 의 經路 값이 "0" 이고 所屬度는 "1"인 퍼지집합으로 두었다. 연결된 마디 값 계산은 퍼지연산( $\oplus$ )을 적용하였고, 두 퍼지수 최소(min) 연산을 사용하여 퍼지最短經路 값(fuzzy shortest path length)을 구했다.

$$\tilde{f}(N) = \{(0, 1)\},$$

$$\tilde{f}(i) = \min_{i \in G} \{\tilde{c}_{ij} \oplus \tilde{f}(j) \mid (i,j) \in E\} \quad (4)$$

단,  $\tilde{f}(i)$  : 마디  $i$  에서 마디  $n$  까지 fuzzy 最短經路 값

$\tilde{c}_{ij}$  : 마디  $i$  와 마디  $j$  간의 fuzzy 弧 값 (fuzzy arc length)

예로 <그림 5>의 네트워크에서 弧 값 ( $C_{ij}$ ) 이 삼각퍼지수(TFN)로 다음과 같이 주어졌다면, 式(4)에 의하여 最短經路 값을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tilde{C}_{12} = (0, 3, 6), \quad \tilde{C}_{24} = (1, 4, 10), \quad \tilde{C}_{13} = (2, 4, 6), \quad \tilde{C}_{34} = (2, 5, 8)$$

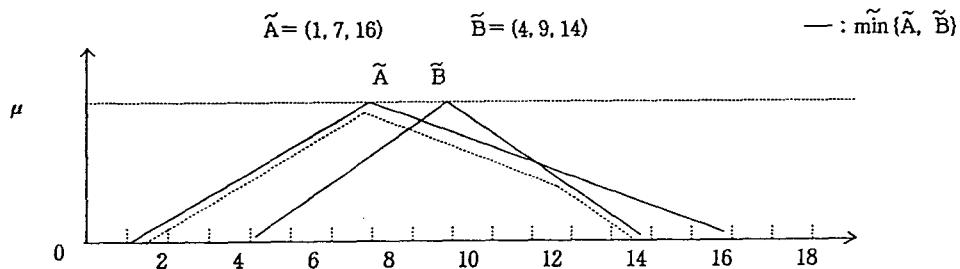
$$\tilde{f}(4) = \{(0, 1)\}$$

$$\tilde{f}(2) = \min \{\tilde{c}_{24} \oplus \tilde{f}(4)\} = \min \{(1, 4, 10) \oplus (0, 1)\} = (1, 4, 10)$$

$$\tilde{f}(3) = \min \{\tilde{c}_{34} \oplus \tilde{f}(4)\} = \min \{(2, 5, 8) \oplus (0, 1)\} = (2, 5, 8)$$

$$\tilde{f}(1) = \min \{\tilde{c}_{12} \oplus \tilde{f}(2), \tilde{c}_{13} \oplus \tilde{f}(3)\} = \min \{(0, 3, 6) \oplus (1, 4, 10), (2, 4, 6) \oplus (2, 5, 8)\} = \min \{(1, 7, 16), (4, 9, 14)\} \quad (5)$$

마디 1에서 마디 4까지 퍼지 最短經路 값은 式(5)처럼 표현되며, 두 퍼지수 최소(min) 연산하면 <그림 6>에서 보여주는 점선과 같은 결과를 얻는다.



<그림 6> 퍼지最短經路 값의 그래픽 해

Dubois와 Prade模型은 決定的 네트워크內에서 설명할 수 없는 弧값의 曖昧性(fuzziness)을 最短經路問題에 적용하여, 각 마디에서 퍼지最短經路값을 구하였다. 그러나 <그림 6>과 같이 퍼지수 最小(min) 연산을 사용하여 퍼지最短經路값 과 일치하는 실제 弧값을 네트워크內에서 찾을 수 없다.

輸送네트워크에서 經路를 찾을 수 없는 最短經路값은 意思決定者가 代案을 決定하는데 도움을 주지 못한다. 퍼지 最短經路를 찾지 못하는 問題點을 解決하기 위해 Klein은 支配(domination) 原理[2]을 사용하여 最短經路을 찾는 방법을 제시하였다.

## 라. Klein 模型

Klein은 Dubois 와 Prade模型에서 퍼지最短經路값과 일치하는 經路를 찾을 수 없는 問題點을 解決하기 위해 支配(dominance)理論을 적용하여 dominator演算字를 提示하였다. 퍼지最短經路 模型을 설명하기 위해 먼저 네트워크  $G=(N, A)$ 에 대해 다음 假定事項을 설정한다.

- 1) 방향호이고, 非回路 네트워크(acyclic network)이다.
- 2) 네트워크이 마디 1 에서 마디 n 까지 經路의 마디수가 M인 것(M layer)으로 한정하며,  $M \leq N$  이 성립한다.

3) 弧값  $(C_{ij})$  는 양의 정수(positive integer)이며 弧값의 상한값은 I로 정의한다.

4) 가장 짧은 經路값은  $(M-1)$ , 긴 經路값은  $(M-1) \times I$ 의 整數를 갖는다.

위에서 언급한 假定事項을 기초로 하여 Klein은 弧값이  $C_{ij}$ 가 아니라, 퍼지經路  $(\tilde{C}_{ij})$  값의 所屬度를 弧값으로 하는 네트워크를 구성하였고, 支配理論와 combination sum를 사용하여 퍼지最短經路模型을 제시하였다. 模型을 이해하기 쉽게 다음과 같이 關聯用語를 정의한다.

### Klein의 퍼지最短經路

$f(i)$  : 마디 i에서 마디 n까지 fuzzy 最短經路값에 대한 所屬度이며, (假定 4)에 의해 1 부터  $(M-1) \times I$  정수의 所屬度로 표현한다.

$e_{ij}$  : 마디i와 마디j의 fuzzy 經路값  $(\tilde{C}_{ij})$  에 대한 所屬度  $(1 \leq \tilde{C}_{ij} \leq I)$

$$e_{ij} = \{\mu_1(i, j), \mu_2(i, j), \dots, \mu_l(i, j)\}$$

$$(e_{ij})_q = \mu_q(ij) \quad , \quad 1 \leq q \leq l$$

+ (combinational sum) : <그림 7>에서 마디 i에서 마디 j까지 퍼지經路값은 퍼지經路값의 構成元素를 더한 값을 構成元素로 한다. 所屬度는 두 퍼지經路값의 所屬度중 작은 값을 택하고, 동일한 經路값을 갖는 경우 큰값을 택한다. 예를 들어 <그림 7>에서  $\tilde{C}_{ik} = (1, 0.5)$ ,  $(2, 0.3)$ ,  $\tilde{C}_{kj} = (1, 0.3)$ ,  $(2, 0.4)$  라면,  $e_{ik} = (0.5, 0.3)$ ,  $e_{kj} = (0.3, 0.4)$ 이다. 그리고 p 를 i에서 j에 이르는 經路라면 이 경로값의 所屬度  $[(e_{ij})_p]$  는 다음과 같이 계산된다.



$$(e_{ij})_p = \max_{x+y=p} \{ \min(\mu_x(i,k), \mu_y(k,j)) \} = \mu_p(i,j)$$

단,  $x \in C_{ik}$ ,  $y \in C_{kj}$ ,  $p \in \{i \rightarrow j \text{ 經路값의 集合}\}$

예를 들어 <그림 7>의 퍼지네트웍에서 경로값에 대한 所屬度를 계산하면 다음과 같다.

$$(e_{ij})_1 = \max_{x+y=1} \{ \min(\mu_0(i,k), \mu_1(k,j)), \min(\mu_1(i,k), \mu_0(k,j)) \}$$

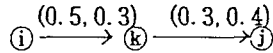
$$= \max \{ \min(0, 0.3), \min(0.5, 0) \} = 0$$

$$(e_{ij})_2 = \max_{x+y=2} \{ \min(\mu_1(i,k), \mu_1(k,j)) \} = \max \{ \min(0.5, 0.3) \} = 0.3$$

$$(e_{ij})_3 = \max_{x+y=3} \{ \min(\mu_1(i,k), \mu_2(k,j)), \min(\mu_2(i,k), \mu_1(k,j)) \}$$

$$= \max \{ \min(0.5, 0.4), \min(0.3, 0.3) \} = 0.4$$

$$(e_{ij})_4 = \max_{x+y=4} \{ \min(\mu_2(i,k), \mu_2(k,j)) \} = \max \{ \min(0.3, 0.4) \} = 0.3$$



<그림 7>

이와 같은 經路값에 대한 所屬度 演算過程을 수식으로 일반화하여 다음과 같이 간단히 표현하기로 한다.

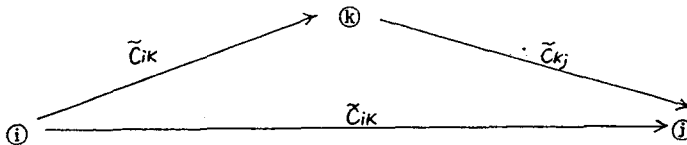
$$e_{ij} = e_{ik} \tilde{+} e_{kj}, \quad (i < k < j) \quad (6)$$

式(6)에 의하여 마디 i에서 마디 j에 이르는 經路값의 所屬度 演算을 하면 다음 결과를 얻는다.

$$e_{ij} = e_{ik} \tilde{+} e_{kj} = (0.5, 0.3) \tilde{+} (0.3, 0.4)$$

$$= \{(e_{ij})_1, (e_{ij})_2, (e_{ij})_3, (e_{ij})_4\} = (0, 0.3, 0.4, 0.3)$$

dom(dominator) : <그림 8>에서 마디 i에서 마디 j까지 經路는 ① → ② → ③(經路1)와 ① → ③(經路2)가 있다. 마디 i에서 마디 j까지 퍼지經路값의 所屬度( $e_{ij}$ )는 두 經路上에서 같은 經路값 일때 큰 所屬度를 택하며 式(7)과 같이 정의한다.



<그림 8>

$$\text{dom} \{ (e_{ij})_{p^1}, (e_{ij})_{p^2} \} = (e_{ij})_{p^1}, \quad \text{단 } (e_{ij})_{p^1} > (e_{ij})_{p^2} \quad (7)$$

$\tilde{P}_{i,n}$  : 마디 i에서 마디 n까지 퍼지最短經路값

마디 i에서 마디 n까지 퍼지最短經路값에 대한 所屬度는 다음 式(6)과 式(7)의 演算方法을 적용하는 다음 式(8)에 의하여 f(j)로 부터 계산된다.

$$f(i) = \text{dom}_{(i,j) \in E} \{e_{ij} \tilde{+} f(j)\} \quad (8)$$

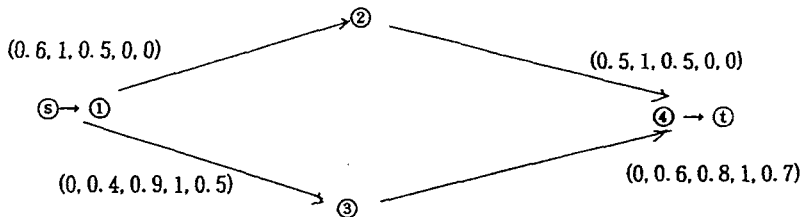
f(n)은 境界條件(boundary condition)으로 經路값이 가장큰 값이  $M-1 \times I$  이므로 所屬도가 "1"인 것이  $M-1 \times I$  개 있는 것으로 간주한다.

$$f(n) = \{1, 1, 1, \dots, 1\}$$

퍼지最短經路값을 모든 經路값중에서 찾아서 그중에서 所屬도가 가장 큰 經路를 찾는다. 이때  $\{p, \max_p (\mu_p (1,n))\}$ 의 의미는 마디 1에서 마디 n까지 經路값이 p이며 所屬도가  $\mu_p (1,n)$ 인 經路중에서 所屬도가 가장 큰 經路를 의미한다. 그러므로 마디 1에서 마디 n까지 가능한 經路값과 所屬도는 다음과 같이 표현된다.

$$\tilde{P}_{1,n} = \{ \{1, \max_1 (\mu_1 (1,n))\}, \dots, \{p, \max_p (\mu_p (1,n))\}, \dots, \{ (M-1) \times I, \max_{(m-1) \times I} (\mu_{(M-1) \times I} (1,n)) \} \}$$

예를 들어 <그림 9>와 같은 퍼지 네트워크에서  $\tilde{C}_{12} = \{(1, 0.6), (2, 1), (3, 0.5)\}$ ,  $\tilde{C}_{24} = \{(1, 0.5), (2, 1), (3, 0.5)\}$ ,  $\tilde{C}_{13} = \{(2, 0.4), (3, 0.9), (4, 1), (5, 0.5)\}$ ,  $\tilde{C}_{34} = \{(2, 0.6), (3, 0.9), (4, 1), (5, 0.5)\}$  라고 한다면,  $\tilde{C}_{12}$ 에서  $\{(4, 0), (5, 0)\}$ ,  $\tilde{C}_{24}$ 에서  $\{(4, 0), (5, 0)\}$ ,  $\tilde{C}_{34}$ 에서 (1, 0)를 추가하여,  $e_{14} = (0.6, 1, 0.5, 0, 0)$ ,  $e_{24} = (0.5, 1, 0.5, 0, 0)$ ,  $e_{13} = (0, 0.4, 0.9, 1, 0.5)$ ,  $e_{34} = (0, 0.6, 0.8, 1, 0.7)$ 를 얻게 되며, 이들 所屬도를 네트워크로 표시하면 <그림 9>와 같다.



<그림 9>

이 네트워크에서 式(8)에 의해 經路값이  $1 \leq C_{ij} \leq 5$  이므로  $I=5$ 가 되고,  $M$ 이 3 이므로 마디 1에서 마디 4까지 經路값의 종류는  $10(5 \times (3-1))=10$ 개 이고, 마디 4에서의 經路값은 0 이될 所屬도가 1 이므로 境界條件인 f(4)의 要素는 다음과 같이 된다.

$$f(4) = \{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$$

그리고 式(8)에 의해 f(3)이하를 계산하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
f(3) &= \text{dom}_{(i,j) \in E} \{e_{ij} \tilde{+} f(j)\} = \text{dom} \{e_{34} \tilde{+} f(4)\} \\
&= \{0, 0.6, 0.8, 1, 0.7, 1, 1, 1, 1\} \\
f(2) &= \text{dom} \{e_{24} \tilde{+} f(4)\} = \{0.5, 1, 0.5, 1, 1, 1, 1, 1, 1\} \\
f(1) &= \text{dom} \{(e_{12} \tilde{+} f(2)), (e_{13} \tilde{+} f(3))\} \\
&= \text{dom} \{(0.6, 1, 0.5, 0, 0) \tilde{+} (0.5, 1, 0.5, .), (0, 0.4, 0.9, 1, 0.5) \tilde{+} (0, 0.6, 0.8, 1, \\
&0.7, .)\} \\
&= \text{dom} \{(0, 0.5, 0.6, 1, 0.5, 0.3), (0, 0, 0, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9, 1, 0.7, 0.5)\} \\
&= \{(0, 0.5, 0.6, 1, 0.6, 0.8, 0.9, 1, 0.7, 0.5)\} \\
\tilde{P}_{1,4} &= \{(1, 0), (2, 0.5), (3, 0.6), (4, 1), (5, 0.6), (6, 0.8), (7, 0.9), (8, 1), (9, 0.7), (10, 0.5)\}
\end{aligned}$$

결과적으로  $\tilde{P}_{1,4}$  에서 마디 1에서 出發하여 마디 4까지의 퍼지最短經路값은 퍼지집합으로 얻게 된다.  $\tilde{P}_{1,4}$  에서, 移動時間이 2시간 걸릴 可能性이 0.5이고, 4時間은 1, 6時間은 0.8, 8時間은 1, 10時間은 0.5 程度임을 알 수 있다.

式(8)을 적용하여 마디 1에서 마디 4까지 最短經路값의 퍼지집합에서 다시 시작하여 다음 式(9)가 성립되는 인접마디를 逆追跡하면 經路를 찾을 수 있다.

$$(e_{ij})_q \geq \min_{(i,j) \text{ 間의 經路}} ((f(i))^m, f(j)^n) \quad (9)$$

단,  $f(i)^m$  : 마디 i 에서 마디 n 까지 最短經路값이 "m"인 所屬度

$f(j)^n$  : 마디 j 에서 마디 n 까지 最短經路값이 "n"인 所屬度

Klein은 위와 같은 방법으로 經路追跡(back trace)을 하였다. 그러나 이 模型을 輸送問題에 적용하기에는 다음과 같은 문제점이 있다.

- 1) 移動時間을 整數값(integer value)으로 한정하기 어렵다.
- 2) 輸送問題는 도로가 兩方向임으로 回路네트워크(cyclic network)이 구성되어 Klein의 模型을 輸送問題에 適用時 퍼지最短經路값이 계속 증가하는 문제점이 발생한다.

이러한 問題點을 改善하기 위하여 本 研究는 수정퍼지最短經路技法을 제시하도록 한다.

### 3. 퍼지最短經路技法의 導出

#### 가. 퍼지 弧값( $\tilde{C}_{ij}$ )

決定的 輸送네트워크에서 마디 i에서 마디 j까지 移動時間( $C_{ij}$ )가 "40"분이면 弧값은 鋪裝與否, 距離, 道路幅에 의하여 산정된 결정

적(deterministic)인 값이다. 그러나 사람은 마디 i에서 마디 j까지 移動時間을 결정적인 값보다 "약 40 분 정도 소요된다."라고 생각하는 것이 보다 現實性이 있다고 볼 수 있다. "40 분 정도"라는 표현은 마디 i에서 마디 j까지 移動時間을 決定的인 값이기 보다 사람에 따라

經驗的이고 主觀的인 判斷에 의해 基準值(결정적 값)에 어느 정도의 時間을 加減하여 값을 생각할 수 있는 애매한 값을 의미한다.

예를 들어 어떤 道路를 使用하여 출발지점에서 도착지점까지 가고자 할때 그 道路의 車輛通行量程度, 路面狀態, 屈曲, 交叉点, 氣象 등을 고려하여 약 몇 분정도 소요된다고 말하게 된다. 이처럼 加重值를 정확하게 말할 수 없으나, 車輛通行에 영향을 주는 要素들을 감안하여 fuzzy하게 표현한다면 보다 현실에 근접한 移動時間을 평가할 수 있다.

이러한 主觀的 判斷에 따른 模糊性을 論理的으로 表現할 수 있는 것이 言語變數이다. 그러므로 本 研究에서 <表 1>의 影響要素를 決定的 要素(道路幅, 鋪裝狀態, 마디간의 距離)와 決定的 네트워크에서 고려되지 않는 퍼지 要素(道路狀態)로 구분하고, 퍼지 要素는 道路狀態라는 言語的 評價值에 의하여 퍼지수를 부여한다.

言語變數(linguistic variable)는 單位距離 時間를 확정적 값으로 한정하지 않고, 經驗的 判斷에 의하여 道路狀態에 대한 言語的 評價值에 따라 퍼지수를 부여한다. 박경수[13]가 7개의 言語變數에 대하여 fuzzy 評價值를 부여

했으며, 여기서 言語變數의 fuzzy 評價值는 [0, 6] 구간에서 부여하였으나, 尺度를 調整하여도 무방하며 중요한 것은 동일한 尺度를 사용한다는 것이다.

本 研究을 위해 言語變數에 대한 評價值를 <表 2>와 같이 [0, 2] 區間內에서 동일한 尺度로 부여 했다. 道路狀態라는 言語變數에 대한 fuzzy 評價值를 삼각퍼지수로 표시하면 <表 2>과 같다.

네트웍에서 마디 i에서 마디 j를 연결하는 弧 값( $C_{ij}$ )을 決定的 移動時間일때, 道路狀態에 따른 單位時間距離를 fuzzy數( $\tilde{T}_{ij}$ )로 表現할 수 있으며, 決定的 네트워크인 마디 i와 j간 移動時間이  $C_{ij}$  라면, 퍼지네트웍에서 弧( $C_{ij}$ )은 式(10)과 같이 非퍼지수( $C_{ij}$ )와 道路狀態에 따른 퍼지수( $\tilde{T}_{ij}$ )를 곱하여 계산할 수 있다.

$$\tilde{C}_{ij} = C_{ij} \times \tilde{T}_{ij} \quad (10)$$

$\tilde{C}_{ij}$  : 퍼지 네트워크에서 마디 i에서 마디 j까지 移動時間

$C_{ij}$  : 決定的 네트워크에서 마디 i에서 마디 j까지 移動時間

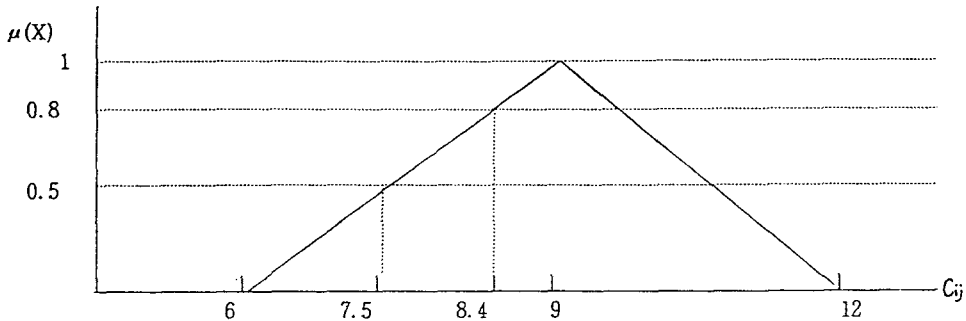
$\tilde{T}_{ij}$  : 言語變數(道路狀態)에 의해서 表現되는 퍼지수(TFN)

<表 2> 道路狀態에 대한 fuzzy(언어적) 評價值

區 分	fuzzy(언어적) 평가치	퍼 지 수(TFN)
1	매우 좋음	(0.6, 0.9, 1.2)
2	중 음	(0.8, 1.1, 1.4)
3	보 통	(1.0, 1.3, 1.6)
4	나쁨	(1.2, 1.5, 1.8)
5	매우 나쁨	(1.4, 1.7, 2.0)

예를 들어 마디 i에서 마디 j까지 移動時間이 決定的 要素를 고려한 弧값( $C_{ij}$ ) 이 10 분 이고, 經驗的 主觀的 判斷에 의해서 道路狀態가 좋은 편이라고 하자. 그러면 퍼지네트워크에서 마디 i에서 마디 j까지 퍼지弧값은 式(10)에 의하

여  $C_{ij} = 10 \times (0.6, 0.9, 1.2) = (6, 9, 12)$  로 표현된다. 그러므로 弧값( $C_{ij}$ ) 이 決定的 네트워크 내에서 확정적인 값을 갖지만 퍼지네트워크에서는 <그림 9>와 같이 삼각퍼지수로 표현되는 값을 갖는다.



<그림 9> 弧값의 퍼지수

<그림 9>와 같이 그래프로 나타내면 移動時間이 9 分걸릴 가능성이 "1"이며, 7.5 分걸릴 가능성이 "0.5"이고, 8.4 分걸릴 가능성이 "0.8"이다. 道路網을 네트워크로 구성하고 네트워크의 弧값을 두 마디간의 移動時間으로 표현할 때 하나의 결정적인 값이 아닌 삼각퍼지수로 표현함으로써 특정시간에 移動할 수 있는 가능성을 설명할 수 있으므로 보다 현실적인 移動時間을 판단할 수 있다.

### 나. 수정 퍼지最短路技法의 도출

Dubois 와 Prade模型은 經路값을 구할 수 있으나 該當經路를 찾을 수 없으며, Klein模型은 移動時間을 정수값(integer value)으로 제한하고 네트워크 弧값을 所屬度로 표현하여

移動時間을 파악하기 어렵우며 道路網이 兩方向 네트워크이므로 Klein의 模型을 輸送問題에 適用하기 어려운 문제점이 있음을 前項에서 지적하였다.

그러므로 本 研究에서 輸送問題에서 네트워크를 구성하고 Klein模型을 適用할때, 道路網이 兩方向이므로 각 마디에서 퍼지經路값이 계속 증가하는 問題를 解消한 퍼지最短路技法을 제시하고자 한다. 여기서 토의되는 技法은 퍼지弧값을 移動時間의 퍼지집합(퍼지수)으로 표현하고, 네트워크상 마디값 계산은 퍼지演算(⊕)을 사용하며, 이러한 模型에 關聯되는 用語를 정의하면 다음과 같다.

- z : 퍼지經路값의 構成元素
- x : 퍼지 弧값의 構成元素

y : 마디의 퍼지最短經路의 構成元素  
 k : 퍼지最短經路上의 中間 마디수 (k = 1, ..., n)

$\tilde{f}_{k-1}(i)$  : 마디i에서 마디n까지 中間 마디수가 k-1 個 이하인 퍼지 經路 값

$\mu_{k-1}^-(i)$  : 마디i에서 마디n까지 中間 마디수가 k-1 個 이하인 퍼지經路 값의 所屬度

$\tilde{V}_{k-1}(i)$  : 마디i에서 마디n까지 中間 마디수가 k-1 個 이하인 퍼지最短經路 값

$\mu_{k-1}^{\sim}(i)$  : 마디i에서 마디n까지 中間 마디수가 k-1 個 이하인 퍼지最短經路 값의 所屬度

本 研究에서는 퍼지最短經路 값과 이에 해당 되는 經路를 구하는 것이 目的이므로 퍼지經路 값에서 最短距離를 구하여야 한다. 따라서 각 마디의 퍼지經路 값중에서  $\alpha$ -水準集合에서 가장 짧은 經路 값을 선택하여야 한다. 그러므로 각 마디에서 계산된 퍼지經路 값은 동일한 所屬度 ( $\mu$ )일 경우 가장 짧은 經路 값을 最短經路 값으로 한다.

예를 들어 Klein 模型에서  $\mu = 0.5$ 의 經路 값이 (2, 10) 이지만 最短經路 값만 필요하므로 "10"은 最短經路 값이 되지 못한다. 따라서 本 研究는 最短經路와 관계있는 計算法을 다음과 같이 導出하였다.

#### 〈수정 퍼지最短經路技法〉

퍼지最短經路 값 計算은 中間 마디수 k 를 1 로 놓고 한다.  $\tilde{f}_k(i)$  가 k 단계에서 i 마디의 퍼지經路 값이라고 한다면,  $\tilde{f}_k(i)$  는 퍼지弧 값 ( $\tilde{C}_{ij}$ ) 과 直前 연결마디 j의 k-1 段階 퍼지最短經路 값 ( $\tilde{V}_{k-1}(j)$ ) 을 퍼지연산을 하고, 이때 所屬度는 式 (1)과같이 두 퍼지집합 演算方法 과 같다. 그 演算結果와 k-1 단계에서 마디 i 의 퍼지 最短經路 값 ( $\tilde{V}_{k-1}(i)$ ) 과 dom-operator에 의한 연산으로 구할 수 있다. 이를 수식으로 나타내면 式(11)과 같이 표현할 수 있다.

$$\tilde{f}_k(i) = \text{dom}_{i < j} \{ \tilde{C}_{ij} \oplus \tilde{V}_{k-1}(j), \tilde{V}_{k-1}(i) \mid (i, j) \in E \}, \quad k=1, \dots, n \quad (11)$$

$$\mu\{C_{ij} \oplus V_{k-1}(i)(z) = \text{MAX}_{\text{all } z=x+y} \{ \mu_{C_{ij}}(x), \mu_{V_{k-1}(i)}(y) \}$$

정의에 의거  $\tilde{V}_k(i)$  을 k 단계에서 마디 i의 퍼지最短經路 값이므로, 式(12)에 의하여 式(11)에서 구한 k 단계의 퍼지經路 값 ( $\tilde{f}_k(i)$ ) 중 동일한 所屬度 ( $\mu$ ) 수준에서 가장 짧은 퍼지經路 값을 마디 i의 퍼지最短經路 값으로 하며, 이러한 계산을 계속하여 k=n이 되면 계산을 終了한다.

$$\tilde{V}_k(i) = \{ (y_1, \alpha_1), (y_2, \alpha_2), \dots, (y_m, \alpha_m) \} \quad (12)$$

$$y_m = \min_{\text{all } v} \{ z_{mv} \}$$

단, m 은 양의 정수

$\alpha_m$  : 마디 i 에서 퍼지 經路 값의 所屬度중 m 번째로 큰 所屬度로서,  $\mu_{\tilde{f}_k}^-(z) = \alpha_m$  을

의미한다.

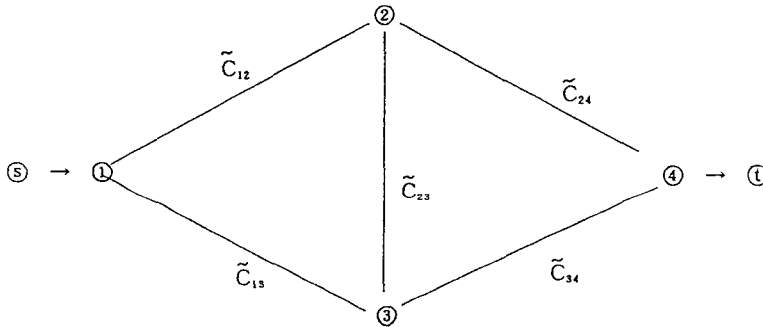
$z_{mv}$  : 마디  $i$  에서 所屬度가  $\alpha_m$  인  $v$  번째 經路값

$y_m$  : 마디  $i$  에서  $\alpha_m$  의 所屬度를 갖는 퍼지最短經路값

최초 마디  $n$ 에서 시작하면 마디  $n$ 의 퍼지最短經路값은 "0"이고 所屬도는 "1"이므로 境界條件 (boundary condition)은  $(0, 1)$ 이 된다. 다른 마디는 經路값이 " $\infty$ "이고 所屬도가 "1"인 것으로 하여 최초 퍼지最短經路값을  $(\infty, 1)$ 로 둔다. 따라서 다음과 같이 境界條件이 설정된다.

$$\tilde{V}_0(n), \dots, \tilde{V}_{n-1}(n) = (0, 1), \tilde{V}_0(i) = (\infty, 1), i = 1, \dots, n-1$$

이상 토의한 계산법은 <그림 10>과 같은 兩方向 네트워크에서 적용하여 퍼지最短經路를 구한다면 다음과 같다.



<그림 10> 퍼지 네트워크

$$\text{단, } C_{12} = \{(1, 0.3), (2, 0.6), (3, 1)\} \quad C_{13} = \{(1, 0.2), (2, 0.7), (4, 1)\}$$

$$C_{23} = \{(2, 0.4), (3, 0.8), (4, 1)\} \quad C_{24} = \{(2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1)\}$$

$$C_{34} = \{(3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1)\}$$

각 마디의 퍼지最短經路값을 式(11), 式(12)에 의하여 구한다면 境界條件은  $\tilde{V}_0(n), \dots, \tilde{V}_3(n) = (0, 1), \tilde{V}_0(i) = (\infty, 1), i = 1, \dots, 3$ 가 된다. 중간마디 1個인 경우, 式(11)과 式(12)에 의거 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \tilde{f}_1(1) &= \text{dom} \{ \tilde{C}_{12} \oplus \tilde{V}_0(2), \tilde{C}_{13} \oplus \tilde{V}_0(3), \tilde{V}_0(1) \} \\ &= \text{dom} \{ \{(1, 0.3), (2, 0.6), (3, 1)\} \oplus (\infty, 1), \{(1, 0.2), (2, 0.7), (4, 1)\} \oplus (\infty, 1), (\infty, 1) \} \\ &= (\infty, 1) \end{aligned}$$

$$\tilde{V}_1(1) = \min_{\text{all } v} \{ (\infty, 1) \} = \{ (\infty, 1) \}, \text{ 단, } \mu_{\tilde{f}_1}^0(z) = \alpha_m$$

$$f_1(2) = \text{dom} \{ \tilde{C}_{21} \oplus \tilde{V}_0(1), \tilde{C}_{23} \oplus \tilde{V}_0(3), \tilde{C}_{24} \oplus \tilde{V}_0(4), \tilde{V}_0(2) \}$$

$$\begin{aligned}
&= \text{dom } \{((1, 0.3), (2, 0.6), (3, 1)) \oplus ((\infty, 1), (2, 0.4), (3, 0.8), (4, 1)) \oplus ((\infty, 1), ((2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1))) \oplus (0, 1), (\infty, 1)\} \\
&= \text{dom } \{(\infty, 1), (\infty, 1), ((2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1)), (\infty, 1)\} \\
&= \{(2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1), (\infty, 1)\}
\end{aligned}$$

$$\tilde{V}_1(2) = \min_{\text{all } v, \mu_{\tilde{V}_1^*}(z) = \alpha_m} \{(2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1), (\infty, 1)\} = \{(2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1)\}$$

$$\begin{aligned}
\tilde{f}_1(3) &= \text{dom } \{\tilde{C}_{31} \oplus \tilde{V}_0(1), \tilde{C}_{32} \oplus \tilde{V}_0(2), \tilde{C}_{33} \oplus \tilde{V}_0(4), \tilde{V}_0(3)\} \\
&= \text{dom } \{((1, 0.2), (2, 0.7), (4, 1)) \oplus ((\infty, 1), ((2, 0.4), (3, 0.8), (4, 1))) \oplus ((\infty, 1), ((3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1))) \oplus (0, 1), (\infty, 1)\} \\
&= \text{dom } \{(\infty, 1), (\infty, 1), (3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1), (\infty, 1)\} \\
&= \{(3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1), (\infty, 1)\}
\end{aligned}$$

$$\tilde{V}_1(3) = \min_{\text{all } v, \mu_{\tilde{V}_1^*}(z) = \alpha_m} \{(3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1), (\infty, 1)\} = \{(3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1)\}$$

마찬가지로 중간마다 2개인 경우도 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$\begin{aligned}
\tilde{f}_2(1) &= \text{dom } \{\tilde{C}_{12} \oplus \tilde{V}_1(2), \tilde{C}_{13} \oplus \tilde{V}_1(3), \tilde{V}_1(1)\} \\
&= \text{dom } \{((1, 0.3), (2, 0.6), (3, 1)) \oplus ((2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1)), ((1, 0.2), (2, 0.7), (4, 1)) \oplus ((3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1)), (\infty, 1)\} \\
&= \text{dom } \{((3, 0.3), (4, 0.4), (5, 0.6), (6, 0.7), (7, 1)), ((4, 0.2), (5, 0.4), (6, 0.6), (7, 0.7), (8, 1)), (\infty, 1)\} \\
&= \{(3, 0.3), (4, 0.4), (5, 0.6), (6, 0.7), (7, 1), (8, 1), (\infty, 1)\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tilde{V}_2(1) &= \min_{\text{all } v, \mu_{\tilde{V}_2^*}(z) = \alpha_m} \{(3, 0.3), (4, 0.4), (5, 0.6), (6, 0.7), (7, 1), (8, 1), (\infty, 1)\} \\
&= \{(3, 0.3), (4, 0.4), (5, 0.6), (6, 0.7), (7, 1)\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tilde{f}_2(2) &= \text{dom } \{\tilde{C}_{21} \oplus \tilde{V}_1(1), \tilde{C}_{23} \oplus \tilde{V}_1(3), \tilde{C}_{24} \oplus \tilde{V}_1(4), \tilde{V}_1(2)\} \\
&= \text{dom } \{Z((1, 0.3), (2, 0.6), (3, 1)) \oplus ((\infty, 1), ((2, 0.4), (3, 0.8), (4, 1))) \oplus ((3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1)), ((2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1)) \oplus (0, 1), ((2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1))\} \\
&= \text{dom } \{(\infty, 1), ((5, 0.4), (6, 0.4), (7, 0.6), (8, 0.8), (9, 1)), ((2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1)), ((2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1))\} \\
&= \{(2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1), (5, 0.4), (6, 0.4), (7, 0.6), (8, 0.8), (9, 1), (\infty, 1)\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tilde{V}_2(2) &= \min \{(2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1), (5, 0.4), (6, 0.4), (7, 0.6), (8, 0.8), (9, 1), (\infty, 1)\} \\
&= \{(2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1), (7, 0.6), (8, 0.8)\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tilde{f}_2(3) &= \text{dom } \{\tilde{C}_{31} \oplus \tilde{V}_1(1), \tilde{C}_{32} \oplus \tilde{V}_1(2), \tilde{C}_{34} \oplus \tilde{V}_1(4), \tilde{V}_1(3)\} \\
&= \text{dom } \{((1, 0.2), (2, 0.7), (4, 1)) \oplus ((\infty, 1), ((2, 0.4), (3, 0.8), (4, 1))) \oplus ((2, 0.4), (3,
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
& 0.7), (4, 1)), ((3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1)) \oplus (0, 1), ((3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1))\} \\
= & \text{dom } \{(\infty, 1), ((4, 0.4), (5, 0.4), (6, 0.7), (7, 0.8), (8, 1)), ((3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1)), \\
& ((3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1))\} \\
= & \{(3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1), (6, 0.7), (7, 0.8), (8, 1) (\infty, 1)\} \\
\tilde{V}_2(3) = & \min \{(3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1), (6, 0.7), (7, 0.8), (8, 1) (\infty, 1)\} \\
= & \{(3, 0.4), (4, 0.6), (5, 1), (6, 0.7), (7, 0.8)\}
\end{aligned}$$

최종적으로 중간마디 3개인 경우, 중간마디가 "1, 2" 인 방법으로 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
\tilde{V}_3(1) &= \{(3, 0.3), (4, 0.4), (5, 0.6), (6, 0.7), (7, 1), (8, 0.8)\} \\
\tilde{V}_3(2) &= \{(2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1), (7, 0.6), (8, 0.8)\} \\
\tilde{V}_3(3) &= \{(2, 0.4), (3, 0.7), (4, 1), (7, 0.8), (9, 0.6)\}
\end{aligned}$$

式(10)에 의해서 도출한 퍼지最短經路값에서 可能性 水準으로  $\alpha$ -cut한 후,  $\alpha$ -水準集合內에서 가장 짧은 값을 最短經路값으로 결정할 수 있으며, 각 마디의 퍼지最短經路값의 該當經路는 式(13)이 성립되는 隣接마디를 逆追跡하면 찾을 수 있다.

$$\tilde{V}_k(i) = \tilde{C}_{ij} \oplus \tilde{V}_{k-1}(j) \quad (13)$$

단, j마디는 i마디의 以前 인접마디이다.

지금까지 토의한 퍼지最短經路技法을 輸送問題 適用하면 Klein기법을 적용할 때 발생하는 問題點을 解消하여 經路를 구할 수 있다. 즉 네트워크內 弧값을 所屬度가 아닌 퍼지집합으로 부여하여 計算할 수 있으며, 兩方向네트워크에서 퍼지經路값 計算時 經路값이 동일한 可能性 水準에서 증가되는 문제點을 해소할 수 있다.

## 다. 퍼지 最短經路 計算節次

〈第 1 段階〉 먼저 道路幅, 鋪裝與否, 마디간 距離을 고려하여 계산한 距離時間를 決定的 弧값 ( $C_{ij}$ ) 으로 읽는다.

〈第 2 段階〉 마디 i와 마디 j의 道路狀態에 準한 言語變數를 적용하여 單位距離를 통과할 수 있는 時間에 대한 퍼지수를 발생시킨다.

〈第 3 段階〉 퍼지 弧값( $\tilde{C}_{ij}$ )을 구한다.

$$\tilde{C}_{ij} = C_{ij} \times \tilde{T}_{ij}$$

〈第 4 段階〉 반복횟수를  $k = 1$  로 놓는다.

〈第 5 段階〉 각 마디 i에서 마디 n까지 퍼지經路값을 式(11)에 의하여 구한다.

〈第 6 段階〉 마디 i에서 마디 n까지 퍼지最短經路값을 式(12)에 의해 퍼지最短經路값을 구한다.

〈第 7 段階〉 반복횟수가  $k = n$ 이면 8 단계로 가고, 아니면  $k = k + 1$ 로 놓고 단계 5로 간다.

〈第 8 段階〉 마디 1의 最短經路 퍼지집합에서 요망하는 수준( $\alpha$ -level set)을 구하여 最短經路 값에 대한 意思決定을 한다.

〈第 9 段階〉 마디 1의 퍼지最短經路集合에 대하여 式(13)에 의해 逆追跡(back track)을 한다.

〈第 10 段階〉 마디 1부터 n까지 퍼지最短經路 값과 經路를 출력한다.

## 4. 퍼지最短經路 適用 事例

### 가. 狀況設定

開戰初日 아군은 적의 先制攻擊에 대하여 防禦任務를 수행하는 한편, 공세적 防禦戰略으로 西部戰線에 機動軍團을 투입하여 反擊作戰을 준비중에 있다. 이에 따라 合同參謀本部는 後方師團을 前方地域으로 투입하여 機動軍團에 配屬되어 있는 前方軍團의 豫備師團 任務를 대신 수행하도록 하였다. 慶北地域에 있는 第 XX 師團은 D 日 H 時에 部隊移動을 開始하여 9 時間以内 서울南方 水原地域으로 이동하여 展開하라는 短篇命令을 받았다.

上級部隊에서 부여된 任務를 遂行하기 위하여, 師團作戰將校는 浦項(地點 1: EQ 243814)에서 출발하여 分進點인 水原(地點 93: CS168401)까지 車輛 移動計劃을 수립해야 한다. 성공적인 部隊移動을 위해 軍團으로부터 道路에 관한 情報를 다음과 같이 획득하였다.

1. 淸州-平澤間 高速道路는 西部戰線 主

補給路이므로 前方地域의 補給物資 輸送을 위해 車輛通行量이 계속 증가될 것이다.

2. 大田-淸州間 高速道路는 中部, 湖南과 京釜高速道路가 만나는 지역으로 民間人 車輛이 과다하게 高速道路에 진입하여, 運行中인 車輛이 正常速度를 내지 못하고 있다.
3. 大田-大邱間 高速道路는 道路偵察을 실시하지 않아 道路狀態에 대한 획득된 구체적인 情報가 없다.
4. 其他道路는 車輛通行에 障礙를 주지 않는다.

이와 같은 狀況下에서 最短距離 部隊移動路 선정을 위한 퍼지最短經路技法을 적용하기 위해 기본 假定事項을 다음과 같이 설정하였다.

첫째, 部隊移動間 所要되는 費用은 판단하지 않으며 移動時間만 고려한다.

둘째, 部隊移動時 道路使用은 高速道路와 一般國道로 制限하며 車輛移動速度 (6) 및 行軍形態(5)는 다음과 같다.

1. 車輛速度 :

區 分	一 般 道 路	高 速 道 路
良好한 狀態 (4 車線) 普通狀態 (2 車線)	30 KIH 25 KIH	50 KIH 40 KIH

2. 行軍 形態 : 疏開縱隊

세제, 道路狀態에 대한 言語的 評價値는 4 車線 高速道路는 "매우 좋음", 2車線 高速道路와 一般國道는 "좋음", 非鋪裝道路는 "매우 나쁨"으로 評價되었다.

네제, 言語變數에 대한 퍼지 評價値는 <表 2>를 적용한다.

다섯째, 上級部隊의 획득된 情報를 기초로 言語變數를 <表 3>과 같이 판단하였다.

<表 3> 특정마디의 言語變數(道路狀態) 評價値

區 間	言語變數	區 間	言語變數
大田 - 淸州	5	淸州 - 天安	4
天安 - 平澤	4	大田 - 沃川	3
沃川 - 黃澗	3	黃澗 - 秋風嶺	3
秋風嶺 - 倭館	3	倭館 - 大邱	3

나. 輸送 네트워크 구성

高速道路와 一般國道를 네트워크로 구성하기 위하여, 高速道路上的의 인터체인지 및 道路上的의 主要連結地點을 마디라 하고 마디를 相互 連結시키는 道路를 弧라고 하면, 全國道路網을 輸送네트워크로 구성할 수 있다. 輸送네트워크內 源마디는 出發點이고, 着마디는 到着地點이다. 輸送네트워크를 구성하기 위해 全國 高速道路와 一般國道の 狀況을 알아보면 <表 4>과 같다.

<表 4>에 明示된 道路網을 細分하여 陸軍 第 00 部隊가 1991年 작성한 "全國道路網圖"를 參考로 部隊移動時 兵站線으로 使用될 수 있는 道路를 主要 連結地點別로 整理하면 <表 5>와 같다. 그리고 全國道路網을 네트워크로 구성하기 위하여 主要 道路 交叉點을 지점으로 선정하였는데 이러한 지점은 네트워크의 마디를 구성한다. 네트워크의 마디에 대한 地名은 <表 6>에 명시하였다. <表 5>에 表示된 地點과 地點間의 距離와 <表 6>의 마디를 토대로 <그림 11>과 같이 輸送네트워크를 構成할 수 있으며 弧값 ( $C_{ij}$ ) 은 路上距離가 된다.

〈表 4〉 道路網 現況

道路名	區間	道路名	區間	道路名	區間
E - 1	서울 - 釜山	N - 23	康津 - 天安	N - 19	南二 - 原州
E - 3	大田 - 順天	N - 25	鎭海 - 淸州	N - 42	仁川 - 東海
E - 4	水原 - 江陵	N - 28	浦項 - 榮州	N - 21	群山 - 長湖院
E - 5	江陵 - 墨湖	N - 31	蔚山 - 楊口	N - 43	發案 - 錦化
E - 6	釜山 - 順天	N - 2	木浦 - 釜山	N - 13	莞島 - 潭陽
E - 7	大邱 - 馬山	N - 14	蔚山 - 長承浦	N - 23	唐津 - 天安
E - 8	彦陽 - 蔚山	N - 26	群山 - 大邱	N - 27	高興 - 群山
E - 9	大邱 - 光州	N - 32	西山 - 大田	N - 4	群山 - 甘浦
E - 10	서울 - 南二	N - 34	唐津 - 盈德	N - 45	海美 - 淸平
N - 1	木浦 - 板門店	N - 36	大川 - 蔚鎭	N - 5	馬山 - 錦化
N - 17	蔚山 - 陽芝	N - 38	平澤 - 三陟	N - 3	南海 - 連川

凡例 E : 高速道路(expressway), N : 國道(national route)

그러나 지시된 時間以內 部隊가 目標地點까지 移動해야 하므로, 단순히 距離에 의한 最短經路는 重要한 의미를 갖지 못한다. 따라서 路上距離를 距離時間으로 전환한 弧값( $C_{ij}$ ) 을 구하기 위하여 다음 식을 적용하였다.

$$\text{距離時間} = \frac{\text{距離}}{\text{規定速度}} \times 60(\text{分})$$

단, 規定速度는 육군 수송계획에서 제시하는 속도[6]를 의미한다.

이렇게 하여 구성된 距離時間 네트워크는 〈그림 12〉와 같다. 〈그림 12〉의 時間네트워크는 〈表 1〉의 영향요소중 決定的 要素만 고려한 弧값( $C_{ij}$ ) 이다. 그러므로 決定的 네트워크에서 고려되지 않는 불확실한 要素를 時間네트워크에 포함하기 위해, 각 마디間 言語變數(道路狀態)의 評價値를 假定事項에서 설정된 것을 기초로 정리하면 〈表 7〉과 같다. 〈表 7〉의 言語的 評價値를 〈그림 12〉의 時間네트워크에 적용하여 퍼지네트워크를 구성한다. 이를 위해 먼저 〈表 2〉에서 보여주는 言語變數에 대한 fuzzy 評價値를 〈그림 12〉의 弧값( $C_{ij}$ ) 에 곱하여 각 弧의 퍼지수를 발생시킨다. 예를 들어, 區間 1-3의 道路狀態가 좋음("2")이므로 式(10)을 적용하면 다음과 같은 퍼지 弧값( $\tilde{C}_{ij}$ ) 을 얻게된다.

$$\begin{aligned} \tilde{C}_{13} &= C_{13} \times \tilde{T}_{13} \\ &= 36 \times (0.8, 1.1, 1.4) \\ &= (28.8, 39.6, 50.4) \end{aligned}$$

같은 방법으로 각 地點間 言語變數(道路狀態)의 fuzzy 評價値를 적용하여 輸送네트워크에 適用되는 퍼지弧값( $\tilde{C}_{ij}$ ) 을 발생시켜 퍼지네트워크를 구성할 수 있다.

〈表 5〉道路の 區間 - 時間表

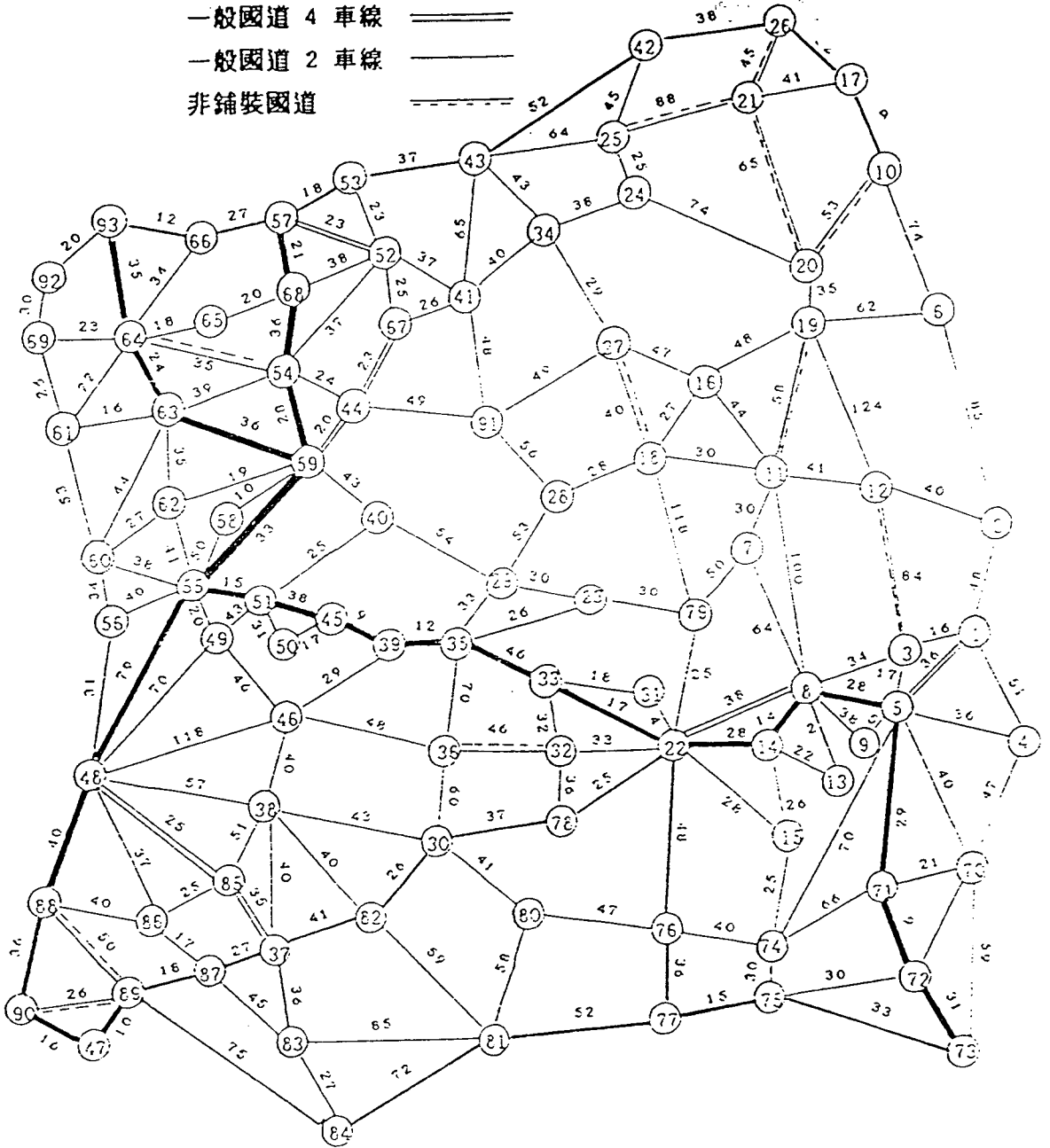
(距離單位: KM)

區間	距離	分	比較	區間	距離	分	比較	區間	距離	分	比較	區間	距離	分	比較
1-3	16	39	D	1-4	51	123	D	1-5	36	60	C	1-2	48	72	D
2-6	85	128	D	2-12	40	96	D	3-5	17	39	D	3-8	2	5	D
3-12	84	252	E	4-5	36	87	D	4-70	47	113	D	5-3	17	39	D
5-8	28	34	A	5-9	5	12	D	5-70	40	96	D	5-71	23	34	A
5-74	70	168	D	6-10	74	111	D	6-19	62	149	D	7-11	30	72	D
7-79	50	120	D	7-8	64	154	D	8-11	100	240	D	8-22	38	75	C
8-14	14	17	A	8-9	38	92	D	10-17	9	14	B	10-20	53	159	E
11-16	44	106	D	11-18	30	722	D	11-19	58	174	E	11-12	41	99	D
12-19	124	298	D	13-14	22	53	D	14-22	28	34	A	14-15	26	63	D
15-22	28	80	D	15-74	25	60	D	16-18	27	65	D	19-16	48	116	D
16-27	47	113	D	17-21	41	123	E	17-26	32	48	B	18-28	28	68	D
18-27	40	120	E	18-79	118	283	D	19-20	35	84	D	20-21	65	195	E
20-24	74	170	D	21-25	88	264	E	21-26	45	135	E	22-76	48	72	D
22-79	25	60	D	22-31	4	10	D	22-33	17	21	A	22-32	33	80	D
22-78	25	38	D	23-29	30	72	D	23-35	26	63	D	23-79	30	72	D
24-25	25	108	D	24-34	38	92	D	25-42	45	173	D	25-43	64	92	D
26-42	38	57	B	27-34	29	70	D	27-91	49	147	D	28-91	23	56	D
28-29	22	53	D	29-35	33	80	D	29-40	54	130	D	30-36	60	144	D
30-38	43	104	D	30-78	37	56	D	30-80	41	99	D	30-82	41	99	D
31-33	18	44	D	32-33	32	75	D	32-36	46	138	E	32-78	36	87	D
33-35	46	56	A	34-43	43	104	D	34-41	40	96	D	35-39	12	15	A
33-35	46	56	A	34-43	43	104	D	34-41	40	96	D	35-39	12	15	A
36-35	70	168	D	36-46	48	116	D	37-38	53	128	D	37-85	35	70	C
37-87	27	41	D	37-82	41	62	D	37-83	36	87	D	38-46	40	96	D
38-48	57	137	D	38-82	40	96	D	38-85	51	123	D	39-45	9	11	A
39-46	28	68	D	40-51	252	60	D	40-59	43	104	D	41043	65	156	D
41-52	37	89	D	41-67	26	63	D	41-91	48	116	D	42-43	52	78	B
43-53	37	56	B	44-54	24	58	D	44-67	23	46	C	44-59	20	40	D
44-91	49	118	D	45-51	38	46	A	45-50	17	41	D	46-49	46	106	D
46-48	118	284	D	47-89	10	32	A	47-90	16	20	A	48-49	70	168	D
48-55	79	95	A	48-56	31	75	D	48-85	25	50	D	48-86	37	89	D
48-88	40	48	A	49-51	43	104	D	49-55	20	48	D	50-51	31	75	A
51-55	15	18	A	52-53	23	56	D	52-54	37	89	D	52-57	23	46	C
52-67	25	60	D	52-68	38	92	D	53-57	18	28	B	54-59	28	34	A
54-68	36	44	A	54-63	39	94	D	54-64	35	105	D	55-58	50	120	D
55-59	33	40	A	55-60	38	92	D	55-56	40	96	D	56-60	34	82	D
55-62	41	99	D	57-66	27	39	B	57-68	21	26	A	58-59	10	24	D
59-62	19	46	D	59-63	36	44	A	60-61	53	128	D	60-63	44	106	D
60-62	27	65	D	61-63	16	32	C	61-69	26	63	D	62-59	19	46	D
62-63	35	84	D	63-64	24	58	A	64-66	34	82	D	64-65	18	44	D
64-93	35	42	A	64-69	23	56	D	65-68	20	48	D	66-93	12	18	B
69-92	30	72	D	70-71	21	32	B	70-72	64	154	D	70-73	59	142	D
71-74	66	159	D	71-72	9	11	A	72-75	30	72	D	72-73	31	38	A
73-75	33	50	D	74-76	40	96	D	74-75	30	72	D	75-77	15	23	D
76-80	47	113	D	76-77	36	54	B	77-81	52	78	D	80-81	58	140	D
81-82	59	142	D	81-83	85	204	D	81-84	72	108	B	83-87	45	108	D
83-84	27	65	D	84-89	75	90	A	85-86	25	60	D	86-88	40	120	D
86-87	17	41	D	87-88	18	44	B	88-89	50	150	E	88-90	36	44	A
89-90	26	78	E	92-93	20	48	D								

범례 A: 高速道路 4 車線 B: 高速道路 2 車線 C: 一般國道 4 車線

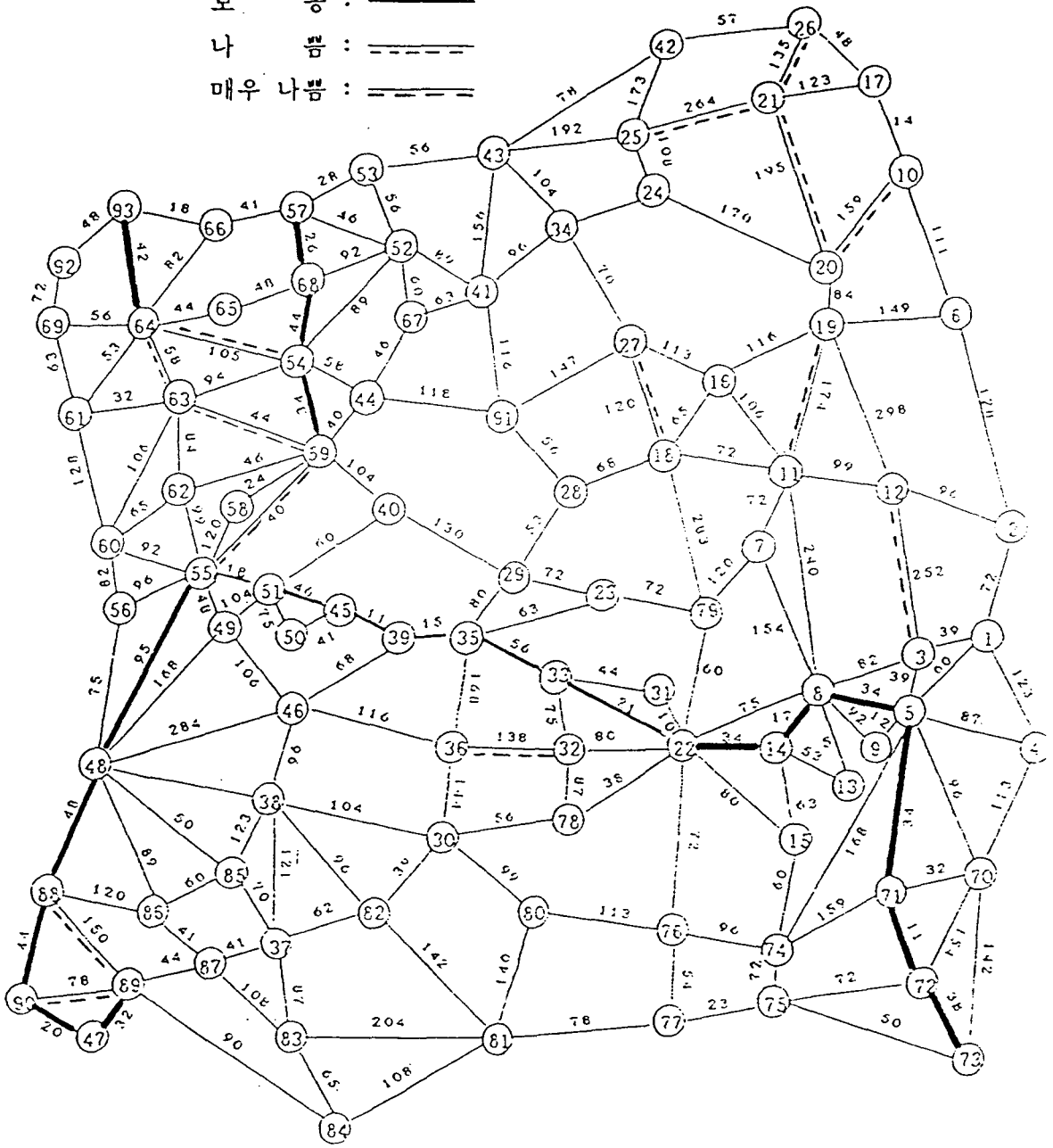
D: 一般國路 2 車線 E: 非鋪裝道路

- 凡例 : 高速道路 4 車線 **————**  
 高速道路 2 車線 **——**  
 一般國道 4 車線 **====**  
 一般國道 2 車線 **——**  
 非鋪裝國道 **- - - -**



〈그림 11〉 距離 네트워크

凡例 : 매우 좋음 : **————**  
 좋 음 : **———**  
 보 통 : **——**  
 나쁨 : **- - - -**  
 매우 나쁨 : **- - - -**



<그림 12> 時間 네트워크

〈表 6〉 마디의 地名

地點	地點名	地點	地點名	地點	地點名	地點	地點名	地點	地點名
1	浦項	2	盈德	3	安康	4	甘浦	5	慶州
6	蔚鎮	7	義城	8	永川	9	顯橋	10	三陟
11	安東	12	眞寶	13	錯山	14	慶山	15	清道
16	榮州	17	北坪	18	醴泉	19	懸洞	20	黃平
21	松溪	22	大邱	23	善山	24	寧越	25	黃昌
26	江陵	27	端陽	28	善村	29	尚州	30	居昌
31	技川	32	星州	33	倭館	34	提川	35	金川
36	館基里	37	南原	38	長溪	39	秋風嶺	40	報恩
41	忠州	42	謬沙	43	原州	44	會坪	45	黃澗
46	茂朱	47	光州	48	全州	49	馬田	50	永同
51	沃川	52	長湖院	53	驪州	54	鎭川	55	大田
56	論山	57	利川	58	錦南	59	清州	60	松州
61	溫陽	62	鳥致院	63	天安	64	平澤	65	安城
66	龍仁	67	陰城	68	一竹	69	安密	70	蔚山
71	彥陽	72	梁山	73	釜山	74	安密	75	進川
76	昌寧	77	馬山	78	古寧	79	架梁	80	陝水
81	鎭州	82	咸陽	83	求禮	84	順川	85	倭館
86	葛潭	87	淳昌	88	井州	89	潭陽	90	長城
91	延豐	92	發安	93	水原	94			

〈表 7〉 道路狀態에 따른 言語變數

區間	道路狀態	區間	道路狀態	區間	道路狀態	區間	道路狀態	區間	道路狀態	區間	道路狀態
1-3	2	1-4	2	1-5	2	1-2	2	2-6	2	2-12	2
13-8	2	3-12	5	4-5	2	4-70	2	5-3	2	5-8	1
5-70	2	4-71	1	5-74	2	6-10	2	6-19	2	7-11	2
8-7	2	8-3	2	8-11	2	8-22	2	8-14	1	9-8	2
10-20	5	11-16	2	11-18	2	11-19	5	11-12	2	12-19	2
14-22	1	15-14	2	15-22	2	15-74	2	16-18	2	19-16	2
17-21	2	17-26	2	18-28	2	18-27	5	18-79	2	19-20	2
20-24	2	21-25	5	21-26	5	22-76	2	22-79	2	22-31	2
22-32	2	22-78	2	23-29	2	23-35	2	23-79	2	24-25	2
25-42	2	25-43	2	26-42	2	27-34	2	27-91	2	28-91	2
29-35	2	29-40	2	30-36	2	30-38	2	30-78	2	30-80	2
31-33	2	32-33	5	32-36	5	32-78	2	33-35	3	34-43	2
35-39	3	36-35	2	36-46	2	37-38	2	37-85	2	37-87	2
37-83	2	38-46	2	38-48	2	38-82	2	38-85	2	39-45	3

(표 7 계속)



區間	道路 狀態	區間	道路 狀態	區間	道路 狀態	區間	道路 狀態	區間	道路 狀態	區間	道路 狀態	區間	道路 狀態
40-51	2	40-59	2	41-43	2	41-52	2	41-67	2	41-91	2	42-43	2
43-53	2	44-54	2	44-67	2	44-59	2	44-91	2	45-51	3	45-50	2
46-49	2	46-48	2	47-89	1	47-90	1	48-49	2	48-55	1	48-56	2
48-85	2	48-86	2	48-88	2	49-51	2	49-55	2	50-51	2	51-55	3
52-53	2	52-54	2	52-57	5	52-67	2	52-68	2	53-57	2	54-59	1
54-68	1	54-63	2	54-64	2	55-58	2	55-59	5	55-60	2	55-56	2
55-62	2	56-60	2	57-66	2	57-68	1	58-59	2	59-62	2	59-63	4
60-61	2	60-63	2	60-62	2	61-63	2	61-69	2	62-59	2	62-63	2
63-64	4	64-66	2	64-65	2	64-93	2	64-69	2	65-68	2	66-93	1
69-92	2	70-71	2	70-72	2	70-73	2	71-74	2	71-72	1	72-75	2
72-73	1	73-75	2	74-76	2	74-75	2	75-77	2	76-80	2	76-77	2
77-81	2	80-81	2	81-82	2	81-83	2	81-84	2	83-87	2	83-84	2
84-89	2	85-86	2	86-88	2	86-87	2	87-88	2	88-89	5	88-90	1
89-90	5	92-93	2										

1 : 매우 좋음    2 : 좋음    3 : 보통    4 : 나쁨    5 : 매우 나쁨

#### 다. 適用 結果

퍼지最短經路模型을 利用하여, <그림 12>에 있는 時間네트웍을 <表 2>와 <表 7>의 자료를 式(10)에 적용하여 퍼지네트웍으로 전환한 다음에 퍼지最短經路값과 經路을 구하였다. 다시 말하면 <表 5>의 弧값( $C_{ij}$ )을 入力資料로 하고 <表 7>의 道路狀態와 <表 2>의 言語變數의 評價値를 適用하여 特定地點間의 距離時間을 퍼지화하였다. 수정퍼지最短經路模型을 프

로그래밍하여 해를 얻었으며 그 결과는 出發地點에서 分進點에 이르는 퍼지最短經路값을 所屬度에 따라 정리한 결과가 <表 8>에서 보여주고 있다. 이 表에서 最短經路값에 대한 所屬度는 그 經路에 대한 經路값(통과에 소요되는 시간)으로 통과할 수 있는 可能性程度를 나타낸다. 예를 들어 <表 8>에서 505.2 分으로 통과할 可能性은 0.5 정도임을 알 수 있다.

<表 8> 最短經路에 대한 퍼지집합

最短經路값	所屬度( $\mu$ )	最短經路값	所屬度( $\mu$ )
0.00	.000	512.70	.550
446.20	.100	520.00	.600
453.50	.150	527.30	.650
460.80	.200	534.60	.700
468.50	.250	542.20	.750
475.80	.300	549.60	.800
483.20	.350	557.00	.850
490.40	.400	564.20	.900
497.80	.450	571.60	.950
505.20	.500	579.00	1.000

(1) 最短經路값의 可能性

수정퍼지最短經路技法을 適用時, 最短經路값은 확정적 값이 아닌 <表 8>과 같이 퍼지집합(fuzzy set)으로 표현된다. <그림 13>는 퍼지最短經路값과 所屬度의 관계를 나타내고 있다. 所屬度水準이 낮아지면 經路값은 적어지고, 所屬度水準을 높이면 移動時間이 증가하는 것을 보여준다.

여기서 퍼지最短經路값의 所屬度란 最短經路를 구하기 위해서 네트워킹의 퍼지弧값중에서 所屬度가  $\alpha$ -수준 이상인 弧값을 고려하는 것을 말하며, 선정된 最短經路값에 대한 任務達成 可能性程度를 나타낸다.

最短經路값의 所屬度가 任務達成 可能性程度를 나타내므로, 만약 上級部隊가 9 時間(540分)以內 목적지에 도달하기를 원한다면 任務達成할 可能性程度는 <表 8>에서 찾아볼 수 있듯이 약 0.75 정도가 된다. 最終目的地인 分進點까지 갈 수 있는 可能性이 "1"인 ( $\alpha=1$ ) 最短經路값은 579 分이다. 그러므로

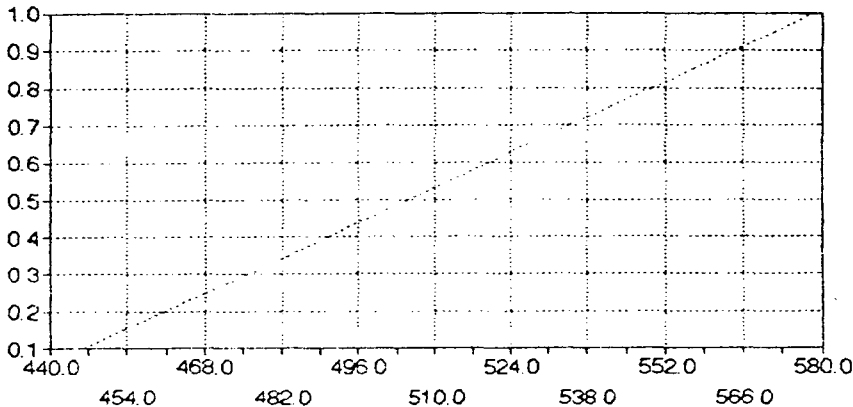
指揮官은 上級部隊에서 요구하는 移動要求時間이내에 도달할 可能性程度가 낮아 현실적으로 임무수행이 어렵다고 판단된다면, 上級部隊에 移動時間을 조정하여 주도록 요청할 수 있다.

(2) 最短經路값 選定

<表 8>에서 알 수 있듯이 可能性水準이  $\alpha=0.5$ 인 경우 最短經路값이 505 分이고, 可能性水準이  $\alpha=0.7$  인 경우 最短經路값이 534 分이며, 可能性水準이  $\alpha=1$  에서는 最短經路값이 579 分이다. 이러한 퍼지집합에서 意思決定은 意思決定者의 要求水準( $\alpha=0.8$ )인  $\alpha$ -수준集合 = {549, 557, 564, 571, 591} 중 적은 값인 549 分을 채택할 수 있다.

그러나 <그림 13>에서 알 수 있듯이  $\alpha$ -수준이 낮은 經路값은 요망시간이내 부대를 도착시킬 可能性이 적어진다. 그러므로 指揮官이 部隊를 目的地까지 이동하기 위해서 요구되는 移動時間과 可能性水準( $\alpha$ -level)을 折衷하여 最短經路값을 選定해야할 것이다.

소속도



<그림 13> 最短經路값과 所屬度의 比較 최단경로값

(3) 決定的最短經路模型과 퍼지最短經路模型의 比較

決定的 네트워크에서 구한 最短經路값(496分)과 퍼지最短經路技法을 적용한 結果와 比較하면 <表 8>에서 보는 바와 같이 496 分의 可能性 程度가 약 0.45이며, 決定的 네트워크와 任務達成 可能性이 1 인 퍼지最短經路값은 579 分임을 확인할 수 있다. 따라서 決定的 네트워크와 可能性이  $\alpha=1$ 인 수준에서 計算한 結果의 差異는 83 分 이다. 이러한 結果는 決定的 네트워크에서 고려하지 못한 요소(車輛通行量)를 퍼지最短經路模型에 포함시킴으로써 發生된 추가적인 移動所要時間이다.

퍼지最短經路模型에서 可能性水準  $\alpha=1$ 인 퍼지最短經路와 決定的 最短經路를 比較하기 위하여 該當經路를 찾은 結果가 <表 9>에 명

시되어 있다. <表 9>에서 살펴보면 決定的 要素만 고려한 네트워크에서 사용하였던 天安 - 平澤間 京釜高速道路가 많은 車輛通行量으로 인해 鎭川 - 一竹 - 利川 - 龍仁의 中部高速國道를 이용하는 것보다 移動時間이 많이 소요되어 最短經路가 바뀐 것이다. 이처럼 決定的 模型에서 고려하지 못하는 fuzzy한 요소(여기서는 車輛通行量)를 퍼지最短經路模型은 고려할 수 있다.

또한, <表 10>는 最短經路上的의 중간지점에서 分進點까지 最短經路값과 可能性을 명시한 것이다. 중간마디(22)까지 移動時間이 100分이 소요되었다면 나머지 移動可用時間 = 579 分 - 100分 = 479分이다. 地點 22(大邱)에서 分進點까지 퍼지最短經路값을 <表 10>에서 찾아볼 수 있듯이 可能性水準이 1인 經路값

<表 9> 決定的 經路값과 퍼지最短經路값에 대한 經路

구 분	最短 經路값	經 路		可能性
		經	路	
決定的 模型	496分	60 34 17 34 浦項(1) → 慶州(5) → 永川(8) → 慶山(14) →	모름	
		21 56 15 大邱(22) → 倭館(33) → 金川(35) → 秋風嶺(39)		
퍼지最短 經路模型	579分	11 46 18 40 → 黃潤(45) → 沃川(51) → 大田(55) → 淸州	1	
		48 58 42 (59) → 天安(63) → 平澤(64) → 水原(97)		

435分임으로 任務達成을 확신할 수 있다.

地點 22 까지 移動時間이 200 分 소요되다. 目的地인 分進點까지 移動可用時間은 379 分으로 <表 10>에서 任務達成程度를 보면 약 0.5 水準이므로 指揮官은 필요한 조치를 취하여야 할 것이다.

퍼지最短經路技法은 현실적으로 발생 가능한 狀況중에서 決定的 最短經路技法에서 고려하지 않은 要素를 言語變數를 이용하여 最短經路模型에 고려함으로써 現實性을 충분히 반영하고, 각 마디에서 퍼지最短經路값을 구할 수 있어 中間地點에서 分進點까지 移動時間과 이에 대한 可能性을 동시에 導出할 수 있는 利點이 있다.

## V. 結 論

最短距離 部隊移動路를 選定하기 위한 決定的 最短經路模型은 道路網을 네트워크를 구성하여, 弧값 ( $C_{ij}$ ) 을 道路幅, 鋪裝與否, 마디間의 距離에 의해 결정되는 값으로 간주하고, 네트워크 最短經路技法(shortest path)을 적용하여 짧은 經路를 구하였다.

本 研究은 현실적으로 經路값에 영향을 줄 수 있는 불확실한 要素를 고려하였다. 불확실한 要素를 計量化하기 위해 퍼지理論을 적용하였고, 言語變數로 퍼지弧값을 발생시켜 퍼지最短經路技法으로 部隊移動路를 選定하였다.

導出된 技法은 Klein모형에서 고려하지 못하

<表 10> 最短經路上의 中間地點에서 分進點까지 퍼지最短經路값

22(大邱)		39(秋風嶺)		55(大田)		54(鎭川)		57(利川)	
經路값	$\mu$	經路값	$\mu$	經路값	$\mu$	經路값	$\mu$	經路값	$\mu$
0.0	.05	0.0	.05	0.0	.05	0.0	.05	0.0	.05
339.6	.10	245.0	.10	167.9	.10	89.3	.10	45.3	.10
344.9	.15	249.0	.15	170.8	.15	91.2	.15	46.2	.15
350.1	.20	252.9	.20	173.7	.20	93.0	.20	47.0	.20
355.7	.25	257.2	.25	176.8	.25	95.0	.25	47.9	.25
360.9	.30	261.1	.30	179.8	.30	96.9	.30	48.9	.30
366.2	.35	265.1	.35	182.7	.35	98.7	.35	49.7	.35
371.4	.40	269.0	.40	185.6	.40	100.6	.40	50.6	.40
376.6	.45	273.0	.45	188.5	.45	102.4	.45	51.4	.45
382.0	.50	277.0	.50	191.5	.50	104.3	.50	52.3	.50
387.4	.55	281.1	.55	194.5	.55	106.2	.55	53.2	.55
392.6	.60	285.0	.60	197.4	.60	108.0	.60	54.0	.60
397.9	.65	289.0	.65	200.3	.65	109.0	.65	54.9	.65
403.1	.70	292.9	.70	203.2	.70	111.7	.70	55.7	.70
408.6	.75	297.1	.75	206.2	.75	113.6	.75	56.7	.75
413.9	.80	301.1	.80	209.3	.80	115.6	.80	57.6	.80
419.2	.85	305.1	.85	212.2	.85	117.4	.85	58.4	.85
424.4	.90	309.0	.90	215.1	.90	119.3	.90	59.3	.90
429.7	.95	313.0	.95	218.0	.95	121.1	.95	60.1	.95
435.0	1.00	317.0	1.00	221.0	1.00	123.0	1.00	61.0	1.00

는 兩方向 네트워크에 적용이 가능하고, 特定地點間 移動時間을 퍼지집합(퍼지수)으로 표현하여 각종 道路情報를 반영한 적절한 經路를 選擇할 수 있어 決定的 最短經路技法보다 더욱 현실적인 解(solution)를 얻을 수 있다.

이러한 技法을 사용한다면 道路網에 影響을 미치는 불확실한 요소를 고려한 最短經路를 선정할 수 있으며, 最短經路값을 퍼지집합으로 표현하여, 上級部隊가 요구하는 時間以內에 部隊를 이동시킬 수 있는 可能性을 확인할 수 있을 뿐만 아니라, 最短經路上의 각 중간마다에서 目的地까지의 퍼지最短經路값을 一目瞭然하게 검토할 수 있으므로 指揮官의 部隊指揮活動에 도움을 줄 수 있을 것이다.

요약하면, 경험을 토대로 하는 主觀的 判斷과 불확실한 상황을 論理的으로 計量化 시킬수 있는 퍼지 理論을 最短經路技法에 적용하여 最短經路를 선정 한다면 通過時間과 可能性을 동시에 평가할 수 있으므로 보다 합리적인 模型임을 알 수 있다. 本 研究가 보다 효과적으로 적용되기 위해서는 퍼지네트워크를 구성하기 위하여 사용된 言語變數(道路狀態)에 대한 퍼지수가 多年間의 分析資料에 의해 부여된다면 좀더 적은 誤差를 갖는 解를 구할 수 있을 것이다.

### 參 考 文 獻

- [1] 金允吉, "P개 特定地點을 經由하는 k-最短經路 計算法에 관한 研究", 碩士學位論文, 國防大學院, 1990.
- [2] 國防大學院, 「計量的意思決定論(II)」, 1991, pp.563-564.
- [3] 國防大學院, 「네트워크 理論과 應用(II)」, 1986.
- [4] 嚴正國, 「퍼지 理論」, 博英社, 1992, pp.148-216.
- [5] 陸軍本部, 「陸路 輸送運用」, 1988, pp.22-23.
- [6] 陸軍本部, 「編成·技術 및 軍需 諸元」, 1985, p.736.
- [7] 林桂煥, "K-最短經路技法을 利用한 部隊移動路善政에 관한 研究", 碩士學位論文, 國防大學院, 1989.
- [8] Carlsson, C. and Korhonen, P., "A Parametric Approach to Fuzzy Linear Programming", *Fuzzy Sets and System*, Vol. 2, 1986, pp.17-30.
- [9] Dubois, D. and Prade, H., *Fuzzy Sets and Systems*, New York, Academic Press, 1980.
- [10] Esogbue, A. S. and Bellman, R. E., "Fuzzy Dynamic Programming and Its Extensions", *Mangement Sciences* Vol. 20, 1984.

- [11] Kandel, Abraham, *Fuzzy Mathematical Techniques with Applications*, New York, Addison Wiley, 1986, pp. 338-353.
- [12] Klein, Cerry M.; "Fuzzy Shortest Path", *Fuzzy Sets and System*, Vol. 39, 1991, pp. 27-41.
- [13] Park, K. S. and Kim, J. S., "Fuzzy Weighted-Checklist with Linguistic Variables", *IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY*, Vol. 39, No. 3, 1990, pp. 389-393.
- [14] Wang, Paul P. and Chang, S. K., eds, "Operation Reserach Fuzzy Data", *Fuzzy Sets*, New York, Plenum Press, 1981, pp. 155-170.
- [15] Zadeh, Z. A., "Fuzy Sets", *Information and Control*, Vol. 8, 1965, pp. 338-353.
- [16] Zimmermann, H. J., *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, KALA, 1991, pp. 131-13, pp. 53-55.