

승용차의 내부소음평가에 대한 연구사고찰 History of evaluation of sound and noise in passenger cars

아우구스트 슈크*
August Schick

요 약 : 이 글은 영국의 자동차내부 소음연구와 보버트(Bobbert)의 첫번째 독일어로 쓰인 연구를 다루고 있다. 승용차내부소음은 높은 적외파음향(infra sound)으로 특징지어 진다. 그런 까닭으로 그러한 종류의 소음을 A-평가계측(A-rated measurement)으로 그 영향을 파악하는 것은 한계가 있다. 자동차음향공학은 특히 인공청각(artificial head)기술의 발전, 소리의 합성적 제조 및 다양한 자동차 내부 음색(timbre)에 대한 일본연구자들 (하쉬모토, 쿠와노, 남바)에 의해 상당한 성취를 경험하였다. 위의 연구들은 무엇보다도 의미분별기법(Semantic Differentials)과 다차원측정방법(Multidimensional Scaling)을 사용하고 있다. 그러한 기법의 사용은 심리측정방법을 심리음향학(Psychoacoustics), 특히 츠비커학파(Zwicker school)의 심리음향학 방법론과 결합한 것으로 볼 수 있다.1)

핵심단어: 자동차음향학, 승용차소음감측, 음색, 의미분별기법, 심리음향학적 측정

1. 자동차내부소음의 단순한 축소노력

1.1. 영국의 사례

자동차내부공간의 음향문제를 다루는 일은 나치전쟁이 끝난 뒤에도 영국음향학계에서조차 보류되어 있었다. 연구에 결정적인 동인을 제공한 사람은 나치전쟁뒤에 영국으로 이민가 상당기간 햄프턴남부에서 살다 남아프리카에서 교수직 은퇴이후 생을 마친 리트아니아계 출신학자 테오도르 프리베(Theodor Priebe)

였다. 70년대에 들어서서 영국음향학자들은 자동차내부의 음향사태에 대한 본격적인 연구를 시작하였다(62,63,78-81). 연구의 내용은 자동차내부공간의 일반적인 아늑함을 개선하는 데에 주목적을 띄고 있었다(48,54). 특히 그러한 연구에 지대한 관심을 보인 쪽은 자동차를 일종의 작업장으로 파악한 노동자연맹-위원들이었다(80). 다른 한편에선 소비자단체가 자동차소음을 비교연구대상으로 다루게끔 복돋아 주었다. 윌리엄스와 템페스트(Williams & Tempest)(81,98쪽)의 글에서 추측할 수 있는 것은 이들의 서신을 받아본 71개의 자동차제조업자들이 자동차내부 소음연구에 대해 여전히 별다른 관심을 보이지 않았다는 점이다. 물론 이러한 해석은 기업경영비밀의 숙고없는 폭로에 대한 자동차제조업자들의 보편적인 침묵에 비추어 의혹에서 완전히 자유로울 수는 없을 것이다.

* 칼-폰-오시에츠키 올덴부르크대학교 인간-환경-관계 연구소
글쓴이 아우구스트 슈크(August Schick) 교수는 독일북독의 칼-폰-오시에츠키 올덴부르크 국립대학교(Carl-von-Ossietzky University Oldenburg) 산하 인간-환경-관계 연구소(Institute for Research into Man-Environment-Relations)를 이끌고 있으며 현재 음향평가문제와 음향의미론에 연구관심을 두고 있다.

Institute for Research into Man-Environment-Relations
Carl-von-Ossietzky University Oldenburg
26111 Oldenburg (Germany)
schick@psychologie.uni-oldenburg.de

1.2. 일본의 사례

몇명의 일본학자들이 햄프턴남부에 활기를 가져다 주었다. 80년대 초반에 세이치로 남바 (Seiichiro Namba), 타케오 하쉬모토(Takeo Hashimoto), 코조 히라마추(Kozo Hiramatsu), 키요토 이즈미(Kiyoto Izumi) 그리고 토쉬오 소네(Toshio Sone)가 오랫동안 햄프턴남부에 머물렀다. 그들은 일본에 나름대로 "자동차소음"이라는 연구과제를 구축했다. 하쉬모토는 당시 일본자동차연구소에서 도쿄에 있는 세이-케이공과대학교로 자리를 옮겼다. 그루렘 세이치로 남바와 소노코 쿠와노(Sonoko Kuwano)는 독일민헨국립대학교산하의 츠뵈커교수가 이끄는 전기음향연구소와 공동연구를 진척시켰고 츠뵈커교수가 개발한 심리음향학 측정방법론을 익혀나갔다.

1.3. 독일의 사례

독일에선 보버트트가 이미 오래전부터 자동차내부 소음문제를 다루고 있었다. 그는 1988년에 열린 독일 음향학연구공동체(DAGA, Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Akustik) 제 14차 학술대회에서 이와 관련된 문제점에 대한 개요를 보여주었다[12].

2. A-평가계측된 음압수위에 대한 첫번째 의혹

승용차내부소음의 평가는 최근까지 A-평가계측의 음압수위(sound pressure level)에 의해 이루어지고 있다[17,18,70-72]. 이에 바탕을 둔 평가방식은 이미 50년대에 문제시 되었다. 보버트트[10-12]는 당시에 아우디(Audi)의 전신인 네커스울름(Neckersulm)에서 일하고 있었는데 승용차내부의 음향적 성가심(acoustical annoyance, akustische Lästigkeit)은 소리세기수위(loudness level)에 의존할 뿐만 아니라 그것의 시간적 변동에 의해서도 영향을 받고 있다고 보고했다. 그는 자신의 연구결과를 설명하기 위해서 당시에 "통계수위 (statistical level)"라는 새로운 묘안을 제시했는데, 그것을 통해 자동차간의 현저한 차이를 운곽화시킬 수 있었다. 그밖에 적외파음향및 저주파음향의 에너지량이 의외로 높다는 것이 확인되었다. 즉, 상용차뿐만 아니라 승용차에서도 주목할 만한 강렬한 2헤르츠-에서 32헤르츠 진동수영역안에 속하는 저주파소음(주해 1)이 발생한다. A-평가계측은 적외파나 저주파 음향에 의해 발생할 수 있는 장애나 손상의 가능성을 배제하는데, 왜냐하면 A-평가계측은

이런 헤르츠부분을 더이상 고려하지 않거나 그 중요성을 등한시 하기 때문이다. 템페스트(Tempest)와 브라이언(Bryan)[63, 135쪽]에 따르면 상용차와 화물차의 배기소음이 승용차내부에 뚫고 들어오기 때문에 2헤르츠와 8헤르츠사이 영역에서 10데시벨 정도의 갑작스런 소음부가현상이 일어날 수 있다. 자동차창문을 열어놓았을 경우에는 한번더 증폭이 발생한다. 그래서 자동차탑승자는 불편한 느낌을 얻게 된다. 어떤 경우에는 균형감각의 교란과 그에 동반하는 운전 불안까지도 관찰될 수 있었다. A-평가계측이 정의상 60폰(Phon)이상의 소리세기에 해당하는 에너지량을 충분히 고려하지 않기 때문에 또다른 매개변수(indicators)를 찾아야 하는 것은 명백했다. 그렇다면 음향평가를 할 때 적외파음향의 효과를 보다 적절하게 관찰하고 고려할 수 있는 어떤 해결의 길이 열리어 졌는가?

3. 음향적 성가심의 주관적 매개변수의 탐색

독일엔지니어협회(Verein Deutscher Ingenieure) VDI 2563(71)에선 자동차내부소음의 주관적 평가 문제에 다음과 같은 입장을 표방하고 있다: "알려져 있는 평가곡선에 의거한 분광(spectrum)평가는 주관적 음향인지에 보다 적합한 측정치를 얻는 목적에 유익할 수 있다."(3쪽) 음향적 성가심의 주관적 평가에 대한 선구적인 연구중의 하나가 포드(Ford), 헉스(Hughes)및 손더스(Saunders)[25]의 것이다. 그들은 소음도(degree of noisiness)에 의거해 6가지 서로 다른 차종을 비교했다: 실험대상자에게 단순한 9-단계의 범주척도가 주어졌다. 실험대상자로 하여금 매일 한종류의 시험차에 탑승시켜 4가지의 음압수위에 따라 소음정도를 평가하게끔 하였는데, 평가는 4번, 매번 1분소요, 그리고 앞자리와 뒷자리에 번갈아서, 도합 8번의 평가를 내리게 했다. 실험은 6일간 지속되었고, 각 실험-대상자는 도합 48가지 판단값을 제공하였다.

비록 위실험을 시도한 연구자들에 보고에 따르면 실험대상자들이 처음에는 스스로 그러한 과제를 수행하는데 스스로 적합한지애 의문을 제기하였지만, 그럼에도 불구하고 그들은 과제를 성공적으로 마칠 수 있었다. 글쓴이 개인적으로도 그렇게 얻은 판단값의 진술능력에 의혹을 품고 있고, 나의 의혹은 햄프턴남부에 있는 소음진동연구소(Institute of Sound and Vibration Research)에서 나온 디킨슨(Dickinson)

과 올드먼(Oldman)의 연구결과에 의해 지지되고 있다. 디킨슨과 올드먼은 PN 데시벨과 주관적 판단사이에는 선형적 관계가 존재한다는 어떤 연구결과에 대해 의혹을 제기하고 5차종의 25개의 음향상태를 매 8초간 재실험해 보았다: 25가지 음향상태를 짝비교(pair comparison)방법을 사용하여 음향적 성가심의 정도에 따라 판단케 하였다. 그렇게 해서 음향적 성가심에 따른 실험차종의 서열이 형성될 수 있었다. 실험대상자들은 너무나 짧은 자극제공시간에 대해 불만을 터뜨렸는데, 왜냐하면 한가지 실험에 너무 많은 과제가 압축되어 있었기 때문이다. 공학자들은 그러한 과제의 난이도를 다분히 의식하지 못하고 있는 게 아닌가 생각한다.

어떠한 평가방식이 음향적 성가심을 가장 잘 예측할 수 있을까?

츠뵤커와 스티븐스(Mark VI)가 각각 개발한 소리세기수위측정방법들은 소음평가(Noise Rating)나 의사소통지수(Communicability Index, Sprachverständlichkeitsindex SIL)에 비해 자동차내부소음의 음향적 성가심을 예측하는 데에 훨씬 덜 적합한 것으로 드러났다. 그러나 측정방법들간의 차이점은 그리 현격하지는 않다. 그래서 측정방법개발자들도 암묵적으로는 모든 측정방식에 방법간의 공통성을 조건지우는 주관적 평가치가 담겨져 있다고 인정하고 있다.

주관적으로 판단한 자동차내부 음향상태의 예측을 위한 다양한 평가치의 증명이 시도된 작업에 캘로우(Callow)와 헤즈(Hedges)(15)의 연구가 속한다. 그들은 자체 개발한 "종합 선호도평가(CRP, Composite Rating of Preference)"라는 새로운 방식을 선보였고, 그것의 핵심적 생각은 의사소통성을 자동차 특유의 음향상태와 결부지어 보는데에 있다: 비전문가 40명의 실험대상자로 하여금 5대의 중형급

자동차를 상이한 속도상황에서 판단케 했는데, 선호도판단과 에너지등량수위(Leq, energy equivalent level)간에 $r = 0.9$ 의 대단히 높은 상관계수가 관찰되었다. 분석에 의하면, 실험대상자의 판단이 주관적으로 위력적으로 감지된 스펙트럼분포량에 상당히 의존되어 있다는 것을 알 수 있다. 특히 두개의 진동수영역이 지배적인데, 그중 하나는 800헤르츠위에 그리고 다른 한 영역은 엔진의 가연 주파수아래에 위치하고 있다. 캘로우와 헤즈는 자신들의 연구결과에서 의사소통성을 음향 장애의 결정적인 측정매개로 참작하는 하나의 법칙을 발전시켰다. 그렇게 계산된 CRP와 주관적 판단간에 $r = 0.96$ 이라는 상관계수가 추

출되었다. 이후의 의사소통수위의 도입은 A-평가계측된 평균수위에 비해 뚜렷한 이득을 가져다 주었는데, 이것은 그리 놀라운 일은 아니다. 왜냐하면 SIL은 Leq과 마찬가지로 중간 8음정(Octave)만을 고려하기 때문이다. 캘로우와 헤즈의 경험사실은 다시 한번 [25] 입증되었는데, 즉 적외파음향효과는 충분히 참작되지 않았다.

새로이 페어하스(Verhas)[73]는 한가지 제안을 했는데, 그는 18가지의 유럽에서 제조된 중형급차종의 음향상태를 비교연구했다. 그는 30초간 120km/h 주행시의 Leq를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻어 냈다: 가장 낮은 Leq는 70.3dB(A)에, 가장 높은 Leq는 76.5dB(A)에서 관찰되었다. 이러한 데시벨의 차이는 물론 그리 두드러져 보이지 않지만 음향상태의 다양한 감지에 비추어 본다면 대단한 것이다. 무엇이 Leq와 주관적 감지사이의 차이를 규정하는가? 페어하스의 입장에 따르면 Leq는 저주파부분을 과소평가한다는 것이다. 그러한 까닭으로 페어하스는 츠뵤커의 소리세기방법(sones)을 선택했던 것이다. 츠뵤커측정방법이 일상영역에 응용하기에는 대단히 복잡하기에 페어하스는 보다 간단한 대체 방법을 구하였다. 그는 모든 실험자동차를 Leq에 의거하여 등급화하였고 그 순위체제를 총빈도(sum frequency)에 비례시켰다. 그렇게 해서 평균 Leq-등급위치를 총빈도수위와 병렬시킬 수 있었다. 거기에서 소위 PNC라 부르는 65dB(A)의 소음지수(Noisiness Index)가 추출되었다. PNC와 츠뵤커측정방법 간에는 $r = 0.96$ (PNC/sones)의 상관계수가, PNC와 Leq간에는 $r = 0.89$ (PNC/Leq)의 상관계수가 나왔다. PNC는 승용차내부의 소음상태를 위한 간편한 평가측도를 제공하는 것처럼 보이는데, 중형급 승용차의 신속한 구별에는 투박한 도구의 기능을 보여줄 뿐이다.

독일에선 공식적으로 1990년 이후 자동차내부 소음평가문제가 1970년에 완전히 개정된 VDI 2563(71)로 새롭게 다루어 지고 있다. VDI안에는 주관적 평가문제에 독립적인 장이 마련되어 있고, 개선의 여지가 있는 "자동차내부소음의 주관평가척도"가 제시되어 있다. 이 표준서를 엮은이는 다음과 같이 쓰고 있다: "보편적인 평가규범이 결여되어 있는 관계로 연구목적에 따라서 또다른 평가체계를 도입할 수 있다. 내부소음이, 예를 들면 웅웅소리(grumbling sound)와 같은, 200헤르츠아래의 진동수영역에 결정적인 영향을 받는다면 B-평가계측 내지는 비평가음압수위도 측정되어야 한다. 그렇게 함으로써 소음차이

가 보다 뚜렷하게 드러날 수 있다. 200헤르츠에서 6400 헤르츠사이의 중간 진동수영역은 의사소통성을 잘 갖출 경우에 특별히 강조된다." 여기에서 이 표준서는 베라넥(Beranek)의 발음지수 (Articulation Index)를 참조하는 것으로 그친다. 자동차공학자를 위한 음감훈련지침서도 들어있다.

A-평가계측된 소리세기, 스티븐스와 츠뵈커의 음감에 보다 적합한 소리세기, 직접적 설문조사된 음향적 성가심 그리고 의사소통수위가 얼마간 등가적이라는 것이 판명된 이후로 의당 다음과 같은 질문이 나올 수 있다: 어떤 다른 매개변수내지는 평가관점이 의미 있는 것으로 발견될 수 있을까?

4. 적외선음향의 의학적효과

의학상 당연하게 보이는 것은 먼저 청각손상에 대해 연구하는 것이었다. 음향학자들은 세계표준기구 ISO R 1999 [41]를 근거로 삼아 가능한 손상위험에 대한 진술을 유추해 내었다. 이러한 접근방식은 오늘날까지도 유효하다. 일종의 노동장소로서 자동차를 다루는 한에서 독일에서는 VDI 2058(70) 지침서가 응용되고 있다. 우리의 귀가 적외파음향을 듣지 못한다는 일반적인 생각과는 달리 1헤르츠까지 인간은 비록 소리로 듣는 것은 아니지만 소형선박엔진의 소음과 유사한 진동을 느낄 수 있다. 가브로 (Gavreau)는 아직까지도 저주파음향의 건강손상적 영향에 대한 비중을 체계적으로 경시해 오고 있다고 주장한다(주해 2).

적외파음향과는 달리 가청주파음향의 청각손상문제는 상당히 해결된 편이다. 오늘날 가청음향범위에 있는 승용차내부 소음수위는 프리트라인(Friedlein) [28]에 따르면 더이상 위험영역에 들어 있지 않기 때문에 승용차내부에서 발생할 수 있는 청각손상에 대한 연구는 더이상 적절해 보이지 않는다. 탑승자가 자의적으로 지니친 음압수위로 스스로를 부담시키는 경우를 제외하고 (라디오, 음악카세트).

일반적으로 적외파음향평가의 필요성은 아직까지는 존재하는데, 왜냐하면 캄프(Kamph)[42]의 연구 결과로 미루어 300헤르츠아래의 저주파소음지분이 여전히 승용차내부의 음향사태에 참여하고 있기 때문이다. 그러한 소음의 출처는 엔진, 바퀴 그리고 도로에 있다. VDI 2563 [71]에 -도표 3 - 언급된 소음종류의 대부분은 거의 혹은 부분적으로 적외파음향범위내에 있다. 그러므로 조사된 음향적 성가심과 의사소통수위가 얼마간 등가적이라는 것이 판명된 이후로 의

당 다음과 같은 질문이 나올 수 있다:

어떤 다른 매개변수내지는 평가관점이 의미 있는 것으로 발견될 수 있을까? 현재의 저주파소음이 승용차의 운전자와 동승자에게 어떠한 음향학적 부담을 주는가? 적외파음향이 운전중의 다양한 행위와 판단에 어떠한 영향을 끼치는가 (토론, 잠담, 반응행동, 시각인지, 행위와 동작의 협응)?

5. 소음분석과 목표지향적 음색개선의 새로운 가능성

자동차내부소음에 대한 토론은 근거에 새로운 단계로 접어들었다:

첫째로, 인공청각기술의 발전을 통해 소음을 원래적인 음감인상에 매우 가깝게 보이게 할 만큼의 양질로 녹음할 수 있게 되었다. 외귀전달함수의 분별적 고려에 의거하여 음색및 음향인상을 파악할 수 있게 되었다. 이러한 경험사실은 현재 자동차음향공학자의 작업과 사고를 지배하고 있다 (비교, 논문과 보고서 [7,8,27,28,31-33,47]). 전 세계적으로 자동차음향학자들은 HEAD acoustics 회사의 인공청각기와 Cortex electronics[83] 회사의 심리음향시스템으로 무장되고 있는데, 왜냐하면 두귀-측정기술(binaural measurement technique)에 바탕을 둬으로써 소음에 대한 다양한 주관판단이 갑자기 물리적으로 표현될 수 있게 되었기 때문이다. 게누이트(Genuit)는 그에 관해 자동차음향학에서 몇가지 훌륭한 사례를 보여주고 있다[31].

둘째로, 인공청각 입체음향학(artificial head stereophony)의 발전과 밀접하게 관련되어 있는 것은 소리합성 제조분야의 발달이다. 그것에서 신호및 소음연구의 아주 새로운 가능성이 열렸다. 인공 청각기로 녹음된 소음을 실험실에서 임의적으로 변용해 심리음향실험에 자유자재로 투입할 수 있다 [28,30,39,44,47,51,60,74,82].

셋째로, 승용차내부 음압감소의 성취로 뜻밖에 새로운 문제에 봉착하게 되었다. 여지껏 전혀 감지되지 않았던 소음을 탑승객이 갑자기 듣게 된 것이다. 예를 들면 아날로그시계의 똑딱소리, 환풍기와 연료-운반펌프의 웅웅소리. 이전에는 들리지 않던 것이 갑자기 교란하는 혹은 성가신 것으로 감지되고 있다. 프리트라인[28, 2쪽]의 말을 빌리자면 승용차가 훨씬 귀찮아져 "측정기술상 보다 훌륭한 비교-차가 주관적으로는 훨씬 불량할 수 있다". 자동차공학자와 차체설계사는 자동차내부의 절대적인 고요-가 승객에게는

바람직 하지 않다는 의견에는 일치를 보이고 있다 [26]. 자동차내부의 음향적 아늑함 (acoustical comfort)을 결정하는 변인은 무엇인가?

네째로, 프리트라인[28]이 70년대 말기에 제출한 실험보고서에선 240명의 실험대상자가 참여한 음향적 아늑함의 측정기술적 설명시도가 실망스럽게 결론났다: "차중간의 측정적으로 뚜렷한 차이에도 불구하고 주관평가와 하등의 상관관계가 밝혀지지 않았다. 이 결과는 다시금 주관판단은 대체할 수 있는 성질의 것이 아니라는 것을 입증한다. 그럼에도 불구하고 전혀 문제가 없는 것은 아니다... 근본적인 역할을 하는 것은 예를 들면 실험대상자가 측정수단개발에 스스로 참여했는지 아니면 그에 대해 호의적인 자세를 취했는지 따위의 개인적 기대이다. 일시적인 몸상태와 집중능력은 선행한 생리적 또는 심리적인 부담과 마찬가지로 결과에 영향을 끼칠 수 있다. 똑같은 자동차가 똑같은 사용자집단으로부터 다른 날짜와 다른 환경조건에 따라 자주 상이하게 판단된다. 이 경험사실은 우리의 음향적 기억이 신뢰할 만한 것이 아니라는 것을 보여준다. 우리의 청각은 적응하고 경미한 변화를 인지하게끔 계획되어 있다. 신속한 적응은 음향적으로 현격한 개선이 취해진 자동차가 이미 짧은 시간 안에 새롭게 이의를 제기당할 수 있는 효과를 가져다 줄 수 있다."(4 쪽)

다섯째로, 위에 언급한 새로운 도사공학기술 (simulation technique)에 바탕을 두어 최근 10년동안 일본에서는 자동차내부 음색(timbre, Klangfarbe) 연구가 활기를 띄었다. 왜냐하면 일본의 자동차-제조업자들은 일반적으로 음향적 아늑함의 문제를 자동차설계의 핵심으로 두었기 때문이다. 일본의 자동차음향공학자들은 일찌기 츠뵈커학파(1-6, 19-23, 64-69, 83-86)의 심리음향측정방법을 자동차 내부소음연구에 시험해 보았다. 츠뵈커의 연구서는 일본어로 번역되었고(주해 3), 츠뵈커와 그의 연구 동료들은 한 유럽자동차업자의 위탁을 받아 다양한 운전조건하에서 자동차동률향을 심리음향학적으로 연구하던 벨기에 뵈븐(Leuven)에서 온 아셰(Assche)와 반더스테드(Vanderstede)를 자문해 주었다[58]. 일본의 자동차음향공학자들은 심리물리학적(psychophysical) 및 심리음향학적인 매개변수에 근거를 둔 측정예 만족해 하지 않고 추가적으로 무엇보다도 음색연구에서 도용한 심리적 평가관점을 도입했다.

마지막으로, 여러해전부터 자동차내부공간의 능동적인 소음퇴치방법이 중요성을 얻고 있다. 부마

(Buma)[13]는 이미 대량생산주문을 받고 있는 "토요타 셀리카(Toyota Celica)" 라는 제품을 위해 위의 방식을 사용했다. 가속중 자동차내부공간의 공명에 의해 발생하는 굉음소리는 쿠라타(Kurata)와 코이케(Koike)[45] 그리고 영국자동차음향학 연구집단 "로터스(Lotus)[49]"의 연구과제중심에 놓여 있다. 저주파소음의 제거는 특히 능동적 소음퇴치에 부응하는 면이 있는데, 귀킹(Guicking)[36]의 조망에서 보듯이 그외의 어떠한 기술적인 해결안이 나올 기대는 없다. 소위 반소음(Anti-Noise)이라는 기본원리에 대한 약간 잠문적 성격의 띤 설명은 [24,59]에서, 자세한 이론은 [52]에서 참조할 수 있다.

6. 소음감지의 주요차원과 그의 물리적 원리의 탐색

음감의 다양성을 묘사하기 위해서 얼마나 많은 차원이 필요한가? 자동차소음을 배열할 수 있는 자극-특성공간은 어떠한 형태, 어떠한 구조를 지니고 있나?

자동차내부 소음상태를 언급한다는 것은 처음부터 아래와 같이 문제영역을 분리하는 것을 의미한다:

- (가) 자동차 자체가 내는 소음상태 (엔진소음)
- (나) 탑승자가 유발하는 소음상태 (대화, 구술, 전화소통)
- (다) 자동차내부에서 발생하는 소음상태 (라디오, 텔레비전, 음향장치, 전화기, 무전기)
- (라) 외부조건과 자동차와의 작용에 의한 소음상태 (차체 및 바퀴소음)
- (다) 자동차외부에서 오는 소음상태 (교통 및 경고 신호, 다른 자동차의 주행과 이동에 관한 정보: 누군가가 열차와 평행하게 달리면 추월할 것이고, 가까이 접근해 온다면?)
- (바) 멈추어 있다가 달리는 차안에서 발생하는 "고요(silence)"나 기본소음수위.

언급한 모든 소음상태는 서로 간섭하므로 주행중에 소음상태의 풍부한 뒤범벅이 일어나고 전체소음 수위 내지는 총음색이 형성된다. 각각의 소음지분의 차별적인 목록화는 VDI 2563 [71]에서 참조할 수 있는데, 승용차의 구성부분과 기능이 특정한 음감의 발원지로 묘사되고 있다. 도표 3 (16 쪽)을 보면 몇가지 전형적인 내부소음을 발생지와 진동수영역에 따라 특징지어 놓고 있다. 주목할 만한 것은 여러 소음지분이 일상생활에서도 사용하는 낱말로 표기되어 있는 것이다. 탑승자, 구매자 그리고 판매자가 자동차내부

소음에 대해 얘기할 경우 이와 유사한 낱말들을 사용할 것이다. 즉, 물리적인 지식이 없더라도 물리적으로 측정된 소음에 대해 훌륭히 의사소통할 수 있는 것이다.

음향법칙은 개별소음의 속성을 인지하고 그 차이점을 인식하게끔 해준다. 언어법칙은 인지와 경험을 지칭하고 타인에게 전달할 수 있게 해준다. 마찬가지로 우리는 원칙적으로 가능한 음향사태의 거의 무한정한 다양성을 유사성(similarity)의 원리에 따라 등급화할 수 있다. 그렇게 형성된 배열은 물리적 배열의 단순한 반영물이 아니라 인간경험체계의 능동적인 대결의 산물로 보아야 할 것이다.

상이함에도 불구하고 청각경험을 등급화 할 수 있는 소량의 핵심차원이 있는가? 음감의 다양성을 몇개의 차원으로 환원하는 것은 과학적 음향연구의 근본적인 과제이다. 이것은 음악, 언어 그리고 소음연구에 공통된 연구목적이다. 위의 진술을 나는 음향인지및 청각경험의 과정을 여러관점에서 바라보기 위한 계기로 생각하고 그래서 소음에 대해 숙고해 볼 수 있게 4가지 분석단계를 도입한다:

(가) 물리적 매개변수, 즉 진동수, 진폭 그리고 위상시발점의 분석단계. 이것은 청취자와 무관하게 이루어진다.

(나) 생리적 매개변수의 분석단계.

(다) 동물과 인간을 대상으로 한 음향실험을 통해 발견된 심리음향학적 매개변수의 분석단계. 청각경험에 근거하여 음향의 근본적인 법칙이 연구되었다. 이러한 연구는 헬름홀츠(Helmholtz)에서 시작해 베케시(Békésy), 스티븐스, 츠뵈커에 이르는 전통속에 있고, 현재의 심리음향학을 주도적으로 형성하고 있다. 오늘날 "특질분석 (Feature Analysis)"의 부분을 다루고 있는 이러한 연구는 음향-소음구별, 즉 음색성(timbre, Klanghaftigkeit), 소리세기(loudness, Lautheit), 거칠음(roughness, Rauigkeit), 날카로움(sharpness, Schärfe), 순음성(tonality, Tonhaltigkeit), 돌출성(impulsiveness, Impulshaltigkeit), 협화음(consonance, Konsonanz)과 불협화음(dissonance, Dissonanz), 화음(harmony, Wohlklang), 단순한 혹은 복잡한 음향사태의 율동형태(rhythm pattern, Schwingungsmuster)와 진행형태(time pattern, Zeitgestalt) 따위의 물리적 기초에 대한 엄청난 지식-보고를 마련해 주었다. 심리음향학에선 여지껏 순음(sinusoidal tones), 찰각음(clicks) 그리고 다양한 형태의 잡음을 주로 연구하였

다. 그러나 이러한 종류의 소리는 일상영역에서는 매우 드물다. 우리는 오히려 물체(objects), 소음발원지(sources), 의미있는 음향사태(events, streams)를 듣는다. 이렇게 인지된 자극대상에는 위에 언급한 "고차원 구조"가 중요한 역할을 한다:

- 소리세기유평도(loudness profile): 이 방법은 데이비드 그린(David Green)[35]이 개발한 것인데, 복잡한 음향사태의 분광분석에서 진폭구조가 소리분별에 대단히 중요하다는 경험사실을 제공하고 있다.

- 진동구조의 화음도와 음색: 이 방법은 테어하르트(Terhardt)가 개발한 것이다.

- 소리점증과 점소의 형태.

- 진행형태, 즉 전조(modulations)와 율동.

- 공간적 배치와 구별.

음향인지및 경험은 물리적및 심리적 변인의 단순한 반영 이상을 내포하고 있다. 그러므로 심리학에 추가적인 과제가 부여되는데, 즉 이러한 음향경험이 물리적으로 가능한지를 우선 묻지 않고 가능한 상세히 묘사해 보는 것이다. 세밀한 음향경험의 묘사란이 소모적인 분석과 해석을 유익하게 만든다. 이것은 또한 다음의 분석단계에도 해당한다.

(라) 심리적 매개변수의 분석단계: 청각경험은 물리적 기초변인으로는 충분히 묘사될 수 없다. 동물과 마찬가지로 인간 또한 의미를 감지하는데, 달리 말하자면 우리의 음감체제는 물리적 음향자극을 사용하여 청각경험을 분류, 조직, 범주화한다. 그래서 청각경험에 수 많은 다른 비물리적내지는 비생물적 조건이 가담한다. 자동차구매자는 인지, 대화, 사고, 기억, 판단, 운전 그리고 구매할때 자신의 입장, 자세, 동기, 목적, 기대, 희망과 두려움, 개인적인 특성을 갖고 온다. 특히 개인적인 특성은 시간이 지남에 따라 변하고 상황에 따라 아주 다양한 경험과 평가에 모습을 드러낸다. 약간 일반적인 표현을 쓴다면: 자동차소음은 인성, 시간 그리고 상황에 따라 의미가 변할 수 있다. 이런 인식을 신중히 받아 들인다면 탑승자및 구매자의 변하기 쉬운 판단을 보다 잘 이해할 수 있다. 이러한 의미변화의 조건을 연구하는 것이 요청된다.

7. 음색연구: 역사적 개요

자동차소음은 다양한 영업종류와 기술적 발전에 따라 변할 수 있기 때문에 이러한 다양성이 몇가지의 불변적 차원으로 환원될 수 있는지를 물어볼 필요가

있다. 개별적 차원에 어떠한 의미가 부여될 수 있는가? 어떤 변화를 관찰할 수 있는가? 환원된 몇가지의 차원은 충분한 것인가? 이러한 물음들은 이미 지난 세기에 감각생리학에서, 후에 게슈탈트심리학(Gestalt psychology)으로부터 물론 자동차에 대한 것은 아니고 악기와 관련해 제기되었던 것들이다. 우리의 귀는 얼마나 많은 종류의 감각을 생성하는가?

7.1. 음향사태의 음색 및 소음의 성질

음색과 소음연구에서 결정적인 발견을 한 사람은 헬름홀츠(38)인데, 즉 음향사태는 하나의 음향성질 혹은 하나의 소음성질을 갖고 있다는 것이다. 그는 (음악적) 음향과 소음의 구별을 가장 중요한 것으로 여겼다(주해 4). 헬름홀츠는 우리가 소리를 구분할 수 있는 능력을 지니고 있다는 경험사실에 만족해 하지 않았다. "음향감각의 외부적 흥분수단의 어떠한 차이가 소음과 음향의 구별을 결정하는가?"에 대한 질문에 그는 답하기를: "주기적 운동의 정상음향감각은 울림체의 빠른 주기적 운동을 통해, 소음감각은 비주기적 운동을 통해 발생한다."

7.2. 음향의 차원: 세기, 높이 그리고 음색

헬름홀츠는 음향과 소음을 소리의 기초적인 범주로 표현한 뒤에 다음과 같은 물음을 던지고 있다: "음향은 도대체 무엇을 통해 구별될 수 있는가?"(19 쪽). 그가 제시한 답변은 소리세기, 소리높이 (pitch, Tonhöhe) 그리고 음색이었다. 이것들의 개별적인 물리적 원리는 알려져 있다:

(가) 음향의 진동수가 크면 클수록 소음은 보다 높게 들린다:

(나) 진동의 진폭이 크면 클수록 음향은 강하게 들린다:

(다) 음색은 진동형태 내지는 기본음에 대한 화음적 배음의 동반진동의 결과이다. 다양한 음색은 하나의 기본음에 다양한 배음이 다양한 세기로 결합되기 때문에 일어난다.

음향감각의 위에 언급한 기본요소에 관한 물리적 원리는 헬름홀츠이후에 알려졌다. 연구는 계속 되었는데, 왜냐하면 특히 헬름홀츠의 음색이론이 불충분한 것으로 인식되었고 더불어 헬름홀츠의 이론으로는 설명이 안되는 수많은 음향현상이 알려졌다기 때문이다. 음색은 소리높이와 소리세기외에 음향사태의 특히 중요한 특성을 표현하는데, 왜냐하면 음색이 고유 음향, 악기, 목소리 그리고 소음의 개인성을 결정해

주기 때문이다.

음악가와 음향학자들은 음색이 다차원적 현상이라는 것에는 의견일치를 보였지만 어떻게 이것을 측정할 수 있는 가에는 상반된 입장을 보여왔다. 칼 스톰프(Carl Stumpf)(61)는 자신의 저서 *순음심리학(Tonpsychologie)*의 제 2권에 다음과 같이 설명하고 있다: "음색이라는 개념에 응축시킨 특성의 양은 너무나 화려해서 조망을 얻고자 할때 정말로 하나의 개념으로 환원하려는 시도에 명백히 의심을 품지 않을 수가 없다" (514 쪽). 음색은 아마도 소리세기와 소리높이 외에 다양한 미학적 순간을 구체화 하는 지도 모른다. 그래서 일련의 명성있는 음향학자들은 아직까지도 음색연구에 몰두하고 있다. 음색은 소리세기와 소리높이에 전가할 수 없는 모든 다른 어떤 것을 지칭하는 일종의 집합개념을 표현한다. 사실상 청각경험이 이에 버금가는 것은 두말할 나위가 없다.

음색문제(주해 5)의 복잡성에 비추어 칼 스톰프는 음색과 음향특성(Klangcharakter)을 구분하고 있는데, 음색은 감각에 가까운 관점이고, 음향특성은 감정 영역에서 파생되고 감각과 연계된 소음의 특성을 내포한다는 것이다. 오스굿(Osgood)이 후에 구별한 표의적 (denotative) 및 표음적 (connotative) 성질, 혹은 본질적 (eigentlich) 및 비본질적 (uneigentlich) 성질의 구분은 스톰프의 생각과 밀접한 연관이 있다. 이러한 역사적인 뿌리에 대해 언급하는 이유는 그러한 생각의 역사가 오늘날까지 두루 영향을 주고 있기 때문이다. 독일에서 특히 칼 스톰프의 제자인 에리히 폰 호르보스텔(Erich von Hornbostel) 그리고 프레데릭 마이어(Max Frederic Meyer)가 음향현상설명에 몰두했다. 호른보스텔(40)은 상이한 음향현상으로부터 몇가지 새로운 차원을 추출해 내었다(주해 6). 여기서 나는 음색연구사에 더이상 세밀히 들어가지 않고 짧막히 요약하는 것으로 그치겠다: 미국뿐만 아니라 서유럽에서 음향연구의 회전축이 되었던 핵심물음은 다음과 같다: 얼마나 많은 차원 내지는 속성이 순음, 협폭잡음 (small-band noise), 복합음향사태 그리고 발성모음을 특징지우는가?(주해 7)

연구방법은 부분적으로 음악적 재능이 있는 음향학자와 음악미학자들의 아주 섬세한 내성관찰에서부터 새로운 전기음향학적 실험구성원리에 바탕을 둔 체계적인 과학적 연구에까지 광범위하다. 연구결과를 다음과 같이 요약해 볼 수 있겠다: 엄청난 양의 가능한 속성이 제시되어 "현상학적 접근방법을 선호하는" 심리학자들조차 보편적인 속성배열을 인식하는 데에 고

충을 겪고 있다. 에버하르트 츠뵤커 (Eberhard Zwicker)가 60년대 후반에 새로이 이 문제를 다루기 시작했을 때 몇가지 점에서 의견일치가 존재했다:

첫째로, 순음과 협폭잡음은 소리높이와 소리세기 외에 체적(volume)과 밀도(density)에 의해 특징지어진다.

둘째로, 복합음향사태는 추가적으로 거칠음의 속성을 통해 구별된다.

츠뵤커는 발전된 전기음향학 방법론과 심리학자 스탠리 스티븐스(Stanley Stevens)로부터 받아들인 심리판단방법에 의지하여 음색연구를 시작했다. 이에 에른스트 테어하르트(Ernst Terhardt)(64)는 이미 헬름홀츠가 부분적으로 다루었던 거칠음의 측정문제와 씨름을 하고 있었다. 테어하르트를 뒤따라 폰 비스마르크(von Bismarck)(4-6)는 "정지적 음향(stationary sounds)의 음색인자특성을 추출하고 측정"하는 문제를 다루었다. 그의 연구는 심리음향학에 결정적인 방법론적 진보를 가져다 주었는데, 왜냐하면 다차원측정과 의미분별기법을 이용해, 즉 철저히 비물리화적인 그러나 언어적 및 인지적 범주를 통해 새로운 물리적 매개변수, 특히 소음의 날카로움을 확인하고 츠뵤커의 심리음향학(주해 8)의 보다 큰 틀안에 삽입하는데 성공했기 때문이다. 테어하르트의 지도하에 아우레스(Aures)(1-3)는 뒤이어 음색성계산에 성공하고 매개변수인 날카로움, 거칠음, 음색성 그리고 소리세기를 동시에 고려하는 "감각적 화음(sensorischer Wohlklang)"이라는 음향모형을 발전시켰다. 아우레스의 계산 방법은 Head acoustics 회사와 Cortex electronics 회사의 표준이 되고 있다(비교, [32]의 사례를 보시오). 츠뵤커는 성가신 소음사태를 파악하기 위해 소리세기, 낮밤시간대의 영향, 날카로움, 음향-진행변동 그리고 순음적 요소를 고려하는, 동시에 실험대상자의 선입견이 개입되지 않은 소위 "비간섭적 성가심(uninfluenced annoyance, unbeeinflusste Lästigkeit)"이라는 계산방식을 발전시켰다(86).

비스마르크의 접근방식은 오늘날까지 세계적으로 심리음향연구(14.37.55), 특히 남바, 쿠와노 그리고 하쉬모토를 축으로 하는 현재 일본자동차음향공학의 길잡이로 통하고 있다. 비스마르크적 설명은 언어의 미론에 배경을 둔 의미분별기법 내지는 홀쉬태터(Hofstätter)가 개발한 분극음광도기법(Polarity Profile)의 방법을 알고 있어야 이해될 수 있다. 소음방지 제 41호에 인쇄된 타카오(Takao)와 하쉬모토의

기고는 위의 사고및 접근방식의 한 사례를, 쿠와노와 그외의 기고는 의미분별기법의 응용사례를 보여주고 있다. 1992년에 출간된 남바의 음색입문서(53)가 일본의 응용연구에 생산적인 이론토대를 마련해 주고 있음을 최근의 일본에서 나오는 연구보고서에서 알아챌 수 있다. 일본의 자동차음향공학은 그밖에 음악강당의 음향판단(46.76.77)을 위해 개발된 크레머학파(Cremer school)의 방법이나 확성기와 보청기의 음향재현도 평가를 위해 개발된 가브리엘손(Gabrielsson)측정에도 의존하고 있다(29, 2)

주해:

1. 이와 관련된 개념화작업은 여지껏 통일을 이루지 못했다. 쿠비첵(Kubicek)(43)(8f 쪽)은 이 문제를 다음과 같이 묘사하고 있다: "적외파음향은 일반적으로 가청주파수범위 아래에서 공기중에 분산된 음향으로 이해될 수 있다. 적외파음향 가청주파수한계에 대해서는 의견일치를 보이고 있지 않다. 독일 물리학교재는 상한선을 16헤르츠에 두고 있는 반면에, 영국과 일본서적에는 20헤르츠 혹은 40헤르츠로 표기되어 있다. 덴마크와 폴란드교재에는 31.5헤르츠를 적외파음향으로 명시하고 있다. 연구의 대부분은 답게는 4헤르츠, 작게는 2헤르츠내지는 1.5헤르츠에서 연구가 중단된다고 보고하고 있다. 세계표준기구 ISO 7196에서는 적외파음향을 2헤르츠에서 16헤르츠에 이르는 평균진동수를 지닌 3도 진폭(third-band, Terz-Band)영역으로 정의내리고 있다. 영국과 일본서적에는 적외파음향외에 저주파음향(low frequency sound)이라는 개념을 동시에 사용하고 있다. 저주파음향은 적외파음향을 포함한 100 헤르츠 아래의 가청주파수범위를 일컫는다. 몇 경우에는 저주파음향을 20헤르츠에서 40헤르츠, 63헤르츠, 100헤르츠 혹은 200헤르츠까지 걸쳐있는 가청주파수범위로 지칭하고 있기도 하다.

2. 뢰랜더(Rieländer)(57)(150 쪽)는 적외선음향이 인간의 가청영역에 해당하지 않기 때문에 소음퇴치에

2) 옴진이 병호 최(Byongho Choe)는 1996년에 독일 레겐스부르크국립대학교(University Regensburg)산하 실험-심리학 연구소(Institute of Experimental Psychology)에서 심리학 디플롬과정(Diplom Psychologie)을 이수하고 1997년부터 칼-폰-오시에츠키 올덴부르크국립대학교산하 인간-환경-관계 연구소의 연구원으로 있으며, 글쓴이 아우구스트 슈크교수의 지도하에 박사논문준비를 하고 있다. 연구관심을 심리음향학과 심리측정이론에 두고 있다.

(E-mail: byongho.choe@psychologie.uni-oldenburg.de)

하등의 의미가 없다는 입장을 취했다.

3. 1992년에 야마다(Yamada)에 의해 간행된 "심리음향학" 번역서는 부록에 심리음향학의 핵심개념을 짚막하게 독일어-일본어로 비교한 색인이 첨부되어 있다.

4. 헬름홀츠는 다음과 같이 서술하고 있다: "바람의 쐼쐼소리, 쿵쿵소리 그리고 쉬이소리, 물의 철빙소리, 마차의 우르르소리와 잘그랑소리따위는 소음의 사례이고, 모든 악기가 내는 소리는 음향의 사례이다. 소음과 음향은 가지각색의 변화비율로 교합하고 중간 단계에 서로 맞물릴 수 있다. 그러나 그 극단은 서로 분명히 분리할 수 있다. 음향과 소음의 차이의 본질을 확인하고자 할 경우 부자연스러운 보조수단에 의지하지 않고서도 대체로 귀를 세심하게 관찰하는 것만으로도 충분하다. 일반적으로 소음의 진행과정중 다양한 음감의 신속한 변화가 발생한다는 것을 알 수 있다. 돌포장도로위에서 마차가 내는 잘그랑소리, 폭포 혹은 파도에서 흘러나오는 철빙소리와 팔팔소리, 숲속의 나뭇잎이 부딪쳐내는 삐삐소리를 상상해 보라. 여기에서 우리는 빠르고 불규칙적이지만 돌출적으로 다양한 소리의 급속한 변화를 또렷이 인식할 수 있다. 바람이 스치면서 내는 윙윙소리에서는 변화가 느린 편인데, 소리는 시냇물로 높이 오른다음에 다시 낮아진다. 많건 작건간에 대부분의 소음종류에서도 갖가지의 불안정하게 변화하는 소리의 구분이 어렵지 않다. 뒤에서 우리의 귀로 하여금 구별을 수월하게 해주는 보조수단인 공명기(resonators)를 알게 될 것이다. 음악의 음향은 우리의 귀에 울리는 동안 완전히 안정되고 고른 그리고 변화가 없이 지속되는 소리로 감지되고, 그 안에서는 다양한 구성-성분의 어떠한 변화를 구별할 수 없다. 음악의 음향은 달리 말하자면 단순하고 규칙적인 감각의 일종인 반면에 소음에는 갖가지의 음향감각이 규칙적으로 혼합되어 뒤섞여 엉켜있다. 예를 들어 한 옥타브내지는 두 옥타브범위에서 피아노의 전체건반을 동시에 두드려 본다면 실제로 소음이 음악의 음향으로 재구성 될 수 있음을 수긍할 수 있다. 여기에서 명료해지는 것은 음악의 음향이 소음감각의 단순하고 규칙적인 요소라는 점이다. 그러므로 우리는 이러한 감각의 법칙과 특성을 연구해야 할 것이다." ([33] 14f 쪽)

5. 스토프는 음향을 특징화하는 낱말보고, 즉 어휘

가 포도주판매업자의 어휘와 비교될 수 있다고 생각했다. 오늘날까지 세계연구보고서에서 사용하고 있는 음향의 다섯가지 차원을 특징지은 스토프의 시도는 나에게서는 아주 중요하게 여겨진다:

(가) 쾌적한(pleasant, angenehm) - 불쾌한(unpleasant, unangenehm)

(나) 담박한(mild), 은은한(sweet, süß), 부드러운(soft, weich), 감미로운(melting, schmelzend) - 날카로운(sharp, scharf), 딱딱한(hard, hart), 거칠은(rough, rauh)

(다) 넉넉한(full, voll), 편편한(wide, breit), 진득한(pastry, pastos) - 공허한(empty, leer), 뾰족한(peaky, spitz), 가느다란(thin, dünn), 멍멍한(nasal, näselnd)

(라) 밝은(bright, hell), 미끈한(glossy, glänzend), 금속적인(metallic, metallisch), 청아한(silvery, silbern) - 어두운(dark, dunkel), 둔감한(dull, stumpf), 탁한(dim, trüb), 은폐적인(veiled, verschleiert), 무딘(wooden, hölzern)

(다) 힘찬(powerful, kräftig), 빙빙거리는(warbling, schmetternd), 웅웅거리는(booming, dröhnend), 기품적인(noble, edel), 화려한(splendid, prächtig), 격렬한(ardent, feurig), 장엄한(majestic, majestätisch), 몽환적인(romantic, romantisch) - 온화한(mellow, sanft), 건조한(dry, trocken), 천박한(vulgar, gemein), 칙칙한(gloomy, düster), 음울한(melancholy, melancholisch), 구슬픈(elegiac, elegisch), 목가적인(idyllic, idyllisch)

6. 헬름홀츠의 음향과 소음의 구분에 근거를 두어 호른보스텔은 두개의 과도계열을 첨가했다:

순음-음향-발성모음-소음. 그에 따르면 순음과 음향은 잔잔하면서 주관적으로 들리는 반면에 소음은 대체로 격동적이면서 구체성을 띄고 있다. 모음성(vocality, Vokalhaftigkeit), 순음성(tonality, Tonigkeit, Tonförmigkeit), 순음친화성(Tonverwandtschaft), 음정(interval) 그리고 협화음은 음향사태의 특별한 속성이다. 호른보스텔의 또다른 개념은:

(가) 밝기(brightness, Helligkeit): 이것은 음향의 저항력이 있는 측면을 표시하는데 소음장애의 여러 요소에도 불구하고 잔존한다.

(나) 운동진행(movement course, Bewegungsverlauf): 이것은 두개의 순음이 순차적 진행을 할

대 선율형태와 표현의미에 결정적인 역할을 한다.

(다) 연장성 내지는 공간확장성(extension, Ausdehnung): 큰 연장성의 인상을 호른보스텔은 다음과 같은 속성과 연계짓고 있다: 조밀하지 않은(leaking, undicht), 단단하지 않은(unsolid, unfest), 느슨한(loose, locker), 산만한(diffuse, diffus), 부드러운(soft, weich), 무딘(dull, stumpf), 느긋한(sedate, behäbig), 진득한(thick flowing, dickflüssig), 경쾌하지 않은(heavy, schwer), 뜸직한(sedate, behäbig). 반면에 작은 연장성의 인상은 조밀한(dense, dicht), 단단한(solid, fest), 응집된(compact, kompakt), 농축된(concentrated, konzentriert), 견고한(hard, hart), 뾰족한(peaky, spitz), 활기있는(vivid, lebhaft), 가동적인(mobile, beweglich), 가벼운(light, leicht) 따위의 속성에 의해 특징지어진다.

(라) 중량과 밀도: 세기와 높이를 결합하면 중량이 생긴다. 중량의 속성에는 크고 깊은 것의 합성이 작고 높은 것의 합성에 대비되어 있다. 밀도의 경우에는 크고 높은 것의 합성이 작고 깊은 것의 합성에 대비되어 있다.

7. 발성모음은 일찌기 청각연구에서 비언어성 음향과 밀접한 관계에 있는 중요한 언어성분집합으로 인식되고 있었다. 일상생활의 수많은 음향은 발음모음 "이(i)"의 밝은 순음을, 발음모음 "우(u)"의 둔탁한 순음을 지니고 있다. 이러한 경험사실은 "모음성"이라는 개념과 관련이 있다. 스톨프의 유명한 제자인 볼프강 쾰러(Wolfgang Köhler)는 발성모음 인지이론에서 소음이론을 유추해 보려는 생각을 품었다.

8. 에버하르트 츠뵤커는 이러한 접근방식의 유효성을 이미 자신의 소리세기와 소리높이 인지분석을 통해 입증해 보였다.

참고문헌

- [1] Aures, W.: Berechnungsverfahren für den sensorischen Wohlklang beliebiger Schallsignale. Acustica 50, 130-141, 1985.
- [2] Aures, W.: Der sensorische Wohlklang als Funktion psychoakustischer Empfindungsgrößen. Acustica 58, 282-290, 1985.
- [3] Aures, W.: Der Wohlklang: eine Funktion der Schärfe, Rauigkeit, Klanghaftigkeit

und Lautheit. In: Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Akustik (DAGA): Fortschritte der Akustik. Plenarvorträge und Kurzreferate der 10. Tagung der DAGA, Darmstadt, 735-738, 1984.

- [4] Bismarck, G.v.: Extraktion und Messung von Merkmalen der Klangfarbenwahrnehmung stationärer Schalle. Diss., TU München, 1972.
- [5] Bismarck, G.v.: Sharpness as an attribute of the timbre of steady sounds. Acustica 30, 159-172, 1974.
- [6] Bismarck, G.v.: Timbre of steady sounds: A factorial investigation of its verbal attributes. Acustica 30, 146-158.
- [7] Blauert, J.: Some basic consideration of sonic quality. In: JRC-Seminar "Psychoacoustics" in Stuttgart/Möhringen at Daimler-Benz on 7th of April, 1992.
- [8] Blauert, J.: Some basic consideration of sonic quality. J. Acoustique 5, 379-385, 1992.
- [9] Bobbert, G.: Lautstärkenpegel im Kraftwagen bei verschiedener Verkehrssituation. Kampf dem Lärm 5, H. 6, 14-16, 1958.
- [10] Bobbert, G.: Geräusche im Innenraum von Personenwagen. VDI-Zeitung 101, 1217, 1959.
- [11] Bobbert, G.: Komponentenbestimmung bei Kraftfahrzeug-Geräuschen. Acustica, Akustische Beihefte 11, 276, 1961.
- [12] Bobbert, G.: Innengeräusche von Kraftfahrzeugen. In: Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Akustik: Fortschritte der Akustik. Plenarvorträge und Kurzreferate der 14. Gemeinschaftstagung der DAGA, Braunschweig, 1988. Bad Honnef: DPG-Verlags-Gesellschaft, 229-243, 1988.
- [13] Buma, S.: Toyota active control suspension system for the 1989 Celica. In: Acoustical Society of Japan (Ed.): International Symposium on Active Control of Sound and Vibration, Proceedings, Tokyo: ASJ.

- 517-521, 1991.
- [14] Bregman, A.S.: Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound. Cambridge: MIT 1990.
- [15] Callow, G.C. & Hedges, R.: The subjective response of occupants to the noise inside vehicles. MIRA Report 1979/1. Motor Industry Research Association, Nuneaton 1979.
- [16] Dickinson, S.M. & Oldman, M.: An investigation of the subjective response to interior car noise. Institute of Sound and Vibration Research. Memo 538, 1975.
- [17] DIN 45 639 Innengeräuschemessungen in Kraftfahrzeugen. Berlin: Beuth 1969.
- [18] DIN ISO 5128: Innengeräuschemessungen in Kraftfahrzeugen. Berlin: Beuth 1984.
- [19] Fastl, H.: Roughness and temporal masking patterns of sinusoidally amplitude modulated broadband noise. In: Evans, E.F. (Ed.): Psychophysics and physiology of hearing. London: Academic Press, 403-414, 1977.
- [20] Fastl, H.: Fluctuation strength and temporal patterns of amplitude modulated broadband noise. Hearing Research 8, 59-69, 1982.
- [21] Fastl, H.: Loudness and annoyance of sound: subjective evaluation and data from ISO 532 B. Proceedings Inter'Noise 85 Munich. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Tagungsbericht Nr. 39, Vol. II, 1403-1406, 1985.
- [22] Fastl, H.: Psychoacoustics and noise evaluation. In: JRC-Seminar "Psychoacoustics" in Stuttgart/Möhringen at Daimler-Benz on 7th of April 1992.
- [23] Fastl, H. & Bechly, M.: Post masking with two maskers: Effects of bandwidth. J. Acoustical Society of America 69, 1753-1757, 1981.
- [24] Föllner, D.: Antischall-Chance und Grenzen. Automobiltechnische Z. 94, 88-93, 1992.
- [25] Ford, R.D., Hughes, G.M. & Saunders, D.J.: The measurement of noise inside cars. Applied Acoustics 3, 69-84, 1970.
- [26] Freymann, R.: Das Auto-Klang statt Lärm. In: Langenmaier, Arnica-Verana (Hrsg.): Der Klang der Dinge: Akustik-eine Aufgabe des Design. München: Verlag Silke Schreiber, 45-57, 1993.
- [27] Friedlein, J.: Subjektive Akustik-ein objektives Mittel der Geräuschbeurteilung? In: Geib, W. (Hrsg.): Geräuschminderung bei Kraftfahrzeugen. Braunschweig: Vieweg & Sohn, 175-190, 1988.
- [28] Friedlein, J.: "Subjektive Akustik" ein objektives Mittel der Geräuschbeurteilung? Schweiz: Interkeller-Konferenz 1989.
- [29] Gabrielsson, A. & Lindström, B.: Perceived sound quality of high-fidelity loudspeakers. J. Audio Eng. Soc. 33, 33-53, 1985.
- [30] Geissler, H. & Hackenbroich, D.: Einsatz numerischer Methoden in der Fahrzeugakustik. Ein Überblick aus der Nutzfahrzeug-Entwicklungspraxis heraus-Teil 2. Automobilindustrie, 19-30, 1992.
- [31] Genuit, K.: Kunstkopf-Messtechnik-ein neues Verfahren zur Geräuschdiagnose und -analyse. Z. für Lärmbekämpfung 35, 103-108, 1988.
- [32] Genuit, K.: Evaluation of sounds (loudness and annoyance). Binaural sound measurement. A new start of hearing-adapted classification of noise. In: Schick, A. Hellbrück, J. & Weber, R. (Eds.): Contributions to Psychological Acoustics V. Results of the Fifth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Oldenburg: BIS, 99-118, 1991.
- [33] Genuit, K.: Sound quality, sound comfort, sound design-why using Artificial head measurement technology? In: JRC-Seminar "Psychoacoustics" in Stuttgart/Möhringen at Daimler-Benz on 7th of April 1992.
- [34] Genuit, K. & Blauert, J.: Evaluation of sound environment from the viewpoint of

- binaural technology. In: Proceedings ASJ International Symposium in Osaka: Contribution of acoustics to the creation of comfortable sound environment. Tokyo: Acoustical Society of Japan, 27-38, 1992.
- [35] Green, D.M.: Profile Analysis: Auditory Intensity Discrimination. New York: Oxford Univ. Press 1988.
- [36] Guicking, D.: Active noise control-achievements, problems and perspectives. In: Acoustical Society of Japan (Ed.): International Symposium on Active Control of Sound and Vibration. Proceedings. Tokyo: ASJ, 109-118, 1991.
- [37] Handel, S.: Listening: An Introduction to the Perception of Auditory Events. Cambridge, Mass.: MIT 1989.
- [38] Helmholtz, H.v.: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig: Vieweg und Sohn, 1896.
- [39] Heng, R.B.W.: The acoustics of the passenger compartments of luxury vehicles. 14th ICA Beijing, 2-3, 1992.
- [40] Hornbostel, E.M.: Psychologie der Gehörerscheinungen. In: Bethe, A. (Hrsg.): Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. Berlin, 701-730, 1926.
- [41] ISO DIS 1999/2 Acoustics-Determination of Occupational noise exposure and estimation of noise-induced impairment. Berlin: Beuth 1984.
- [42] Kamph, E.: Analytical tool for predicting transmission of low frequency noise and vibrations in cars. In: Jonasson, H.G. (Ed.): Inter'Noise 90. Gothenburg-Sweden. Vol. II, 855-859, 1990.
- [43] Kubicek, R.: Vorkommen, Messung, Wirkung und Bewertung von extrem tieffrequenten Schall einschliesslich Infraschall in der kommunalen Wohnumwelt. Zwickau: Diss. an der TH 1989.
- [44] Kucukay, F. & Pfeiffer, F.: Über Rasselschwingungen in Kfz-Schaltgetrieben. Ing. Arch. 56, 25-37, 1986.
- [45] Kurata, Yuji, Koike & Naohisa: Adaptive active attenuation of interior car noise. In: Acoustical Society of Japan (Ed.): International Symposium on Active Control of Sound and Vibration. Proceedings. Tokyo: ASJ, 297-302, 1991.
- [46] Lehmann, P. & Wilkens, H.: Zusammenhang subjektiver Beurteilungen von Konzertsälen mit raumakustischen Kriterien. Acustica 45, 256-268, 1980.
- [47] Letens, U.: Einführung in die Methoden der subjektiven und objektiven Geräuschbeurteilung bei der Entwicklung von Kraftfahrzeugen. Vortrag bei der Technischen Akademie Wuppertal 1991.
- [48] Manenica, I. & Corlett, E.N.: A model of vehicle comfort and a method for its assessment. Ergonomics 16, 849-854, 1973.
- [49] McDonald, A.M., Elliott, S.J. & Stokes, M.A.: Active noise and vibration control within the automobile. In: Acoustical Society of Japan (Ed.): International Symposium on Active Control of Sound and Vibration. Proceedings. Tokyo: ASJ, 147-156, 1991.
- [50] Miller, J.R. & Carterette, E.C.: Perceptual space for musical structures. J. Ac. Soc. Am. 58, 711-720, 1975.
- [51] Miyauchi, K., Komine, N. & Nakamura, M.: Development of noise simulation system and its applications (in Japanese). In: Vorträge der wissenschaftlichen Versammlung der Gesellschaft für Autotechnik (Jidosha Gijitsukai-Gakujitsu Koenkai-Maezurishu). JSAE Convention Proceedings 902, Vol. 1, 1401-1404, 1990.
- [52] Möser, M.: Aktive Kontrolle einfacher, selbsterregter Resonatoren. Acustica 69, 175-184, 1989.
- [53] Namba, S.: Die Messung der Klangfarbe und deren Anwendung (in Japanese). Tokyo: Oyo-Gijutsu-Shuppan 1992.

- [54] Osborne, D.J. & Clarke, M.J.: The development of questionnaire surveys for the investigation of passenger comfort. *Ergonomics* 16, 855-869, 1973.
- [55] Plomp, R.: The ear as a frequency analyzer. *J. of the Acoustical Society of America* 36, 1628-1636, 1976.
- [56] Plomp, R.: Aspects of tone sensation. A psychophysical study. London: Academic Press 1976.
- [57] Rieländer, M.M.(Hrsg.): Reallexikon der Akustik. Frankfurt am Main: Bochinsky 1980.
- [58] Sas, P. & Vanderstede, F.: Objective evaluation of gearbox on a production line. In: Jonasson, H.G. (Ed.): *Inter'Noise 90*, Vol. II, 1009-1012, Gothenburg-Sweden 1990.
- [59] Sietmann, R.: Lärminderung: Intelligenz an der Quelle ansetzen. *Wirtschaftswoche* vom 29.05.1992.
- [60] Spillane, A.F.: Autotech 85: 'Analysis and Simulation'. MT Autotech '85-International Automotive Technology Exhibition and Congress. Inst. of Mechanical Engineers, London, England, 1985.
- [61] Stumpf, C.: *Tonpsychologie*. Leipzig: Hirzel 1883 (Band I), 1890 (Band II).
- [62] Tempest, W.: Low frequency noise annoyance. *Acustica* 29, 205-209, 1963.
- [63] Tempest, W. & Bryan, M.E.: Low frequency sound measurement in vehicles. *Applied Acoustics* 5, 133-139, 1972.
- [64] Terhardt, E.: On the perception of periodic sound fluctuations (roughness). *Acustica* 30, 201-213, 1974.
- [65] Terhardt, E.: Wohlklang und Lärm aus psychophysikalischer Sicht. In: Schick, A. & Walcher, K.P. (Hrsg.): *Beiträge zur Bedeutungslehre des Schalls. Ergebnisse des 3. Oldenburger Symposions zur psychologischen Akustik*. Bern: Lang, 403-409, 1984.
- [66] Terhardt, E.: Aspekte und Möglichkeiten der gehörbezogenen Schallanalyse und -bewertung. *DAGA '81*, 99-110, VDE-Verlag 1981.
- [67] Terhardt, E.: On the perception of periodic sound fluctuations (roughness). *Acustica* 30, 201-213, 1974.
- [68] Terhardt, E.: Psychophysical aspects of the perception of speech and music in rooms. In: Ozimek, E. (Ed.): *Proceedings of the international Symposium on Subjective and Objective Evaluation of Sound*. Singapore: World Scientific Publ., 292-302, 1990.
- [69] Terhardt, E., Stoll, G. & Seewann, M.: Algorithm for extraction of pitch and pitch salience from complex tonal signals. *J. of the Acoustical Society of America* 72, 679-688, 1982.
- [70] VDI 2058, Blatt 2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. Berlin: Beuth 1988.
- [71] VDI 2563: Geräuschanteile von Strassenfahrzeugen. Messtechnische Erfassung und Bewertung. Berlin: Beuth 1990.
- [72] VDI 2574: Hinweise für die Bewertung der Innengeräusche von Kraftfahrzeugen. Berlin: Beuth 1981.
- [73] Verhas, H.P.: The noise climate inside motor-cars: an evaluation of noise in mid-class cars of different make. In: Federation of Acoustical Societies of Europe (FASE): *Proceedings 8th Symposium on Environmental Acoustics*, 157-160, Zaragoza 1989.
- [74] Weibel, O.: Arbeitsmethoden zur Optimierung passiver Massnahmen am Fahrzeug. In: Geib, W. (Hrsg.): *Geräuschminderung bei Kraftfahrzeugen*. Braunschweig: Vieweg, 96-106, 1988.
- [75] Weibel, O.: Wirkung der Luftschallabsorption auf den akustischen Komfort von Fahrzeugen. In: Gahlau, H. (Hrsg.): *Geräuschminderung durch Werkstoffe und Systeme*. Ehningen: Expert,

- 133-151, 1986.
- [76] Wikens, H.: Mehrdimensionale Beschreibung subjektiver Beurteilungen der Akustik von Konzertsälen. *Acustica* 38, 10-23, 1977.
- [77] Wikens, H. & Brünning: Vergleich der subjektiven Beurteilung von Lautsprechern aus Paarvergleichen und Einzelbeurteilungen. DAGA Bochum 1978. Berichtheft, 587. VDE-Verlag Berlin 1978.
- [78] Williams, D.: Noise in transportation. In: Tempest, W. (Ed.): *The noise handbook*. London: Academic Press, 215-235, 1985.
- [79] Williams, D.: Noise in heavy goods vehicles. *Journal of Sound and Vibration* 43 (1), 97-107, 1975.
- [80] Williams, D. & Tempest, W.: Measurement and subjective assessment of noise in motor vehicles. *Human Factors in Transport Research* (based on the Proceedings of the International Conference on Ergonomics and Transport). Vol. 2: User Factors: Comfort, The Environment and Behavior. London: Acad. Press, 186-194, 1980.
- [81] Williams, J. & Jones, D.M.: Noise and driver performance. In: Osborne, D. & Levis, J.A. (Eds.): *Human research: Vol. II. User factors: Comfort, The Environment and Behavior*. London: Acad. Press, 165-172, 1980.

History of evaluation of sound and noise in passenger cars

August Schick

(Carl-von-Ossietzky University Oldenburg, Germany)

요 약 : 이 글은 영국의 자동차내부 소음연구와 보버르트(Bobbert)의 첫번째 독일어로 쓰인 연구를 다루고 있다. 승용차내부소음은 높은 적외파음향(infra sound)으로 특징지어 진다. 그런 까닭으로 그러한 종류의 소음을 A-평가계측(A-rated measurement)으로 그 영향을 파악하는 것은 한계가 있다. 자동차음향공학은 특히 인공청각(artificial head)기술의 발전, 소리의 합성적 제조 및 다양한 자동차 내부 음색(timbre)에 대한 일본연구자들 (하쉬모토, 쿠와노, 남바)에 의해 상당한 성취를 경험하였다. 위의 연구들은 무엇보다도 의미분별기법(Semantic Differentials)과 다차원측정방법(Multidimensional Scaling)을 사용하고 있다. 그러한 기법의 사용은 심리측정방법을 심리음향학(Psychoaoustics), 특히 츠뮌커학파(Zwicker school)의 심리음향학 방법론과 결합한 것으로 볼 수 있다.1)

핵심단어: 자동차음향학, 승용차소음감측, 음색, 의미분별기법, 심리음향학적 측정