

한국형 고속철도 승차감의 감성 모형 개발

이주환¹ · 이 철² · 김인기¹ · 윤명환¹

¹서울대학교 산업공학과 / ²서울대학교 BK21 해양기술인력양성사업단

Development of a Ride-comfort Model for Korea Train eXpress (KTX) Passengers

Joo Hwan Lee¹, Cheol Lee², In Ki Kim¹, Myung Hwan Yun¹

¹Department of Industrial Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-744

²BK21 Marine Technology Education & Research Center, Seoul National University, Seoul, 151-744

ABSTRACT

KTX (Korea Train eXpress) is launched as the 5th high-speed train in the world. This study aims to systematically develop a ride-comfort model for high-speed rail passengers using structural equation model (SEM). Both qualitative and quantitative factors affecting ride-comfort were investigated, and employed to construct a comprehensive ride-comfort model. The SEM model was built with twenty measurement variables and seven latent variables for the evaluation of ride-comfort of high-speed train passenger. A total of six hundreds thirty two subjects participated in the evaluation using face-to-face survey method. As a result, the proposed SEM model showed statistical significance as well as a high level of model fitness (GFI=0.93). According to the results, overall ride-comfort was significantly affected by the seat-, fatigue-, interior-related, and customer satisfaction variables such as fare. Among the engineering design variables of high-speed train, seat-related variables were identified as critical factors of the ride-comfort. It is expected that the result of this study could be useful for the enhancement of ride comfort in next generation KTX.

Keyword: High-speed train, Korea Train eXpress (KTX), Structural Equation Model (SEM), Ride-comfort

1. 서 론

2004년 4월 세계에서 5번째로 개통된 한국형 고속철도(KTX: Korea Train eXpress)는 개통 후 2005년 4월까지 1년간 운행한 결과, 차량자체에 대한 문제와 객실 내부에 대한 문제점이 파악되었는데(KRRI, 2004), 차량자체의 문제로는 잦은 고장으로 인한 정시 운행율 감소, 높은 운임 등이 주요 요인 이었고, 객실 내부의 문제로는 터널 소음에 따른 승차감 문제, 역방향 좌석과 관련된 어지러움 발생, 한국

인의 체형을 고려하지 않은 좌석에 따른 불편함, 한국지형 특성상 자주 등장하는 고속과 저속의 속도 변화에 따른 안락감 문제 등 탑승객들의 불만사항에 관련된 다양한 쟁점들이 대두되었다(Korail, 2004).

승차감(ride-comfort)은 승차만족감(ride satisfaction), 좌석안락도(seat comfort), 탑승품질(ride quality) 등 유사한 용어와 혼용되어 시대와 나라의 문화, 그리고 국민의 체위 차이에 따라 변화되어 왔고 탑승 대상의 설계 형태에 따라 다양하며, 차량에 대한 승차감에 관한 연구는 국내외에서 다각도로 진행되어 왔다(Corlett & Bishop, 1976; Cowings

*본 연구는 한국철도공사와 서울대학교 공학연구소 지원과제이며, 저자의 일부는 2006년도 2단계 BK21사업에 의하여 지원받았음.

교신저자: 이 철

주 소: 151-744 서울시 관악구 신림동 산 56-1, 전화: 02-885-1403, E-mail: iehis@snu.ac.kr

et al., 2001; Förstberg, 2000; Han *et al.*, 1998; Looze *et al.*, 2003; Metzger, 1994; Peter, 2004; Quehl, 2001).

승차감은 개인요소, 차량요소, 주행환경 등 복잡한 요인이 관여하는 대표적인 복합감성으로서 감성공학적인 접근 방식에 의한 여러 요소의 상호관계를 규명하는 연구가 필요하나, 고속철도에 관련된 승차감 연구는 고속철도를 이미 운행중인 선진 국가들(프랑스-TGV, 스페인-AVE, 일본-신칸센, 독일-ICE)에서도 부족하며, 특히 한국형 고속철도에 관한 승차감 관련 연구는 객실의자의 설계 및 내장 설계에 관한 연구는 일부 있었으나(Han *et al.*, 1998), 전술한 바와 같이 개인요소, 차량요소, 주행환경 등 승차감에 영향을 미치는 복잡한 요인들을 체계적으로 고려하고 다양한 탑승객을 대상으로 대규모 연구를 수행한 사례는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 한국형 고속열차에 관련된 다양한 승차감 개선요구에 대한 원인 분석 및 문제점 해결을 위해, 차량자체의 기술적 문제를 제외하고 탑승객의 관점에서 인지하는 승차감에 대한 포괄적인 조사를 기반으로 하여 고속열차 탑승객의 승차감 모형을 개발하고자 하였다. 이와 관련하여 한국형 고속열차의 승차감에 영향을 미치는 주요 요인들을 규명하고, 선별된 주요 요인을 중심으로 구조방정식(SEM: Structural Equation Model) 기법을 활용하여 요인들 간의 연관관계를 규명함으로써 한국형 고속열차 승차감 모형을 제시하고자 하였다.

2. 연구 방법

본 연구는 승차감과 관련된 문헌 연구를 통하여 승차감에 대한 주요 요인을 추출하였으며, 고속열차 승차감에 영향을 미치는 요인을 중심으로 설문지를 개발하였다. 개발된 설문지를 활용하여 탑승객 설문실험을 실시하였으며, 수집된 데이터는 구조방정식 기법을 활용하여 분석하고 모형화 하였다. 개발된 모형은 검증과정을 거쳐 한국형 고속철도 승차감 감성 모형으로 제안하였다. 추가적으로, 회귀분석을 사용한 승차감 모형을 파악하여 주요 요인들의 영향력을 구조방정식을 이용한 승차감 감성 모형과 비교하였다.

2.1 구조방정식(Structural Equation Model)

구조방정식은 인과관계를 나타내는 개념 및 그 측정변수에 관한 연구에 적합한 기법이다. 구조방정식의 각 계수는 선형구조방정식을 통해 추정되는데, 각 변수는 직접적으로 측정되는 측정변수와 직접적으로 측정되지 않으나 측정변수에 의해 대변되는 잠재변수로 구분 지을 수 있다. 구조방정

식 모델에서는 각 잠재변수들 간의 인과관계가 존재하고, 측정변수는 각 변수의 속성을 나타내주는 것으로 가정하고 있다. 따라서 구조방정식은 잠재변수, 측정변수, 측정오차, 잠재변수 간의 상호관계, 동시성, 상호관련성을 동시에 고려하여 구조 모형을 구축하려 할 때 가장 효과적인 방법이다(Bollen, 1989; Jung & Cho, 2003).

본 연구에서는 한국형 고속철도 승차감과 관련된 변수들 간의 인과관계를 모형화하는데 목적이 있다. 이러한 목적을 위하여 회귀분석과 같은 탐색적 접근법은 방법을 통한 일정 정도의 모델 개발은 가능할 수 있으나 성과와 관련된 요인들 간의 인과적 모델이나 변수들의 구조적 모델을 구축하는데 한계가 있을 수밖에 없다(Bea, 2002). 승차감 모형에 대한 요인들에 대하여는 기존 연구에서 다루어진 연구 결과들이 충분하지는 못하더라도 본 연구에서 추구하는 구조적 모델을 구성하기 위한 예비적 연구로 활용될 수 있다. 또한 연구자의 경험을 통하여 예측적 가설과 모델을 수립할 수 있는 충분한 여지가 있으므로, 본 연구에서는 탐색적 접근법 보다는 확인적 접근법에 더 큰 비중을 두고 연구를 전개하였다. 그러나 이러한 예측적 모델이 본 연구의 결과를 확실히 예측하고 이론적으로 수정할 여지가 없는 완벽한 모델은 아니고 최적의 적합성을 가지는 모델을 찾아가기 위한 첫 출발점에 불과하므로 모델수정을 거치는 탐색적 접근법을 완전히 배제한 것은 아니다. 이러한 측면에서 확인적 접근법과 탐색적 접근법을 포괄하는 구조방정식은 본 연구의 목적에 부합하는 방법론이라 할 수 있다.

2.2 설문조사 및 자료 분석

본 연구에서는 설문조사를 바탕으로 구조방정식을 이용하였다. 한국형 고속철도 탑승객 설문은 총 2회에 걸쳐 실시되었다. 설문에 참여한 피실험자는 실제 KTX 탑승객을 대상으로 1차 179명(남: 73, 여: 106 / 2~30대: 93, 4~50대: 58, 60대 이상: 28 / 정방향: 102, 역방향: 77), 2차 설문 453명(남: 236, 여: 217 / 2~30대: 168, 4~50대: 182, 60대 이상: 103 / 정방향: 233, 역방향: 220), 총 632명이 참여하였다.

조사 구간은 한국지형 특성상 터널의 주행 영향도 분석을 위해, 서울~부산, 서울~목포로 구분하여 실험을 실시하였으며, 고속과 저속주행 탑승객의 고른 실험조사를 위해 고속구간(서울~동대구)과 저속구간(서대전~목포, 동대구~부산)으로 구분하여 실시하였다.

설문조사에 사용된 설문항목(변수)은 승차감과 관련된 측정변수 20개와 기본 설문사항을 likert scale 9점 척도로 구성된 설문지를 활용하였다. 또한 전반적인 승차감과 만족도를 측정하기 위해, 100점 scale로 된 설문을 추가하였다. 탑

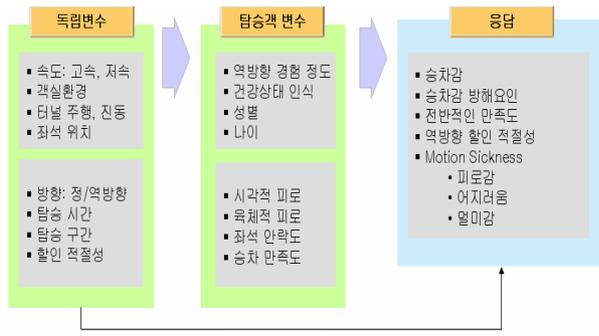


그림 1. 설문조사에 사용된 실험변수

승객 설문조사에 사용된 실험변수 구조는 그림 1과 같고 그림 2에 설문지에 사용한 항목을 예시하였다.

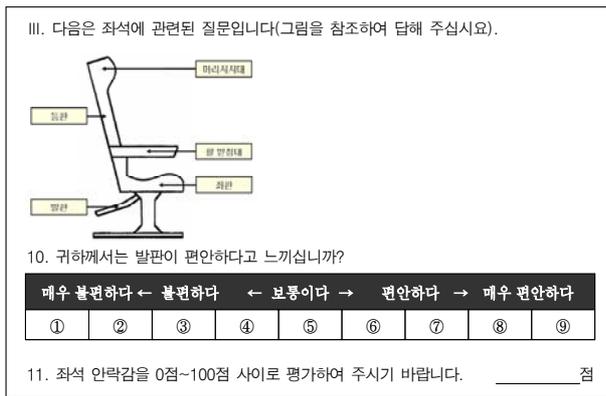


그림 2. 설문지 예

설문자료를 근거로 측정변수로 분류된 각 속성들이 잠재변수의 요인으로 간주할 수 있는지를 분석하기 위해 확증적 요인분석(confirmatory factor analysis)을 실시하였다. 확증적 요인분석은 구조방정식 모형을 분석하기에 앞서 모형의 적절성과 타당성을 확인하기 위해 측정변수와 잠재변수 간 요인분석을 통해 제안된 구조방정식 모형을 확증하게 된다. 승차감 모형과 관련된 측정변수들 중에서 이상점(outlier)이 발견된 사례는 제거를 하였으며 서로 다른 scale을 사용한 측정변수들은 구조방정식을 이용한 분석을 위해 데이터 값을 정규점수(normal score)로 변환하여 공분산 행렬(covariance matrix)을 입력 데이터로 사용하였다(Jöreskog & Sordom, 1993). 공분산을 이용하는 이유는 상관행렬을 이용하는 경우보다 다른 모집단이나 표본 간의 비교가 가능하며 보다 정확한 카이제곱값과 모델 적합도 통계량을 산출하기 때문이다. 또한 공분산행렬을 이용한 분석을 실시하는 경우 구조방정식 모델의 가정을 만족시켜 주며 인과관계를 확보하기 위해 필요한 자료의 형태를 갖추고 있기 때문에 모

델을 좀더 쉽게 설명할 수 있으며 각 경로 값들의 비교가 용이한 이점이 있다(Chun *et al.*, 2000; Hair *et al.*, 1998; Lattin *et al.*, 2003).

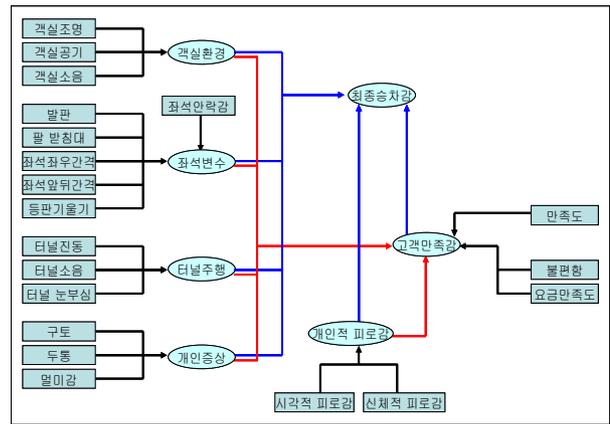


그림 3. 승차감 구조모형의 잠재변수와 측정변수

본 연구는 모델링 도구로 LISREL 8.50을 이용하였고 모델 추정에는 최대우도법을 사용하여 승차감 모형을 구조방정식 형태로 분석하였다.

3. 연구 결과

3.1 구조방정식 모형 설정

한국형 고속철도 승차감의 구조 모형은 승차감 관련 문헌 조사와 사전 연구(Han *et al.*, 1998)에서 도출된 승차감에 영향을 미치는 변수와 실험 대상 특성상 고속열차 탑승에 영향을 미치는 변수를 통합하여 구성하였다(그림 3).

승차감에 영향을 미치는 측정변수로는 모두 20개로 구성하였으며, 7개의 잠재변수로 범주화 하였다. 표 1은 사전 연구에서 선별된 자료를 바탕으로 본 연구에서 실행한 pilot test 결과에서 도출된 최종 실험변수를 보여준다.

잠재변수 중 좌석관련 변수는 승차감에 직접적인 영향을 주는 측정변수로 정의하였다(Nahm *et al.*, 1999). 한국형 고속열차 탑승에 따른 승차감 영향도 파악을 위해 한국지형 특성상 주행 시 자주 나타나는 터널에 대한 영향 정도를 추가하였고, 개인의 증상을 요인으로 추가하였다. 또한 기존 철도운임과 비교했을 때 상대적으로 고가인 KTX 운임에 대한 서비스 만족감을 알아보기 위해 요금만족도를 추가하였다. 마지막으로 잠재변수를 통해 영향을 받는 요인으로 최종 승차감을 종속변수로 설정하였다.

각 잠재변수들은 최종 승차감에 직접적인 영향과 만족도

표 1. 변수선별 내용

변수 구분	관련변수	선별 내용	
		통계적 중요도*	기술적 중요도**
사전연구	객실환경	O	X
	고객만족도	O	O
	개인특성	O	X
	편안함	O	X
	열차기울기	X	X
	터널주행	O	O
	시각피로	O	X
	신체피로	O	X
KTX 특성변수	좌석위치(창측/통로측)	X	X
	좌석변수	O	O
	테이블 좌석	X	X
	개인증상	O	X
	요금만족	O	X

*통계적 중요성: $p < 0.05$

**기술적 중요성: KTX 도입시 고려됐던 설계변수 중요성

를 통한 간접적인 영향을 미치며, 측정변수 중에서 승차감, 좌석안락감은 고객들이 느끼는 정도를 개량적으로 측정하는 변수이며 최종 승차감과 고객만족도는 측정변수와 잠재변수들의 연관관계에 의해서 도출된 잠재변수이다.

승차감 모형에서는 7개의 잠재변수에 대한 인과관계를 설정하였다. 객실환경 요인, 좌석관련 요인, 터널영향 요인은 승차감에 직접적으로 영향을 주는 요인이며 개인의 증상을 나타내는 요인은 개인 피로감을 매개로 하여 승차감에 간접적인 영향을 주는 것으로 설정하고, 최종 승차감 모형은 결국 잠재변수들의 영향의 결과로 나타난다고 설정하였다 (Anderson & Gerbing, 1988).

3.2 구조방정식 모형 분석

그림 3에 제시된 한국형 고속철도 승차감의 구조 모형의 적합성을 테스트하기 위하여 측정변수들 간의 공분산행렬을 통한 구조방정식 분석을 실시하였다. 승차감의 구조 모형은 좌석방향을 무시한 전체 모형, 역방향 승차감 모형, 정방향 승차감 모형으로 분리하여 분석하였으며, 모형의 전반적인 적합도를 판단할 수 있는 절대적합지수로서 회귀분석의 R² 값과 유사한 특성을 나타내는 GFI(Goodness of Fitness Index)를 사용하였다.

분석 결과, 전체 승객의 승차감 구조 모형의 적합도(GFI)는 0.93으로 수용할 수 있는 범위에 있으며, 승차감 구조 모형의 적합성(model acceptance)과 경로의 적합성(path

표 2. 승차감 구조모형의 적합도

Index	Results
Degree of Freedom	168
Minimum fit function Chi-Square	1131.790($p=0.0$)
Normal theory weighted least square Chi - Square	935.022($p=0.0$)
Estimated Non-Centrally Parameter(NCP)	767.022
90 percent confidence interval for NCP	(674.764; 866.776)
Goodness of Fit Index(GFI)	0.930

acceptance) 모두 90%의 신뢰구간에서 유의한 것으로 나타났다(표 2). 이러한 결과는 본 연구의 승차감 모형이 적절하게 설계되어 통계적으로 수용할 수 있을만한 신뢰성과 타당성을 가지고 있다고 할 수 있다(Gartstein *et al.*, 2005).

그림 4는 전체 탑승객의 승차감 모형의 경로계수들을 표준화하고 측정변수와 잠재변수들의 연관관계를 통합하여 도출한 한국형 고속철도의 최종 승차감의 구조 모형이다.

그림 4에 제시된 경로계수 결과에 의하면, 전체 탑승객의 최종 승차감에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 탑승전 기대치에 충족도를 정량적으로 평가한 고객만족감으로 파악되었다. 고속철도의 설계변수(engineering design variable)와 관련된 정량적인 요인들 중에서는 좌석변수가 영향력이 큰 것으로 파악되었으며, 좌석변수들 중에서 좌석의 좌우간격과 앞뒤간격, 등판기울기를 개선할 경우 상대적으로 가장 많이 최종 승차감을 향상시킬 수 있는 것으로 파악되었다. 그 다음으로는 객실 조명, 공기, 소음과 관련된 객실환경 변수와 시각적 피로감과 신체적 피로감을 포함한 개인적 피로감 변수가 승차감에 영향을 주는 것으로 파악되었다. 한편, 터널 진동, 소음, 눈부심과 같은 터널주행 변수와 구조, 두통, 멀미와 같은 개인증상 변수가 최종 승차감에 미치는 영향력은 상

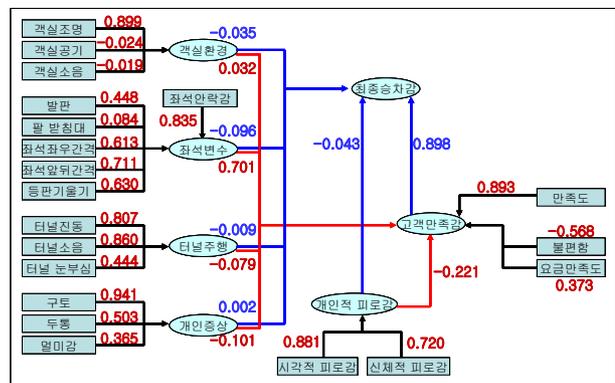


그림 4. 최종 승차감 모형

대적으로 적은 것으로 파악되었다.

3.3 회귀분석을 통한 승차감 모형 비교

구조방정식을 적용하여 제안된 승차감 모형을 비교·검증하기 위하여 회귀분석을 수행하였다. 회귀모형은 승차감 종속변수와 승차감에 유의하게 영향을 주는 독립변수를 이용하여 승차감에 대한 변수들의 영향력을 함수관계로 나타낸다. 회귀분석에 사용된 승차감 관련 변수들은 표 3과 같다. 선정된 변수의 분산분석 결과는 표 4와 같다. 최종 회귀모형은 통계적으로 유의한 승차감 관련 변수 6개로 구성된 승차감 회귀모형으로 식 1과 같다($R^2=0.68$).

표 3. 승차감 회귀분석 모형에 사용된 변수

변수	측정항목(변수)	정의 및 수준
Y	승차감	전체적인 고속철도 승차감
X ₁	고객만족감	탑승전 기대치에 대한 충족도(0~100)
X ₂	좌석안락감	좌석에 한정된 편안함 정도(0~100)
X ₃	개인적 피로감	탑승으로 인한 피로도(0~100)
X ₄	터널주행 불편함	터널을 통과할 때의 불편함(0~100)
X ₅	개인증상	구토, 어지러움, 멀미감 정도(0~100)
X ₆	객실환경만족도	시설에 대한 불만 정도(0~100)

표 4. 분산분석 결과

	제곱합	자유도	평균제곱	F
선형회귀분석	104253.59	6	17375.6	127.17
잔차	48367.96	354	136.633	
합계	152621.56	360		

$$Y = 0.528 X_1 + 0.224 X_2 - 0.181 X_3 - 0.089 X_4 - 0.066 X_5 - 0.065 X_6 \quad (\text{식 1})$$

식 1의 승차감 회귀모형에서 독립변수의 영향력으로 해석되는 회귀계수는 구조방정식을 이용해서 파악한 승차감 모형의 경로계수와 동일한 의미를 나타낸다. 즉, 회귀모형에서 고객만족감을 향상 시켰을 때 탑승객들의 승차감이 가장 크게 향상된다고 해석할 수 있다. 또한, 변수의 수가 다르기 때문에 독립변수의 영향력의 크기를 구조방정식 승차감 모형의 경로계수와 직접적으로 비교하기에는 무리가 따르나, 고속철도의 설계변수들 중에서 좌석관련 설계변수를 개선하여 좌석안락감을 향상시키면 최종 승차감이 향상되는 폭이 상대적으로 크다는 결과는 구조방정식을 이용한 승차감 모형과 유사하다.

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 한국형 고속철도의 승차감 모형 개발을 위해, 구조방정식을 활용하여 직접적, 간접적으로 승차감에 영향을 미치는 변수를 파악하여 최종 승차감 감성 모형을 체계적으로 제시하였다. 특히 고속열차 특성상 고속주행(300 km/h 이상 주행)에 따른 승차감 평가에 고려되어야 할 탑승객의 정성적 요소인 피로감, 멀미감 등의 의학적 개인증상 등이 승차감에 미치는 영향을 구조방정식을 사용하여 파악하였다. 또한, 터널운행, 좌석방향, 운행속도 변화 등을 주요 요인에 포함시켜 고속철도가 운행되는 지역적인 특성을 승차감 모형에 반영하였다.

연구 결과에 따르면, 고속철도의 설계변수와 관련하여 좌석의 좌우간격과 앞뒤간격, 기울기를 향상 시킬 경우 승차감 향상에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 상대적으로 객실환경에 관련된 변수는 좌석변수에 비해 승차감에 영향을 주는 정도가 낮은 것으로 파악되었다. 한편, 한국형 고속철도의 특징인 터널주행과 관련된 변수와 고속철도를 처음 경험하는 개인증상(멀미감 등)이 최종 승차감에 많은 영향을 미칠 것이라는 추측과는 달리 좌석변수에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다.

따라서, 요금체계 등과 같은 고속철도 운영에 관련된 변수를 제외하고, 한국형 고속철도의 최종 승차감 향상을 위해 가장 우선시 고려되어야 할 설계변수는 좌석변수와 관련된 부분이었으며, 특히 좌석앞뒤간격, 좌석좌우간격, 등판기울기, 발판의 개선이 승차감 향상에 중요한 것으로 파악되었다.

본 연구의 결과는 다음과 같은 의의를 지닌다고 볼 수 있다. 첫째, 기존의 승차감 관련 연구는 주로 좌석위주(seat comfort)의 모형을 제안하였으나 본 연구에서는 승차감에 영향을 미치는 전반적인 주요 요인들(속도감에 영향을 미치는 터널변수, 개인의 의학적 증상과 관련된 변수 등)을 포함하는 한국형 고속철도 승차감 모형을 개발하였다. 둘째, 기존 연구에서 주로 사용된 ANOVA나 회귀분석 등의 선형적 접근이 아닌 구조방정식 기법을 사용하여 요인들 간의 인과관계를 통해 수직적 구조를 밝히고 단계별 영향 요인을 규명함으로써 직, 간접적으로 영향을 미치는 승차감 관련 요인들의 복잡한 연관관계를 체계적으로 파악하였다. 또한, 승차감 모형에서 직접적으로 측정할 수 없는 변수에 대해 구조방정식을 이용하여 잠재변수의 영향력과 변수들 간의 연관관계를 경로계수를 통하여 파악하였고, 승차감에 대한 평가 요소 및 전체 승차감 평가를 정량적으로 분석함으로써 사용자의 주관적 평가를 정량화 할 수 있고 승차감 개선에 유용한 도구가 될 수 있었다. 마지막으로 본 연구에서는 현재까지 충분한 연구 결과가 보고되지 않은 고속열차와 관련된 승차감

모형을 개발함으로써 기존의 열차나 자동차와 운행속도가 다른 고속철도의 특성과 한국지형의 특성을 반영한 한국형 고속철도 승차감 모형을 제안하였다는 데에 의미가 있다.

추후 연구주제로 한국형 고속철도의 특징인 고정식 좌석 배치에 따른 운행방향(정방향 vs. 역방향) 별 승차감 분석을 통해 승차감 변화 정도를 정량적으로 제시하고, 한국형 고속철도의 전신인 프랑스 TGV 탑승객과의 승차감 비교를 통해 문화적 차이(cultural difference)가 승차감에 미치는 영향을 분석할 예정이다. 본 연구에서 제시한 한국형 고속철도 승차감 모형을 활용한다면 향후 2010년에 도입되는 한국형 고속철도 2차 사업에서 기존 KTX의 문제점을 개선하고 승차감 향상을 극대화 할 수 있는 대안 수립에 도움이 되리라 기대된다.

참고 문헌

- Anderson, J. C. and Gerbing, D. W., Structural Equation Modeling in practice: A review and recommended two-step approach, *Psychological Bulletin*, 103, 411-423, 1988.
- Bea, B. R., *The understanding and application of SEM*, Dea kyung, Seoul, Korea, 2002.
- Bollen, K. A., *Structural equation with latent variables*, New York: Wiley, 1989.
- Chun, Y. H., Baek, I. G. and Shin, J. T., A Study on Customer Satisfaction of Sensibility for Automotive Interior Design Using Structural Equation Model, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 28(4), 151-160, 2000.
- Corlett, E. N. and Bishop, R. P., A technique for assessing postural discomfort, *Applied Ergonomics*, 19, 175-182, 1976.
- Cowings, P. S., Toscano, W. B., DeRoshia, C. and Tauson, R. A., The effects of the command and control vehicle(C2V) operational environment on soldier health and performance, *The journal of the society for human performance in extreme environment*, 5, 66-91, 2001.
- Förstberg, J., *Ride comfort and motion sickness in tilting trains*, Doctorial Thesis, Department of Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology, Sweden, 2000.
- Gartstein, M. A., Knyazev, G. G. and Slobodskaya, H. R., Cross-cultural differences in the structure of infant temperament: United States of America(U.S.) and Russia, *Journal of infant behavior and development*, 28, 54-61, 2005.
- Hair, Jr. J. F., Tatham, R. L., Anderson, R. E. and Black, W., *Multivariate Data Analysis* (5th ed.), Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1998.
- Han, S. H., Jung, E. S., Jung, M., Kwahk, J. and Park, S., Psychophysical methods and passenger preferences of interior designs, *Applied Ergonomics*, 29(6), 499-506, 1998.
- Jöreskog, K. G. and Sordom, D., *Lisrel8: User's reference guide*, Chicago: scientific software, 1993.
- Jung, J. Y. and Cho, J. R., A study of developing Customer Satisfaction Index (CSI) used for Structural Equation, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 31(3), 85-97, 2003.
- Korail, *The survey of KTX (Korea Train eXpress) passengers' motion sickness*, Korea Railroad, Seoul, Korea, 2004.
- KRRI, *The satisfaction survey of KTX (Korea Train eXpress) passengers*, Korea Railroad Research Institute, Seoul, Korea, 2004.
- Lattin, J., Carroll, D. and Green, P., *Analyzing multivariate data*, Thomson learning Inc., USA, 2003.
- Looze, M., Kuijt-Evers, L. and Van Dieen, J., Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures, *Ergonomics*, 46, 985-997, 2003.
- Metzger, P., *Factors of Comfort* (Komfortverstandis bei Kraftfahrern), University of Berlin, Germany, 1994.
- Nahm, Y. E. et al., A Study on the Development of Comfort Evaluation Method for Automotive Seat, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 25(1), 77-86, 1999.
- Peter, V., Comfort and emotion research models have a major role to play in implementing better seating and interior design, *World Automotive Congress, FISITA 2004*. Barcelona, Spain, 2004.
- Quehl, J., *Comfort studies on aircraft interior sound and vibration*, Doctorial Thesis, Oldenburg University, Frankfurt, Germany, 2001.

◎ 저자 소개 ◎

❖ 이 주 환 ❖ leejh337@snu.ac.kr

연세대학교 산업시스템공학과 학사

현 재: 서울대학교 산업공학과 박사과정

관심분야: 인간공학, HCI, 감성공학, 사용성공학

❖ 이 철 ❖ iehis@snu.ac.kr

펜실베이니아주립대학교 산업공학과 박사

현 재: 서울대학교 산업공학과 BK조교수

관심분야: 인간공학, 감성공학, HCI, 제품디자인

❖ 김 인 기 ❖ lookat2@hanmail.net

서울대학교 산업공학과 학사

현 재: 서울대학교 산업공학과 석사과정

관심분야: 인간공학, 감성공학, HCI, 멀티미디어 디자인

❖ 윤 명 환 ❖ mhy@snu.ac.kr

펜실베이니아주립대학교 산업공학과 박사

현 재: 서울대학교 산업공학과 정교수

관심분야: 인간공학, 감성공학, 제품개발 및 디자인, HCI

논문 접수 일 (Date Received) : 2006년 10월 02일

논문 수정 일 (Date Revised) : 2007년 01월 07일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 01월 18일