

2025년 추계학술발표대회 : 일반부문

개방형 공공도서관 실내음향 분석 메커니즘 연구 - ISO 12913과 해외 사운드시스템 분석사례를 중심으로 -

A study on a mechanism for indoor acoustics in open public libraries
- Focusing on the iso 12913 & soundscape analysis of foreign cases -

○박 종 현* 조 준 희**
Park, Jong-Hyeon Cho, Jun-Hee

Abstract

This study aimed to analyze a detailed and standardized mechanism for indoor acoustics analysis, responding to the growing demand for open public libraries. We analyzed the widespread adoption of the soundscape concept and the establishment of the ISO 12913 standard, and selected four prior international studies based on this framework. By comparing and analyzing the similarities and differences in the indoor acoustics analysis mechanisms implemented in each study, we derived a framework for indoor acoustics analysis and presented its significance, limitations, and areas for improvement.

키워드 : 사운드시스템, ISO 12913, 개방형 공공도서관, 실내음향, 해외 사례

Keywords : Soundscape, ISO 12913, Open public libraries, Indoor acoustics, Foreign cases

1. 서론

1.1 연구의 배경과 목적

최근 공공도서관의 이용목적이 단순한 지식과 정보의 저장과 열람과 학습을 넘어 정보를 기반으로 한 문화시설로 변화하면서, 여가, 문화활동 등을 수용할 수 있는 복합 공간으로 탈바꿈하고 있다.

이러한 변화는 실내공간구조의 변화로 이어졌다. 기존 공공도서관은 공간 간 벽체를 통한 시선과 소리의 차단을 원칙으로 하였지만, 최근의 공공도서관은 무벽구조를 통한 공간 간 개방성 확보 혹은 보이드의 확장을 통해 공간을 연결하는 성격이 뚜렷하다. 이러한 공공도서관을 개방형 공공도서관이라 정의할 수 있을 것이다.

실내공간의 물리적 개방이라는 트렌드에 따라 그에 부합한 새로운 음향설계기준의 필요성이 사회적으로 대두되고 있다. 경기도의회에서 주최한 ‘도서관 음향성능 기준 마련을 위한 토론회’와 전국도서관대회의 ‘도서관 공간 음향의 현재와 미래’ 등의 사례가 이를 뒷받침한다.

이에 본 연구에서는 개방형 공공도서관들의 실내음향을 분석한 해외 선행연구들의 비교를 통해 공통된 메커니즘과 세부적인 차이점에 대하여 분석하고자 하였다.

1.2 실내음향 기준현황 및 변화

국제적인 실내음향 기준의 현황을 보면, 먼저 유럽 국가들의 경우 국제표준기구(ISO)의 ISO 3382를 기반으로 책정한 공간별 음향 기준을 각 국가별로 적용하여 사용하고 있다. 미국의 경우는 ANSI/ASA, NC 등을 주된 음향 기준으로 적용하고 있다. 한국의 경우 해마다 문체부에서 고시하는 공공도서관 건립 및 운영 매뉴얼에 정량적인 기준이 아닌 권고 문구로서 제시하고 있다.

표 1. 유럽, 미국, 한국의 실내음향 기준 현황

유럽	스웨덴(SS25268), 독일(DIN18041), 노르웨이(NCS8175), 핀란드(RT-kortisto), 오스트리아(ÖNORM B 8115 등)
미국	ANSI/ASA(미국 국가 표준 협회(ANSI)와 미국 음향 학회(Acoustical Society of America, ASA)가 공동으로 제정하고 발행하는 표준), NC(Noise Criteria, 미국 공중냉동기술자협회(ASHRAE), ICC International Building Code (IBC) 등)
한국	공공도서관 건립 및 운영 매뉴얼(2024)

이러한 기존의 수치적, 권고적 수준의 기준들은 최근에 이르러 본질적인 음환경 조성과 개선의 측면에서 한계점에 이르렀다는 목소리가 증대되었다. 단순히 공간의 용도에 따라 세팅된 음향(음압) 기준이 아닌, 사람의 인지적, 심리적 반응과 물리적 음향이 모두 고려된 통합적 음향 기준이 필요하다는 사회적 목소리와 그에 부합하는 새로운 음향 기준과 측정 방법이 요구되었다.

* 서울시립대학교 건축학부 석사과정

** 서울시립대학교 건축학부 부교수

(Corresponding author : Department of Architecture, University of Seoul, jhcho@uos.ac.kr)

이에 국제표준기구(ISO)는 2014년 사운드스케이프 개념을 중심으로 ISO 12913을 제정하였다. 사운드스케이프란 사람이 공간의 맥락 속에서 지각하고 이해하는 청각 환경의 총체를 의미한다. 즉 사운드스케이프는 물리적 음향환경을 넘어 자연음과 인간활동음향을 아우르고 음향인지의 객관적, 주관적 요소를 통합하는 개념이다.

사운드스케이프는 1969년 마이클 사우스워스(Michael Southworth)가 도시의 음향 환경을 연구하며 최초로 사용¹⁾했고, 1970년대 R. 머레이 셰이퍼(R. Murray Schafer)를 통해 대중화²⁾ 되었다. 1970~80년대 세계 사운드스케이프 프로젝트가 마을 단위 음향 녹음방법과 소리 분류법을 완성했고, 1990년대 배리 트루악(Barry Truax)은 전기음향 작곡과 실시간 청취를 결합한 음향 커뮤니케이션 이론³⁾을 발전시켰다. 2000년대에는 GIS·미디어 기반의 사운드맵(sound maps) 기법을 통한 사운드스케이프 연구가 등장했고, 2010년대에는 스마트폰 클라우드소싱, 머신러닝 분석이 도입됐다. 사운드스케이프의 이러한 개념적·기술적 진화는 ISO 12913 시리즈의 제정 기반이 되었다.

1.3 ISO 12913 분석

ISO 12913은 사운드스케이프의 정의와 제정 목적을 담은 12913-1, 음향 데이터 수집 방법과 세부사항들을 규정한 12913-2, 음향 데이터 분석 기준과 세부사항들을 규정한 12913-3으로 구성된다. 이 중 본격적인 데이터 수집과 분석에 대한 내용인 12913-2~3의 내용은 다음과 같다.

데이터 수집 준비	정성적 데이터 수집	정량적 데이터 수집
연구 목적 정의 표본 및 모집 방법 장비 점검 및 교정	사운드워크 설문 조사 인터뷰	음향 수준 측정 현장 녹음 기타 음향 지표 계산

그림 1. ISO 12913-2 진행 메뉴얼

데이터 분석 준비	정성적 데이터 분석	정량적 데이터 분석
무결성 검토 결측치 처리 변수 표준화	사운드워크 텍스트 설문 응답 텍스트 인터뷰 텍스트	음향 지표 통계화 시간/주파수 분석 변수 상관분석

그림 2. ISO 12913-3 진행 메뉴얼

1.4 선행연구 선정과 연구방법

본 분석을 위하여 첫째, 개방형 공공도서관의 실내음향을 분석하였는지, 둘째, ISO 12913의 방법론을 준용하거나 유사한 구조를 가지는지를 기준으로 하여 해외의 3가지 선행연구를 수집하였다. 각 선행연구 문헌의 전문을 해석하고 1.3에서 이야기한 ISO 12913-2, ISO 12913-3의 구성처럼 데이터 수집단계와 분석단계로 나누어 어떠한 방법

과 과정을 적용하였는지 비교하였다.

표 2. 해외 선행연구 사례

제목	저자	대상지
A soundscape approach to exploring design strategies for acoustic comfort in modern public libraries: a case study of the Library of Birmingham	Jieling Xiao & Francesco Aletta (2016)	영국 버밍엄 시립도서관
Pengaruh Soundscape pada Sense of Place di Perpustakaan Daerah Disarpu Bandung	Nabila Anindya Widiarini & Yannes Martinus Pasaribu & Etika Vidyarani (2023)	인도네시아 반둥 공립도서관
Assessing Soundscape in Public Libraries: The Case Study of Yildiz Technical University Şevket Sabancı Library	Zeynep Sena Öztürk & Ela Fasllija (2023)	터키 일디즈 기술대학 도서관

2. 본론

2.1 선행연구 분석 준비

본론에서는 영국 버밍엄 시립도서관과 인도네시아 반둥 공립도서관, 터키 일디즈 기술대학 도서관을 대상으로 진행된 실내 사운드스케이프 분석 문헌에 대한 온라인 원문 서칭을 진행하고, 각 선행연구의 대상 도서관별 건축정보 등을 함께 참고하여 비교분석을 진행하였다.

2.2 버밍엄 시립도서관 사례

데이터 수집 준비의 내용으로는, 버밍엄 시립도서관을 대상으로 사운드스케이프 접근법을 이용하여 현대 공공도서관의 음향적 쾌적성을 탐색하는 것을 목적으로 정의하였고, 12명의 건축전공 학생을 참여자 표본으로 선정하여 전문 음향 측정 기기의 개념과 사용법을 숙지시켰다. 참여자들은 사전 워크숍을 통해 도서관 음향환경의 적절성 기준에 대해 토론하고 합의하는 과정을 거쳤다.

정성적 데이터 수집의 내용으로는, 각 층별로 개방성과 다기능성을 기준으로 총 12개의 공간을 규정하여 해당 공간을 중심으로 8~12개의 정지점을 지정, 정지점을 기준으로 사운드워크 경로를 세팅하고, 설정된 정지점에서 2분간 실내 소음을 청취한 후 설문지를 작성하였다. 설문항목은 언어적 소리 / 비언어적 소리 / 균중소리 / 기계소리 / 환경소리에 대한 지배도 평가와 전반적 음향환경 품질과 음향환경 적절성에 대한 문답으로 이루어졌다.

정량적 데이터 수집의 내용으로는, 설정된 사운드워크 세팅을 토대로 12명의 참여자가 이용자 피크 시간대에 따라 오전

1) 1969년 진행한 보스턴 시내의 음향환경 연구

2) World Soundscape Project 창립, 청각 훈련법 제안 등

3) 청취 커뮤니케이션, 상호작용, 작곡기법 등을 구성

11시 / 오후 1시30분 / 오후 4시 각 3회간 사운드워크를 진행하여 전문 음향측정기를 이용해 음압 레벨(SPL)을 수집하였다.

데이터 분석 준비의 내용으로는, Ö. Axelsson, Aletta & Kang, Maffei의 기존 문헌⁴⁾을 토대로 설문 프로토콜을 제작하여 설문의 타당성을 확보해 두었고, 예비적 사운드워크를 진행하여 혼동 유발 문항을 제거하여 설문의 타당성을 확보해 두었다. 또한 SPL 측정값의 분산도와 범위 밖 데이터를 검토 후 재측정 여부 결정하는 과정을 통해 이상치 검출을 진행하였다. 설문 응답의 일관성은 각 문항 내 응답 패턴에 대한(예: 언어음 지배도-전반적 품질 상관관계) 교차검증을 진행하고 응답시간이 지나치게 짧거나 누락된 항목을 확인하였으며 통계적 유의차 확인을 위해 t-test 및 ANOVA⁵⁾로 지점별 설문 결과에 대한 과도한 불일치성을 확인하는 과정을 거쳤다. 설문 누락 시에는 해당 데이터 전체를 제외하고, 별도 표기하거나 분석 시 제외하는 과정을 거쳤다.

정성적 데이터 분석의 내용으로는, 음향 인지와 공간에 대한 설문 문답 내용에 대하여 의미 단위별 태그를 부착하여 150여 건의 코드를 도출, 유사한 코드를 그룹화하였다. 그룹화된 코드 중 최종적인 코드들을 3가지 범주(상호작용 및 소통-적응형-읽기 및 사색)로 도출하고 각 범주별 텍스트의 예시와 빈도표를 작성하였다. 설문 데이터는 각 정지점과 측정 회차(11:00, 13:30, 16:00), 그리고 그룹별 응답을 매트릭스 형태로 구조화하였으며, 언어적·비언어적 개별음, 군중음, 기계음, 환경소음 지배도 다섯 개 항목과 전반적 품질, 적절성 평가 두 개 항목을 포함한 일곱 차원의 응답 벡터로 정리하였다. 정지점별·층별로 응답값의 평균과 표준편차를 산출하여 시간대별 변화와 그룹 간 분산을 파악하였고, 시간대에 따른 음원 지배도 및 평가점수의 변동 양상을 확인하였다. 또한 음압 레벨과 전반적인 품질 간 상관계수를 계산하고 음원 지배도와 평가에 대한 상관관계를 분석하였다. 마지막으로 층별 음원 지배도 프로파일과 정지점별 음압 레벨(SPL), 전반적 품질·적절성 값을 막대그래프와 혼합형 차트로 시각화하고, 군집분석 트리맵 등의 기법을 활용해 다변량 응답 특성을 직관적으로 제시함으로써 분석 결과의 해석 용이성을 높였다.

정량적 데이터 분석의 내용으로는, 음압 레벨(SPL)의 지점별, 층별, 시간대별 측정값들의 평균과 표준편차를 계산하여 전체 데이터의 분포 파악을 위해 박스 플롯 또는 히스토그램을 사용하여 시각화하였다. 또한 층별 및 경로별 음압 레벨(SPL) 표현을 위해 정지점의 평균값을 연결선으로 시각화하였다.

2.3 반동 공립도서관 사례

데이터 수집 준비의 내용으로는, 반동 시립도서관을 대상으로 실내 소리환경과 주관적 인식이 장소성에 미치는 영향을 분석하기 위한 사운드스케이프 연구를 목적으로 하였다. 적용한 장소성 개념은 Milligan, 1998; Hashem et al., 2013에서 언급된 4가지 차원⁶⁾을 기준으로 조사하였다.

정성적 데이터 수집의 내용으로는, 도서관 내의 주요 사용

되는 공간 두 장소를 선정, 반복적인 사운드워크를 통한 관찰을 및 샘플링을 진행하고, 이를 분석하여 13개 소리 객체로 나누었다. 전문 음압계를 이용한 정량적 수치와 15세 이상 방문자 100명에 대한 우연 설문을 진행하며 이 객체들을 설문 대상자들에게 각각 5점 리커트 척도와 선호도에 대한 백분율 수치를 작성하도록 하였다. 또한 장소성에 대한 4가지 차원에 대한 5점 찬반 척도의 설문조사도 함께 진행하였다.

정량적 데이터 수집의 내용으로는, 전문 음압계를 사용하여 선정된 두 공간의 중앙점을 기준으로 이용자 피크시간대에 따라 오전9시 / 오전10시 / 오후1시 각 3회에 걸쳐 실내음향 녹음을 진행하였다.

데이터 분석 준비의 내용으로는, 설문에 응답한 100명 중 응답지에 완전히 기입한 60인의 데이터만을 활용하여 타당성을 확보하였고 설문 항목별 응답 범위를 벗어나는 오입력된 문항지는 자동식별 후 삭제하였다. Jamovi 2.3.21 프로그램을 베이스로 한 Cronbach's α ⁷⁾계산을 통해 신뢰도를 검증하였고 음향 녹음 과정 중 이상 수치를 기록한 부분은 재측정하거나 제거하는 과정을 거쳤다.

정성적 데이터 분석의 내용으로는, 응답자 특성을 연령, 성별, 직업, 방문 빈도, 체류 시간, 단체 여부로 나누어 구분하고 설문 응답지에 기록된 소리 선호도 응답을 주요 기준으로 이용자들이 선호하는 음원과 선호하지 않는 음원을 파악하였다. 음원의 분류는 자연음, 실내 활동음, 외부음, 설비소음으로 구분하였다. 또한 설문 응답에 대한 Spearman's rho 상관분석⁸⁾을 적용하여 장소성 평가를 정리하였다.

정량적 데이터 분석의 내용으로는, 두 장소에서 진행한 음향 녹음에 기록된 음압레벨을 정리하고, 각각 ISO T(2014) 35-50 dB(A); 인도네시아 환경부령 No. 48(1996)과 WHO(2011) 30-55 dB(A) 기준에 부합하는지 검토하였다.

2.4 일디즈 기술대학 도서관 사례

데이터 수집 준비의 내용으로는, 일디즈 기술대학 도서관을 대상으로 실내 사운드스케이프 평가와 음환경 특성 파악을 목표하였고, 도서관 실제 이용자로 이루어진 20명 혼성의 참여 그룹을 세팅하여 데이터 수집을 진행하였다. 청취와 설문에 앞서 대학교 내 청취실을 사전확보 하였다.

정성적 데이터 수집의 내용으로는, 층별 공간을 선정하고 각 층별로 녹음한 음향 샘플을 청취실에서 청취 후 방문유형 조사와 우세음원 분류평가(기계소리, 사람소리, 자연소리, 기타)에 대한 5점 척도 설문, 음향 품질 및 적합성 평가(5점 리커트 척도), 터키어로 된 30쌍 형용사 평가(5점 척도) 설문을 진행하였다. 장소 선정의 뚜렷한 기준은 명시되지 않았다.

정량적 데이터 수집의 내용으로는, 선정된 각 층의 8개 지점에서 전문 음향 측정 기기를 통해 5분간 음향녹음 후 30초 길이로 편집하였다.

데이터 분석 준비의 내용으로는, 응답 누락시 데이터를 제외하여 결측치를 보완하는 과정 외의 상세한 과정은 언급되지

4) 감정적 품질평가와 적합성 평가에 대한 설문

5) 표본집단의 평균차의 유의미성을 분석하는 통계 기법

6) 개인적 차원, 사회적 차원, 기능적 차원, 상징적 차원

7) 설문지나 심리검사 같은 측정 도구의 신뢰도, 특히 내적 일관성을 평가하는 통계 지표

8) 변수 간의 순위 기반 상관관계를 측정하는 비모수 통계 기법

않았다. 수집된 데이터에 대한 Cronbach's α 계산을 통한 신뢰도 검증 및 ANOVA, 상관분석 등의 표준화 과정은 이전 선행연구와 마찬가지로 수행되었다.

정성적 데이터 분석의 내용으로는, 음향을 측정된 지점별 설문평가를 평균화 하고 표준편차를 산출하였으며, 각 지점별 30쌍 터키어 형용사 반응 설문 결과를 레이더 차트로 시각화하여 직관성을 높였다. 또한 Spearman's rho 상관분석을 적용하여 설문평가와 음향, 형용사 간의 관계를 분석하였다.

정량적 데이터 분석의 내용으로는, 각 지점에서 취득한 음압 수준의 평균값을 계산한 결과를 그래프로 시각화하였다.

2.5 비교분석 결과

2.5.1 공통점과 유사점

세 사례 모두 공공 도서관의 실내 음환경을 사운드시스템 관점에서 평가하기 위해 정성적 사운드워크와 설문, 정량적 SPL 측정을 병행하여 입체적인 데이터를 수집했다. 참여자들에게 사전 워크숍이나 브리핑을 실시해 평가 기준을 합의하고 전문 음향측정기를 활용해 시간대별·지점별로 반복 측정하면서 이상치와 결측값을 엄격히 관리했다. 수집된 설문과 SPL 데이터를 평균·표준편차로 요약하고 t-test·ANOVA·상관분석 등의 통계 기법으로 음원 지배도와 전반적 품질 및 적절성 간 관계를 규명했다. 분석 결과는 박스플롯·히스토그램·막대 차트·라인 차트·레이더 차트·트리맵 등 다양한 시각화 기법으로 도서관 층별·정지점별 음향 특성을 직관적으로 제시했다.

2.5.2 차이점과 상이점

버밍엄 사례는 12명의 건축 전공 학생을 대상으로 12개 공간, 8~12개 정지점에서 2분 청취 후 언어음·비언어음·군중음·기계음·환경소음 지배도와 전반적 품질·적절성을 평가했으며, 예비 사운드워크로 문항을 수정하고 교차검증을 실시했다. 반둥 사례는 주요 2개 공간에서 13개 소리 객체를 도출해 100명 방문자 대상으로 리커트 척도와 백분율 설문을 진행하고, Milligan·Hashem 등 4차원 장소성 지표를 추가로 조사했으며 ISO·WHO 가이드라인 적합성을 검토했다. 일디즈 사례는 실제 이용자 20명을 대상으로 층별 녹음 샘플을 청취실에서 재생한 뒤 방문 유형, 우세 음원, 음향 품질·적합성, 30쌍 형용사 평가를 실시했고, Cronbach's α 와 ANOVA·상관분석을 통해 신뢰도를 검증하고 레이더 차트와 SPL 그래프로 결과를 시각화했다. 이러한 차이는 참여자 규모·설문 항목 구성·검증 절차·외부 기준 활용·분류 방식과 시각화 강조점에서 뚜렷하게 드러난다.

3. 결론

공공도서관의 실내공간 개방으로의 변화에 따라 새로운 실내음향 기준에 대한 수요가 나타나며, 기존의 수치적, 권고적 기준의 한계점을 인식하기에 이르렀다. 이에 정량적 음향지표

와 정성적 음향지표를 통합적으로 분석해야 한다는 사운드시스템의 개념을 국제적으로 적용하고자 ISO 12913을 제정하고 이를 토대로 다양한 공공도서관의 실내음향을 대상으로 한 사운드시스템 분석이 이루어졌다.

본 연구문에 활용된 세 가지 선행연구들 역시 ISO 12913에서 제정한 의미와 방법론의 구조를 적용하였다. 데이터 수집 준비 - 정성적(설문 등) 및 정량적(음압 레벨 등) 음향 데이터 수집 - 데이터 분석 준비 - 정성적 및 정량적 데이터 분석이라는 공통된 과정을 거쳤으며, 설문자 표본과 문항의 선정, 건축물 내의 대상 공간 선정과 사운드워크 세팅 부분을 중심으로 차이점을 보이기도 했다.

세 가지 선행연구들 모두 기존의 객관적 지표에만 의존하던 도서관 음향 설계에, 이용자의 청각·시각 인지와 활동 목적을 통합한 분석을 통해 실내음향을 평가하였고, 이를 통해 실내 공공 공간, 특히 이용자 활동이 다양한 현대 도서관에 특화된 사운드시스템 연구 사례를 제시함으로써, 도시 공원·상업 시설 등 기존 실외 중심 연구 영역을 넘어 실내 디자인·건축 분야로 학문적 지평을 확장했다.

하지만 참여자 구성의 제한성과 주관성, 시간과 공간의 제약, 설문지 도구와 설문 오류 등의 한계점을 보였으며, 이는 보다 장기적이고 다시점적인 관측과 건축물의 다중 비교, 설문 개선과 교차검증 도구 확대 등을 통해 적극적으로 개선되어 나가야 할 것이다.

참고문헌

1. Jieliang Xiao & Francesco Aletta, 「A soundscape approach to exploring design strategies for acoustic comfort in modern public libraries: a case study of the Library of Birmingham」, De Gruyter Open, Noise Mapp. 2016; 3:p264-273
2. Nabila Anindya Widiarini & Yannes Martinus Pasaribu & Etika Vidyarini, 「Pengaruh Soundscape pada Sense of Place di Perpustakaan Daerah Disarpu Bandung (The Effect of Soundscape on Sense of Place in The Public Library of Disarpu Bandung)」, Serat Rupa Journal of Design, July 2023, Vol.7, No.2: p153-168
3. Zeynep Sena Öztürk & Ela Fasllija, 「Assessing soundscape in public libraries : the case study of YILDIZ technical university Şevket Sabancı Library」, ForumAcusticum 2023: 10th Convention of the European Acoustics Association; 2023 Sep 11-15; Turin, Italy. p. 3023-3029