

<기술논문>

승차감과 조종성능의 정량·정성 지표 상관성 연구 리뷰

김 형 준¹⁾ · 한 지 혁²⁾ · 양 지 현^{*2)}

국민대학교 자동차공학전문대학원¹⁾ · 국민대학교 자동차공학과²⁾

Review on Subjective and Objective Assessments of Ride Comfort, Handling and Steering Feeling

Hyungjun Kim¹⁾ · Jihyuck Han²⁾ · Ji Hyun Yang^{*2)}

¹⁾Graduate of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

²⁾Department of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

(Received 17 July 2015 / Revised 14 October 2015 / Accepted 15 October 2015)

Abstract : The evaluations of ride comfort, handling, and steering feeling have been known as one of the dominant factors for vehicle performance assessment. However, those factors have not been analyzed in-depth in conjunction with general ride and handling design parameters. Thus, we have surveyed some previous studies dealing with subjective parameters and quantitative design parameters. We expect this paper provides some guidance to the future research on the field.

Key words : Ride comfort(승차감), Handling(핸들링), Steering feeling(조타감), Correlation between subjective and objective metrics(주/객관적 상관성)

1. 서론

차량의 성능을 평가하는 다양한 요소 중에 인간과 가장 밀접한 연관을 가진 요소 중 하나는 승차감, 핸들링, 조타감이다. 운전자들은 차량의 승차감, 핸들링, 조타감 등 R&H(Ride & Handling) 성능을 실제로 느끼고 평가하여 차량 구매에 반영한다. 하지만, R&H 설계 시에 쓰이는 다양한 설계 인자에 이러한 운전자 또는 탑승자들의 주관적이거나 정성적인 지표들은 반영되어 있지 못하며, 일례로 R&H 설계인자, 모의실험 결과와 운전자의 정성적인 평가 지표가 일치하지 않는 경우가 많이 보고되고 있다. 따라서 차량 동역학의 승차감, 핸들링, 조타감을 표현하는 정량적 지표와 실제적으로 운전자가 느끼는 주관적 평가와의 관계에 대한 연구가 필요하다. 이에

승차감, 핸들링, 조타감의 주관적 평가와 객관적 평가에 대한 선행 연구를 조사하고, 향후 R&H 주객관성 연구의 방향을 제시하고자 한다.

2. 차량 동역학에서의 승차감, 핸들링 및 조타감

차량 동역학은 크게 차량 종역학, 차량 수직역학, 차량 횡역학으로 나눌 수 있다. 종역학은 차량의 구동 및 제동 성능, 차량 수직역학은 승차감, 차량 횡역학은 핸들링과 밀접한 관련이 있다.

차체의 x축에 대한 병진 운동에 따른 종축운동은 차량의 구동 및 제동과 주행속도의 관계인 차량 성능(performance)을 나타내고 있으며, z축에 대한 수직운동 및 y축 회전운동인 피치(pitch)는 차량의 승차감과 바퀴의 도로면 접지특성(road holding characteristic), 즉 주행안전성(driving safety)을 결정한다.

*Corresponding author, E-mail: yangjh@kookmin.ac.kr

다. 차체의 y축에 대한 병진운동인 횡측운동과 x축과 z축에 대한 회전운동인 롤(roll)과 요(yaw)는 운전자 특성을 고려하지 않는 차량 자체의 객관적인 코스안전성(course stability) 및 조종성 또는 기동성(controllability or maneuverability)을 평가하는 기준이 된다. 만일 동일한 차량운동에 운전자와 도로 및 기상상태 등의 운전환경에 대한 사항이 추가로 고려된다면 주관적인 측면의 핸들링에 대한 평가가 이루어질 수 있다.¹⁾ 제 2장에서는 일반적인 승차감, 핸들링 및 조타감의 정의와 측정, 평가 방법을 조사하여 기술하였다.

2.1 승차감

주행 중인 차량의 타이어와 불규칙한 도로면 사이에는 가진력이 작용한다. 이 가진력에 의해 발생된 진동과 소음은 현가장치를 통하여 차체로 전달되어 촉각, 시각 및 청각에 의해 탑승중인 사람에게 전달된다. “승차감”이란 보통 촉각과 시각에 의해 느끼는 진동을 기준으로 한다. 차량의 수직역학은 차체에 전달된 힘, 진동을 분석하여 승차감을 개선시킬 수 있는 방법을 제공한다.¹⁾

Els 등²⁾은 승차감을 진동에 대한 인간의 응답으로 정의 했으며, 주관적인 승차감 평가를 위해 설문지를 이용하였고, 객관적인 승차감을 측정하기 위해서 가속도계를 사용하여 차체의 요, 피치, 롤, 수직 가속도를 측정한 후 진동을 평가하는 APP(Average Absorbed Power), ISO 2631(International Standard Organization), BS 6841(British Standard), VDI 2057(Verein Deutscher Ingenieure)을 사용하여 승차감을 평가했다. APP는 진동을 받는 물체에 흡수된 에너지로 진동을 평가하는 방법이다. 흡수된 에너지는 진동을 받는 물체의 힘, 가속도 그리고 그들의 상대적인 위상으로 계산된다. ISO 2631은 진동이 전달되는 지지면에 센서를 장착하여 가속도 신호를 얻고, 이를 통해 얻어진 진동 주파수 가중곡선(frequency weighting curve)을 이용해서 진동을 평가하는 방법이다. BS 6841은 ISO 2631과 비슷한 방법으로 진동을 평가한다. VDI 2057은 인간의 경험에 의한 주관적 판단을 고려하여 승차감 지수(K-factor)를 정의하여 측정된 가속도에 적용시켜 진동을 판

단하는 방법이다.

Goncalves and Ambrosio³⁾은 승차감 및 핸들링의 최적화를 위한 차량 모델링에 관한 연구에서 차량의 승차감 특성을 정량적으로 평가하기 위해 차량과 운전자가 접촉해 있는 시트, 손, 발의 진동을 측정하여 ISO 2631을 사용하여 평가했다. 낮은 댐핑 계수와 높은 전방 스프링 강성으로 최적의 승차감을 얻었다.

안기원 등⁴⁾은 승차감에 영향을 주는 인자를 타이어, 스프링, 댐퍼 등 차량 내부 인자와 노면 가진 등의 외부 인자로 정의 하였다. 승차감의 감성평가 시 바운싱, 롤링, 피칭, 쇼크감, 하쉬니스(harshness), 하드니스(hardness), 좌석의 안락감 등의 다양한 항목들에 대하여 전문 시험요원들의 주행시험을 통하여 평가하였다. 계기평가 시에는 댐퍼의 설계변화에 따른 차체의 수직가속도에 의한 진동을 측정하여 평가하였다. 수직가속도의 RSS(Root Sum of Squares) 값과 감성평가를 비교한 결과 근사한 경향을 보였다.

조영건⁵⁾은 승차감을 ‘차량에 승차하였을 경우 전신 피폭 진동에 대한 안락감의 손실 정도’라고 정의하였고, 이는 인간이 느끼는 불쾌감을 주관적으로 나타낸 개념이라고 했다. 반면에 승차감 지수(ride value)는 불쾌감의 정도를 정량화한 양이라고 정의하고, 전신 피폭 진동 측정 장치를 통해 승차감 지수를 설정하고 승차감을 평가하였다. 발에서 병진 3축, 엉덩이에서 병진 3축 및 회전 3축, 등판에서 병진 3축으로 총 12축 전신 피폭 진동을 측정하였는데, 12개의 축 중에 발에서 Z축, 엉덩이에서 Z축, 등판에서 X축이 승차감에 가장 큰 영향이 있음을 보였다.

승차감에 대한 사전 조사를 통해 본 연구에서는 승차감을 차량 내에서의 진동에 대한 인간의 심리로 정의하였다.

2.2 핸들링

차량의 운전자는 일반적으로 차량의 주행속도뿐만 아니라 주행방향을 조종 또는 제어하는 역할을 하고 있다. 운전자는 지정된 주행코스로부터의 현재 순간이탈정도를 고려하여 조향입력 작동을 하게 되는데, 이때 시야 방해, 차량과의 상대적 운동 등의 외란요소와 기타 주행상황에 대한 추가적인 정보를

고려하게 된다. 일반적으로 운전자의 조향제어능력에 대한 한계를 고려할 때 차량의 핸들링 또는 주행 안전성은 운전자-차량-도로의 동적 제어시스템 특성에 결정적인 역할을 할 것이다.

차량의 조종안정성이란 운전자가 주어진 코스가 탈범위에 대한 신속한 제어가 용이하도록 하는 조종성(controllability 또는 maneuverability)과 외부로부터 가해지는 방해요소에 대한 차량의 자체적인 코스안정성을 종합적으로 표현하는 용어이다.¹⁾

Els 등²⁾은 핸들링을 최대 횡 가속도 또는 가능한 마찰력의 백분율로 정의했다. 핸들링을 객관적으로 평가하기 위해서 정상 상태 테스트와 과도 응답 테스트를 통해 속도에 따른 횡 가속도와 최대 마찰 한계를 측정하여 판단하였다. 강한 스프링과 강한 감쇠는 핸들링의 성능을 향상시키고 승차감은 감소시키는 것을 보였다.

Esmailzadeh 등⁶⁾은 요 모멘트(yaw moment)제어를 통해 차량의 핸들링을 향상 시키는 연구를 진행하였다.

Mammar와 Koenig⁷⁾는 능동 조향장치를 통해 추가적인 횡력을 작용시켜 요와 롤을 제어하여 타이어와 노면사이의 접지력의 감소를 최소화하고 무게 중심이 높은 차량의 전복을 방지하는 등의 핸들링 향상 효과를 보였다.

노승진 등⁸⁾은 롤 센터의 높이변화에 따른 휠 트레드의 변화와 롤 축 기울기의 변화에 따른 피치운동을 분석하여 핸들링을 평가하였다. 롤 센터의 위치가 높을수록 롤 회전 시 타이어 휠의 트레드는 증가하게 되는데, 전륜의 롤 트레드가 클수록, 후륜의 롤 트레드는 작을수록 언더스티어는 증가된다. 전륜 롤 센터가 낮아지거나 후륜 롤 센터가 높아지면 선회치 피치운동의 진동이 줄어든다. 이는 과도상태 핸들링 성능 개선에 효과가 있을 것으로 예상했다.

Goncalves와 Ambrosio³⁾는 승차감 및 핸들링의 최적화를 위한 차량 모델링에 관한 연구에서 차량의 핸들링은 다양한 차량을 운전하는 사람들의 다양한 경험에 의해서 주관적으로 측정된다고 하였다. 실험을 통해 롤오버를 최소화함으로써 최적의 핸들링을 얻었다.

핸들링의 특성을 정의하는 성능 지수는 안정성

을 손실시키지 않고 빠른 응답으로 주어진 조종을 수행하는 것과 연관된다고 한다. 핸들링에 대한 사전 조사를 통하여 본 연구에서는 좋은 핸들링 안정성을 유지하면서 조종성이 뛰어난 것으로 정의하였다.

2.3 조타감

자동차 내의 핸들(steering wheel), 브레이크패달(brake), 가속패달(acceleration) 등과 같은 기계적인 연결을 전기적인 신호로서 대체하는 X-by-Wire 기술이 많이 연구되는 상황이다.⁹⁾ 하지만 X-by-Wire 기술은 운전자에게 외부 환경의 노면 및 진동 정보를 제대로 전달할 수 없으며, 한 예로써 조타감의 중요성이 대두되었다. 조타감은 steering feel, steer feel, grip feeling 등과 같이 표현되고 있다.

조광희 등¹⁰⁾은 횡가속도 크기가 1 m/s^2 을 넘지 않는 범위에서의 조타 입력에 대한 감성으로 조타감을 정의하였으며, 조타감의 중요 요소로써 조타 토크를 사용하였다.

박일래와 유영일¹¹⁾은 조타감을 온-센터와 오프-센터의 영역으로 나누어 정차시의 조타력을 노면과 타이어의 마찰에 의한 타이어의 탄성으로 보았고, 주행 시에는 횡력과 타이어복원모멘트를 조타력으로 보았다.

김상섭과 경진실¹²⁾은 차속 100 km/h 에서 0.2 g 이하 범위의 낮은 횡가속 도로 주행 시 운전자가 느끼는 핸들링 특성을 온 센터 조타감으로 정의하였다.

Norman¹³⁾은 조타감 성능지수들을 통하여 조향각과 조향토크의 비선형 특성을 포함한 조타감 특성을 설명하였다.

조타감에 대한 사전 조사를 통하여 본 연구에서는 조타감을 운전대 조작 시의 운전대를 통해 전해지는 토크 및 외부환경에 대한 진동으로 정의하였다. 2장의 내용은 Table 1에 정리하였다.

3. 승차감, 핸들링 및 조타감의 주·객관평가의 상관성 연구 비교 분석

2장에서의 정의를 참고로, 현재까지 진행되어온 R&H 주·객관성 상관 연구를 비교 분석하고자 한다.

Table 1 Definitions of ride comfort, handling, and steering feeling

	승차감(ride comfort)	핸들링(handling)	조타감(steering feeling)
저자	박보용, 허승진 ¹⁾	박보용, 허승진 ¹⁾	조광희 등 ¹⁰⁾
정의	축각과 시각에 의해 느끼는 진동	코스 이탈범위에서 조종성 및 차량의 자체적인 코스안정성을 종합적으로 표현하는 용어	횡가속도 크기가 1m/s^2 을 넘지 않는 범위에서의 조타 입력에 대한 감성
저자	Els 등 ²⁾	Esmailzadeh 등 ⁶⁾	박일래, 유영일 ¹¹⁾
정의	진동에 대한 인간의 응답	요 모멘트 제어	정차 시 노면과 마찰에 의한 타이어의 탄성, 주행 시 횡력과 타이어복원 모멘트
저자	Goncalves, Ambrosio ³⁾	Mammar, Koenig ⁷⁾	김상섭, 경진설 ¹²⁾
정의	차량과 운전자가 접촉해 있는 시트, 손, 발의 진동	타이어와 노면사이의 접지력의 감소를 최소화하고 무게중심이 높은 차량의 전복을 방지	차속 100km/h 에서 0.2g 이하 범위의 낮은 횡가속도로 주행 시 운전자가 느끼는 핸들링 특성
저자	안기원 등 ⁴⁾	노승진 등 ⁸⁾	Norman ¹³⁾
정의	바운싱, 롤링, 피칭, 쇼크감, 하쉬니스, 하드니스, 좌석의 안락감 등	롤 센터의 높이변화에 따른 휠 트레드의 변화와 롤 축 기울기의 변화에 따른 피치운동	조향각과 조향토크의 비선형 특성을 포함한 조타감
저자	조영건 등 ⁵⁾	Goncalves, Ambrosio ³⁾	Zhang 등 ¹⁴⁾
정의	차량에 승차하였을 경우 전신 진동에 대한 안락감의 손실 정도	운전하는 사람들의 다양한 경험에 의해서 주관적 평가	평균 조향 토크 및 최대 조향 토크
종합	→수직적 이동 시 차량 내에서 진동에 대한 인간의 심리	→횡방향 이동 시 주행 거동의 안정성 및 조종성	→운전대를 통해 전해지는 토크 및 외부환경에 대한 진동

Muragishi 등¹⁵⁾은 운전자 시각 및 움직임에 따른 운전자 민감도 특성을 분석하였다. 유압시스템으로 구성된 움직임 장치(motion device)를 설계하였는데, 운전자의 조향에 의한 운전자 시각 및 움직임을 움직임기계 및 화면에 입력하여 차량의 흔들림을 구현하였다. 시각적인 부분에서는 빔 프로젝터를 이용하여 차량 그래피를 구현하였다. 단방향 시각적 및 진동에 의한 움직임 연구를 위해서 우선 실험 참가자를 대상으로 움직임 인식 실험(motion recognition experiment)을 진행하였다. 차량의 움직임 요, 피치, 롤, 횡방향 움직임(lateral), 수직 움직임(vertical) 그리고 종방향 움직임(longitude)의 단방향 움직임 실험을 진행 하였다. 그 중 한 예시를 들어 요 움직임에 따른 운전자 인식실험에서 요각(yaw angle)의 크기에 따라 실험참가자는 움직임을 인식하지 못하였고, 다른 입력 주파수에서 요각속도(angular velocity)의 크기가 같아질 때 실험참가자가 움직임을 인식하는 것을 보였다. 움직임 구별 실험에서는 횡방향 움직임에 따라서 실험참가자는 기본 0.5 Hz 의 움직임에서 주파수(1 Hz 또는 2 Hz)를 변경시킬 때 횡방향 움직임 거리에 의해서 실험참가자가 움직임

변화를 인식하는 것이 아니라, 거리 성분을 세 번 미분한 저크(Jerk)의 크기가 같아지는 시점에서 움직임의 변화를 인식하였다. 위와 같은 실험을 차량의 움직임 자유도 요, 피치, 롤, 횡방향 움직임, 수직 움직임 그리고 종방향 움직임에 따른 실험을 진행하여 Table 2의 결과를 나타낼 수 있었다. 본 연구에서는 단방향의 움직임에 관련해서 운전자가 인식 및 구별하는 요소가 다른 것을 확인할 수 있었다.

Kodaria 등¹⁶⁾은 Muragishi 등¹⁵⁾의 연구를 바탕으로 좋은 코너링 감성을 표현할 수 있는 요소를 찾는 연구를 진행하였다. 좋은 코너링 감성을 표현하는데 있어서 롤 각(roll angle)이 큰 영향을 끼치지만 그것만으로는 좋은 코너링 감성을 표현할 수 없다는 것을 알 수 있다. 실험참가자를 통해서 4대의 차량에 대해서 좋은 코너링을 평가해 보았을 때 각 차량의 롤 각에 대한 피치 각 리사주 곡선(lissajous curve)의 간격이 작은 차량이 좋은 코너링 감성을 갖는 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 롤 각과 피치 각(pitch angle) 데이터 분석에서 둘 사이 반응 시간 간격이 클 때 안 좋은 코너링 감성을 갖는다는 것을 가설로 설정하고 실험을 실시하였다. 시간 지연(time lag)

Table 2 Summary of research on correlation between quantitative and qualitative assessment of R&H

저자	연구 내용	연구 결과
Muragishi 등 ¹⁵⁾	운전자 시각 및 신체 움직임에 따른 민감도에 영향을 끼치는 차량 성능 요소 연구	요, 피치, 롤 움직임은 시각적 움직임의 영향을 받음 & 횡방향, 수직방향 운동은 신체 움직임에 영향을 받음
Kodaria 등 ¹⁶⁾	단위 횡방향 가속에 따른 롤각과 코너링 감성의 주관적 평가에 따른 지표 연구	롤각과 피치각 사이의 시간지연이 작을수록 좋은 주관적 코너링 평가를 받음
Kodaira 등 ¹⁷⁾	차량 모델에서 저크에 따른 횡방향 조타감 지표 도출 및 향상 방법 연구	횡방향 조타감은 횡방향 저크의 크기가 크고 빠르게 상승 할수록 조타감이 향상 됨
Ranawat 등 ¹⁸⁾	조향의 구조, 조향기기의 마찰, 조향 편향 최적화에 따른 조타감 향상 연구	조향기기의 마찰을 감소하고, 각 조향기기의 강도를 증가시키면 조타감이 20 % ~ 25 % 향상 됨
Trivedi와 Lakhera ¹⁹⁾	운전자의 착석 위치에 따른 지표 도출 및 승차감과의 관계 연구	운전자 위치요소의 정량화 및 운전자 위치요소와 주관적 승차 평가사이의 반비례 현상 도출
김민석 등 ²¹⁾	전문 평가자 그룹과 일반평가자 그룹으로 나누어 객관평가지수와 주관평가지수의 상관관계 연구	일반 평가자는 객관, 주관 평가가 높은 상관도를 보였지만, 전문 평가자는 엉덩이, 손, 발에서 낮은 상관도를 보임
이재영 등 ²²⁾	정차해 있는 차량을 대상으로 결빙기질량과 주관적인 진동에 대한 불편함의 상관관계 연구	피어슨 상관분석은 0.98로 결빙기 편심질량과 주관적인 불편함의 평가 사이에 높은 상관성이 있음
국민구 등 ²³⁾	타이어와 노면에 따른 승차감에 대한 객관적인 평가와 주관적인 평가의 상관도를 분석	매끄러운/거친 아스팔트에서는 속도가 높을수록, 과속 방지턱에서는 속도가 낮을수록 상관관계가 높았음

인식 실험에서 9명의 실험참가자의 약 60 %가 롤 각과 피치각 사이의 반응 지연이 0.25초의 차이에서 인식하는 것을 발견하였다. 최소 인식 시간 간격을 측정하는 실험에서는 2명의 실험 참가자가 0초 ~ 0.125초까지는 실험참가자가 시간 간격을 0초로 인식하였고, 0.2초부터 시간 간격이 0초가 아니라고 인식하였다. 실제 차량을 대상으로 시간 간격이 0초인 차량과 0.2초인 차량을 대상으로 실험참가자의 코너링 감성에 대한 주관적인 의견을 물어본 결과 0초의 차량의 경우 시야각이 안정적이고, 쉬운 코너링 자세를 만들고, 롤 현상이 명확하고, 좋은 코너링 감성을 갖는다는 평가를 받았다. 0.2초의 경우 불규칙한 요 반응을 보이며, 좋지 못한 코너링 감성을 받는다는 평가를 받게 되었다. 본 연구를 통해서 롤 각과 피치 각 사이의 시간 지연이 작을수록 좋은 코너링 감성을 갖는다는 것을 알 수 있었고, 0초가 될수록 좋은 감성을 갖는다는 것을 알았다. 차량 댐퍼 특성을 조정함으로써 시간 지연을 줄일 수 있다.¹⁶⁾

Kodaira 등¹⁷⁾은 운전자 민감도 연구에 기반을 두어 그립감(grip feeling)과 횡방향 저크 사이의 관계를 연구하고, 이론적인 차량 모델에서 횡방향 저크를 발생시키는 요소를 찾는 연구를 했다. 총 5대의 차량을 대상으로 실험참가자들의 주관적인 평을 수집한 결과 A와 B차량은 좋은 그립감을, C는 평균, D와 E는 좋지 못한 그립감을 갖는 것을 볼 수 있었다.

각 차량의 횡방향 가속도와 요 각속도(yaw rate)는 차이가 없는 것을 확인하고 횡방향 저크에서 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 횡방향 저크의 성능 그래프로써 좋은 그림감을 갖는 차량은 횡방향 저크의 최대 크기가 크고, 최대 정점을 찍는 시간이 짧다는 것을 확인하였다. 또한 실험참가자가 느낄 수 있는 저크의 크기를 구하기 위하여 웨버의 법칙(Weber's law)에 따라서 총 8명의 실험참가자를 대상으로 3 m/s³의 값에서 $3 \times 0.6 \sim 1.6 \text{ m/s}^3$ 까지 증가시키며, 실험참가자의 구별 가능한 저크의 웨버 비(Weber ratio)가 0.25라는 것을 확인하였다. 저크를 발생시키는 차량 요소는 전륜 코너링 포스가 가장 큰 영향을 끼치는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 운전자의 그림감은 횡방향 저크의 최대 크기가 클수록, 더 빨리 정점을 찍을수록 주관적인 그림감 평가가 좋다는 것을 나타낸다.

Ranawat 등¹⁸⁾은 가격 경쟁력을 위해 원가 절감을 한 차량의 핸들링이 대부분 좋지 못한 사실에 기반을 두어 차량의 기하학적 구조 변경 및 마찰 감소에 의한 편향 손실 감소에 따른 실험참가자의 핸들링에 대한 만족도의 변화 실험을 하였다. 조향의 캐스터 각도가 4.5°에서부터 1.5° ~ 2.0°의 범위에서 조향의 기하학 구조를 변경하고, 조향기기의 마찰 축소를 위해서 전륜 축과 킹핀 사이의 축이 0 mm에서 0.2 mm로 작동 및 베어링의 구동 각도가 6°에서 20°

로 작동하게 한 차량 조향 기기와 기존의 차량의 조향 기기(0 mm, 6°)사이의 조향 토크 비교 실험을 실시하였다. 두 차량의 조향 토크를 비교한 결과, 조향 토크가 5 kg에서 1.93 kg 감소함으로써 마찰이 줄어든다는 것을 알았다. 조향 시스템을 강건하기 위해 조향 브라켓 및 타이로드의 지름을 크게 하였다. 최종적으로 목표치 차량, 원가 절감 차량, 조향 구조를 변경한 원가 절감 차량을 대상으로 실험을 실시하였다. 조향 구조를 변경한 원가 절감차량의 경우 차량 응답, 중립 조향감, 과도 응답, 조향 토크, 방향 안정성, 조향 신뢰도에서 목표치 차량과 비슷한 핸들링 성능이 나타나는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 정량적인 지표를 도출하지는 않았지만 하드웨어적으로 몇몇 요소들의 변경을 통하여 핸들링을 좋게 하는 방법을 기술한데 의의가 있다.

Trivedi와 Lakhera¹⁹⁾는 총 14대 A ~ N 까지의 차량을 대상으로 일정한 회전반경(33 m)을 따라 롤 변화도를 측정 및 실험참가자들의 주관적 평가를 각 차량에 따라 실시하였다. 롤 변화도가 차량의 특성에는 영향을 끼치지만, 운전자가 롤의 발생 유무를 인식하고 차량의 탑승 만족도를 측정 할 때, 롤 변화도만으로는 충분히 설명을 못하는 것을 확인하였다. 따라서 운전자의 롤 움직임을 확인하는데 운전자의 위치 요소가 큰 영향을 끼친다는 전제하에 운전자의 위치 요소를 롤 축으로부터 삼각법을 이용하여 다음과 같이 도출하였다. 엉덩이 포인트 높이와 y축으로 방향의 엉덩이 위치를 고려한 r(회전반경, mm)을 도출하고, ϕ (roll gradient)에 따른 회전 반경을 고려하여 l (perception roll)을 구한다. 운전자 위치요소(perception roll)에 따라 실험참가자의 차량 만족도를 대조해 본 결과 롤 변화도를 대신하는 운전자 위치요소를 이용하여 운전자의 주관적인 평가를 정량화 할 수 있음을 확인하였다.

김민석 등²¹⁾은 승차감 평가를 전문운전자(test driver)에 의한 주관적 평가와 인체와 접촉하는 부위의 진동신호를 정량적인 값으로 나타내는 객관적 평가로 나뉜다고 정의하였다. 차량의 실제 차량 주행시험을 통해 탑승자가 느끼는 승차감의 주관, 객관평가에 대한 상관성을 조사했다. 직선로, 장파형로, 보수로 각각 100 m 구간에서, 직선로에서는 40,

60, 80 km/h, 그 이외에서는 20, 40 km/h의 속도로 주행 실험을 하였다. 전진진동에 대한 주관평가는 조수석, 조향 휠 진동에 대한 주관평가는 운전석에서 실험하였다. 주관평가는 전문 평가자 3명의 그룹, 일반 평가자 9명의 그룹으로 나누고, 운전석에서는 손, 조수석에서는 발, 엉덩이, 등 그리고 전체적인 승차감 5개 항목으로 실시하였다. 객관평가는 시트, 바닥, 등받이에 설치된 가속도계와 각속도 센서를 통해 가속도를 측정한 후 ISO 2631-1에서 규정한 주파수 가중함수와 축 가중 값을 적용하여 승차감 객관평가 지수를 계산하였다. 주관평가와 객관평가로 나온 결과에 Stevens의 정신물리학적 급수 법칙(psychophysical power law)²⁰⁾을 적용하여 상관관계를 도출하였다. 그 결과 주관 평가자는 발로 전달되는 진동에 대해 덜 민감하게 반응하고, 일반 평가자는 모든 평가항목에서 객관평가와 주관평가 사이의 높은 상관도를 보였지만, 전문 평가자는 엉덩이, 손, 발에서 낮은 상관도를 보였다.

이재영 등²²⁾은 승용차량의 정차진동을 고려한 수직방향 진동에 대한 인체 반응 특성과 불편함의 절대역치를 13명의 택시기사를 상대로 그 상관관계를 분석하였다. 인체의 물리적 특성을 측정하기 위해서 20 Hz ~ 40 Hz 주파수영역을 포함하는 $0.224 \text{ m/s}^2 \text{ r.m.s}$ 의 랜덤신호를 바탕으로 걸보기 편심질량의 피칭회전 모멘트의 파워스펙트럼($S_{a_z m_y}(f)$)과 상하 방향의 가속도 신호의 파워스펙트럼($S_{a_z a_z}(f)$)을 이용하여 걸보기 편심질량을 측정하였다. 사람의 심리적인 현상을 측정하는 방법으로는 20 Hz ~ 40 Hz에 대하여 5 Hz로 나뉘어 주파수에서의 불편함의 역치를 측정하였다. 이때 실험참가자에게는 불편함은 “본 승용차량의 정차진동은 불편함이 있다”를 기준으로 정하였다. 걸보기 편심질량과 불편함의 주관적 평가에서 피어슨 상관분석은 0.98로 계산되었다. 따라서 걸보기 편심질량과 주관적인 불편함의 평가 사이에 높은 상관성이 있음을 확인하였다.

국민구 등²³⁾은 승차감을 주행 중에 노면으로부터 발생하는 가진으로 인한 차체 진동의 만족 여부와 함께 승객이 느끼게 되는 안락함으로 정의하였다. 차량 내부의 진동 신호를 ISO 2631-1, BS 6841의 객관적인 평가 방법을 수행하여 정량적인 값으로 나

타내었고, 주관적인 평가는 운전석에 탑승한 전문 운전자가 평가 등급을 SAE 기준으로 10Grade로 나타내었다. 실험은 여러 종류의 동일 사이즈 타이어를 장착한 차량으로 매끄러운/거친 아스팔트(smooth/rough asphalt)에서 60 km/h, 80 km/h로 각 3번의 주행 평가를 하였고, 과속방지턱(impact bar/ bump)에서 20, 30, 40, 50, 60 kph로 3번의 주행 평가를 하였다. 객관적인 평가와 주관적인 평가의 상관도를 분석한 결과, 전체적으로 상관도가 50 % 미만으로 낮았다. 매끄러운/거친 아스팔트에서는 속도가 높을수록, 과속방지턱에서는 속도가 낮을수록 상관관계가 높았다. 또한 매끄러운/거친 아스팔트에서는 ORVVDV (overall ride value)가 상관관계가 높고, 과속방지턱에서는 ORVr.m.s가 상관관계가 높았다.

3장에서 분석한 논문은 Table 2에 정리하였다.

4. 결 론

과거부터 진행되어온 차량의 R&H의 승차감, 핸들링, 조타감에 대해서 사전 연구를 조사 및 정리하여 정의하고, R&H의 주/객관 상관성 연구 동향을 정리해 보았다. 차량 동역학 부분에서 R&H의 성능을 향상 시키는 정량적인 지표 및 방법과 더불어 기존의 R&H의 정량적인 지표인 횡방향 저크, 운전자의 위치요소, 진동신호와 차량 운전자 및 탑승자에 의한 주관적인 지표인 승차감, 핸들링 그리고 조타감의 만족도에 대한 연구의 필요성이 더욱 강조되고 있음을 확인하였다. 이와 같은 R&H의 주/객관 상관성 연구는 자동차뿐만 아니라, 국방, 전차, 비행기 등과 같은 여러 산업 분야에도 동일하게 적용될 수 있다. 또한 IT 기술 및 생체 정보인식 기기의 발전에 따라 차량의 R&H를 향상시킬 수 있는 방법과 시뮬레이션을 통한 연구의 필요성 또한 확인할 수 있었다.

후 기

본 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(No.2014R1A1002037)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- 1) B. Y. Park and S. J. Heo, Vehicle Dynamics an Introduction, Munundang, Seoul, 2001.
- 2) P. S. Els, N. J. Theron, P. E. Uys and M. J. Thoresson, "The Ride Comfort vs. Handling Compromise for Off-road Vehicles," Journal of Terramechanics, Vol.44, No.4, pp.303-317, 2007.
- 3) J. P. Goncalves and J. A. Ambrosio, "Road Vehicle Modeling Requirements for Optimization of Ride and Handling," Multibody System Dynamics, Vol.13, No.1, pp.3-23, 2005.
- 4) K. W. Ahn, W. Y. Kim, H. E. Im and W. G. Hwang, "A Study on the Evaluation of the Ride Comfort of a Large Bus," Transactions of KSAE, Vol.7, No.2, pp.343-351, 1999.
- 5) Y. G. Cho, W. S. Cheung, Y. S. Yoon and S. J. Park, "Evaluation of the Ride Values of Passenger Cars on the Unevenness and Endurance Roads," Transactions of the Korean Society of Noise and Vibration Engineering, Vol.7, No.6, pp.1025-1030, 1997.
- 6) E. Esmailzadeh, A. Goodarzi and G. R. Vossoughi, "Optimal Yaw Moment Control Law for Improved Vehicle Handling," Mechatronics, Vol.13, No.7, pp.659-675, 2003.
- 7) S. Mammar and D. Koenig, "Vehicle Handling Improvement by Active Steering," Vehicle System Dynamics, Vol.38, No.3, pp.211-242, 2002.
- 8) S. J. Noh, J. H. Park, S. H. Shin and J. H. Choi, "Study on the Roll Center for Improving Handling Performance," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.717-721, 2012.
- 9) Y. Lee and W. S. Lee, "Hardware-in-the-loop Simulation for Electro-mechanical brake," IEEE Int. Joint Conference, pp.1513-1516, 2006.
- 10) G. H. Jo, S. H. Kim, M. C. Shin and C. N. Chu, "Comparative Analysis on On-center Steering Feel with Vehicle Test," KSPE Fall Conference, pp.989-990, 2012.
- 11) I. R. Park and Y. I. You, "Theoretical Study of Steering Effort Using Autosim," KSAE Fall Conference Proceedings, pp.497-502, 1999.
- 12) S. S. Kim and J. S. Kyeong, "Effects of EPS Assist Torque on On-center Steering Feel

- Indices,” Transactions of KSAE, Vol.22, No.3, pp.186-193, 2014.
- 13) D. A. Norman, “Stages and Levels in Human-machine Interaction,” International Journal of Man-machine Studies, Vol.21, No.4, pp.365-375, 1984.
- 14) X. Zhang, Z. Xin, S. Guobiao and L. Yi, “Steering Feel Study on the Performance of EPS,” IEEE in Vehicle Power and Propulsion Conference, pp.1-5, 2008.
- 15) Y. Muragishi, K. Fukui, E. Ono, T. Kodaira, Y. Yamamoto and H. Sakai, “Improvement of Vehicle Dynamics based on Human Sensitivity (First Report) - Development of Human Sensitivity Evaluation System,” SAE 2007-01-0448, 2007.
- 16) T. Kodaira, Y. Yamamoto, H. Sakai, Y. Muragishi, K. Fukui and E. Ono, “Improvement of Vehicle Dynamics Based on Human Sensitivity (Second Report) - A Study of Cornering Feel,” SAE 2007-01-0447, 2007.
- 17) T. Kodaira, M. Ooki, H. Sakai, E. Katsuyama, Y. Muragishi, K. Fukui and E. Ono, “Vehicle Transient Response Based on Human Sensitivity,” SAE 2008-01-0597, 2008.
- 18) M. D. Ranawat, N. Jadhav and M. Deshmukh, “Improvement in Vehicle Handling through Optimization of Steering System Compliance,” SAE 2012-01-1938, 2012.
- 19) Z. Trivedi and V. Lakhera, “Perceptible Roll,” SAE International Journal of Commercial Vehicles, Vol.8, No.1, 2015.
- 20) S. S. Stevens, Handbook of Experimental Psychology, Wiley, New York, 1951.
- 21) M. S. Kim, Y. T. Kim, W. K. Moon, S. J. Ahn and W. S. Yoo, “Correlation between Subjective and Objective Assessments of Ride Comfort,” Transactions of KSAE, Vol.15, No.5, pp.56-62, 2007.
- 22) J. Y. Lee, G. J. Jeon, S. J. Ahn and W. B. Jeong, “The Study of Correlation between Objective Human Response and Subjective Discomfort Evaluation of Idle Vibration on Passenger Vehicle,” Transactions of KSNVE, Vol.22, No.5, pp.422-428, 2012.
- 23) M. G. Kuk, B. S. Kim, K. D. Sung, Y. D. Shin and C. H. Jeong, “Correlation with Objective Test and Subjective Test of the Vehicle Ride Comfort according to Tires,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.991-996, 2011.