

교통이용자 측면을 고려한 교통공학의 패러다임 전환

A New Paradigm for Incorporating Transportation User Perception into Transportation Engineering

이 동 민

(한국교통연구원 도로교통 연구실 책임연구원)

목 차

I. 서론	IV. 새로운 교통이용자의 인지정보 분석방법 제안
II. 기준문헌 검토	1. 퍼지이론을 이용한 교통이용자 인지정보 분석
III. 교통이용자의 인지정보 특성분석	2. 교통이용자 인지정보 분석의 다른 대안
1. 일반인과 교통전문가의 교통서비스에 대한 인지정보 차이분석	V. 결론
2. 계량적 지표와 서술적 언어지수를 통한 평가의 차이분석	참고문헌

I. 서론

교통 이용자는 교통시스템의 세 가지 주요 구성요인인 이용자, 운송수단, 그리고 도로시설 중의 하나로써 교통 서비스와 교통안전 등을 고려할 때 매우 중요한 요소이다. 하지만, 지금까지 교통공학의 연구는 주로 도로시설 및 주행환경에 집중되어 왔고, 교통서비스의 실제적 주체인 교통 이용자의 측면에 대해서는 많은 연구가 진행되지 못해 왔다. 교통시스템 및 서비스는 그 서비스 수혜자인 교통이용자가 실제로 원하고, 필요로 하는 방향으로 설계되고, 운영되어야 한다. 이를 위해서는 교통이용자의 인지정보 (Transportation User Perception)¹⁾에 대한 이해와 평가가 선행되어야 한다. 이러한 교통 이용자의 인지정보를 평가하는데 있어

서, 기존 방법론은 많은 한계를 안고 있다. 이는 인간의 인지 및 판단 과정이 매우 주관적이고, 복잡하며, 평가자 개인의 특성과 상황특성에 따라 그 결과가 달라질 수 있기 때문이다. 또한 자신의 인지정보를 평가하는 데 있어 인간은 이를 수량화하기 보다는 언어적인 평가방법을 이용하는데 보다 더 익숙하기 때문이다. 예를 들면, 운전자들은 어느 도로를 주행하면서 “이 도로의 내 주행 편안함은 90이야”라고 하기보다는 “이 도로는 운전하기가 매우 편안해”라고 표현하기에 익숙하다.

본 연구의 목적은 향후 교통공학연구에 있어서 교통이용자 측면을 고려한 교통공학으로의 패러다임 전환의 필요성과 배경을 강조하는데 있다. 또한 교통이용자 측면을 교통공학에 보다 구체적으로 접목시키기 위한 노력으로 교통이용자의 인지정보를 평가 및 분석하기 위한 새로운 방법론을 제안하는 데 연구목적이 있다. 이를 위해 본 연구에서는 교통이용자 측면을 고려하여 서비스수준을 평가한 연구를 중심으로 기존문헌검토를 수행하였고, 교통이용자 인지정보의 다양성과 주관성을 확인하기 위해 교통전문가와 일반인들을 대상으로 수행된 설

1) 현재 미국에서 사용되고 있는 ‘Transportation User Perception’의 의미는 교통이용자가 제공되는 교통서비스에 대한 만족도 혹은 위험도, 교통정보 등에 대한 이해, 그리고 판단 및 의사결정까지의 모든 과정을 포함한다. 하지만 이를 포괄할 수 있는 국내 용어가 아직 정립되어 있지 못해, 본 연구에서는 ‘교통이용자의 인지정보’로 명명하여 사용하였다.

문결과를 분석하였다. 끝으로 이러한 교통이용자의 인지정보를 평가하기 위한 대안적인 방법들을 제시하고, 이중 퍼지이론을 이용하여 연구된 교통이용자 인지정보관련 선행연구들을 소개함으로써 제안한 방법에 대한 적용 가능성을 모색하였다.

II. 기존연구 검토

교통이용자 측면에 대한 연구의 중요성은 최근 Pietrucha(2001)에 의해 강조되었고, 이후 교통서비스 수준 관련 연구 중심으로 점차 확대되고 있다. 교통서비스수준 분석은 교통시설물 유형에 따라 다양한 효과척도를 사용하고 있다. 미국의 2000 Highway Capacity Manual (HCM)에서는 서비스수준에 대하여 “각 서비스수준은 교통운영의 상태와 운전자의 인지정보의 수준을 표현한다.”라고 설명하고 있다. 하지만 사용되는 효과척도들은 교통이용자가 얼마나 만족하고 있는지 혹은 얼마나 불편함을 겪고 있는지를 충분히 설명하지 못하고 있다. 현재 사용하는 효과척도 중 상당수는 교통이용자의 측면은 배제한 채, 교통운영자, 엔지니어 혹은 교통공학자들을 위해 개발되었다고 할 수도 있을 것이다. 그러므로 이들 효과척도들을 이용하여 분석한 결과들은 실제 교통이용자가 원하고, 느끼는 만족도를 설명하기가 어렵다. 최근 교통이용자의 인지정보에 대한 연구의 필요성이 강조되어오고 있지만, 아직 소수의 연구들만이 진행되어오고 있는 실정이다.

교통이용자 측면을 고려한 교통서비스수준 분석의 제안은 Sutaria와 Haynes(1977)에 의해 최초로 이루어졌다. 그들은 운전자의 인지정보를 고려한 신호교차로의 서비스수준 분석방법을 제안하고, 지체도, 지체에 따른 주행간 정지횟수, 교통혼잡도, 차로 바꾸기의 어려움, 대형차량의 수를 효과척도로 제안하였다. Pietrucha(2001)는 교통이용자 측면에 대한 고려의 필요성을 주장하고, 현재 미국 HCM에서 사용하고 있는 효과척도들은 교통이용자의 인지정보를 고려하기 위해 개선되어야 함을 주장하였다. 또한 교통서비스 수준을 교통이용자 측면에서 평가하기 위한 새로운 효과척도들을

제안하였다. Pecheux 외(2001)는 현재 6단계의 서비스수준 평가방법보다는 3단계정도의 적은 수의 서비스수준 구분이 교통이용자측면을 고려하기에 보다 적당하다고 하였다. Washburn 외(2004)는 실제 주행 중인 차량에서의 실험을 통해, 교통이용자가 지방부 고속도로의 서비스수준을 평가하기 위해 고려하는 요인들을 분석하였다. 실험결과, 지속적인 희망속도로의 주행, 제한속도이상의 주행, 자유로운 차로변경 및 추월, 쾌적한 주행을 위한 도로노면상태, 그리고 적은 빈도의 공사구간 등이 이용자의 측면에서 고속도로의 서비스수준을 평가할 수 있는 요소로 판단되었다. Pecheux 외(2004)는 실제 주행 중인 차량에서의 실험을 통해, 교통이용자가 도시부도로의 서비스수준을 평가하기 위해 고려하는 요소들을 분석하였다. 이들 연구에서는 교통서비스수준에 대한 운전자의 인지정보를 평가하기 위해 정성적인 선호도조사를 이용하였다. Flannery 외(2005)는 도시부 도로의 서비스수준을 평가하기 위해 이용자가 고려하는 요인들을 분석한 결과 교통이용자는 HCM에서 사용

<표 2> 이용자측면을 고려한 서비스수준 효과척도

구분	이용자측면을 고려한 효과척도
고속도로 ¹	- 지속적인 희망속도로의 주행 - 제한속도이상의 주행 - 자유로운 차로변경 및 추월 - 쾌적한 주행을 위한 도로노면상태 - 운전자의 운전습관 - 공사구간의 빈도수
도시부도로 ²	- 혼잡도 - 평균속도 - 좌회전 전용차로의 유무 - 신호현시운영의 효율성 - 신호운영에 따른 지체 - 신호연동 - 도로포장 질
신호교차로 ³	- 신호운영에 따른 지체 - 신호현시운영의 효율성 - 신호등의 시인성 - 교통안내시설의 유용성 - 교차로의 기하구조

1: Washburn 외 (2004), 2. Flannery 외(2005)

3. 이동민 외(2007)

하는 한 가지 효과적도보다 다수의 주행환경요인에 의해 교통서비스 수준을 평가함을 발견하였다. 또한 교통이용자의 인지정보 자료를 수집하기 위해 일반적으로 사용되는 세 가지 방법(설문조사, 비디오를 통한 평가방법(실내조사), 실제주행에서의 평가방법)을 소개하였다. 표 2는 기존연구들에서 제시한 교통이용자들이 교통서비스들을 평가할 때 고려하는 효과적도들을 소개하고 있다.

III. 교통이용자의 인지정보 특성분석

교통이용자의 인지정보(Transportation User Perception) 과정은 인간의 감각기관을 통해 얻어진 정보와 감성을 뇌에서 해석 및 판단하고, 그에 상응하는 행동을 결정하기까지의 절차를 의미한다. 이러한 과정을 통해, 교통이용자는 교통 서비스 수준을 평가하거나, 주행 중 위험 요소를 발견하고 대응하거나, 혹은 다양한 교통정보를 습득해서 해석할 수 있다. 교통이용자는 각자의 인지정보를 계량화된 수보다는 언어적 표현에 의해 보다 쉽고 정확하게 표현한다. 예를 들면, 교통이용자들은 자신이 주행하는 도로의 서비스 질 혹은 만족도를 '내 만족도는 70이다.' 라고 표현하기 보다는 '만족한다.' 혹은 '매우 만족하지 않는다.' 등의 언어적 표현수단으로 평가하는데 익숙하다. 인간의 인지정보과정은 주관적이고, 복잡하여 개인특성, 혹은 인지하는 상황에 따라 다르게 나타날 수 있는데, 이러한 교통이용자의 인지정보의 특성 때문에 인지정보는 기존의 이분법 혹은 간단한 계량 및 통계분석을 이용하여 평가하는데 제한적이다.

본 연구에서는 이러한 교통이용자 인지정보의 다양성과 주관성을 확인하기 위해, 두 가지의 실험을 실시하였다. 첫 번째 실험은 교통서비스에 대한 인지정보가 일반인과 교통전문가 사이에 어떻게 다르게 형성되는지를 분석하기 위해 수행되었고, 두 번째 실험은 현행의 교통서비스수준 평가방법에 의한 결과와, 교통이용자 측면을 고려한 평가방법에 의한 결과를 비교하기 위해 수행되었다. 특히, 두 번째 실험은 교통이용자 인지정보를 계량적 지수를 이용하

여 평가한 결과와 서술적 언어지수를 통해 평가한 결과의 차이를 추가로 분석하였다.

1. 일반인과 교통전문가의 교통서비스에 대한 인지정보 차이 분석

교통이용자 인지정보관련 설문조사 수행 시 다수의 실제 교통이용자 대신에 소수의 교통전문가 그룹만을 대상으로 수행하는 경우가 자주 있다. 이는 설문조사 수행이 보다 용이하고, 교통전문가에게 설문조사 의도를 보다 정확히 전달할 수 있기 때문이다. 하지만, 실제 교통이용자가 느끼는 교통인지정보와, 전문가가 느끼는 교통인지정보는 실제로 다를 수 있다. 일반적으로 만족도관련 많은 연구에서, 서술적 의사결정방법을 이용하여 설문조사를 수행하고 있고, 가장 빈번하게 사용되는 것이 5단계 서술적 의사결정방법이다. 이 방법에서는 '매우 만족', '만족.', '만족하지도, 불만족하지도 않음', '불만족', 그리고 '매우 불만족'의 다섯 단계로 이용자의 만족도를 물어보게 된다. 본 연구에서는 일반인과 교통전문가의 인지정보를 비교하기 위해 개인이 갖고 있는 각 단계별 서술적 의사결정 경계 값의 차이를 간격분석법을 이용하여 조사 및 분석하고, 개인에 따른 판단기준들의 상대적 중요도를 Satty의 쌍대비교법을 이용하여 조사 및 분석하였다. 일반인 집단은 운전경험이 있는 미국 펜실베이니아 주립대학교의 학부학생들을 대상으로 하였고, 교통전문가 집단은 2004 Transportation Research Board 내에 있는 Highway Capacity and Quality of Service (HCQS) 위원회의 2005년 하계회의와 제10회 Transportation Engineering and Safety Conference (TESC)에 참석한 교통학자와 교통엔지니어들을 대상으로 하였다. 표 1은 각 비교그룹의 표본수를 제시하고 있다.

일반인과 교통전문가의 인지정보 차이를 통계적으로 비교분석을 위해 서로 독립적인 두 모집단의 평균의 차에 대한 검정방법을 이용하

<표 1> 비교그룹의 표본수

구분	일반인	교통전문가		
		총 표본수	HCQS	TESC
표본수	64	74	16	58

였다. 각 표본은 각기 다른 장소에서 다른 대상을 사용하여 설문조사를 하였기 때문에, 서로 독립적이며, 표본수가 60을 넘기 때문에 중심극한이론에 의해 각 표본은 정규분포를 이루고 있다고 볼 수 있다. 각 통계적 검정을 수행하기 전에 Levene's 검사를 수행하여, 등분산 가정이 채택되면 아래 식 (1)을 이용한 평균검정을 수행하고, 등분산 가정이 기각되면 식 (2)를 이용한 평균검정을 수행하였다.

$$t^* = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{\frac{v_p}{n_A} + \frac{v_p}{n_B}}} \quad \text{식 (1)}$$

$$df = n_A + n_B - 2$$

여기서,

$$v_p = \frac{(n_A - 1)v_A + (n_B - 1)v_B}{n_A + n_B - 2}$$

t^* = t-통계량 (표본집단의 분산이 동일할 경우)

v_p = 분산 (표본집단의 분산이 동일할 경우)

$$t^{**} = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{\frac{s_A^2}{n_A} + \frac{s_B^2}{n_B}}} \quad \text{식 (2)}$$

$$df = \frac{(s_A^2/n_A + s_B^2/n_B)}{(s_A^2/n_A)^2/n_A + (s_B^2/n_B)^2/n_B}$$

여기서,

t^{**} = t-통계량 (표본집단의 분산이 동일하지 않은 경우)

s_A^2, s_B^2 = 각 표본집단의 분산 (A: 일반인, B: 교통전문가)

앞에서 소개한 다섯 단계의 서술적 언어지수를 이용하는 설문조사에서 발생할 수 있는 일반인과 교통전문가의 의사결정 차이를 확인하기 위해, 구간 값으로 표현된 각 단계별 구간경계의 중간 값과 간격길이를 비교하였다²⁾. 표 2에서

<표 2> 의사결정 기준의 등분산 검정결과

의사결정기준	경계의 중간값		경계의 간격길이	
	F 값	P 값	F 값	P 값
매우 불만족	0.044	0.834	0.044	0.834
불만족	1.143	0.287	0.092	0.762
만족도 불만족도 하지 않음	0.724	0.397	0.023	0.879
만족	0.152	0.698	1.868	0.174
매우 만족	0.000	0.991	0.000	0.991

보는 바와 같이 Levene's 검사결과 모든 경우에 대해 표본집단의 등분산 가정을 채택되었으므로, 식 (1)을 이용한 공동분산을 갖은 표본집단의 평균의 차에 대한 검정을 수행하였다.

두 그룹의 평균차에 대한 검정결과 표 3에서 보는 바와 같이, 두 표본집단의 평균이 동일하다는 가설은 95% 신뢰수준 하에서 경계의 중간 값과 간격길이 모두 채택되었으므로, 일반인과 교통전문가의 서술적 의사결정 경계 값은 통계적으로 차이가 없음을 알 수 있다. 다시 말하면, 일반인과 교통전문가가 5단계의 서술적 의사결정을 할 때 서로 다르지 않은 의사결정 경계기준을 사용한다고 볼 수 있다.

어느 서비스에 대한 만족도를 평가할 때 교통이용자가 갖고 있는 각 평가기준에 대한 중요도는 이용자 마다 다를 수 있다. 이에 대한 차이를 분석하기 위해 Satty의 쌍대비교법을 이용하여 개별 교통이용자가 갖고 있는 서비스 평가 판단기준의 상대적 중요도를 조사하였다. 실험에서는 표 4에서 보는 바와 같이 도로전광표지의 만족도 분석관련 기존연구(이동민 외, 2005)에서 사용된 6개의 판단기준들 (시인성, 가독성, 정보의 이해도, 정보의 정확성, 정보의 유용성, 정보의 적합성)을 사용하였다.

Levene's 검사결과 시인성, 정보의 이해도, 정보의 유용성, 정보의 적합성의 경우에는 등분산 가정을 채택되었으므로, 식 (1)을 이용한 공동분산을 갖은 표본집단의 평균의 차이에 대한 검정을 수행하였고, 가독성과 정보의 정확성의 경우에는 식 (2)을 이용하여 표본집단의 평균의 차이에 대한 검정을 수행하였다.

2) 예를 들면 만약 한 응답자가 “내 만족도가 60에서 80사이이면 나는 ‘만족한다’고 대답한다.” 라

고 응답했다면, ‘만족’의 경계 중간 값은 70이 되고, 경계의 간격길이는 20이 된다.

<표 3> 5단계의 서술적 의사결정 기준에 대한 평균 차의 검정결과

의사결정기준	경계의 중간값				경계의 간격			
	t 통계량	p-값	95% 신뢰구간		t 통계량	p-값	95% 신뢰구간	
			하한	상한			하한	상한
매우 불만족	0.875	0.383	-0.711	1.836	0.875	0.383	-1.422	3.672
불만족	-0.360	0.720	-2.662	1.843	-1.434	0.154	-5.108	0.817
만족도 불만족도 하지 않음	-0.596	0.552	-2.467	1.325	1.229	0.221	-1.291	5.519
만족	-0.101	0.920	-2.080	1.879	-0.913	0.363	-3.768	1.391
매우 만족	-0.499	0.619	-1.536	0.918	0.499	0.619	-1.836	3.073

※ 자유도: 118

통계분석결과 표 5에서 보는 바와 같이, 두 표본집단의 평균이 동일하다는 가설은 95% 신뢰수준 하에서 시인성, 정보의 유용성, 정보의 적합성의 경우에는 채택되었고, 가독성, 정보의 이해도, 정보의 정확성의 경우에는 기각되었다. 그러므로 일반인과 교통전문가가 도로전광표지의 서비스를 평가할 때 각 평가기준에 대한 상대적 중요도는 다르게 적용할 수 있다고 볼 수 있다.

위의 두 결과에서, 일반인과 교통전문가에 의해 평가된 교통서비스의 만족도는 다를 수도 있다는 것을 알 수 있으며, 이 결과를 통해 교통이용자 인지정보관련 실험의 대상선정의 중요함을 알 수 있다. 또한 교통이용자의 인지정

보의 다양성과 주관성이 확인되었다.

2. 계량적 지수와 서술적 언어지수를 통한 평가의 차이분석

앞에서 언급하였듯이, 인간은 자신의 인지정보를 계량화된 지수로 표현하기 보다는 언어지수로 표현하는데 익숙하다. 본 절에서는 일반인을 대상으로 수행한 실험결과를 통해 계량적 지수로 교통이용자 인지정보를 평가하는 것과 서술적 언어지수로 평가하는 것의 차이를 설명하고자 한다. 본 연구에서는 신호교차로의 서비스수준에 관한 교통이용자의 인지정보를 계량적 지수 (0~100)와 3단계의 서술적 언어지수(poor, acceptable, good)로 동시에 평가하여 그 분석결과의 차이를 비교하였다. 실험은 비디오를 이용한 실내조사 방법을 이용하였고, 운전자의 시야에서 바라본 신호교차로 전체의 이미지로써, 차량이 교차로에 접근하는 순간부터, 교차로를 통과한 후까지의 진행상황과 신호등, 교차로 기하구조 등이 녹화된 비디오를 이용하였다. 대상 신호교차로들은 펜실베이니아 주의 Centre County에 위치한 소도시내 교차로들이며, 감응식과 고정식 신호체계가 운영되고 있다. 총 30명의 피실험자들을 지역 및 학

<표 4> 판단기준 중요도의 등분산 검정결과

판단기준	F 값	P 값
시인성	0.015	0.904
가독성	5.473	0.021
정보의 이해도	2.723	0.102
정보의 정확성	4.835	0.030
정보의 유용성	0.934	0.336
정보의 적합성	2.448	0.120

<표 5> 5단계의 서술적 의사결정 기준에 대한 평균 차의 검정결과

판단기준	t 통계량	자유도	p-값	차이의 평균	표준오차	95% 신뢰구간	
						하한	상한
시인성	0.100	114.0	0.920	0.002	0.022	-0.041	0.045
가독성	-2.716	113.3	0.008	-0.054	0.020	-0.093	-0.015
정보의 이해도	-3.005	114.0	0.003	-0.058	0.019	-0.096	-0.020
정보의 정확성	2.147	98.8	0.034	0.053	0.025	0.004	0.102
정보의 유용성	1.900	114.0	0.060	0.040	0.021	-0.002	0.081
정보의 적합성	1.139	114.0	0.257	0.017	0.015	-0.012	0.046

교신문광고를 통해 모집하였으며, 이중 모든 실험 질문에 답한 27명의 결과를 이용하여 최종 분석하였다. 27명의 피실험자의 연령 및 성별분포는 표 6에서 보는 바와 같다.

<표 6> 피실험자의 연령 및 성별분포

구분	25세 이하	26세 ~ 60세	60세 이상	계
남성	1	6	6	13
여성	2	7	5	14
계	3	13	11	27

대상 신호교차로의 서비스수준을 분석한 결과 표 7에서 보는 바와 같이 미국의 HCM 방법에 의해 계산된 서비스수준과 실제 운전자가 느끼는 서비스수준은 많은 경우에 다르게 나타났다. 예를 들면 4번 교차로의 경우 미국 HCM 방법에 의하면 서비스수준 'A'로 평가되었지만, 대부분의 피실험자들은 서비스수준을 보통이하로 평가하고 있다. 9번 교차로의 경우에도 미국 HCM 방법에 의하면 서비스수준 'F'로 평가되었지만, 대부분의 피실험자들은 해당 교차로의 서비스수준을 보통(Acceptable)으로 평가하고 있다.

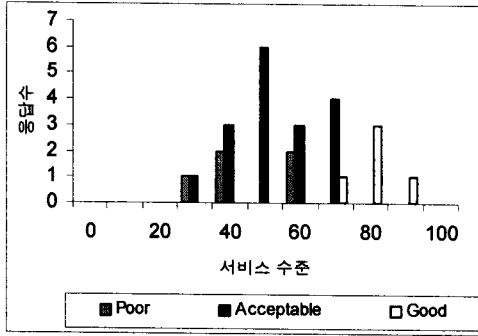
미국 HCM방법과 실제운전자가 느끼는 서비스수준 간의 차이뿐만 아니라, 동일한 서술적 언어지수로 평가한 피실험자들이 갖고 있는

계량적 서비스수준은 각기 다양함을 본 실험 결과를 통해 밝혀졌다. 피실험자가 제시한 각 계량적 서비스수준은 앞 절에서 분석한 서술적 의사결정의 경계 값과 연관이 있는 지표이다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 5번 교차로의 경우에는 27명 중 17명이 해당 서비스수준이 'acceptable'이라고 답했으나, 이들 17명의 응답자의 계량적 서비스 수준은 30에서 70까지 넓게 분포되어있었다. 다시 말하면 어떤 신호 교차로의 서비스에 대해 20%정도의 만족도를 갖은 이용자도 'acceptable'이라고 응답할 수도 있고, 70%정도의 만족도를 갖은 이용자도 같은 서술적 의사결정 값인 'acceptable'이라고 응답할 수 있다는 것이다. 교통이용자들은 자신의 인지정보를 서술적 언어지수로 평가하는데 익숙하지만, 개인에 따라 각 언어지수의 기준 값은 다를 수 있기 때문에 설문조사결과를 응답자수 혹은 평균 등의 단순 통계방법으로 종합하는 것은 적절하지 않다. 결론적으로 개인의 인지결정 기준은 주관적이고 다양함을 본 실험결과를 토대로 확인할 수 있었고, 이러한 독특한 특성을 지닌 교통이용자의 인지정보를 적절히 분석할 수 있는 새로운 방법론 개발의 필요성을 확인할 수 있었다.

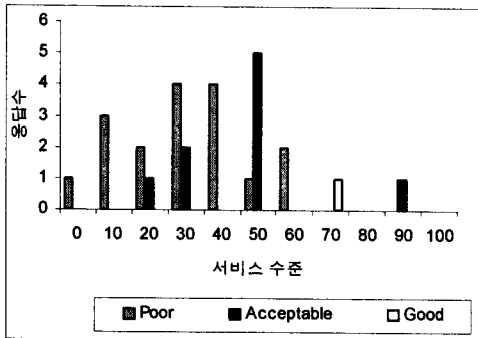
<표 7> 신호교차로의 서비스수준에 관한 교통이용자의 인지정보평가 결과

교차로	신호운영체계/ 접근로유형	US HCM 방법적용결과		계량적 지수에 의한 평가*			서술적 언어지수에 의한 평가결과의 평균
		서비스수준	측정된 평균지체 (초)	P	A	G	
1	고정식/주도로	A	3	17	8	2	40.82
2	고정식/주도로	C	23	2	21	4	56.82
3	고정식/주도로	E	62	0	18	9	65.44
4	고정식/부도로	A	6	9	15	3	47.96
5	고정식/부도로	B	15	5	17	5	55.52
6	고정식/주도로	F	106	17	9	1	35.74
7	감용식/주도로	B	15	4	13	10	61.67
8	감용식/주도로	D	35	8	18	1	47.78
9	감용식/주도로	F	85	3	19	5	59.63
10	감용식/부도로	C	27	8	14	5	52.22
11	감용식/부도로	D	28	0	16	11	66.41
12	감용식/부도로	E	68	7	(1) 신호교차로 5	5	(서비스수준 'B') 50.85

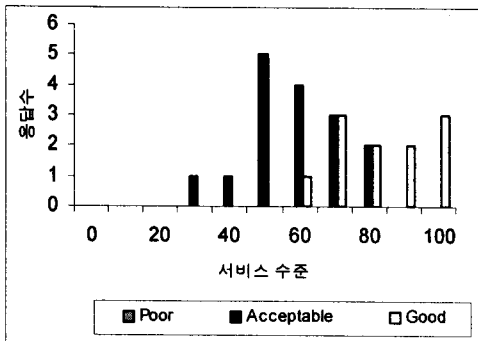
*: P: poor, A: acceptable, G: good



(2) 신호교차로 6 (서비스수준 'F')



(3) 신호교차로 11 (서비스수준 'D')



<그림 1> 서비스수준에 인지정보평가 비교

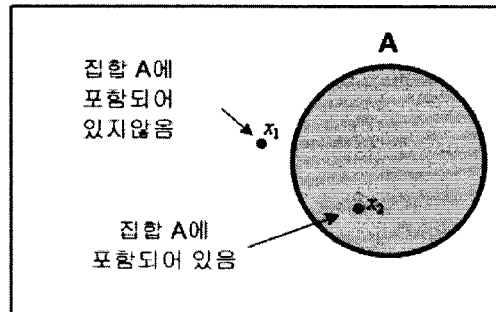
IV. 새로운 교통이용자의 인지정보 분석방법 제안

앞장에서 설명하였듯이 교통이용자의 인지정보는 개인별 그리고 상황별로 주관적이고, 결정 과정이 복잡하다. 그러므로 기존의 계량 및 통계분석방법으로는 교통이용자의 인지정보를 적절히 분석하거나 해석하여 결론을 내기가 어렵다. 이에 대안으로 본 연구에서는 퍼지이론, rough sets, 주관적인 확률 등을 소개하고, 이중 퍼지이론을 이용한 교통이용자의 인지정보의 분석방법에 대해 구체적으로 제안한다.

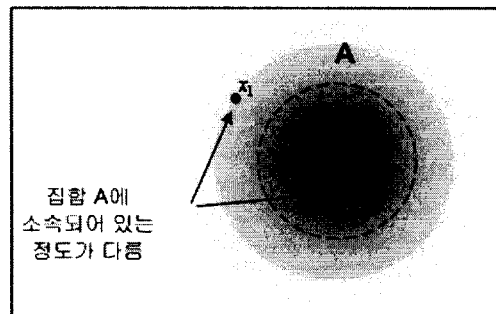
1. 퍼지이론을 이용한 교통이용자 인지정보 분석

퍼지이론은 1965년 Zadeh에 의해 처음 소개되었고 이후 많은 분야에서 이용되어오고 있다. 특히 서비스수준 평가, 작업장에서의 노동부하 및 위험도 평가 등의 인간공학관련 분야에서 적용되고 있다. 퍼지이론의 기본 개념인 퍼지 집합은 '참'과 '거짓'의 이분법으로 구분되는 방법과 달리 '참'일 수 있고 '거짓'일 수도 있는 존재 혹은 그 중간의 어느 위치에 놓여 있는 애매모호한 존재나 개념을 설명하기에 적절한 방법이다. 한 집합의 소속정도를 0과 1사이의 값으로 주어지는 소속함수(Membership Function)를 이용하여 표현하고, 이를 통해 모든 퍼지이론의 계산과 분석을 수행하게 된다. 그림 2는 일반집합과 퍼지집합의 차이를 개념적으로 보여주고 있다.

(1) 일반집합



(2) 퍼지집합



<그림 2> 일반집합과 퍼지집합의 비교

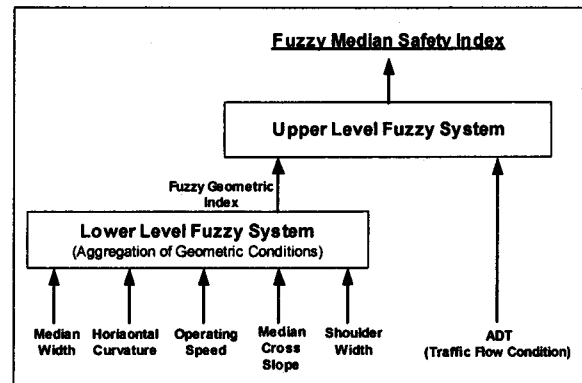
기존연구에서 다양한 퍼지이론들 중 교통이용자의 인지정보를 분석하기 위해 적용 가능한 퍼지이론은 퍼지집계분석법과 퍼지추론방법으로 제안되었고, 이 두가지 방법을 이용한 교통이용자 인지정보분석 방법이 구체화 되었다(이동민, 2006). 첫 번째 방법인 퍼지 집계분석

(Fuzzy Aggregation)방법은 확장된 대수학적 퍼지 계산법을 토대로 개발 되었으며, 이를 이용하여 주관적이고 언어지수로 평가된 교통이용자들의 인지정보를 다양한 개별 교통이용자의 성향 및 특성을 고려하여 계량적으로 평가할 수 있다. 두 번째 방법은 퍼지추론법을 이용하여, 다수의 판단기준(decision criteria)을 필요로 하는 인지정보 평가를 위해 계층적 구조의 퍼지추론 (Hierarchical Fuzzy Inference System)방법을 이용하는 것이다. 이 방법을 통해 사고위험요소와 안전도 등의 인과관계에 있는 교통이용자의 인지정보를 분석할 수 있다.

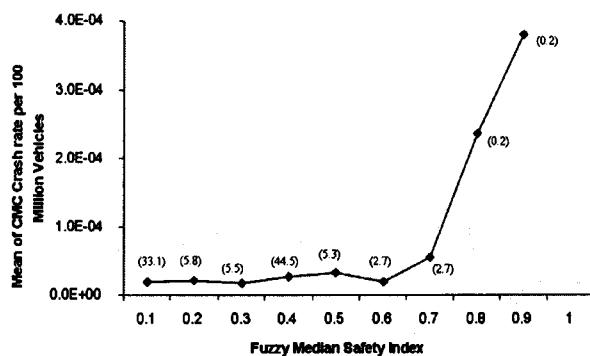
퍼지이론은 이미 교통공학과 관련된 많은 연구에서도 이용되어 오고 있다. 특히 1970년대 후반부터, 교통신호제어 관련분야에서 주로 적용되어 왔다. 교통이용자 측면에서는 최근 교통서비스 수준 평가관련 연구에 주로 적용되었다. Ndoh와 Ashford (1995)는 공항 터미널의 서비스수준 평가에 퍼지이론을 이용하고자 제안하였고, 퍼지집계 분석법을 이용한 방법을 제시하였다. Hamad와 Kikuchi (2002)는 퍼지추론 이론을 이용하여 교통이용자가 느끼는 교통혼잡정도를 평가하고 이를 통해 교통 혼잡평가지표 (Congestion Index)를 개발하였다. 개발된 퍼지추론 모형에서는 '통행속도 비율 (Travel Speed Rate)'과 '매우 낮은 속도비율 (Very Low Speed Rate)'을 이용하여 교통 혼잡도를 평가하였다. 이동민 외(2005)는 퍼지 집계분석방법을 이용하여, 운전자들이 느끼는 펜실베니아 고속도로의 도로전광표지에 대한 만족도를 분석하였다. 앞장에서 사용된 6가지의 효과척도를 이용하여 개별 운전자의 만족도를 계산하고, 이를 종합하여, 운전자 그룹 전체가 느끼는 만족도를 측정하였다. 분석결과 미국 펜실베니아 주 고속도로의 도로전광표지에 대한 운전자가 느끼는 만족도는 55.4 정도로 분석되었다.

이동민 외(2006)는 계층적 퍼지추론방법을 이용하여, 교통이용자가 실제 고속도로 주행 중에 느끼는 중앙분리대 관련 안전도를 분석하여 이를 실제 사고자료와 비교분석하였다. 전문가 설문조사 결과를 토대로 만들어진 퍼지 소속함수와 새로운 다중 변수 퍼지규칙 생성방법 (Generation of fuzzy rules for multiple

criteria)을 이용하여 계층구조의 퍼지 시스템 (Hierarchical Fuzzy Inference System)을 개발하였고, 이를 이용하여 교통이용자가 도로주행 중에 느끼는 안전도를 분석하였다(그림 3). 분석결과 그림 4에서 보는 바와 같이 이용자가 느끼는 안전도가 낮아질수록 (퍼지안전지표: Fuzzy Median Safety Index 값이 커질수록) 실제 발생한 충돌사고 발생율도 커짐을 알 수 있었다. 두 번째 사례연구를 통해 나타난 성과는 실제 사고자료를 이용하지 않고 교통안전에 대한 이용자의 의견분석을 통해서도 사고 위험지역 분석을 할 수 있다는 데 있다.



<그림 3> 제안된 계층구조의 퍼지추론모형



Note: 괄호 내 숫자는 각 평균사고율의 빈도수이고, 'Fuzzy Median Safety Index'가 클수록 안전도는 낮아진다는 의미임.

<그림 4> 퍼지 결과와 실제 사고율과의 비교

이동민 외(2007)은 교통이용자가 실제로 느끼고 있는 신호교차로의 서비스 수준을 비디오를 이용한 실내조사방법과 퍼지 집계분석, 그리고 문화합의 분석방법 (Cultural Consensus Analysis)방법들을 이용하여 분석하였다. 서비스수준을 평가하기 위한 평가기준으로 신호현

시에 따른 지체, 신호현시의 운영, 신호등의 시인성, 교통안내시설의 유용성, 교차로의 기하구조 등을 사용했으며, 문화합의 분석방법을 통해 피실험자의 인지등급(Knowledge Level)을 계산하여 이를 토대로 피실험자 전체가 느끼는 서비스수준을 평가하였다.

한편 운전자의 인지정보는 연속적으로 운전자의 주행특성으로 표출된다. 이에 대한 분석을 위해 이동민 외 (2007)은 지방부 2차로 도로에서의 다양한 도로노면표시 유형에 따른 운전자 주행특성을 퍼지추론모형을 이용하여 분석하였다.

2. 교통이용자 인지정보 분석의 다른 대안

앞 절에서는 교통이용자의 인지정보를 효과적으로 분석하기 위한 대안으로 퍼지이론을 이용하는 방법을 소개하였다. 하지만, 이외에도 다른 대안적 방법들이 있다. Rough Set를 이용하거나, 주관적인 확률(Subjective Probability)를 이용하여 인간의 인지정보와 같은 이분법으로 표현하기 어렵고, 애매모호한 데이터를 효과적으로 분석할 수 있다.

1982년 Pawlak에 의해 제안된 Rough Set은 조건부 속성과 결론부 속성 간의 연관성을 수치화하여 표현 할 수 있는 방법이다. 앞에서 교통이용자들은 각자의 인지정보를 언어적 표현으로 보다 쉽게 설명할 수 있다고 했다. 이에 따른 언어정보의 단점은 계량화하기가 어렵고, 언어 데이터 쌍의 조건부와 결론부 사이의 규칙을 정량화하기 어렵다는 데 있다. Rough Set은 이러한 단점을 극복할 수 있다. Rough Set은 불확실한 정보를 분석가능하다는 면에서 퍼지이론과 유사한 면이 있지만, 기본개념은 다르다. 퍼지이론은 소속정도를 나타내는 0과 1사이의 값으로 이러한 불확실한 정보를 표현하지만, Rough Set에서는 식별이 불가능한 객체로 구성된 동질의 값을 분할하는 것을 그 기본개념으로 하고 있다.

주관적인 확률은 개인의 속성을 반영한 확률로 정의할 수 있으며, 얼마나 자주 한 사건이 일어나느냐에 대한 개인의 판단을 설명한다. 주관적인 확률에 의한 계산은 정확한 값을

산출하기 보다는 일반적인 사람에 의한 합리적인 판단정도를 반영하고자 하는 것이다. 일반적인 확률 값과 마찬가지로, 주관적인 확률도 0에서 1까지의 값으로 표현되며, 이 확률 값은 한 사건이 일어날 것에 대한 개인의 주관적인 견해를 나타내는 것이다.

V. 결론

교통 이용자는 교통시스템의 세 가지 주요 구성요인인 이용자, 운송수단, 그리고 도로시설 중의 하나로써 교통 서비스와 교통안전 등을 고려할 때 매우 중요한 요소이다. 하지만, 지금까지 교통서비스의 실제적 주체인 교통 이용자의 측면에 대해서는 많은 연구가 진행되지 못해 왔다. 교통 이용자의 인지정보를 평가하는데 있어서, 기존 방법론은 많은 한계를 안고 있다. 이는 인간의 인지정보 과정이 매우 주관적이고, 복잡하며, 평가자의 개별적인 특성 및 상황적인 특성에 따라 그 결과가 달라질 수 있기 때문이다.

본 연구는 향후 교통공학연구가 교통이용자 측면을 고려한 교통공학으로 패러다임이 전환되어야 하는 필요성을 제시하고 있으며, 교통전문가와 일반인들을 대상으로 수행한 설문조사결과를 비교하였다. 그 결과 일반인과 교통전문가에 의해 평가된 교통서비스의 만족도는 다를 수도 있다는 것을 알 수 있었으며, 이 결과를 통해 교통이용자 인지정보관련 실험의 대상선정의 중요성이 강조되었다. 또한 교통이용자 인지정보의 다양성과 주관성을 확인할 수 있었다. 또한 두 번째 실험을 통해 교통이용자들은 자신의 인지정보를 서술적 언어지수로 평가하는데 익숙하지만, 개인에 따라 각 언어지수의 기준 경계 값은 다를 수 있기 때문에 설문조사결과를 응답자수 혹은 평균 등의 단순 통계방법으로 종합하는 것은 적절하지 않음을 확인했다. 끝으로 이러한 교통이용자의 인지정보를 평가하기 위한 대안적인 방법으로 퍼지이론, rough sets, 주관적인 확률을 소개하고, 이중 퍼지이론을 이용하여 연구된 교통이용자 인지정보관련 선행연구를 소개함으로써 제안한 방법에 대한 적용 가능성을 모색하였다.

참고문헌

1. Lee, D., M. T. Pietrucha, and S.Sinha. Use of Fuzzy Sets to Evaluate Driver Perception of Variable Message Signs," *Transportation Research Record 1937*, TRB Washington D.C., 2005.
2. Lee, D., M. T. Pietrucha, and E. T. Donnell, Hierarchical Fuzzy Inference System to Evaluate Experts' Opinions of Median Safety, *Transportation Research Record 1961*, TRB Washington D.C., 2006.
3. Lee, D., A Generalized Approach for Analyzing Transportation User Perception Using Fuzzy Sets, Ph.D. Dissertation, The Pennsylvania State University, 2006
4. Lee, D., K. Tae-Gyu and M. T. Pietrucha, *Incorporation of Transportation User Perception into the Evaluation of Service Quality of Signalized Intersections Using Fuzzy Aggregation*, Preceding of the 86th Annual Meeting of TRB, Washington D.C., 2007.
5. Lee, D. and E.T. Donnell, Analysis of Pavement Marking Effects on Nighttime Driver Behavior Using Fuzzy Inference System, *Journal of Computing in Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol. 21 No. 3, 2007
6. Fang, F.C., L. Elefteriadou, K.K. Pecheux, and M.T. Pietrucha, Using Fuzzy Clustering of User Perception to Define Levels of Service at Signalized Intersections, *Journal of Transportation Engineering*. Vol.129, Issue 6, 2003, pp657-663.
7. Flannery, A., K. Wochinger, and A. Martin, Driver Assessment of Service Quality on Urban Streets. *Transportation Research Record, 1920*, TRB, Washington D.C., 2005.
8. Flannery, A., K. Wochinger, and K.K. Pecheux, Research approaches to assess automobile drivers' perception of quality of service. Proceeding of 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB, Washington D.C., 2004.
9. Hamad, K. and S. Kikuchi, Developing a Measure of Traffic Congestion: Fuzzy Inference Approach. *Transportation Research Record 1802*, TRB, Washington, D.C., 2002.
10. Ndoh, N.N. and N.J. Ashford. Evaluation of Transportation Level of Service Using Fuzzy Sets. *Transportation Research Record, 1461*, TRB, Washington, D.C., 1994.
11. Pecheux, K.K., M.T. Pietrucha, and P.P. Jovanis, User Perception of Level of Service at Signalized Intersections: Methodological Issues, Transportation Research Circular E-C108: 4th International Symposium on Highway Capacity
12. Pietrucha, M.T., Incorporating User Perception into Conventional Engineering Measures of Effectiveness, Presented in the Conference on Advanced Modeling Techniques and Quality of Service in Highway Capacity Analysis, 2001
13. Suraria, T.C. and J.J. Haynes. Level of Service at Signalized Intersections. *Transportation Research Record 644*, TRB, Washington, D.C., 1977.
14. Washburn, S. S., K. Ramlackhan, and D. S. McLeod. Quality of Service Perceptions by Rural Freeway Travelers: An Exploratory Analysis. Proceeding of 83rd Annual Meeting of the TRB, Washington D.C., 2004.