

# 대중교통 수단선택과 연계한 복합환승센터 내 보행자 최적경로 산정

## Computation of Optimal Path for Pedestrian Reflected on Mode Choice of Public Transportation in Transfer Station

윤상원\*

배상훈\*\*

(Sangwon Yoon) (Sanghoon Bae)

### 요 약

미래 사회로 갈수록 대중교통을 연계하기 위한 환승센터의 기능 및 규모가 확대됨에 따라 환승센터 내에서 이용자를 대상으로 경로를 안내하는 시스템의 필요성이 제기되고 있다. 그러나 도로에서의 차량을 대상으로 한 최적경로에 관한 모형은 많이 제시되고 있는 반면 건물 내에서 보행자를 위한 최적경로에 대한 연구는 미미하다.

따라서 본 연구는 복합환승센터 내에서 승용차를 이용하는 개인이 지하주차장에서 환승센터 내 대중교통 수단 이용을 위한 승강장이나 상가 시설로 이동하는 최적의 경로를 제시할 수 있는 모형개발을 주요내용으로 하였다. 건물 내 최적경로 모형은 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘을 기본으로 하여 거리의 최소비용을 산정하고, 여기에 이동시간, 피로감, 쾌적도와 대기시간 등의 요소를 순위합, 산술합 방법 등을 통해 적용하여 객관성을 부가하였다.

또한 대중교통 수단의 이용자들의 성향이 반영된 Neuro-Fuzzy 모형을 통하여 환승센터 내 환승하는 이용자에게 최적의 교통수단을 제시하고, 그 해당 수단의 승강장까지 최적경로를 제시함으로써 모형의 효율성을 높였다. 마지막으로 가상의 시나리오들을 통하여 개발 모형의 효율성 검증하였다. 검증결과 개발모형을 통했을 경우 그렇지 않을 경우보다, 수직이동 경로차이의 시나리오에서 약 75%, 수평이동 경로차이의 시나리오에서 약 24.5~107.7% 더 효율적으로 나타났다.

### Abstract

As function and scale of the transit center get larger, the efficient guidance system in the transit center is essential for transit users in order to find their efficient routes. Although there are several studies concerning optimal path for the road, but insufficient studies are executed about optimal path inside the building.

Thus, this study is to develop the algorithm about optimal path for car owner from the basement parking lot to user's destination in the transfer station. Based on Dijkstra algorithm which calculate horizontal distance, several factors such as fatigue, freshness, preference, and required time in using moving devices are objectively computed through rank-sum and arithmetic-sum method.

Moreover, optimal public transportation is provided for transferrer in the transfer station by Neuro-Fuzzy model which is reflected on people's tendency about public transportation mode choice. Lastly, some scenarios demonstrate the efficiency of optimal path algorithm for pedestrian in this study. As a result of verification, the case through the model developed in this study is 75 % more effective in the scenario reflected on different vertical distance, and 24.5 ~ 107.7 % more effective in the scenario considering different horizontal distance, respectively.

**Key Words :** Optimal Path, Dijkstra Algorithm, Human Factors, Neuro-Fuzzy

\* 주저자 : 부경대학교 위성정보과학과 ITS 연구실 연구원

\*\* 공저자 : 부경대학교 위성정보과학과 교수(교신저자)

† 논문접수일 : 2007년 6월 5일

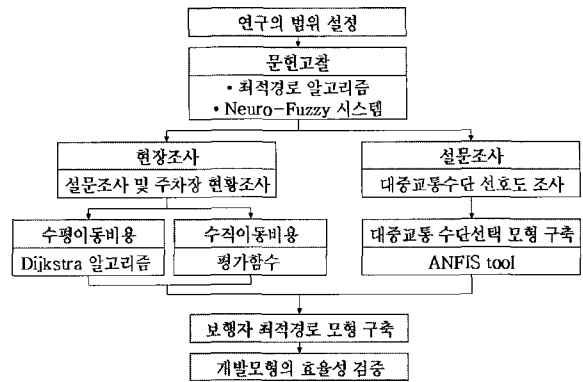
# I. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

최근 서울시 지하철역과 고속도로 I.C. 등 10여 곳에 지하철과 버스, 자가용 등을 환승할 수 있는 대규모 복합환승센터의 건립이 추진되고 있다. 이러한 대규모 복합환승센터는 대중교통 환승 기능 이외에 상가시설을 포함하여 이용자들에게 다양한 서비스를 제공할 것으로 예상된다. 하지만 현재의 건물 내 지하주차장에서의 경로안내 시스템은 안내원이나 안내 표지판에 의존하여, 주차공간에서 가장 근접한 이동 수단인 엘리베이터, 에스컬레이터 등으로 안내가 이루어지고 있다. 특히, 복합환승센터의 규모가 대형화 된다는 점을 고려할 때, 센터 내에 현재보다 많은 수의 이동수단들이 지하주차장 곳곳에 배치될 것으로 전망된다. 따라서 현재의 시스템으로는 이용자에게 건물 내 목적지까지 최적경로를 제시하는 것은 불가능하다. 또한 도로에서의 차량을 대상으로 한 최적 경로와는 달리 건물 내 보행자를 위한 최적경로는 기존 연구사례가 부족한 것이 현실이다.

따라서, 본 연구는 미래의 복합환승센터가 건립된 후, 승용차를 이용하는 개인을 대상으로 지하주차장에서 목적지까지의 최적의 경로를 제시하는 것에 그 목적을 두었다. 환승센터 내에서 개인의 이동비용의 산정은 크게 수평이동비용과 수직이동비용으로 나누어 구성하여 보행자 최적경로 모형을 구축하였다. 구축된 모형을 통한 최적경로는 가상 시나리오를 통해 일반적인 최적경로와 비교, 분석하여 그 독창성과 효율성을 검증하였다.

또한, 환승센터 내부라는 공간적 기능을 감안하여 환승을 위한 이용자들에게는 그들의 최종 목적지만으로 최적의 대중교통 수단을 제시하고, 그 수단의 승강장까지의 최적경로를 제시하였다. 최적의 대중교통 수단선택을 위해 Neuro-Fuzzy 모형을 비교하여, 침두시와 비침두시에 따라 가장 정확한 모형을 각각 제시하였다.



<그림 1> 연구수행 흐름도  
<Fig. 1> Flow chart of research

## 2. 연구 수행절차

본 연구의 연구 수행은 <그림 1>과 같은 과정을 통하여 실시하였다.

# II. 이론적 고찰

## 1. 최적경로 알고리즘

최적경로 알고리즘이란 경로안내시스템(Route Guidance System)의 핵심적 요소로서 수집된 각종 교통정보를 바탕으로 출발지와 도착지 사이의 실현 가능한 가장 경제적인 최선의 경로를 탐색하는 과정이다. 이는 출발지에서 도착지까지의 경로 상에 포함된 링크의 통행비용의 총 합을 최소화하는 최단경로를 찾는 것에 그 목적을 두고 있다.

최적경로의 기본원리는 1958년 Bellman이 밝혀낸 출발노드 h에서 노드 j까지의 최적경로가 노드 i를 통과하면, 그 경로 상에서 출발노드 h에서 노드 i까지의 부분 경로 또한 최적경로가 된다는 기본 사실에서부터 시작한다.

Dijkstra 알고리즘은 최적경로 기법의 표지 확정 기법의 대표적이 예로서 교통 분야에서 널리 쓰이는 알고리즘 중 하나이다. 실제 교통 분야에 적용 할 경우는 좌회전 금지, U-턴, P-턴 등이 한계점이 있으나, 비교적 제한된 공간상에서는 빠르고 효율적인

계산을 할 수 있고, 그 신뢰도 또한 다른 연구를 통해 여러 차례 검증되어 있다. 기존 노드에서 자신과 연결된 모든 노드 중 가장 최소 비용을 검색하는 기본 원리로, 시점에서 종점까지의 모든 비용을 저장하여 그 비용을 바탕으로 최소 비용의 경로를 선정하는 방법이다. [1]

## 2. Neuro-Fuzzy 시스템

뉴로퍼지 모형은 퍼지 시스템의 언어적 논리를 규칙의 형태로 표현할 수 있는 능력과 신경회로망의 오류 역전파 알고리즘을 사용한 학습기능이 서로 결합한 형태로 양 이론의 장점을 이용하여 서로의 단점을 보완한 구조를 가지고 있다. 퍼지 시스템은 애매함이 있는 시스템을 이해하기 쉽도록 정성적인 표현이 용이하고 불확실한 정보를 가지고 있는 시스템에 강인성을 발휘할 수 있다. 그러나 학습기능을 가지고 있지 않기 때문에 퍼지규칙을 얻기 위해 전문가나 경험에 의존해야 하는 어려움이 있다. 반면에 신경회로망은 시스템의 입출력 관계를 학습을 통해 추출할 수 있으며 병렬처리 기능을 가지고 있어 빠른 처리능력을 지닌다. 그러나 신경회로망은 주어진 시스템에 대해 정량적인 표현이 어려워 사용자가 시스템을 이해하기에는 어려움을 가진다. 따라서 이러한 두 시스템의 장점을 결합하고 단점을 해결하기 위해 퍼지 시스템과 신경회로망의 유사성과 상호보완관계를 이용하여 융합 및 결합을 시도한 모형이 뉴로퍼지 모형이다. [2]

## Ⅲ. 모형의 구축

### 1. 보행자 최적경로 모형

보행자 최적경로 모형은 복합환승센터 내에서 보행자가 이동 시, 소요되는 비용을 수평이동비용과 수직이동비용으로 나누어서 그 합이 최소가 되는 경로를 제시하는 것을 목표로 하였다.

#### 1) 수평이동 비용

수평이동비용은 보행자가 환승센터 내에서 수평으로 이동하는 비용의 합으로, 수평이동 거리만이 고려되었다. 이는 보행자가 건물 내에서 수평으로 이동하는 방법이 도보뿐이라고 판단하고, 이동 중 소요시간과 Human Factors는 거리 값에 다 반영된다고 판단하여 이동거리 만을 수평이동비용으로 고려되었다. [3,4]

#### 2) 수직이동 비용

수직이동비용은 보행자가 환승센터 내에서 이동수단을 통하여 이동하는 비용으로, 이동수단으로는 엘리베이터, 에스컬레이터, 계단(비상구)등의 3가지를 설정하였다. 비용에 영향을 미치는 요소로써 각각의 이동수단의 이용 시 피로도, 쾌적함과 대기시간을 고려한 선호도등의 Human Factors와 이동수단의 층 별 소요시간을 고려하였다.

설문조사는 건물 내에서 수직으로 이동 시, 각각의 이동수단들에 대한 소요시간 및 Human Factors를 수직이동비용합수를 통하여 객관화하여 최적경로 모형에 반영하고자 실시되었다. 설문대상은 <표 1>에서 나타나듯이 실제 복합환승센터의 이용자들의 비율을 성별, 연령대별로 반영하여 200명에게 실시하였다. 설문내용은 이동수단별 개인이 느끼는 피로감, 쾌적함, 선호도와 소요시간을 1-10점의 범위로 조사하였다. 이 때, 층별 차이가 클 것으로 예상되는 선호도는 1층, 2-3층, 4-5층, 6-9층, 10층 이상 이동의 5가지로 나누어 조사하였다. 그리고 거리와의 상대적 중요도를 측정하기 위하여, 거리를 포함한 모든 요소들 간의 상대적 순위를 1-5위까지 조사하였다.

<표 1> 보행자 최적경로의 설문대상 구성  
<Table 1> Composition of respondents survey for optimal path for pedestrian

구분	소계	성별		연령				
		남	여	20대이하	20대	30대	40대	40대이상
합계	200	92	108	10	84	54	34	18

<표 2> 설문조사와 가중치 판정식을 통한 요소들의 순위 점수와 상대적 가중치  
<Table 2> Ranking grade and weight of factors through survey and weight formula

	순위점수	가중치
피로도	256	0.62
쾌적함	194	0.47
선호도	268	0.65
소요시간	351	0.84
이동거리	411	1.00

수직이동비용함수는 정성적 요소인 Human Factors와 정량적 요소인 소요시간, 거리에 대한 상대적 비교를 가능하게 하기 위하여, 모든 항목들의 비용을 거리비용이라는 비용척도로 환산하여 나타내기 위해 작성되었다. 거리비용으로 통일하는 상대적 가중치 결정에는, 설문조사를 바탕으로 한 순위의 합을 상대적으로 비교하는 순위합 방법이 사용되었다. 순위합 방법을 통한 가중치 부여는 식 (1)과 같이 총 이동비용에서 고려되는 5개 항목 중 거리의 중요도를 1로 가정하고, 거리에 대한 상대적 중요도를 각 요소별로 구성하여 가중치를 부여하였다. [5]

$$W = \frac{\sum \frac{I_h}{I_{tot}}}{\sum \frac{I_d}{I_{tot}}} = \frac{\sum I_h}{\sum I_d} \quad (1)$$

(W: 가중치,  $I_h$ : 비교 요소의 중요도,  
 $I_d$ : 거리의 중요도,  $I_{tot}$ : 전체의 중요도)

<표 2>는 설문조사를 통해 순위합 방식으로 분석된 각 항목들의 순위점수와 식 (1)을 통한 가중치를 나타내었다.

그리고 설문조사의 내용을 종합하여 사람들이 이동수단별로 느끼는 주관적 요소와 소요시간의 비용척도를 <표 3>와 같이 나타내었다.

비용의 산출방법은 Human Factor의 경우 비용척도의 범위를 0-10으로 조사하여 그 평균을 구하였다. 소요시간의 경우는 실제 속도의 역수 값으로 나

<표 3> 이동수단별 Human Factor의 비용척도  
<Table 3> Cost standard of human factors at moving devices

	엘리베이터	에스컬레이터	계단(비상구)
피로도	1.87	2.44	7.78
쾌적함	4.92	3.33	5.96
선호도(1층)	5.69	2.77	4.47
선호도(2-3층)	3.82	2.86	7.41
선호도(4-5층)	2.57	3.13	7.44
선호도(6-9층)	1.54	5.53	9.70
선호도(10층 이상)	1.09	7.90	9.90
소요시간	3.00	9.00	10.00

타내며 가장 느린 이동수단인 계단을 10으로 가정하여 상대적인 소요시간 비용을 구하였다. 모든 값은 항목에 상관없이 비용의 개념으로 환산하여, 그 값이 작을수록 사람들이 긍정적으로 느끼는 것으로 나타내었다. 대상 건물이 환승센터와 상가의 기능을 포함한 고층이므로, 이동수단별 선호도의 경우 층별로 세분화시켜 대기시간을 고려한 이용자들의 특성을 자세히 반영하였다.

단위가 통일되었으므로 이동수단 별 각 요소들이 가지는 비용과 가중치의 곱의 합으로 층별 수직 거리비용을 산출하는 평가함수를 식 (2)와 같이 작성할 수 있다.

$$C_{tot} = \{(C_e \times W_e) + (C_f \times W_f) + (C_p \times W_p) + (C_t \times W_t)\} \times F = (\sum C_h \times W_h) \times F \quad (2)$$

( $C_{tot}$ : 수직거리 비용,  $C_h$ : 비교요소의 비용,  $W_h$ : 비교요소의 가중치,  $C_e$ : 피로도 비용,  $C_f$ : 쾌적함 비용,  $C_p$ : 선호도 비용,  $C_t$ : 시간 비용,  $W_e$ : 피로도 가중치,  $W_f$ : 쾌적함 가중치,  $W_p$ : 선호도 가중치,  $W_t$ : 시간 가중치, F: 층 수)

### 3) 보행자 최적경로 모형의 구축

본 연구의 Dijkstra 알고리즘에서 노드의 구성은

출발노드, 층별 목적지 노드, 이동수단 노드, 교차로 노드로 구분하여 구성하고, 링크의 구성은 각 노드를 잇는 모든 링크를 수평링크와 수직링크로 구성하여 전체적으로 3차원 Network로 구성하였다. 수평링크비용은 거리 값을 사용하고, 수직링크비용은 각 층별 이동수단을 각기 개별 노드로 설정하고 그 사이의 링크비용은 수직이동비용함수를 통하여 환산된 거리비용으로 적용하였다. 즉, Database의 구축에 있어 평면의 2차원적인 네트워크가 아닌 건물 전체라는 3차원 네트워크를 구축하여 이동수단을 통해 수직으로 올라가는 비용 또한 거리의 개념과 마찬가지로 Dijkstra 알고리즘에 적용시켜 구할 수 있게 하였다.

Dijkstra 알고리즘은 도로와 같이 네트워크가 복잡하여 노드 간 거리비용의 차이가 정규화 될 수 없는 곳에 주로 적용된다. 이에 반해, 본 연구에서는 환승센터 내 지하철차장이라는 특성상 보행자의 이동공간이 규격화되어 있는 경우가 많다. 따라서 알고리즘을 통해 나온 결과치(총 거리비용)가 동일한 경로가 다수 존재하기 쉽다. 이 경우 일률적으로 하나의 경로만을 제공한다면 이용자들이 한 곳의 이동수단으로 밀집되는 현상이 발생하여 최적의 경로의 기능을 상실하게 될 위험이 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 알고리즘에서 방문하는 노드까지의 총 소요비용이 동일 한 링크가 여러 개일 경우 링크의 선택을 랜덤화하여 하나의 이동수단에 다수의 사람들이 몰리게 되는 가능성을 제거하였다.

## 2. 대중교통 수단선택 모형

본 연구에서는 환승센터의 기능을 극대화시키고자 환승객들이 목적지를 제시하였을 때, 환승센터에서 목적지까지의 최적의 교통수단을 제시하는 Neuro-Fuzzy모형을 구축하였다. [6] 택시의 경우는 이용자들의 상황이나 경제적 능력에 따라 이용 횟수의 차이가 있으므로, 경쟁이 되는 교통수단으로 지하철과 버스로 한정하였다. 모형구축의 구성요소로써 출발지에서 목적지까지의 소요시간, 요금, 대기

노포동-해운대	소요 시간	요금	대기 시간	환승 시간	도보 시간	선택
지하철(1->3->2)	28	1300	3	10	3	✓
버스->버스	62	1000	5	8	5	

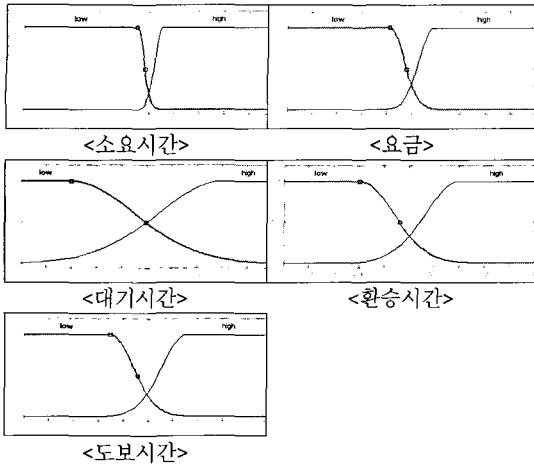
노포동-가상	소요 시간	요금	대기 시간	환승 시간	도보 시간	선택
지하철(1->2)	15	1100	5	5	10	
버스	20	1000	2	0	2	✓

<그림 2> 대중교통 수단선택 모형의 설문조사 예시  
 <Fig. 2> The example of survey for public transportation mode choice

간, 환승시간, 도보시간을 고려하여 그들에 따른 인간 선택의 성향을 모형으로 정립하였다. 이때, 인간의 주관적 선택을 반영하는데 Neuro-Fuzzy모형이 수단선택에서의 전통적인 이산선택모형보다 적합하다고 판단하여 본 연구에서는 Neuro-Fuzzy모형을 적용하였다.

### 1) 설문조사

설문조사는 목적지에 따라 고려항목이 변할 때, 버스와 지하철 중 어떠한 교통수단을 선택할 것인가의 문제에 대한 Neuro-Fuzzy모형의 구축을 위하여 행해졌다. 부산시 노포동 환승센터를 출발지로 하여 지하철/버스가 운용되고 있는 부산시내 25개 대상지와 가상의 25개 대상지에 따른 소요시간, 요금, 대기 시간, 환승시간 그리고 도보시간이 다양하게 주어졌을 때, 개개인 선호 교통수단(지하철 1, 버스 0)을 첨두시와 비첨두시로 나누어 <그림 2>와 같이 조사하였다. 이때, 가상의 25개의 대상지는 현재 운용되고 있는 25개의 대상지와 함께 부산 전 지역에 대상지가 고르게 분포되도록 설정하였다. [7,8] 총 50개의 대상지에 대하여 개인의 선호도를 충분히 반영하기 위하여 152명을 대상으로 조사하였으며, 50개의 지역에 대하여 논리적 일관성이 없는 52부는 제외되고 100부를 채택하여 모형구축의 기본 자료로 사용하였다.



<그림 3> 고려항목들의 Membership 함수  
<Fig. 3> Membership function of factors

2) 대중교통 수단선택 모형의 구축

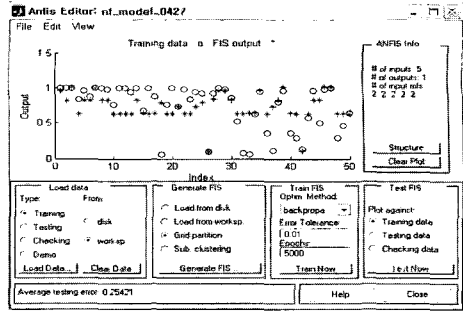
Neuro-Fuzzy모형의 구축은 Matlab 6.5의 ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) tool을 사용하였다. [9,10] 모형 내에서의 입력 자료는 고려 항목 별 지하철 비용과 버스 비용의 차로 사용하여 그에 따른 Membership 함수를 <그림 3>과 같이 설정하고, 고려항목이 변할 수 있는 32개의 경우에 대하여 If-then Rule을 구성하였다. 또한 ANFIS 모형의 입력표준에 따라, 설문에서 제시된 50개 구간에 대하여 각각 고려요소들의 값을 식(3)과 같은 정규화를 통하여 0과 1 사이의 값으로 변환하였다. 이상의 과정에 Target 값들을 달리하여 3가지 상이한 모형을 구축하여 첨두시와 비첨두시에 따른 각각의 성능을 테스트하였다.

$$t = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3)$$

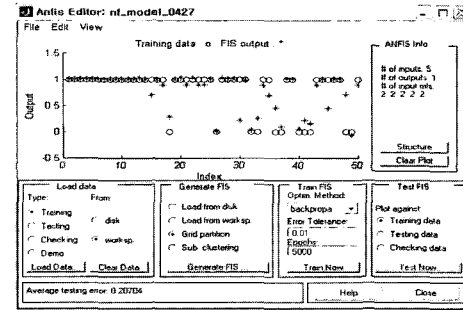
(t: 정규화 값, x: 데이터 값,  $x_{max}$ : 전체 데이터의 최대값,  $x_{min}$ : 전체 데이터의 최소값)

(1) 첨두시 모형

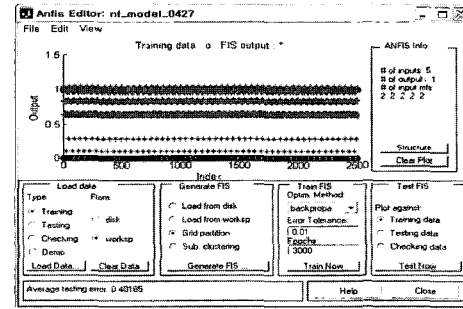
모형 1은 50명의 설문조사 결과를 바탕으로 선택된 교통수단(지하철 1, 버스 0)의 평균값 50개를 Target 값으로 설정하였다. 모형 2는 모형 1의 평균



<모형 1>



<모형 2>



<모형 3>

<그림 4> 첨두시 대중교통 수단선택 모형들의 테스트결과

<Fig. 4> The testing result of models for public transportation mode choice at peak-time

값을 0과 1에 근사한 값으로 분류하여 Target 값을 0, 1의 이항으로 구분한 50개 값으로 설정하였다. 마지막으로 모형 3은 50개의 대상지에 대한 50명 모두의 설문 결과 2,500개의 값을 Target 값으로 입력하였다. 모형의 성능은 입력 Target 값과 시뮬레이션 이후의 결과치의 평균 정확도를 나타내는 ANFIS Testing Error 값과 모형 결과를 바탕으로 임계값을 0.5로 하였을 때 실제 설문결과 값과 정확도로 평가하였다. <그림 4>와 같이 첨두시 데이터로 테스트

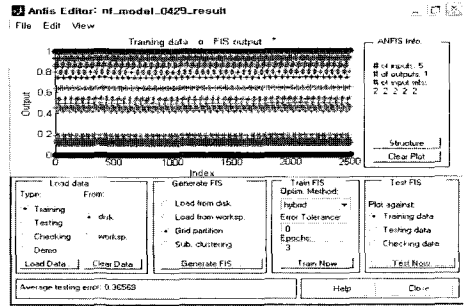
<표 4> 첨두시 대중교통 수단선택 모형들의 성능 평가  
 <Table 4> The evaluation of efficiency of models for public transportation mode choice at peak-time

	ANFIS Testing Error	임계값을 0.5로 했을 때 설문조사 결과와의 정확도
모형 1	0.25421	82 %
모형 2	<b>0.20704</b>	<b>94 %</b>
모형 3	0.40185	80 %

결과, Target 값으로 설문의 전체결과 평균의 0, 1의 근사치로 설정한 모형 2의 성능이 가장 우수한 것으로 판명되었다 <표 4>. 따라서 첨두시에는 모형 2를 최적의 대중교통 수단선택 모형으로 채택하여 임계값(0.5)에 따라 그 이상인 경우는 지하철을, 이하인 경우는 버스를 선택하게 하였다.

(2) 비첨두시 모형

비첨두시 모형에서도 첨두시 모형과 동일한 절차를 반복하여 결과를 도출하였다. <그림 5>와 같이 테스트 결과, 비첨두시에는 설문의 전체결과 평균값



<모형 3>

<그림 5> 비첨두시 대중교통 수단선택 모형들의 테스트결과

<Fig. 5> The testing result of models for public transportation mode choice at non peak-time

<표 5> 비첨두시 대중교통 수단선택 모형들의 성능 평가

<Table 5> The evaluation of efficiency of models for public transportation mode choice at non peak-time

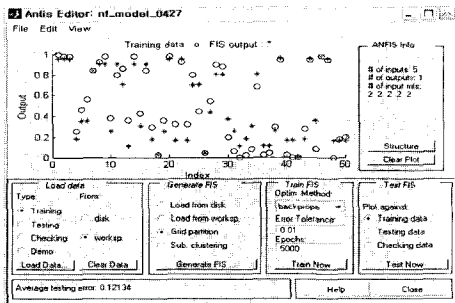
	ANFIS Testing Error	임계값을 0.5로 했을 때 설문조사 결과와의 정확도
모형 1	<b>0.12134</b>	<b>96 %</b>
모형 2	0.24372	94 %
모형 3	0.36569	88 %

을 Target 값으로 설정한 모형 1의 성능이 가장 우수한 것으로 판명되었다 <표 5>. 따라서 비첨두시에는 모형 1을 대중교통 수단선택 모형으로 제시하였다.

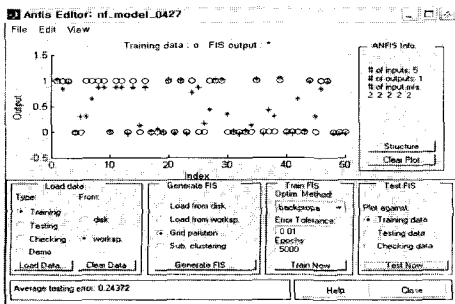
IV. 보행자 최적경로 모형의 적용

1. 가상 복합환승센터의 설계

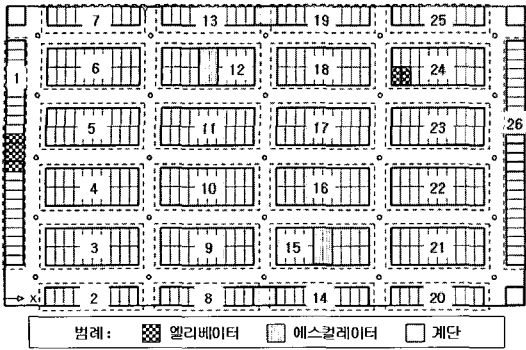
기존의 환승센터는 환승의 기능과 상가의 기능을 만족시키지 못한다고 판단하여 연구의 목적에 부합하는 가상의 복합환승센터를 설계하였다. 가상 복합환승센터는 지하 2층에 주차장, 지하 1층에 지하철의 승강장, 지상 1, 2층의 버스 정류장, 그리고 지상



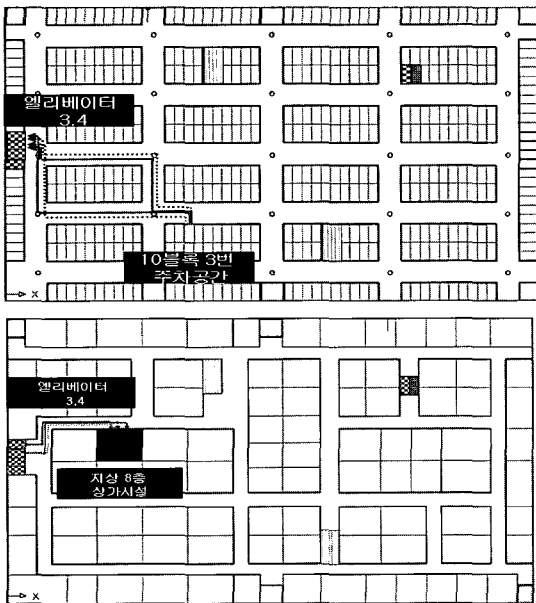
<모형 1>



<모형 2>



<그림 6> 지하주차장과 임의의 환승센터 한 층 도면  
 <Fig. 6> Drawing of basement parking lot and a layer in the transfer station



<그림 7> 랜덤함수를 통한 최적경로와 이동수단의 임의 선택  
 <Fig. 7> Selection of optimal path and moving devices based on random function

```

Workspace
Stack:
Name
hwaemyung
nf_model_0429_result
nf_model_0429_result_pe
nf_model_non_peak_50
survey0427

Command Window
>> evalfis(hwaemyung,nf_model_non_peak_50)
Warning: Implication method should be "pr
> In C:\MATLAB65\toolbox\#fuzzy#\fuzzy#eva

ans =

    0.0586

>>
    
```

<그림 8> 대중교통 수단선택 모형을 통한 화명동 까지 수단선택 결과

<Fig. 8> The result of mode choice to Hwameong dong through algorithm for public transportation mode choice

3층부터 10까지는 상가시설로 이루어진 건물로 구성하였다. 지하 주차장의 경우 <그림 6>과 같이 26개의 주차 블록으로 구성된 1개 층을 고려 대상으로 하였다. 주차 블록은 건설교통부의 주차장 법령 제 3조 1항에 따라 주차 공간의 너비는 2.5m, 길이는 5m로 정하고 주차장 도로의 너비는 6m로 하였다. [11] 이동수단은 각 층마다 동일한 위치에 엘리베이터 6기, 에스컬레이터 2기와 비상구 4개를 설계하였다.

## 2. 검증 및 시나리오

### 1) 보행자 최적경로 알고리즘의 Random함수 검증

본 연구에서 작성한 최적경로 모형의 결과, 최종 비용이 동일한 경로가 다수일 경우 임의로 하나의 최적경로를 선택하게 하였다. 예를 들어, 승용차를 소유한 환승객이 지하주차장의 10블록 3번 주차공간에 주차 후 복합환승센터 내 8층에 위치한 상가시설을 이용할 경우를 보행자 최적경로 알고리즘을 통하여 Matlab 6.5 상에서 10회 시행했을 때, 이동수단은 엘리베이터 3,4로 제시되었다. 그리고 최적경로는 <그림 7>과 같이 엘리베이터 3,4를 이용하는 4가지 최적경로 중 하나를 임의로 제시되는 것을 확인하였다.

### 2) 대중교통 수단선택 모형과 연계한 보행자 최적경로 알고리즘의 수직이동 경로차이 시나리오

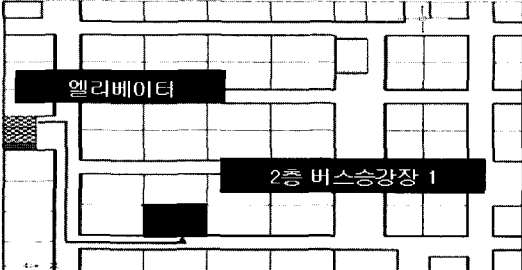
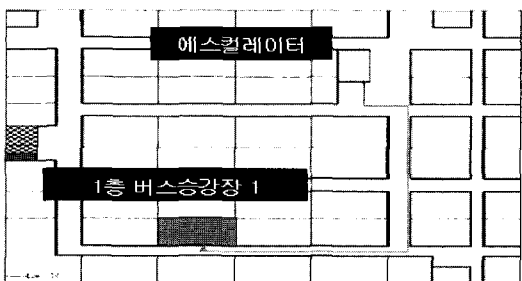
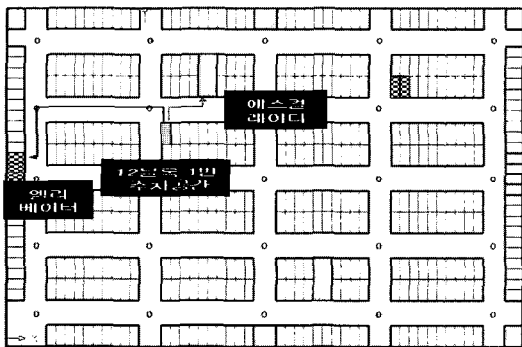
복합환승센터 내에서 승용차를 소유한 환승객이



<표 6> 환승센터 내 수직이동 경로 차이에 따른 이동수단별 거리비용 비교

<Table 6> Cost of distance based on various vertical route in transfer station

	출발지	목적지	거리 비용
엘리베이터	12블록 1번 주차 공간	지상 1층 버스승강장 1	92.7
에스컬레이터			<b>79.0</b>
비상구			127.7
엘리베이터		지상 2층 버스승강장 1	<b>74.7</b>
에스컬레이터			131.0
비상구			177.4



<그림 9> 수직이동 경로차이에 따른 최적경로의 비교  
<Fig. 9> Optimal path through the Model according to vertical route

```
Workspace
Stack:
>> evalfis(seomyeon,nf_model_peak_percent)
Warning: Implication method should be "pro
> In C:\MATLAB65\toolbox\ffuzzy\ffuzzy\eval
Name
nf_model_peak_percent
seomyeon
survey0427
survey0427peak
ans =
0.9638
```

<그림 10> 대중교통 수단선택 모형을 통한 서면까지 수단선택 결과

<Fig. 10> The result of mode choice to Seomyeon through algorithm for public transportation mode choice

각 이동수단과 유사한 거리에 있는 장소에 주차 할 경우, 층수(수직이동 경로)에 따라 최적경로 및 이동수단이 달라질 수 있다. 본 연구에서는 세 가지 이동수단과 유사한 거리에 있는 출발점(12블록 1번 주차공간)에서 서로 다른 층으로 이동시 나타나는 최적경로와 그 이용수단을 확인하였다. 예를 들어, 비점두시 노포동 환승센터에서 화명동까지의 이동할 경우, 대중교통 수단선택 모형을 통한 최적의 대중교통 수단은 <그림 8>의 결과처럼 0.0586으로 임계값 0.5보다 작으므로 버스로 나타났다. 따라서 환승센터 내에서 이용자의 목적지는 버스 승강장이 된다.

여기서 해당 버스 승강장이 지상 1, 2층에 수평으로 유사한 위치에 존재한다면 층수에 따라 이동수단과 최적경로가 어떻게 변하는지 살펴보았다. 수행결과 <표 6>과 <그림 9>처럼 층 별로 각각 다른 이동수단을 통해 이동하는 것이 최적경로임으로 나타났다.

특히, 기존 지하주차장의 경우를 고려한다면 2층으로 이동시, 주차공간(12블록 1번 주차공간)에서 가까운 에스컬레이터로 이동하겠지만 본 모형을 통해서 엘리베이터를 이용하게 안내한다. 위 두 가지 경우의 비용을 비교하면, 엘리베이터는 74.7, 에스컬레이터는 131.0으로 나타나 본 모형에서 제시하는 엘리베이터를 통해 이동하는 경우가 기존의 에스컬레이터를 통해 이동하는 경우보다 약 75% 가량 더 효율적인 것으로 나타났다.

<표 7> 환승센터 내 수직이동 경로 차이에 따른 이동수단별 거리비용 비교

<Table 7> Cost of distance based on various vertical route in transfer station

	출발지	목적지	소요 비용
엘리베이터	16블록 15번 주차 공간	지하 1층 지하철승강장 1	183.7
에스컬레이터 1			200.4
에스컬레이터 2			<b>120.1</b>
비상구			185.9
엘리베이터		지하 1층 지하철승강장 2	<b>116.2</b>
에스컬레이터 1			168.4
에스컬레이터 2			187.6
비상구			241.4
엘리베이터		지하 1층 지하철승강장 3	171.5
에스컬레이터 1			<b>137.6</b>
에스컬레이터 2			171.4
비상구			194.2

3) 대중교통 수단선택 모형과 연계한 보행자 최적경로 알고리즘의 수평이동 경로차이 시나리오

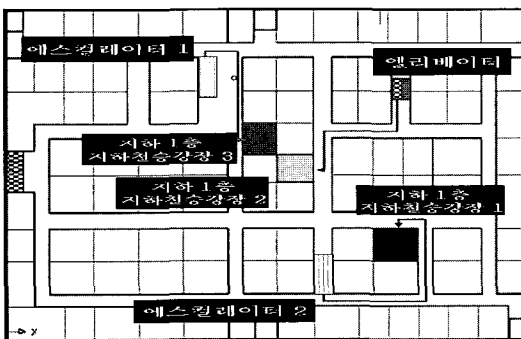
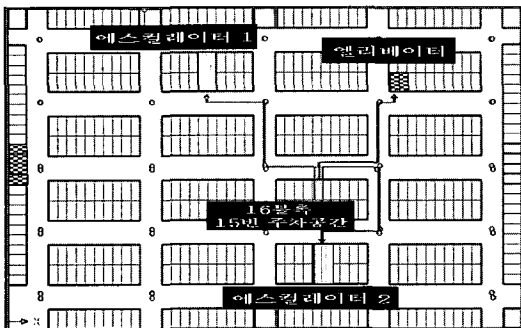
각 이동수단과 유사한 거리에 있는 장소에 주차할 경우 목적지가 동일 층이라 할지라도 목적지에 따라 최적경로 및 이동수단이 달라질 수 있다. 예를 들어, 침두시에 환승객이 노포동 환승센터에서 도심인 서면으로 이동할 경우, 대중교통 수단선택 모형을 통한 결과는 <그림 10>과 같이 0.9638로 임계값 0.5보다 크므로 최적대중교통 수단이 지하철로 나타났다.

위 결과를 환승센터 내 최적보행자 경로산정 알고리즘에 적용 결과, <표 7>과 <그림 11> 같이 목적지가 된 지하철 승강장의 수평위치에 따라 최적경로와 이동수단이 다르게 제시되었다.

이는 각각의 목적지에 따라서 본 연구에서 제시된 모형을 통해 이동할 때, 지하철승강장 1의 경우는 에스컬레이터 2를 이용하는 경우가 그렇지 않은 경우보다 52.9~66.8%, 지하철 승강장 2의 경우는 엘리베이터를 이용하는 경우가 그렇지 않은 경우보다 44.9~107.7%, 지하철 승강장 3의 경우는 에스컬레이터 1을 이용하는 경우가 그렇지 않은 경우보다 24.5 ~41.1% 더 효율적인 것으로 나타났다. 특히 에스컬레이터의 경우, 입구와 출구가 상이하다는 특징이 결과에 영향을 미침을 확인하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 복합환승센터 내 승용차를 소유한 개인을 대상으로 지하주차장에서 해당 목적지까지 거리, 시간과 같은 객관적인 지표 외에 이동수단 이용 시 느끼는 피로도, 쾌적함, 선호도와 같은 주관적 지표를 반영하는 보행자 최적경로 탐색모형의 개발을 시도하였다. 수평이동비용은 Dijkstra 알고리즘을 이용함으로써 그 신뢰도를 높였고, 이동수단을 이용한 수직거리비용은 설문조사를 기반으로 한 수직이동 평가합수를 통해 객관화시켰다. 또한 환승객에 대하여, 그들의 목적지만으로 최적의 대중교통수단을 제시하는 대중교통 수단선택 모형을 Neuro-



<그림 11> 수평이동 경로차이에 따른 최적경로의 비교

<Fig. 11> Optimal path through the model according to horizontal route

Fuzzy이론을 통하여 구축하여 그들에게는 환승센터 내 교통수단의 승강장까지의 보행자 최적경로를 제시하고자 하였다. 최적경로의 산정에 있어 동일비용의 최적경로는 임의로 하나를 제시함으로써 개발모형의 가치를 높였다. 마지막으로 다양한 시나리오를 통하여 기존에 출발층(지하주차장)에서 가까운 이동수단을 이용하는 기존의 안내 시스템보다 보행자 최적경로 탐색모형을 통해 목적지까지 고려한 경로를 통해 이동하는 것이 더 효율적이라는 것도 증명하였다.

하지만 본 연구에서 개발된 모형은 엘리베이터의 경우 그 위치가 항상 가변적이고 수용인원에 제한이 따르기 때문에 오차의 발생시키는 요인이 될 수 있다. 이에 환승센터의 중앙통제센터에서 엘리베이터의 위치정보를 실시간으로 제공하여, 사용자가 모형을 통해 검색을 시작하는 순간의 엘리베이터 위치를 고려한 모형의 필요성이 제기된다. 그리고 대중교통 수단선택 모형의 경우에도 교통상황에 따른 실시간 데이터가 정확히 확보되어야 모형의 기능이 향상될 것이다. 또한 본 연구에서 제시되는 최적의 대중교통수단은 설문응답자의 선호를 반영하여 일반화하였으므로, 특정 개인의 선호교통수단 제공에 적합하지 않을 수 있다는 한계가 있다.

보행자 최적경로 모형은 복합환승센터를 이용하는 사용자의 개인용 PDA, 핸드폰, DMB 수신기나 차량 단말기 등을 통하여 상용화될 것으로 예상된다. 또한 개발 모형은 복합환승센터 내 목적지 안내 시스템 이외의 다수의 분야에 활용 가능할 것으로 전망된다. 대표적인 예로써 건물 내 화재와 같은 비상

상황 발생 시의 대피경로의 제시나 대규모 멀티플레스에서 이용자에게 주차장에서 목적지까지의 보행자 최적경로의 제시 등 여러 방면으로 활용될 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- [1] 도용태, 김일곤, 김종완, 박창현, *인공지능 개념 및 응용*, 사이텍미디어, 2001.
- [2] M. Caudill and C. Butler, *Understanding Neural Network: Computer Explorations*, 1993.
- [3] 건설교통부, “동적 최적경로 탐색 솔루션,” 2003.
- [4] 최중욱, *ITS와 첨단정보기술*, 참말, 1997.
- [5] 김태일, “수리적 기법에 의한 평가모델체계의 가중치 부여방식에 관한 논의,” *한국 행정학보*, 제3권, 제4호, pp.243~258, 2000. 2.
- [6] 이상훈, “퍼지 평가방법을 이용한 교통노선 결정,” *대한교통학회지*, 제 20권, 제1호, pp. 65~76, 2002.
- [7] <http://traffic.busan.go.kr>
- [8] <http://www.websubway.co.kr>
- [9] 이협엽, 문경일, *MATLAB을 이용한 퍼지-뉴로*, 아진, 1999.
- [10] 조한근, *Matlab Programming*, 한티미디어, 2003.
- [11] 건설교통부, “주차장 법령,” 2005.

저자소개



윤 상 원 (Yoon, Sangwon)

2007년 부경대학교 학사과정 졸업(위성정보과학전공)

2007년 미국 University of California at Berkeley 교통공학과 대학원 입학예정



배 상 훈 (Bae, Sanghoon)

1995년 미국 Virginia Tech. 박사 졸업

2002년 한국교통연구원 ITS 팀장

현 재 부경대학교 부교수(위성정보과학과)