

인간의 감성과 인공 신경망 회로를 이용한 음질 인덱스 개발에 대한 연구

이 상 권*

(인하대학교 음향 및 동역학 연구실)

1. 머리말

지난 수 십 년간 국내산업 성장과정에서 실생활에 사용되는 냉장고, 에어컨, 세탁기, 진공청소기 등 여러 가지 가전제품과 철도, 항공기, 승용차 등의 교통수단과 주택, 사무실, 학교 및 공연장에 이르기까지 우리 주변의 여러 제품들은 견고한 내구성 및 성능 등이 상당히 강조되었다. 제품의 성능 증가에 필수적으로 역행하는 소음 진동의 문제는 제품에 대한 상품성을 하락시키는 주요한 요인이 되어서 진동 소음의 저감이 제품의 상품성 향상에 중요한 인자로서 역할을 하기 시작했고 이러한 소음진동을 저감하기 위한 노력은 지난 15여 년 동안 계속되어 왔다. 따라서 진동 소음도 제품의 성능에 편입되어 개념설계⁽¹⁾ 및 개발의 중요한 인자로 삽입되어 연구되어 왔다.

이제 21세기에 접어들면서 소음(noise)에 대한 문제는 소비자들의 소득증가와 삶의 질이 향상됨에 따라서 단순히 소리의 크기를 줄이는 소음 저감에만 관심이 있는 것이 아니라 음에 대한 질 즉 음질(sound quality)에 대한 관심을 가지기 시작했다.⁽²⁾ 이러한 음질에 대한 문제는 일부 스포츠 카를 만드는 자동차회사에서는 오래 전부터 관심

의 대상이 되어왔다. 물론 아직까지 일부 산업은 예를 들면 철도주변소음, 공항주변소음 등의 환경소음은 소리의 크기를 줄이는데 더욱 관심이 있으며 향후에도 마찬가지로 일 것으로 사료된다.

그러나 제품의 성능이 소리의 특성에 따라서 영향을 받는 상품들은 단순히 소리의 크기만을 저감시키는 기술로서는 제품에 대한 상품성을 기대하기는 어려운 시대가 도래하고 있다. 예로서 자동차를 렌트하여 여러 가지 차를 운전한 경험을 가진 사람은 이러한 사실을 알 수가 있다. 어떤 자동차는 시동을 켜는지 켜지지, 가속 시 자동차가 가속되고 있는지 아니면 정속으로 가고 있는지, 알 수가 없는 경우가 종종 있다. 때로는 자동차 엔진의 소리를 통하여 우리는 자동차의 상태를 파악할 수가 있다. 따라서 국내외 우수 자동차 회사에서는 이 분야에 대한 미래형자동차 설계가 시작되고 있다. 최근에 도요타자동차 회사는 미래형 컨셉트카 '포드'를 2002년 시카고 모터쇼에 등장시켰다. 도요타와 소니사가 공동개발한 '포드'는 운전자의 감정을 인식할 수 있는 인공지능을 갖추고 있는 시스템이다.(조선일보 2002년 2월 8일자) 이와 같이 자동차는 고전적 기술인 성능, 내구, 안전성, 환경친화기술, 승차감, 스타일의 변화 등에 덧붙여 최근에 운전자의 감성을 고려하는 기능을 추가하는 방향으로 진행하고 있다. 또한 아우디 자

* E-mail : sangkwon@inha.ac.kr

동차는 후각팀, 감촉팀, 소음팀을 만들어서 자동차는 = 품질보다는 자동차 = 느낌이라는 경영슬로건으로 소음이 전혀 없는 차를 만들기보다는 가속페달을 밟을 때 나오는 적절한 엔진 음은 운전자를 살짝 흥분시킬 수 있는 차량의 제작을 주문하여 조용하지만 엔진의 숨결이 느껴지도록 차량의 소음을 통제하는 의무를 소음팀에 부여하고 있다. (조선일보 2002년 8월 28일)

유사한 예제로서 전기 청소기의 경우를 생각해 보자 청소기 소음은 일반적으로 대화를 나누기 힘들 정도로 소음이 높다. 이 역시 소음의 크기를 줄이기 위해서 청소기 회사는 부단한 노력을 하고 있다. 그러나 소음의 저감기술은 성능의 저하를 유도함은 물론 청소기의 성능이 감소 듯한 느낌을 소비자는 느낀다. 따라서 우리는 청소기로부터 나오는 소리가 소음이 아니라, 강력한 성능을 가지고 먼지를 빨아들이는 느낌을 유지하는 음질을 가진 청소기의 개발이 보다 미래적인 소음개발 엔지니어의 임무라 생각된다.⁽³⁾ 최근에 국내 고급 냉장고 선전에 나오는 아름다운 음악과 텔런트들의 선전은 냉장고의 수준이 고급을 의미하듯이 고급 냉장고의 압축기로 인해 발생하는 음질을 고급화해야 하는 것도 소음개발 엔지니어의 임무이다.

항공기내의 음질, 철도 차량내부의 음질, 아파트 공간 및 사무실공간의 음질 등은 현재까지 단순 음압의 크기만을 작게 함으로 소음을 제어하는 기술을 벗어나서 크기이외의 다른 다양한 인간의 감성을 음질요소를 고려하여 제품을 개발해야 한다. 그러면 많은 인간의 다양한 특성을 어떻게 더 고려할 것인가라는 문제에 봉착한다. 이 경우는 결국 일반적인 사람을 대상으로 할 수밖에 없다. 일반적으로 건강한 청각 기능을 가진 사람이 평가하는 평가결과를 통계적으로 정리해야 한다. 아니면 특수한 층에 있는 사람에 대하여 제품을 판매한다면 그러한 특수집단을 이용하여 음질 평가를 시도하는 것이 올바른 방법이다. 그러면 지금까지 소

음 저감에 이용한 음질인자(sound matrix)는 도대체 무엇인가라는 의문이 존재한다. 소음 저감에 사용되어온 음질 인자는 A, B, C, D 가중치를 주어서 표현하는 dBA, dBB, dBC 등이 고작이며 특히 법규에 소음 규제치로 표시되는 것은 대부분이 dBA이다. 이러한 dBA의 음질 인자는 소리의 크기만을 고려하여 인간의 청각기능을 저하시키는 문제에 대하여 관심을 가진 것이다.⁽²⁾ 물론 이 음질 인자는 향후에도 이러한 기능에는 매우 중요한 역할과 임무를 할 것이다.

최근에는 이러한 dBA의 음질 요소만으로 제품의 음질을 표현하는 것은 소비자 등이 제품으로부터 발생하는 음에 대한 느낌을 충분히 표현하지 못함으로 각 제품회사에서는 제품에 대한 주관적 평가 팀들이 존재한다. 이러한 주관적 평가 팀들의 역할은 dBA로서 평가되는 소음평가 결과와 때로는 너무 달라서 당혹스러운 경우가 있다. 따라서 이러한 문제를 최소화하기 위한 새로운 음질 평가 기법이 요구된다. 최근에 사용된 이러한 음질 평가 기법의 일환으로 dBA 대신에 음질 인덱스를 개발하여 사용한다.⁽⁴⁾ 음질인덱스는 주로 dBA 이외에 심리음향에서 주로 사용되는 다른 음질요소인 라우드니스(loudness), 샤프니스(sharpeness), 러프니스(roughness) 변동강도(fluctuation strength) 등을 이용하여 음질을 평가하는 것으로서 음질에 대한 객관적인 평가 결과이다.⁽²⁾ 음질 인덱스를 이용한 객관적인 평가 결과와 주관적인 평가 결과의 상관도가 100% 이면 음질 인덱스의 제작은 성공적이며 이것의 결과는 곧바로 주관적인 평가와 일치함으로 소비자의 감정을 고려한 진정한 음질 평가 방법이 된다.

2. 감성인식 자동차 음질 평가

본 절에서는 최근에 저자가 연구 중에 있는 자동차의 음질 인덱스 개발에 대하여 간단히 논하고자 한다.

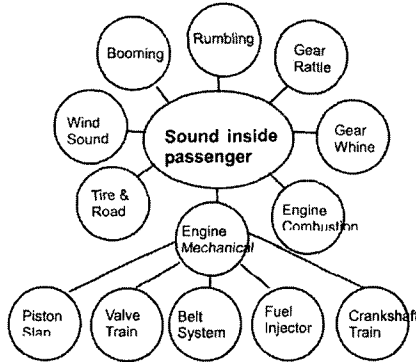


그림 1 차량실내의 소음음질에 대한 종류

2.1 자동차 음질의 종류

자동차 음질의 종류는 소비자가 표현하는 방법은 뭔가 이상한 소리이며^(5, 6) 이 이상한 소리를 자동차 소음 진동 전문가는 브레이크 스퀸(squeal), 피스톤 슬랩(slap) 등과 같은 소음의 원인이 되는 부품의 이름을 이용하여 나타내는 음질과 부밍(booming), 럼블링(rumbling) 등과 같이 대부분의 사람들이 귀를 통하여 느끼는 되는 음질 등으로 표현한다.^(7, 8) 이와 같은 음질의 종류는 그림 1과 다양하게 차량 내부음질을 표현한다.^(9, 10) 이러한 음질은 단지 dBA를 이용하여 음압의 크기만으로 소비자의 주관적인 평가와 비례하는 경우도 있으나 대부분은 다양한 다른 음질요소와 비선형적인 관계들이 존재한다.

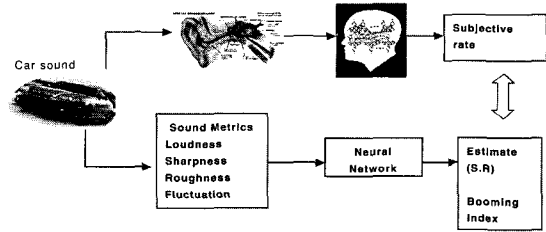


그림 2 심리음향과 신경망회로를 이용한 부밍소음 인덱스 시스템

2.2 신경망회로를 이용한 부밍 인덱스개발

자동차의 음질 중에 부밍 음질은 직렬 4기통엔진을 탑재한 차량에서는 필수적으로 존재하는 음질로서 배기량이 증가하면 왕복질량운동 및 연소에 의한 폭발음의 2차 성분은 부밍의 소음의 기본원인 되고 있다.

부밍 소음의 평가에 사용되는 현재 사용되는 방법은 dBA를 이용하여 평가되고 있으나 주관적인 평가 방법과 상관이 매우 있는 음질 인덱스의 개발을 위해서 신경망회로를 이용하였다.⁽⁴⁾

이 방법은 그림 2에서 잘 설명하고 있다. 그림 2에서는 인간이 음질을 평가하는 경우에 청각계에서 주파수분석을 시행하여 음의 특징을 분류하여 뇌신경을 통하여 뇌에서 판단하도록 한다.

이 경우 뇌에서는 평소에 여러 차종을 통틀려 경험한 결과를 통하여 주관적인 평가를 시행한다. 유사하게 본 연구에서 사용되는 심리음향과 신경망회로를 통한 음질 인덱스 개발 시스템은 인간의 청각계에서 담당하는 음질의 특징을 추출하는 과정은 심리음향을 이용한 음질요소(라우드니스, 샤프니스 등)에 해당하며, 이러한 특징을 분류하여 정리한 후에 평가하는 곳은 인간 뇌의 신경망에 해당된다. 따라서 경험 있는 전문가가 되기 위해서는 신경망에 대한 학습과정이 필요하다. 이 학습과정에 사용되는 신호는 다양한 주관적인 평점을 가진 신호가 필요하며 이 신호는 다양한 자동

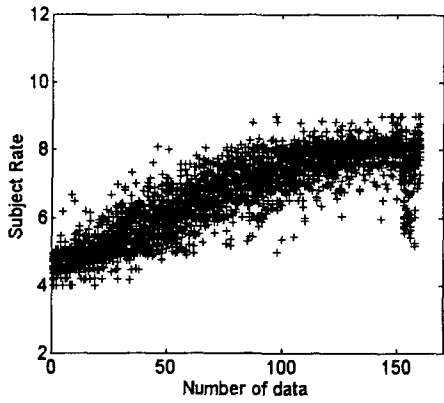
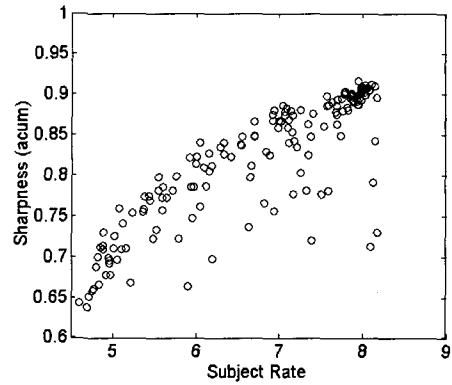


그림 3 자동차 소음에 대한 부밍음질에 대한 주관적인 평가



(b)

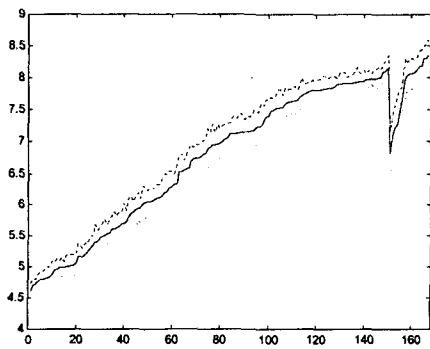
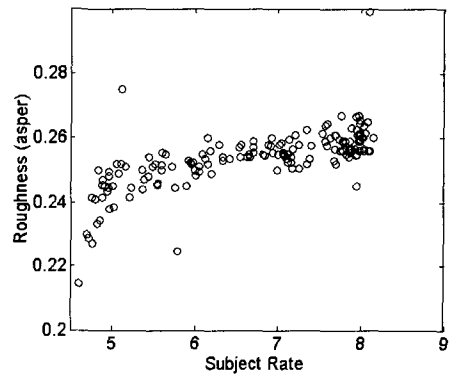
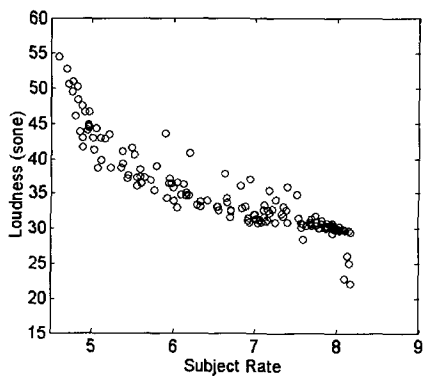


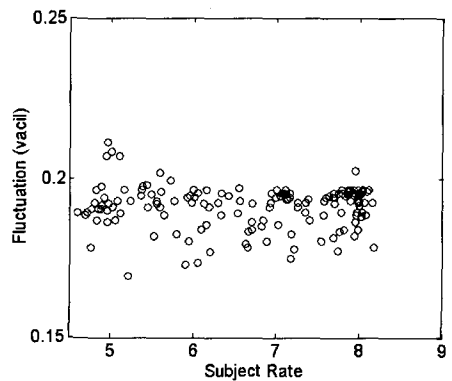
그림 4 자동차 소음에 대한 부밍음질에 대한 주관적인 평가의 95% 신뢰구간



(c)



(a)



(d)

그림 5 다양한 자동차 소음에 음질요소 (a) 라우드니스 (b) 샤프니스 (c) 리프니스 (d) 변동강도

차의 실내 소음에 해당된다. 차량 시험에 많은 경험 있는 자가 더 좋은 평점을 표시하듯이 많은 차량 신호를 통하여 신경망을 학습하는 것이 중요하다.

2.3 다양한 부밍 신호에 대한 주관적인 평가 및 음질요소평가

학습을 위해서, 신호처리기술을 이용하여 합성된 166대 자동차의 부밍음질에 대한 주관적인 평가는 그림 3과 같다.

이것은 21명의 청각기능이 건강한 청년들에 의한 임상실험 결과이다. 따라서 신경망회로의 출력이 이 주관적인 평가와 동일하도록 신경망회로를 학습시킨다. 그림 4는 학습신호에 대한 주관적인 평가에 대한 정규분포 이용 95% 신뢰도 구간을 나타낸다.

신경망회로의 학습에 필요한 116대 차량 실내 소음 신호에 대한 특징 추출에 사용된 음질요소의 계산 결과는 그림 5와 같다.

2.4 부밍(Booming) 인덱스

부밍 인덱스로 사용될 신경망회로의 학습결과는 주관적인 평가 결과와 신경망회로의 출력과의 상관도로서 평가한다. 그림 6은 학습신호에 사용된

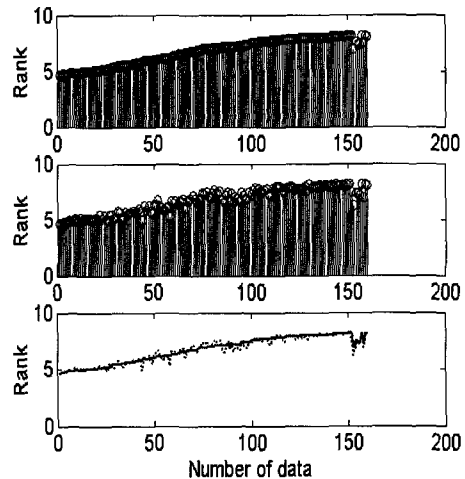


그림 7 학습신호에 대한 주관평가와 신경망회로 출력과의 비교

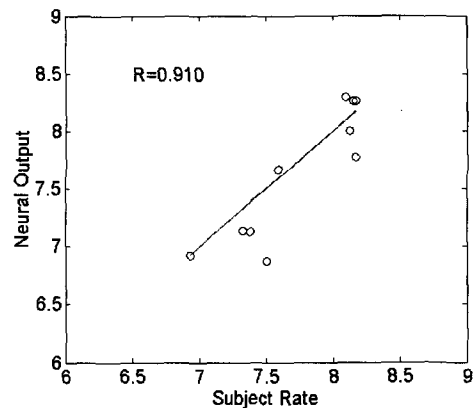


그림 8 학습신호에 대한 주관평가와 신경망회로 출력과의 비교

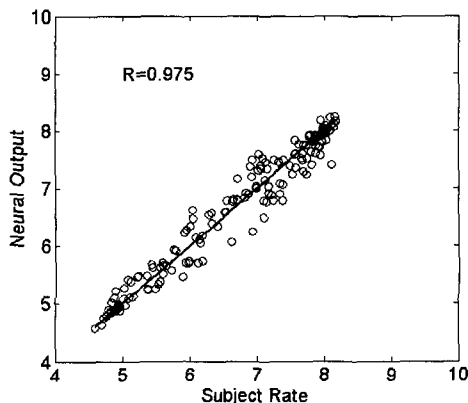


그림 6 학습신호에 대한 상관성

자동차 소음에 대하여 이러한 상관 관계를 나타낸다. 상관 관계는 약 97.5%이다. 그림 7은 주관평가와 신경망회로 출력과의 비교를 나타낸다.

그림 8은 10대의 실제 차량 신호에 대하여 학습된 신경망 출력과 주관적인 평가와의 상관성을 나타내는 것으로 91%의 상관성을 가진다. 또한 신경망회로 출력과 주관적 평가 결과를 보면 그

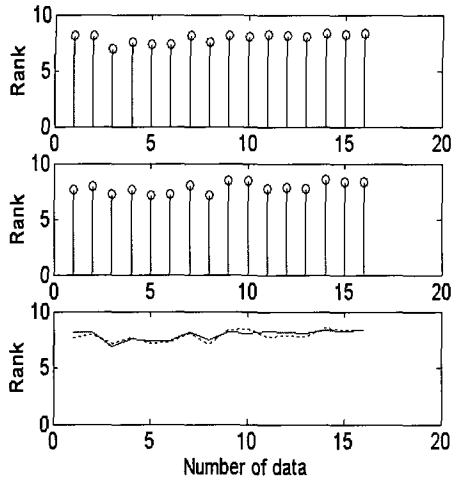


그림 9 학습신호에 대한 주관평가와 신경망회로 출력과의 비교

림 9와 같이 매우 잘 일치한다. 따라서 신경망 출력을 부밍 신호에 대한 인덱스로 사용할 수 있다.

3. 맺음 말

본 기고를 통하여 음질 연구의 필요성과 자동차에 간단한 적용을 설명하였다. 향후 럼블링,⁽⁷⁾ 엔진기계음⁽⁵⁾ 등의 자동차 음질의 인덱스 개발은 향후 계속 진행하여 그림 10에서 보여 주듯이 많은 음질이 가지고 있는 특성을 분석하여 각각에 대한 음질 인덱스를 개발하고 이것을 통합하여 차량실내의 음압 데이터를 이용하여 전체 음질을 dBA 대신 나타내하고자 한다. 이것을 통하여 보다 더 인간의 감정에 가까운 음에 대한 분석이 가능하며 이것은 자동차 회사의 고유 음질 개발에 기초가 되며 또한 각각의 부품 변경에 의한 음질 변화를 데이터 베이스하여 차량의 부품개발에 유용하게 사용된다.⁽¹¹⁾ 좀더 미래를 보면 설계 초기단계에서 가상적인 차량의 음질을 평가해서 감성적인 미래형 차량의 개발에 기여하리라 사료된다. 이 방법

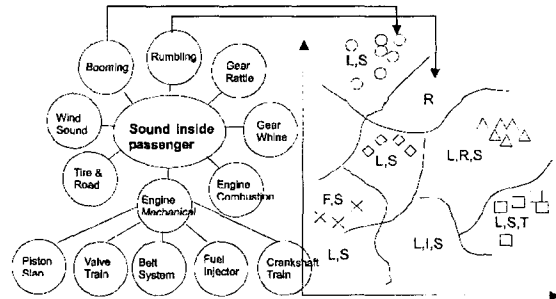


그림 10 차량음질과 음질요소를 이용한 미래형 음질 인덱스개발

은 단지 자동차 회사에 국한 된 것이 아니라 가전 제품, 항공기, 철도 등 다양한 제품의 음질 개발에 유사하게 적용되어 질 수 있다.

참고 문헌

- (1) 서영성 외 12명, 1998 “창의적공학설계(1),” 피어슨 에듀케이션코리아.
- (2) Zwicker, E. and Fastl, H. 1999, “Psychoacoustics,” Springer.
- (3) Ih, J. G., Lim, D. H. and Jeong, H., 2002, Investigation on the Correlation Between Sound Quality and Spectral Composition of Vacuum Cleaner Sound Using Orthogonal Array, 2000 Sound Quality Symposium, Dearborn, Michigan, USA.
- (4) Lee, S. K., Chae, H. C., Park, D. C. and Jung, S. G. 2002, Sound Quality Index Development for Booming Noise of Automotive Sound Using Artificial Neural Network Information Theory, 2000 Sound Quality Symposium, Dearborn, Michigan, USA.
- (5) Lee, S. K. and White, P. R., 1997, Impulsive Sound Analysis of an Automotive Engine Using a Two-stage ALE,” SAE Transaction 972062.

- (6) Lee, S. K., Choi, B. U. and Yeo, S. D., Crankshaft Bending and Interior Noise of A/T1993 "Identification of the Relation Between Vehicle in Idle State," SAE Transaction 930618.
- (7) 이상권, 최병욱, 여승동, 1993, "차량의 실내소음저감 및 음질 향상을 위한 Power Plant 진동 개선에 관한 연구," 한국자동차공학회지, 제 1 권, 제 2 호, pp. 77~88.
- (8) 이상권, 황우석, 김중희, 우재학, 이상희, 이학준, 2000 "소음전달경로해석 및 주행모드해석을 이용한 차량의 실내소음을 통한 음색 향상," 한국소음진동공학회지, 제 10 권 제 5 호, pp. 806~810.
- (9) 정승균, 1998, "승용차의 진동소음 평가 및 개선 방법", 한국소음진동공학회지, 제 8 권, 제 1호, pp. 97~102.
- (10) Lee, S. K., Yeo, S. D., Kim, B. J. and Rho, I. H., 1994, "Weight Reduction and Noise Refinement of Hyundai 1.5 Liter Powertrain," SAE Transaction 940995.
- (11) Lee, S. K. and Kim, J. H., 2001, "Vibrational Power Flow and Its Application to a Passenger Car for Identification of Vibration Transmission Path," SAE Transaction 2001-01-1451.