

## 다속성 효용이론을 적용한 운전자 특성별 경로 선택 연구

### Selection of Routes for Reflecting Driver's Characteristics by Adopting Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)

오 지 은\*

(Ji-Eun Oh)

배 상 훈\*\*

(Sang-Hoon Bae)

#### 요 약

산업의 다각화로 지역간은 물론이고 도시내 자동차 통행량이 증가하고 있다. 고령자 및 여성 운전자의 수도 해마다 증가하는 추세에 있다. 이에 본 연구의 목적은 다양한 운전자 계층을 대상으로 경로별 속성에 대한 선호도를 조사하여 운전자 계층별 특성이 반영된 경로를 제시하고자 한다. 운전자 계층은 크게 성별, 연령별, 운전경력별로 구분하고 이러한 운전자 특성에 맞게 도출된 경로를 최단경로와 비교하였다.

운전자 계층별 특성에 따른 경로별 선호도를 파악하기 위해 다속성 효용이론(MAUT)을 적용하였다. 차로수, 사고건수, 경사도 등 경로속성에 대한 가중치 도출 결과, 구간길이 0.282, 제한속도 0.237, 차로수 0.191, 경사도 0.162, 사고건수 0.129로써 경로 선택 시 구간길이를 가장 선호하는 것으로 파악되었다. 사례지역을 대상으로 운전자 특성에 맞는 최적경로 도출 결과 남성운전자는 여성운전자에 비해 전체 링크의 구간길이는 1.25km 단축되고 차로수가 더 많은 신속한 경로를 선호하였다. 고령운전자는 일반운전자에 비해 사고건수가 적은 안전한 경로를 선호함을 알 수 있었다. 또한, 운전 경력 1년 미만의 운전자는 숙련된 운전자에 비해 차로수가 많고 사고가 많이 발생하지 않는 안전하고 편리한 경로를 선호하였다. 따라서, 현재 최단경로에 국한되어 있는 네비게이션을 통한 경로정보제공에 있어 운전자 계층의 특성을 반영한 정보 제공 다양화의 필요성이 본 연구를 통해 입증되었다.

#### Abstract

Traffic volume increases due to diversification of industry. Also, Automobile ownerships also increase steadily. It is estimated that the registered number of vehicle is expected to be 20 million in the year 2015. These trends may result in increasing the number of woman drivers and elderly drivers. Therefore, this study aims to identify routes that reflect characteristics of each driver's preferences.

A survey was conducted on different routes attributes for variances drivers. Driver types were classified by gender, age, and driving career. Accordingly, a weight for road composition attribute such as number of lanes, number of accidents, slope was estimated by using Swing Weighting technique in Multi-Attribute Utility Theory. In addition, a case study was conducted and identified weights were applied to routes. In result, drivers commonly prefer short route when they considered their routes. Also, male drivers prefer speedy and shorter route than that of female drivers. Elderly drivers prefer safe routes that represent low accidents rate. Moreover driving career under a year drivers prefer safe and easy routes. Therefore, we may conclude that the necessity of diversified route information is essential in the future car navigation system.

**Key words** : Driver's characteristics, MAUT, swing weighting, route selection, car navigation system

† 이 논문은 국토해양부 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

\* 주저자 : 부경대학교 공간정보시스템공학과 석사과정

\*\* 공동저자 및 교신저자 : 부경대학교 공간정보시스템공학과 부교수

† 논문접수일 : 2010년 10월 20일

† 논문심사일 : 2010년 11월 16일

† 게재확정일 : 2010년 11월 17일

# I. 서론

## 1. 연구 배경 및 목적

지능형교통시스템 및 정보·통신·컨텐츠 기술의 발전으로 운전자들은 네비게이션 장비, 스마트폰 등의 운전자 단말기를 활용하여 목적지까지의 경로정보를 제공 받을 수 있게 되었다. 일반적으로 제공되는 경로는 시간 및 거리를 기반으로 한 최단 경로 정보이다.

그러나 통계청의 운전면허소지자 통계비율에 따르면 여성의 운전면허 소지비율은 2000년 32%에서 2008년 38%로 매년 꾸준히 증가하고 있는 추세이다[2]. 또한 여성의 운전면허 소지비율 증가와 더불어 여성운전자의 사고율도 증가하고 있다[1].

또한, 우리나라는 2000년 이후 만65세 이상 고령 인구가 7%를 넘어서 고령화 사회로 진입하였고 통계청의 고령자 추계인구의 비율을 보면 2010년 11%에서 2020년 16%, 2030년에는 24%로 초고령 사회로 진입할 것으로 전망된다[3].

따라서 운전자의 계층이 다양해짐에 따라 기존에 서비스되고 있는 최단경로정보 외에 운전자의 계층별 특성을 반영한 다양한 경로정보의 제공이 필요한 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 운전자 계층별 특성이 반영된 다양한 경로 산정 방법론의 고찰을 목적으로 하였다.

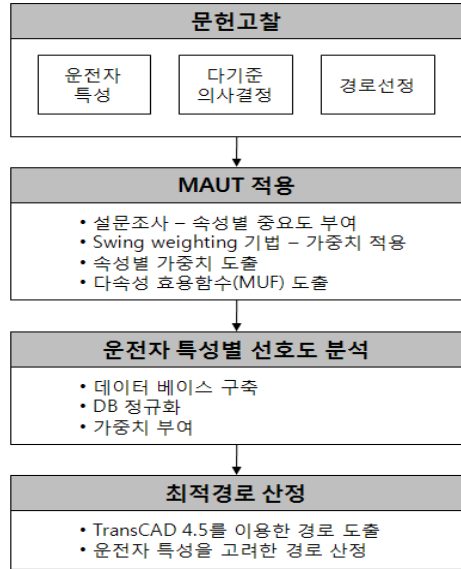
이를 위해 설문조사를 통해 일반 남성운전자와 여성, 고령 운전자의 운행 경로에 대한 선호특성을 파악하고 비교하였다. 설문조사 결과를 바탕으로 다속성 효용이론(MAUT, Multi-Attribute Utility Theory)을 적용하여 운전자 계층별 선호 속성에 대한 효용함수를 도출하고, 운전자 계층별 특성에 따른 선호 경로를 도출하고자 하였다.

## 2. 연구수행과정

본 연구에 앞서 기존의 경로 산정 방법 및 다기준 의사결정 방법론의 적용에 대한 문헌 고찰을 수행하였다. 설문조사 결과분석을 통해 운전자 계층별 특성을 파악하였으며 MAUT기법을 적용하여 속

성별 가중치를 도출하였다. 최종적으로 도출된 효용함수는 TransCAD 4.5의 Shortest Path 알고리즘을 이용하여 사례지역에 대한 경로를 도출하여 비교·분석하였다.

본 연구의 세부 수행 흐름도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구수행흐름도  
(Fig. 1) Flow of study

# II. 문헌고찰

## 1. 경로선택

경로산정연구는 링크 속성을 기초로 한 경로탐색 알고리즘을 기반으로 한다. 주로 덩굴망, 수형망 등의 통행패턴을 이용한 경로산정연구가 수행된 바 있고, 운전자의 특성을 반영한 경로산정은 통행시간, 경로인지비용 등 단일 속성만을 고려한 연구가 진행되었다.

Pang 외 3인(1995)은 경로안내시스템에서 운전자 맞춤형 경로를 제공하기 위해 6가지 속성인 거리, 시간, 혼잡도, 통행료, 도로환경, 경치 등을 고려하였다. 또한, 기·종점 간 5가지 경로를 임의로 설정하여 퍼지 신경망(FNN, Fuzzy Neural Network)을 이용한 경로탐색방법을 제시하였다[4]. 그러나 속성 선

정기준 등에 대한 설명이 부족하여 속성을 선택한 논리적인 이유를 제시하지 못하는 한계가 있었다.

이병주 외 3인(1999)는 통행전 시간대별 정보 제공에 따른 운전자의 경로선택행동을 조사하기 위해 SP조사를 수행하였다. 또한 경로선택행동에 대한 시간대별 모형화를 위해 로짓모형을 이용하였다[5]. 그러나 교통량, 통행거리 등을 배제하고 단일속성인 통행시간만을 고려하여 제한된 결과를 도출하였다.

이상훈 외 2인(2002)은 운전자가 주행시 경로선택 변수가 주행시간, 주행거리, 주행비용 외에 운전자의 심리상태도 고려된다고 판단하였다. 따라서, 인간의 사고과정에 착안하여 퍼지평가 및 계층분석법을 사용하여 경로를 산정하였다. 운전전문가로부터 수렴한 평가요소를 AHP를 이용하여 분석하고 퍼지 척도치와 평가치를 퍼지적분으로 종합평가하여, 추론한 알고리즘 제안을 통해 경로를 선택하였다[6]. 그러나 평가 요소의 제한으로 속성의 다양성이 결여되어 경로의 특성 및 세분화가 부족하였다.

박동주 외 2인(2007)은 주행 중 안내시스템에서 경로 제공 시 일반적으로 제공하는 최단경로외에 다중경로를 고려하는 알고리즘을 개발하였다. 분기 한정법에 의해 우선순위가 가장 낮은 경로를 제거한 후 엔트로피 모델을 기반으로 다중경로를 고려한 최적경로를 탐색하였다[7]. 그러나 링크기반으로 다중경로를 탐색하는 알고리즘이기 때문에 운전자의 직접적인 선호도를 반영하여 다중경로를 탐색하는 알고리즘 개발이 필요한 것으로 사료된다.

Deng 외 1인(2010)은 새 고속도로 입지선정을 위해 퍼지가변구조를 적용한 AHP기법을 이용하여 전문가를 대상으로 인근지역, 늪지(강), 경사지의 중요도를 분석하였다. 평가 요인별 도출된 가중치를 반영하여 사례지역에 대한 4가지의 고속도로 입지를 선정하였다[8]. 퍼지가변구조를 적용함으로써 기존 AHP기법 고유의 주관성을 완화시키는 장점이 있었으나 평가요소는 사례지역의 지형적 특수성에 의해 제한되어있다. 따라서 관련 연구에서는 지형적 특수성을 만족하지 못하기 때문에 속성을 활용하기 어려울 것으로 판단된다.

한두현(2010)은 무인전투차량이 제한된 임무시간 내에 위험도와 통신방해도를 고려하여 주어진 목적지까지 최적의 경로를 탐색하는 다기준 최단경로 탐색 알고리즘을 개발하였다[9]. 제시된 알고리즘은 주변 상황을 반영하여 고려해야 할 요소를 추가할 수 있도록 구현하여 무인전투차량이 능동적인 대처가 가능하도록 하였다. 그러나 알고리즘은 무인전투차량에 제한되어 있기 때문에 일반차량에도 적용이 가능한가에 대한 추가적 연구가 필요한 것으로 사료된다.

문헌고찰 결과 통계, 인공지능 등을 이용한 경로 산정 연구가 수행되고 있다. 구체적으로 통계에 기반을 둔 연구는 운전자의 특성이나 행태를 반영하는 연구로써 주로 AHP나 SP를 이용하고 있으나 경로 산정시 운전자 계층의 여러 가지 구체적 속성을 고려한 연구는 미비하였다. 또한 다속성을 고려한 연구에서도 각 속성에 대한 운전자의 의견이나 특성의 반영이 미흡하였다. 따라서, 이러한 한계점을 극복하기 위해 본 연구에서는 경로산정에 다양한 의사결정 기법의 적용이 가능함을 입증하고자 하였다.

## 2. 다속성 의사결정 방법론

다수의 속성을 고려하는 복잡한 의사결정 문제에서 최선의 대안을 선정하는 방법을 다기준 의사결정(MCDM, Multi-Criteria Decision Making)이라고 한다. 다기준 의사결정은 여러개의 속성을 고려하므로 한가지 속성을 고려한 의사결정 문제에 비해 최선의 대안을 선택하는데 구체적이고 체계적인 접근 방법이 필요하다.

다기준 의사결정에는 다목적 의사결정법과 다속성 의사결정법이 있다. 본 연구는 운전자 특성별 선호하는 도로 속성에 따른 경로를 도출 하는 것이 목적이므로 다속성 의사결정법(MADM, Multiple Attribute Decision Making)을 이용하였다. 다속성 의사결정에는 다양한 기법이 있는데 이 중 의사결정 분야에 활발히 적용되고 있는 AHP와 MAUT의 각 특징을 비교해서 본 연구에 적용 가능한 방법을 선정하고자 하였다.

1) 계층화 분석법

계층화 분석법(AHP, Analytic Hierarchy Process)은 의사결정시 평가기준이 다수이며 복합적인 경우 이 다수의 속성을 계층(level)별로 구분한다. 각 단계별 속성들의 쌍대비교(Pairwise Comparison)를 통해 가중치를 비율척도(ratio scale)로 도출하는 방법으로 최종적인 의사결정에 이르게 된다[10].

AHP의 수행과정은 <표 1>과 같이 이루어진다.

<표 1> 계층화 분석법(AHP)의 수행과정  
<Table 1> Flow chart of AHP

단 계	설 명
문제설정 및 계층적구조화	· 의사결정을 해야 할 문제를 제시하고 구성요소를 계층화 시킴 · 계층구조는 목적-판단기준-대안으로 구성
쌍대비교	· 각 계층별 두가지 속성의 9점 척도를 이용한 이원비교
가중치 계산	· 전문가 집단이 응답한 쌍대비교 값을 분석하여 속성별 가중치를 도출
일관성 검증	· 응답의 신뢰성 검증을 위해 일관성 분석을 실시 · 일관성 비율(CR) < 0.1 이면 신뢰성이 있다고 봄
최선의 대안 결정	· 각 기준별 대안의 상대적 가중치 합으로 평가점수 비교하여 대안결정

2) 다속성 효용이론

다속성 효용이론(MAUT, Multi-Attribute Utility Theory)은 Neumann의 1인(1947)에 의해 제시된 효용이론에 기초를 두고 있다[11]. 개인은 의사 결정에 영향을 미치는 속성에 대해 개별적 판단에 의한 선호를 가지고 있으며 각 속성별 선호의 정도는 다르다. 이 선호도는 측정이 가능하며 각 선호하는 속성에 대해 개인이 부여하는 가치를 효용이라고 한다. 의사결정문제에서 효용에 대한 체계적인 평가가 필요한데 이러한 문제를 해결하는 방법이 MAUT이다.

MAUT를 이용한 효용함수의 도출과정은 크게 4 단계로 구성되는데 각 단계에 대한 세부 절차는 <표 2>와 같다.

<표 2> 효용함수 도출과정  
<Table 2> Flow chart of MAUT

단 계	설 명
속성설정	· 문헌 및 예비조사를 통해 목적에 맞는 속성을 설정하고 범위를 선정
개별효용함수 도출	· 개별속성에 대한 효용함수 도출
가중치 계산	· 각 속성의 상대적 중요도를 계산방법에 따라 평가하고 가중치를 도출
효용함수 산정	· 모아진 정보를 이용하여 종합목표에 여러 속성들이 얼마나 기여하는가를 나타내는 다속성 효용함수를 구성

3. 다속성 의사결정 방법론 선정

기존에는 경영, 경제 등의 분야에 MAUT를 적용한 의사결정을 통해 최적의 대안을 선정하는 연구가 수행되었다. 교통부문에 MAUT를 적용한 연구는 각 분야에서 다양한 의사결정방법론의 도입을 위해 MAUT의 적용 가능성을 검토·제시하고자 하였다.

이학성(2000)은 일반국도를 대상으로 국도교통관리시스템(RTMS) 구축 우선순위를 선정하기 위해 그 효율성을 극대화시키기 위한 방법으로 MAUT를 도입하고, 이를 AHP기법과 비교하여 MAUT의 적용성 여부를 검토하였다. 먼저 개별 효용함수를 구하고 이를 이용하여 전체 효용함수식을 도출하여 부분적인 특성과 전체적인 특성을 모두 고려하였다 [12]. 그러나 MAUT의 적용과정에서 각 기법을 이용하는 근거가 충분하지 않고 효용함수 도출하는 과정에 대한 설명도 부족하였다.

하승우(2009)는 경량전철 도입시 적정 시스템을 선정하기 위하여 MAUT를 이용한 연구를 수행하였다. 따라서 각 노선별 산정된 시스템이 현재 건설중인 시스템과 유사하게 분석되었다[13]. 그러나 AHP 기법의 단점을 보완하기 위해 MAUT를 적용하였으나 가중치 도출과정에 AHP를 이용하여 두가지 기법을 복합적으로 사용하였다. 이러한 과정에 대한 설명이 부족하고 MAUT를 제한적으로 반영하여 MAUT의 적용에 한계가 있었다.

AHP와 MAUT의 장·단점 및 분석 결과는 <표 3>과 같다.

〈표 3〉 AHP와 MAUT의 장·단점 비교  
 (Table 3) Comparison of AHP and MAUT

	AHP	MAUT
장점	·문제를 계층화로 체계적인 접근이 가능 ·일관성 분석으로 객관성, 신뢰성 검증	·정성적 평가항목의 정량적 계량화 가능 ·평가대상 구성이 단순한 경우 적용 용이
단점	·속성이 증가할수록 반복적 이원비교 과정을 통한 이원비교 횟수와 시간이 증가 ·새로운 대안 생성시 AHP문제 다시 적용	·평가항목이 많아질 경우 복잡해져 효용 함수 도출이 어려움 ·응답의 일관성 검증이 어려움

AHP는 주로 전문가를 대상으로 이원비교를 통해 가중치를 도출하므로 결과의 전문성은 있으나 일반인을 대상으로 설정하기에는 한계성을 내포하고 있다. 그러나 MAUT는 개인의 효용을 얻고자 하므로 설문 대상에 제약이 없고 문제의 구성이 쉽고 응답하기 용이하다. 본 논문은 평가항목의 계층화가 아닌 독립성을 가지는 각 속성간의 가중치를 도출하고자 한다. 또한 평가항목의 증가로 인해 복잡해지는 단점을 보완하기 위해, 속성을 5가지로 제약하였다. 따라서 본 연구에서는 속성별 특징을 고려하여 MAUT를 적용하였다.

문헌고찰 결과 MAUT를 이용한 연구의 대부분이 적용절차 과정에 대한 설명이 부족하여 이해하는데 어려움이 많고 시스템이나 사업 선정에 있어 각 대안에 대한 우선순위를 정하기 위한 연구가 대부분이었다. 이에 본 연구에서는 대안의 우선순위를 정하는 기존 연구와 달리 MAUT의 적용을 통한 가중치를 도출하여 각각 다른 특성을 가진 다양한 운전자의 선호도를 반영한 경로를 산정하여 기존 연구와 차별화 하고자 한다.

### Ⅲ. 다속성 효용이론의 적용

#### 1. 경로선택속성 설정

운전자가 목적지까지 이동할 때 기존의 일반적인 차량 네비게이션 단말기에서 제공하는 경로는 최단경로(Shortest Path) 정보이다. 하지만 본 연구에서는 운전자 계층별 특성에 따른 최적경로산정을 위해 한국교통연구원 국가교통DB센터에서 제공하는 데이터베이스로부터 속성을 선정하였다[14]. 한정된 연구 영역 내에 해당하는 세부 속성은 링크길이, 사고건수, 제한속도, 경사도, 차로수의 총 5가지이다.

〈표 4〉 설문조사 결과  
 (Table 4) Result of survey

Variables	Variable indication method				average	
	N=121					
연령	20대 이하 30	30대 28	40대 33	50대 이상 30	30.25	
성별	남=0 63		여=1 58		0.48	
운전면허 소지유무	Yes=0 118		No=1 3		0.03	
운전경력	(0~5)=0 43	(6~10)=1 32	(11~15)=2 15	(16~20)=3 17	(21~)=4 11	1.29
운전자단말기 보유	Yes=0 93		No=1 28		0.23	
경로정보 이용	Yes=0 83		No=1 38		0.31	
경로정보 만족도	만족=0 48	보통=1 65		불만족=2 8	0.67	
추가경로 이용여부	이용한다=0 106		이용안한다=1 15		0.12	

이를 통해 운전자 계층별 선호도를 반영한 경로로 남성운전자와 여성운전자를 구분하여 성별특성을 고려한 경로, 20대부터 40대까지의 일반운전자와 50대 이상 고령운전자를 구분하여 연령별특성을 고려한 경로, 운전경력 1년 이하의 초보자와 1년을 초과하는 숙련자를 구분하여 운전경력별 특성을 고려한 경로로 구분하여 최단경로와 비교하였다.

본 연구에서는 특정한 연령층, 특정한 직업군 등의 제한된 속성을 지닌 그룹이 아닌 일반적으로 구분이 가능한 조건에 대해 계층을 나누었다. 즉, 본 연구는 기본적으로 선택이 가능한 성별, 연령, 경력 등을 계층으로 나누어 설문조사 응답자가 계층의 평균을 벗어나지 않고 응답이 가능하도록 계층을 구분하였다.

## 2. 설문조사 분석결과

다양한 운전자의 계층별 특성을 고려한 경로의 도출을 위해 운전자 121명을 대상으로 연령 및 성별을 고려한 설문조사를 실시하였다. 설문조사의 세부 결과는 <표 4>와 같다. 설문 분석 결과 응답자의 76.9%가 운전자 안내 단말기를 차량에 장착하고 있으며 단말기에서 제공하는 경로정보를 이용하는 사람이 68.6%로 과반수이상을 차지하였다. 또한 제공되는 경로 정보에 대해 만족 39.7%, 보통 53.7%, 불만족 6.6%로 분석결과 보통이거나 불만족인 설문 응답자가 60%를 상회한 것으로 나타났다. 또한, 기존의 최단경로 이외에 부가적인 경로의 제공에 찬성하는 응답자가 78% 이상을 차지하며 87.6%가 추가 경로제공시 이용할 것이라고 응답하였다. 따라서 기존 경로제공정보 외에 추가경로제공이 필요한 것으로 판단된다.

## 3. 효용함수 도출

본 연구에서는 다속성 효용이론의 가중치 도출 방법으로 Swing Weighting 기법을 채택·적용하였다. Swing Weighting 기법은 응답자가 평가하기 용이하고[15], 정량적인 수치에 대한 응답보다 우선순위를

평가하는 방법으로 정확도가 높은 장이 있다[16]. 또한, 각 속성에 대해 가장 선호하는 1순위 속성을 100으로 보았을 때 나머지 속성의 순위와 중요도 점수를 응답자의 선호에 맞게 부여하는 방법이다. 따라서 최소한의 설문 문항을 통해 각 속성 및 전체 경로에 대한 운전자의 선호를 파악할 수 있다.

Swing Weighting 기법을 이용한 본 연구의 설문조사 예시는 <표 5>와 같다.

<표 5> Swing Weighting 기법을 이용한 설문조사 예시 (Table 5) Survey example using Swing Weighting

	A. 구간길이	B. 사고건수	C. 제한속도	D. 경사도	E. 차로수
순위선택	1순위	2순위	3순위	4순위	5순위
중요도	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>A</u>	<u>E</u>	<u>D</u>
	100	80	70	50	30

예를 들어 한 응답자의 순위선택이 B>C>A>E>D로 각각의 중요도 점수는 100점, 80점, 70점, 50점, 30점이라고 한다. 이 응답자의 개별 속성에 대한 가중치는 다음과 같이 구한다. 먼저 전체 중요도 점수의 합계인 100+80+70+50+30=330을 구한다.

이에 대해 1순위로 응답한 사고건수(B)의 가중치는  $100/330=0.303$ 이다. 이와 같은 방법으로 나머지 순위에 대한 가중치를 구하면 제한속도(C)는 0.242, 구간길이(A)는 0.212, 차로수(E)는 0.152, 경사도(D)는 0.091이 된다. 가중치 도출 결과, 상기의 해당 운전자는 경로 선택시 각 속성에 대해 사고건수를 가장 중요하게 생각하고 경사도는 거의 고려하지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한 각 가중치의 합은 1이 된다.

<표 5>와 같은 방법으로 시행된 설문조사의 운전자 응답을 분석한 결과 각 속성별 가중치는 <표 6>과 같이 도출되었고 이 값들은 응답자 전체에 대한 산술 평균 값이다.

도출된 각 속성별 가중치와 개별속성 효용함수의 조합을 통해 다속성 효용함수(MUF, Multi-attribute Utility Function)를 구하게 된다. 개별속성에 대한 효용함수를 구한 후, 둘 이상의 속성의 합으로 가법형

〈표 6〉가중치 도출결과  
〈Table 6〉Weight outcome

		사고건수	경사도	구간길이	차로수	제한속도	
성별	남성	0.050	0.137	0.350	0.180	0.283	1.000
		5	4	1	3	2	
	여성	0.207	0.186	0.214	0.202	0.191	1.000
		2	5	1	3	4	
연령별	20대	0.046	0.095	0.472	0.143	0.244	1.000
		5	4	1	3	2	
	50대	0.219	0.193	0.195	0.202	0.191	1.000
		1	3	5	2	4	
경력별	1년 이하	0.210	0.156	0.216	0.229	0.188	1.000
		3	5	2	1	4	
	2년 이상	0.192	0.170	0.237	0.189	0.212	1.000
		3	5	1	4	2	
종합		0.129	0.162	0.282	0.191	0.237	1.000
		5	4	1	3	2	

효용함수 값을 구한다. 가법형 효용함수 값을 구하기 위해서는 각 속성 간에 선호 독립(Preference Independence)과 효용 독립(Utility Independence)이라는 전제조건을 만족해야 한다.

효용함수  $U(x, y)$ 를 구성하는 속성 X, Y 사이에 선호 독립과 효용 독립이 성립할 경우 효용함수는 아래의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$U(x, y) = k_x U_x(x) + k_y U_y(y) + (1 - k_x - k_y) U_y(y) \quad (1)$$

이 식에서  $U_x(x)$ ,  $U_y(y)$ 는 각각 속성 X, Y의 효용함수이고,  $k_x$ ,  $k_y$ 는 가중치이다. 만약  $k_x + k_y = 1$ 이면, 효용함수 식은 속성별 효용함수와 가중치  $k_x$ 로 구성된 식 (2)와 같이 간단해진다.

$$U(x, y) = k_x U_x(x) + (1 - k_x) U_y(y) \quad (2)$$

식 (2)를 바탕으로 m개의 독립적인 속성

$x_1, x_2, \dots, x_m$ 에 대한 효용함수  $U_1(x_1), \dots, U_m(x_m)$ 의 가법형 효용함수는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$U(x_1, \dots, x_m) = k_1 U_1(x_1) + \dots + k_m U_m(x_m) = \sum_{i=1}^m k_i U_i(x_i) \quad (3)$$

$k_i$ 는 각 속성에 대한 가중치이며, 속성별 가중치의 합인  $\sum_{i=1}^m k_i = 1$ 을 만족한다. 식 (3)과 같은 방법으로 본 연구의 속성별 가중치와 개별 효용함수를 조합하여 구성한 성별, 연령별, 운전 경력별 다속성

효용함수(MUF)는 다음과 같다.

$$U(x_{man}) = 0.050 U_1(x^+) + 0.137 U_2(x^+) + 0.350 U_3(x^+) + 0.180 U_4(x^-) + 0.283 U_5(x^-) \quad (4)$$

$$U(x_{woman}) = 0.207 U_1(x^+) + 0.186 U_2(x^+) + 0.214 U_3(x^+) + 0.202 U_4(x^-) + 0.191 U_5(x^-) \quad (5)$$

$$U(x_{young}) = 0.046 U_1(x^+) + 0.095 U_2(x^+) + 0.472 U_3(x^+) + 0.143 U_4(x^-) + 0.244 U_5(x^-) \quad (6)$$

$$U(x_{old}) = 0.219 U_1(x^+) + 0.193 U_2(x^+) + 0.195 U_3(x^+) + 0.202 U_4(x^-) + 0.191 U_5(x^-) \quad (7)$$

$$U(x_{amateur}) = 0.210 U_1(x^+) + 0.156 U_2(x^+) + 0.216 U_3(x^+) + 0.229 U_4(x^-) + 0.188 U_5(x^-) \quad (8)$$

$$U(x_{pro}) = 0.192 U_1(x^+) + 0.170 U_2(x^+) + 0.237 U_3(x^+) + 0.189 U_4(x^-) + 0.212 U_5(x^-) \quad (9)$$

- $U(x)$ : 다속성 효용함수(MUF) (남성, 여성, 고령자, 일반운전자, 초보자, 운전숙련자)
- $U_x(x)$ : 개별효용함수 ( $U_1$ :사고건수,  $U_2$ :경사도,  $U_3$ :구간길이,  $U_4$ :차로수,  $U_5$ :제한속도)
- 성별 :  $x_{man}$ (남성),  $x_{woman}$ (여성)
- 연령별 :  $x_{young}$ (20대),  $x_{old}$ (50대)
- 경력별 :  $x_{amateur}$ (1년이하),  $x_{pro}$ (2년이상)

#### IV. 운전자 계층별 최적경로선정

본 연구에서 도출된 효용함수를 바탕으로 운전자 계층별 선호경로를 도출하고자 사례연구를 수행

하였다. 연구의 공간적 범위는 부산광역시 도심 지역인 서면 교차로를 기점으로, 남구 대연동을 종점으로 선정하였다.

### 1. DB구축

MAUT를 이용하여 도출한 성별, 연령별, 운전 경력별 MUF의 실제 도로 적용을 위해 사례지역의 DB를 구축하였다. DB는 각 링크별로 5가지 속성값을 가지도록 하였다. 링크길이, 제한속도, 차로수는 국가교통DB센터에서 제공하는 DB를 이용하였다. 사고건수는 도로교통공단의 2009년 교차로별 사고건수자료를 사용하였다[17]. 링크에 대한 데이터가 필요하므로 각 교차로에 인접해 있는 링크에 교차로의 사고건수를 입력하였다. 경사도의 경우 국토지리정보원의 1:25,000 수치지도상에 도로를 중첩시켜 링크가 존재하는 지역의 표고값을 등급화하여 입력하였다. 표고값은 20m간격으로 총 10등급으로 분류하였다.

### 2. 데이터 정규화

각 DB별 속성자료값은 평균과 표준편차가 상이하며 측정단위 또한 다르기 때문에 가중치 적용을 통해 연산이 불가능하다. 개별 속성이 효용함수에 미치는 영향, 즉 민감도는 가중치 산정과정에서 반영되었다. 따라서 단위가 다른 각 DB를 효용함수에 적용하여 계산하기 위해서는 속성별로 정규화 과정이 필요하며 본 연구에서는 정규화를 위한 대표적 방법 중 하나인 Z-Score를 적용하였다.

Z-Score의 산정식은 아래와 같다.

$$\bar{d}_i = \frac{d_i - E(d)}{\sigma_d} \tag{10}$$

$$E(d) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \tag{11}$$

$$\sigma_d = \sqrt{\left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i - E(d))^2 \right)} \tag{12}$$

식 (10)은 변수( $d_i$ )와 평균( $E(d)$ ), 표준편차( $\sigma_d$ )를 이용한 정규화 과정이고,  $\bar{d}_i$ 는 정규화된 값을 나타낸

다. 평균과 표준편차의 계산은 식 (11), (12)와 같다.

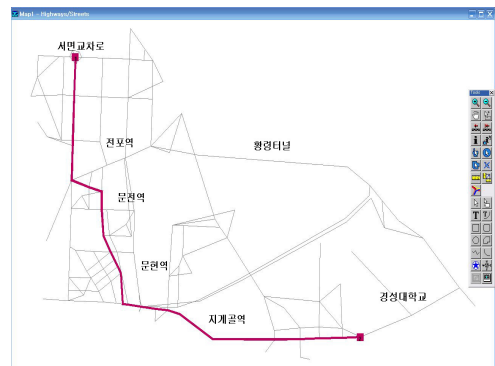
정규화된 Data와 가중치를 이용하여 앞서 도출한 MUF 식에 적용하여 각 링크별 효용값을 구한다. TransCAD 4.5의 경로탐색 알고리즘인 Shortest Path는 DB상의 가장 작은 값을 따라 경로를 도출하는 알고리즘이다. 각 속성별 개별 효용함수에서 사고건수, 경사도, 구간길이는 값이 작을수록 선호되므로 (+)의 값을 가지며 차로수, 제한속도는 값이 높을수록 선호되므로 (-) 값을 가지도록 설정하였다.

### 3. 경로도출

설문조사 분석결과 도출된 가중치와 링크별 정규화 시킨 자료를 MUF식에 대입하여 운전자 특성별 효용함수 값을 계산한다. 각 계층별 MUF는 해당 계층의 선호 속성을 반영한 가중치가 부여되어 있다. 6가지의 MUF식을 링크별 DB에 대입 후 계산하여 계층에 따라 상이한 경로가 도출되도록 하였다. 각 링크별 계산된 효용함수 값은 <표 7>과 같다.

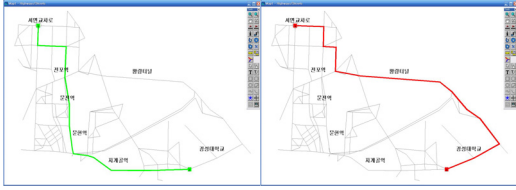
<표 7> 링크별 효용함수(MUF) 값  
<Table 7> MUF value by links

구분	링크	1	2	3	4	...
성별	남성	1.3021	0.3984	0.4135	0.2154	...
	여성	1.5304	0.8235	0.8327	0.6884	...
연령	20대	1.4757	1.2979	1.3192	0.9339	...
	50대	1.5434	0.8109	0.8193	0.6953	...
경력	초보	1.4577	0.7473	0.7566	0.5338	...
	숙련	1.5085	0.7535	0.7637	0.6198	...

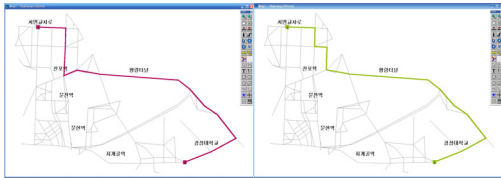


<그림 2> 최단경로  
<Fig. 2> Shortest Path

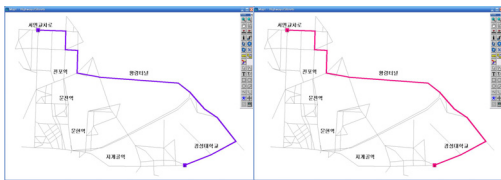




〈그림 3〉 운전자 성별 특성을 고려한 경로  
 〈Fig. 3〉 Route for adopting Driver's gender characteristic



〈그림 4〉 운전자 연령 특성을 고려한 경로  
 〈Fig. 4〉 Route for adopting Driver's age characteristic



〈그림 5〉 운전 경력 특성을 고려한 경로  
 〈Fig. 5〉 Route for adopting Driver's career characteristic

이와 같이 계산된 MUF값은 최적경로산정을 위한 알고리즘에 따라 <그림 2>과 같이 최단 경로를

도출하였다. 또한, 운전자 계층별 특성이 반영되어 도출된 경로는 아래 <그림 3, 4, 5>과 같다.

도출된 경로는 최단경로와 비교하였으며, 각 경로별 속성값은 <표 8>과 같다.

#### 4. 결과분석

운전자 성별 선호경로를 도출한 결과, 남성운전자 선호경로는 구간길이 5.31km로 최단경로 다음으로 짧아 세부 속성 중 구간길이가 짧은 단거리 경로를 가장 선호하며, 사고건수는 148건으로 가장 높은 것으로 나타나 위험도에 대한 고려가 가장 낮은 것으로 분석되었다. 여성운전자의 선호경로는 구간길이가 남성운전자보다 1.25km 더 길고 제한속도가 18.94km/h로 높게 나타났다. 그 결과 여성운전자는 최단경로보다 이동성이 좋은 도로를 상대적으로 선호하는 것으로 판단된다. 또한 선호하는 경로에 사고건수가 남성운전자에 비해 66건 낮은 값을 가지는 것으로 나타나 여성운전자는 사고건수에 중요성을 두고 사고가 적어 안전하게 이동하는 경로를 선호하는 것으로 나타났다.

연령별 선호경로를 도출한 결과, 20대가 선호하는 경로는 차로수가 50대의 그것에 비하여 0.22차로 높게 나타났으므로 차로수에 더 중요성을 두고 있는 것으로 파악되었다. 50대 선호경로는 20대와 비교하여 사고건수가 44건 낮게 나타나 안전성이 높은 경로를 선호하는 것으로 분석되었다.

〈표 8〉 경로별 속성값  
 〈Table 8〉 Attribute value by routes

구 분		링크수 (개)	구간길이 (km)	사고건수 (건)	경사도 (급)	차로수	제한속도 (km/h)
최단경로		14	5.15	38	1.64	1.28	42.85
성 별	남성	17	5.31	148	0.47	3.17	51.76
	여성	14	6.56	82	0.714	2.92	70.7
<b>성별 비교</b>		<b>3</b>	<b>1.25</b>	<b>66</b>	<b>0.224</b>	<b>0.25</b>	<b>18.94</b>
연령별	20대	14	6.79	126	1.714	3.14	73.57
	50대	14	6.57	82	0.714	2.92	73.57
<b>연령별 비교</b>		<b>0</b>	<b>0.22</b>	<b>44</b>	<b>0</b>	<b>0.22</b>	<b>0</b>
경력별	1년 이하	14	6.57	82	0.714	2.92	70.7
	2년 이상	14	6.57	82	0.714	2.92	70.7
<b>경력별 비교</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

운전 경력별 특성에 따른 결과는 경력 1년 이하 운전자와 1년 초과 운전자의 가중치가 상이하게 나타났다. 하지만 경로도출결과 유사한 경로가 나타남을 알 수 있다. 이는 본 연구의 공간적 범위가 넓지 않아 즉, 대체 경로가 많지 않아 이 같은 결과가 도출된 것으로 판단된다. 속성별 가중치를 비교했을 때 운전 경력 1년 이하의 초보자는 차로수(0.229)-구간길이(0.216)-사고건수(0.210)의 가중치로 차로수가 넓은 경로를 선호하며, 경력 1년을 초과하는 숙련된 운전자는 구간길이(0.237)-제한속도(0.212)-사고건수(0.192)의 가중치로 구간길이와 제한속도에 중요성을 두고 신속하게 이동하는 경로를 선호하였다.

### V. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 운전자의 계층별 특성을 고려한 최적경로를 산정하고자 하였다. 이를 위해 다속성 효용이론(MAUT)을 이용하여 속성별 가중치를 도출하고 DB에 적용하여 운전자 특성별 선호도를 반영한 최적경로를 도출하였다.

도출결과, 남성운전자는 최단경로를 선호하며 여성운전자는 안전하고 이동성이 좋은 경로를 선호하는 것으로 나타났다. 또한 50대는 20대에 비해 안전성이 높은 경로를 선호하고, 숙련된 운전자는 운전 경력 1년 미만의 초보자에 비해 신속하게 이동하는 경로를 선호하는 것으로 분석되었다.

이는 향후 운전자 단말기를 통해 경로를 제공하고자 할 때 운전자 계층을 고려한 맞춤형 정보 제공이 이론적 뒷받침이 될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 실제 단말기의 경로 산정시 고령운전자와 여성운전자의 속성을 반영한 경로는 이들의 특성을 고려하는 최적경로이므로 안전 운전을 제고시키는 효과도 얻을 수 있을 것이다. 그러나 향후 연구에서 운전자 특성별 선호도를 반영한 경로가 실제 그 계층의 운전자가 선호하는지에 대한 비교검증 과정이 추가되어야 할 것이다.

또한, 본 연구에서는 공간적 범위가 협소하여 가중치가 상이함에도 불구하고 유사한 경로가 도출되었다. 이러한 결과는 향후 공간적 범위를 확대하여

경로가 다양할 경우 보완할 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서는 정적인 데이터의 속성에 대해서만 고려하였다. 따라서 실시간 통행시간(속도), 교통량 등 동적인 교통정보 속성을 추가한 MAUT의 적용을 통해 운전자의 세부 특성을 고려한 경로산정이 추가적으로 연구되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김상미, “여성운전자 증가에 따른 차량충돌안전장치 개선방향에 관한 연구,” 국민대학교 석사학위논문, pp.42~47, 2008.
- [2] 통계청(<http://kosis.kr>), “연령별(시도) 추계인구,” 2007.
- [3] 지우석, “고령자 운전특성에 관한 연구,” 경기개발연구원, pp.19~20, 2003. 12.
- [4] G. Pang, K. Takahashi, T. Yokota and H. Takenage, “Drivers route selection : a philosophical consideration and user-interface,” *IEEE 0-7803-2587-7*, pp.147~154, Jul. 1995.
- [5] 이병주, 성수련, 김명수, 남궁문, “통행전 시간대별 교통정보 제공에 따른 동적 경로선택행태 분석,” *대한교통학회, 제36회 학술발표회논문집*, pp.483~488, 1999. 10.
- [6] 이상훈, 김덕영, 김성환, “퍼지평가방법을 이용한 교통노선 결정,” *대한교통학회지*, 제20권, 제1호, pp.65~76, 2002. 2.
- [7] D. Park, R. Laurence R and C. Choi, “A class of multicriteria shortest path problems for real-time in-vehicle routing,” *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 34, pp.1096~1109, Sep. 2007.
- [8] D. Huanbin and Z. Zhihui, “GIS-based combination of fuzzy numbers and AHP method for selection of highway route : a case study from Anhui,” *IEEE, 978-1-4244-7737-1*, Jun. 2010.
- [9] 한두현, “무인전투차량의 전역경로계획에 대한 다기준 최단경로 알고리즘에 관한 연구,” 한국과학기술원 석사 학위논문, 2010. 2.
- [10] T. Saaty, “The analytic hierarchy process,”

- McGraw-Hill Inc, New york, 1970.
- [11] J. Neumann and O. Morgenstern, "Theory of games and economic behavior," Princeton University Press, 1947.
- [12] 이학성, "RTMS 구축 우선 순위 선정에 다속성 효용함수 적용 방안 연구," 중앙대학교 석사학위논문, 2001. 2.
- [13] 하승우, "다속성 효용이론을 이용한 경량전철 차량시스템 선정에 관한 연구," 한양대학교 석사학위논문, 2009. 2.
- [14] 국가교통DB센터, "국가교통 표준노드링크," 2006.
- [15] 안재현, 방영석, 한상필, "다속성 효용이론을 활용한 소비자 선호조사," 경영정보학연구, 제18권, 제3호, pp.1~20, 2008. 2.
- [16] 박상용, 이덕기, 이정태, 이상설, "다속성 효용이론을 이용한 신규 수요관리 투자사업 선정평가 모델 개발," 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.231~236, 2008. 6.
- [17] 도로교통공단, "전국 시도 및 도로별 사고 잦은곳 현황," 2009. 12.

### 저자소개



오 지 은 (Oh, Ji-Eun)

2011년 : 부경대학교 대학원 석사과정 공간정보시스템공학과 ITS 연구실



배 상 훈 (Bae, Sang-Hoon)

1995년 : 미국 Virginia Tech 박사

2002년 : 한국교통연구원 ITS 팀장

현 재 : 부경대학교 부교수(공간정보시스템공학과)