

실내음향의 새로운 확산성 평가요소에 관한 실험적 연구

권기웅, 한찬훈

충북대학교 공과대학 건축공학과

Introduction of a New Acoustic Criterion for the Diffusivity of Rooms

Kwon Gi-Woong, Haan Chan-Hoon

Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National University

요약

확산(Diffusion)은 실의 음향성능에 있어서 중요한 요소이나 확산성을 측정하기가 기술적으로 어렵고 실 표면에서의 확산정도도 계량하기가 어려운 것이 현실이다. 이에 본 연구의 목적은 현장실험을 통하여 표면의 확산성을 측정할 수 있는 새로운 인자(가칭: Δx)의 가능성을 개진하는 것이다. 실험결과에 의하면 확산성이 높은 홀에서 두개의 마이크로폰에 의하여 측정된 Δx 의 값은 확산성이 낮은 홀에서 보다 평균적으로 작은 값이 나왔다 이것은 확산이 잘 이루어지는 홀에서는 각 방향으로의 음이 고루 분포하여 객석에 도달하고 있다는 것을 나타낸다 즉 음이 각 방향으로 고루 전달되고 있다는 것을 나타낸다.

1. 서론

확산이 실의 음향성능에 있어서 긍정적인 영향을 준다는 것은 잘 알려진 사실이나 구체적인 연구는 별로 이루어지지 않았다. 그 이유는 확산성을 측정하기가 기술적으로 어렵고 몇몇 연구에서 도출된 확산성의 측정방법에도 불구하고 실 표면에서의 확산요소의 역할을 계량화하기가 어려웠기 때문이다. 실내음향성능에 대한 많은 음향평가요소가 제안되어 현재까지 그것들의 상호 상관관계가 밝혀지고 있으나 건축공간 내에서 표면의 확산성이 실내음향에 구체적으로 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구는 현재까지 실험적인 결과가 뒷받침되지 못하였다.

확산의 영향을 예측하기 위하여는 표면확산의 정량화가 필수적으로 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 표면확산에 대한 객관적이고 계량화된 기준과 지수를 개발하기 위한 첫 단계로서 실내 확산조건을 달리하는 환경에서의 일련의 실험을 통하여 측정치를 비교함으로써 표면확산성의 영향을 평가하고 그 결과를 비교함으로써 마감재의 표면확산성이 실내음향성능에 미치는 영향을 분석하는 데 있다.

본 연구는 공간의 설계시에 실내마감재 표면의 상태가 실내음향에 어떤 영향을 미치고 있으며 그 영향의 범위와 특정한 음향인자와의 상관관계를 분석하고 이에 대한 객관적이고 계량적인 인자를 제시하고자 한다. 따라서 기존의 음향인자 이외에 건축설계요소로서의 표면의 확산성에 근거한 새로운 공간음향 해석방법을 만들어보고자 한다.

이에 본 연구에서는 표면의 확산성에 대한 계량화를 위하여 실제 홀에서 현장측정을 통하여 나타낼 수 있는 확산성 요소를 소개하고 이 새로운 실험요소에 대하여 그 가능성을 개진하고자 한다.

2. 확산성의 계량화에 대한 연구 고찰

실내음향성능을 구명하기 위해 수많은 음향평가요소들이 개발되어지고 제시되어 왔다[1]. 그러나 아직도 실내음향성능의 구명은 불분명한 상태이다. 건축음향이 물리학의 한 분야임에도 불구하고 다른 물리학 분야의 발전에 비해 상대적으로 더딘 것은 실내음향성능의 평가가 객관적(물리적)인 수치가 아닌 청취자의 주관적인 평가에 의해 만족되어야 하는 것에 있다.

객관적인 평가요소를 주관적인 평가에 접목시키려는 움직임[2][3][4]은 오래 전부터 이루어졌는데, 최근에 들어서는 잔향시간(RT) 명료도(Clarify), 초기지연시간(ITDG, Initial Time Delay Gap)등과같은 시간적 평가요소보다 LF, IACC,나 SDI와 같은 공간적 평가요소를 접목시키려는 움직임이 두드러지게 나타나고 있다. Haan[5]은 1995년 실내음향에 미치는 여러가지 조건 중에서 실내표면의 확산성(SDI)이 큰 영향을 주고 있음을 통계적 자료 처리를 통해 보여주고 있으며, 1997년[6] 현존하는 홀에 대한 조사를 통하여 Hall의 형태와 규모보다 확산성의 중요성이 홀의 음향의 질에 가장 큰 영향을 주고 있음을 나타내었다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 확산성이 좋은 홀에서는 초기음의 공간 체류시간이 길어진다는 것 즉, 음 방사 후 전체 음에너지의 대부분이 초기에 집중되어 분산됨에 따라 초기의 많은 음에너지가 확산된다는 결론이 유추되었다[7]. 이와 관련된 최근의 연구로는 규모와 형태가 비슷한 실제 홀에서의 현장 측정을 통하여 확산성이 실내음향에 미치는 영향에 대한 정량적인 분석을 시행하였다[8].

3. 현장실험

3.1 실험목적

본 실험의 목적은 표면의 확산 정도의 변화에 따른 두 개의 마이크로폰의 위상차(가칭 Δx)를 이용하여 실의 확산에 따른 음의 편차의 변이를 알아보고자 하는 것이다. 여기서 새로운 인자(Δx)란 홀의 무대를 향하여 전면으로 지향한 마이크로폰을 통하여 분석된 실내음향인자의 값과 홀의 후면을 향한 마이크로폰을 통하여 분석된 값들과의 차이를 말한다.

실내의 확산성이 증가할수록 확산음장(Diffuse Field)에 가까워짐으로 바닥의 특정지점에 도달하는 반사음의 입사방향과 그 크기는 비슷하게 된다. 바닥(객석)의 한 지점에서 여러개의 지향성 cardioid microphone을 서로 다른 방향을 지향하여 설치한 후 각 마이크로폰에서 측정된 음향인자(SPL, RT, EDT, C, LF, IACC 등)의 값이 실내의 확산성에 따라서 차이가 있다면 실내의 확산성이 실제로 이러한 음향인자들, 나아가서 실내공간의 음향성능에 구체적으로 어떠한 영향을 미치는 지를 알 수 있게 된다. 즉 확산성이 큰

공간일수록 각 마이크로폰에서 측정된 음향인자의 값의 차이(difference)가 작을 것이며 확산성이 작은 공간일수록 이러한 음향인자 및 측정된 값은 큰 편차를 보일 것이다.

확산이 높은 홀 일수록 음이 각 방향으로 고루 퍼져 전면으로 향한 마이크로폰(M-1)을 통해 측정된 음향인자들의 값과 후면을 향한 마이크로폰(M-2)을 통해 측정된 음향인자들의 값의 차이(Δx)가 확산이 작은 홀 보다 작을 것이다 라는 것이 본 연구의 가설이다. 본 연구에서 제안한 실험에 대한 가설은 미국의 Beranek 박사[9]에 의하여 제안되었으며 현재까지 그 누구도 시도하여 본 바가 없다.

3.2 실험 대상홀의 선정 및 제원

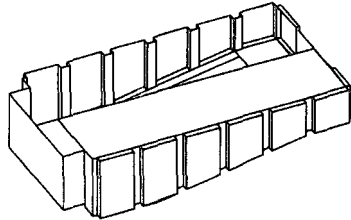
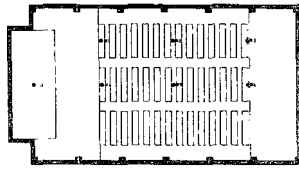
본 연구의 가설에 따라 실제 건축공간에서의 현장실험을 실시하고자 실제 홀을 2개소 택하였다. 실험에 사용한 대상 홀은 C대학교 안에 있는 체적과 규모, 객석수 및 형태가 비슷하고 실내 표면의 확산처리 정도가 다른 2개의 홀을 선정하였다. 대상 홀의 선정조건은 다음과 같다.

- 1) 동일형태 및 규모의 홀
- 2) 잔향시간이 비슷한 홀
- 3) 확산의정도가 다른 홀

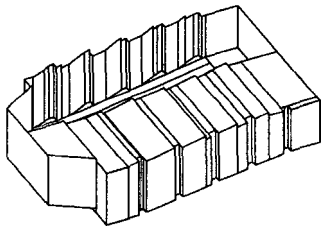
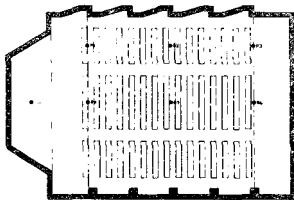
실험 대상 홀의 건축적 제원은 <표 1>에 나타난 바와 같다. 선정된 2개의 홀 중 A홀은 측벽과 천장이 거의 평면을 이루고 있어 확산성이 작은 반면에, 홀 B는 벽과 천장이 불규칙하여 홀 A에 비해 물리적인 상황으로 보더라도 더 많은 확산성을 가지고 있음을 알 수 있다. 각 홀의 평면 및 3D모델은 (그림 1) 과 (그림 2)에 도식하였다.

<표 1> 실험 대상홀의 제원

| 구 분 | 홀 A | 홀 B |
|------------------------|-------|-------|
| 사용목적 | 강의 | 강의 |
| 용 적 (m ³) | 1135 | 1416 |
| 좌석수 (석) | 294 | 315 |
| 바닥면적 (m ²) | 254.4 | 289.2 |
| 홀의 길이 (m) | 23.4 | 22.76 |
| 홀의 폭 (m) | 12.6 | 14.32 |
| 홀의 높이 (m) | 5.25 | 5.2 |
| 평면형태 | 장방형 | 장방형 |



(그림 1) 홀 A의 평면 및 3D모델



(그림 2) 홀 B의 평면 및 3D모델

각 홀의 부위별 마감 자재는 표<2>에 나타내었다. <표 2>에 나타난 바와 같이 홀 A와 홀 B의 실내 마감자재는 무대 주변을 제외하고는 모든 부위의 자재가 동일한 것을 알 수 있다.

<표 2> 각 홀의 부위별 마감재

| 부위 | 홀 A | 홀 B | |
|----|-----|---------------|---------------|
| 무대 | 바닥 | wood flooring | wood flooring |
| | 주벽 | 베니어합판 | 콘크리트 |
| | 천장 | 음향플라스터 | 음향플라스터 |
| 객석 | 바닥 | 인조 대리석 | 인조대리석 |
| | 의자 | 천마감 의자 | 천마감 의자 |
| | 측벽 | 목재 리브 | 목재 리브 |
| | 뒷벽 | 목재 리브 | 목재 리브 |
| | 천장 | 음향플라스터 | 음향플라스터 |

3.3 측정방법

음원(S1)은 무대의 중앙점을 선정하였다. 객석의 측정점의 개수는 대상 홀의 규모가 비슷하기 때문에 모두 6개로 똑같이 적용하였다. 측정위치는 두 개의 적용 대상홀이 무대 중심선을 따라 대칭-홀 B에서는 양쪽 측벽이 약간의 차이가 있으나 거의 대칭을 이루다-을 이루기 때문에 무대 중심선을 따라 3개 측정점을 등간격으로 설정하고 측벽으로부터 2.4m 떨어진 지점에 중심축과 마찬가지로 3개의 측정위치를 선정하였다.

또 음원과 측정점의 위치는 (그림 1)과 (그림 2)에 나타난 바와 같다.

무대에는 12면체의 무지향성 음원을 설치하고 White noise 와 MLS 신호를 각각 이용하여 각 마이크로폰을 통하여 음을 채취하였다. 그 후 각 마이크로폰의 신호로부터 2-channel 분석기를 이용하여 실내음향지수를 실시간으로 분석하고 이를 비교 평가하였다.

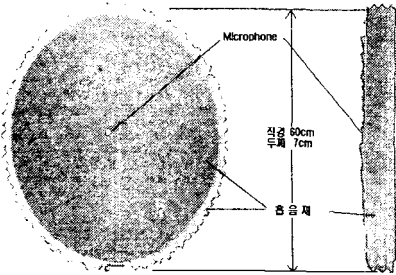
1차실험에서는 각각 홀의 음원에서 같은 레벨(80dB)의 화이트 노이즈(white noise)를 10초 동안 발생시켜서 측정점의 SPL 값을 5회 측정한 후에 평균값을 취하였다. 분석은 B&k Type 2144(2-channel Real-time Frequency Analyzer)로 실시간적으로 시행하였다. 2차실험은 MLS 신호를 사용하여 각 측정점에서 SPL, C80, RASTI, EDT, RT등을 측정하였다. 실험에 사용된 기자재는 <표 3>에 나타내었다.

<표 3> 측정 기자재

| 측정 기기 | 제품명 |
|--------------------|------------------------------------|
| Microphone | B&K Type 4165 |
| Real-time Analyzer | B&K Type 2144 ETANI ASA2 |
| 무지향성 음원 | AVM-DO12 |
| Calibrator | B&K Type 4231 |
| Mic. pre-amp | B&K Type 2639 |
| Power Amp | Norsonic NOR-260 |
| Generator | Rauschgenerator RG 10 |
| 분석용 Software | B&K 5305 |
| | ASA-2 (ETANI) Notebook Computer |

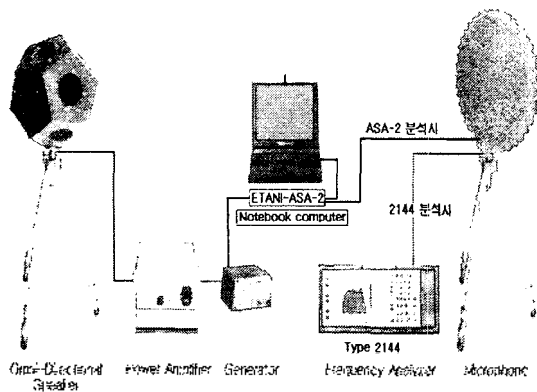
현장실험에서는 객석의 각 위치별로 설정한 6개의 측정점에서 두 개의 마이크로폰을 별도로 제작한 microphone holder를 이용하여 설치하였

다. 마이크로폰의 지향에 따른 음향인자의 차이 Δx 값을 얻기 위해 하나는 무대를 지향하고 다른 하나는 객석의 뒷벽을 지향하여 설치하였다. 홀의 전면과 후면을 지향한 이 두 개의 마이크로폰의 설치를 위해 별도의 장치(Microphone Holder Panel)을 고안하여 두 개의 마이크로폰의 설치하였다 (그림 3 참조)



(그림 3) Microphone Holder Panel의 상세도

1차 및 2차실험을 통하여 실시한 실험의 측정 기기의 구성은 (그림 4)에 도식한 바와 같다.



(그림 4) 측정기기 구성 및 배열

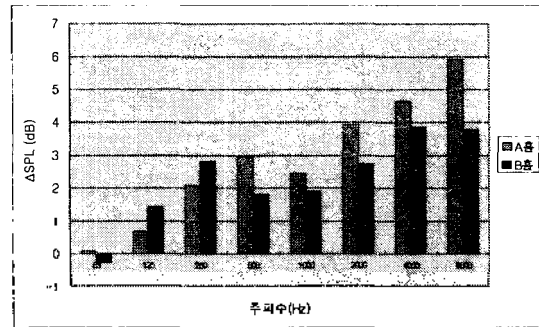
4. 결과 및 분석

4.1 1차 실험결과

1차 실험결과에 따라 각 홀에서 마이크로폰 M1(전면 지향)의 값과 마이크로폰 M2(후면 지향)에서 측정된 음압레벨의 편차(Δ SPL)를 주파수별로 분석하여 <표 4>와 (그림 5)에 나타내었다.

<표 4> 1차측정에 의한 각홀의 주파수별 음압레벨의 편이값 (평균 Δ SPL) (dB)

| 주파수 (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K |
|----------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| A 홀 | 0.09 | 0.68 | 2.09 | 2.96 | 2.44 | 3.93 | 4.65 | 5.91 |
| B 홀 | -0.27 | 1.42 | 2.81 | 1.81 | 1.91 | 2.74 | 3.855 | 3.79 |



(그림 5) 1차측정에 의한 주파수별 평균 Δ SPL 비교

분석결과에 의하면 중간주파수(500Hz) 이상의 주파수 범위에서는 확산이 큰 B홀에서 측정된 음압(SPL) 전반적으로 큼에도 불구하고 Δ SPL의 값은 확산이 적은 A홀보다 작게 나왔다. 그 이유는 서론에서도 언급하였듯이 확산이 좋은 홀일 수록 반사-확산음이 증가됨에 따라 M1과 M2의 값의 차이가 작게되어 음이 객석에 고루 전달 되었음을 반영하는 결과이다.

그러나 250Hz 이하의 범위에서는 A홀의 Δ SPL 값이 B홀보다 작게 나왔다. 이것은 두 개의 홀의 대부분의 재료가 판상재로서 저주파수대의 흡음이 많기 때문이기도 하지만 가장 큰 이유는 표면의 확산도에 따른 표면의 길이(x:dimension)에 따라서 음파의 파장(sound wave)이 반사-확산되거나 회절-흡음 되기 때문이다.

즉, 파장이 짧은 고주파의 음은 표면의 확산처리에 관계없이 반사되지만, 저주파의 음은 파장이 길기 때문에 표면의 x값(표면 치수)이 작을 경우 회절하거나 흡음되기 때문이다. 따라서 저주파수대에서는 확산성이 높은 B홀에서 직접음을 받는 M1의 SPL값은 높은 반면에 확산-반사음을 받는 M2의 경우 많은 음에너지가 표면에 의하여 회절되거나 흡음되어 마이크로폰에 도달하는 음에너지가 상대적으로 많이 작게 된다.

참고로 표면의 x값의 크기, 즉 확산도에 따라서 파장이 다른 음파의 반사특성은 <표 5>에 나타난 바와 같이 표면의 dimension의 크기와 음

의 파장과 깊은 관계가 있다.

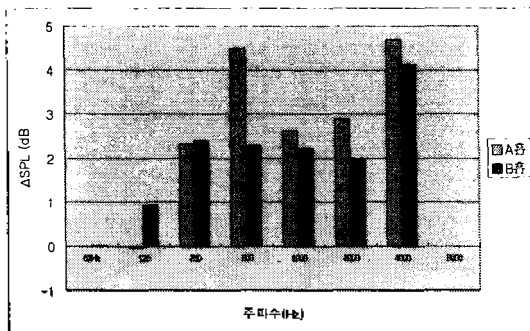
<표 5> 표면의 x값의 크기(확산도)에 따른 음파의 반사특성

| 주파수대 | 홀 A | 홀 B | | Δ SPL |
|---------------------|---------|---------|------------------|--------------|
| 고주파 (2KHz 이상) | 반사 | 반사 및 확산 | $x > 4\lambda$ | A홀 > B홀 |
| 중간주파수 (500-1KHz) | 반사 | 확산 | $x \geq \lambda$ | A홀 > B홀 |
| 저주파 (125Hz 이하) | 반사 및 확산 | 회절 및 흡음 | $x < \lambda$ | A홀 < B홀 |
| 비고 | 無 확산 | 有 확산 | | |

4.2 2차 실험결과

1차 실험결과에 나온 결과를 검증하고 그 범위를 다른 음향인자에 까지 확대하기 위하여 2 channel Sound Analyzer(ETANI ASA-2)를 이용하여 동일한 홀에 대하여 측정을 하였다.

측정결과 1차실험의 결과에서와 같이 고주파수대에서는 확산이 큰 B홀의 Δ SPL 값이 A홀 보다 작게 나왔으며 250Hz대에서는 비슷하게, 125Hz 이하의 저주파수대에서는 B홀의 Δ SPL 값이 A홀 보다 크게 나왔다. 2차 실험에 의한 주파수별 평균 Δ SPL 값은 (그림 6)에 나타내었다.



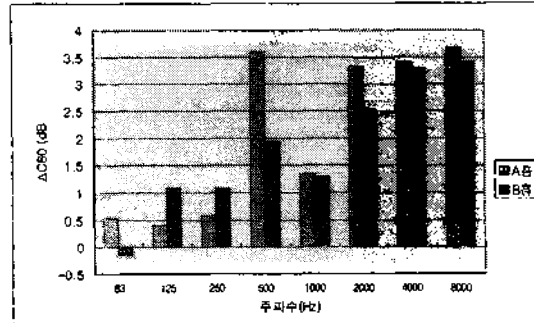
(그림 6) 2차측정에 의한 주파수별 평균 Δ SPL 비교

두 개의 마이크로폰의 위상차에 의한 음압레벨의 차이(Δ SPL) 이외에 C_{80} , EDT, RASTI 값에 대한 측정과 결과분석을 시행하였다.

전반적으로 명료도 (C_{80})값은 음압레벨에 비례하기 때문에 Δ SPL 값의 경우와 마찬가지로 Δ C_{80} 의 값도 고주파대역에서는 확산이 좋은 B홀에서 더 작게 나타났지만, 250Hz이하의 주파수 대역에서는 B홀의 ΔC_{80} 값이 더 크게 나타났다.

ΔC_{80} 에 대한 측정 결과는 (그림 7)에 나타난

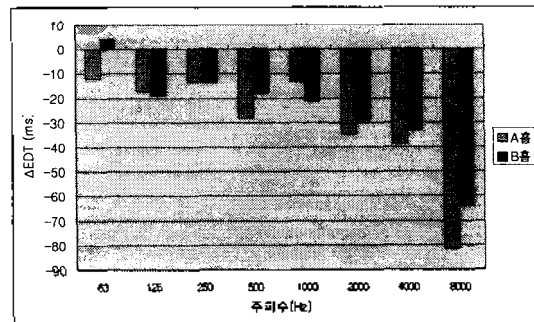
바와 같다. 그림에서 보이듯이 A홀 과 B홀의 C_{80} 값의 역상의 현상은 63Hz부터 250Hz의 저주파수 범위에서만 일어나고 있음을 알 수 있다.



(그림 7) 2차측정에 의한 주파수별 평균 ΔC_{80} 비교

초기잔향시간(EDT)의 경우 다른 음향지수와 같이 주파수대역에 따라 A홀과 B홀의 Δ EDT의 값이 차이가 달라지게 나타났는데, 이것은 확산성이 큰 홀일수록 후면을 지향한 마이크로폰에 실내 표면에 의한 확산-반사로 인하여 초기음 에너지가 많이 도달하는 것을 의미한다. 즉, SPL이나 C_{80} 의 경우와는 달리 EDT의 값의 경우, 후면을 지향한 M2에 의하여 측정된 초기잔향시간이 전면을 지향한 M1의 값보다 거의 모든 주파수대에서 길게 나왔다. 이것은 M1의 경우 강한 직접음에 의한 높은 음압에 비해 이어서 들어오는 반사음의 음압이 상대적으로 작기 때문에 초기음 감쇠가 급하게 떨어지는 반면에, M2의 경우는 직접음은 도달하지 못한 상태에서 반사음이 시간차를 두고 연속하여 도달하기 때문에 음 감쇠가 완만하게 이루어 지기 때문이다.

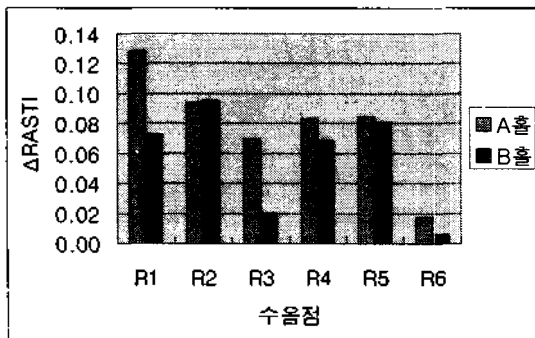
EDT에 대한 측정 결과는 (그림 8)에 나타난 바와 같다. 그림에서 보이듯이 거의 모든 막대 그래프의 값이 아래로 향해 있음을 알 수 있다.



(그림 8) 2차측정에 의한 주파수별 평균 EDT 비교

마지막으로 명료도와 연관성이 있으나 특별히 음성의 이해도를 나타내는 RASTI 값에 대하여 분석하였다. 분석 결과 확산성이 좋은 B홀이 대체로 음이 이해가 높게 측정되었으며, Δ RASTI 값은 R2의 측정점에서는 비슷하게, 나머지 모든 측정점에서는 B홀의 값이 전반적으로 작게 나타났다.

이것은 확산성이 좋은 공간에서는 위치와 주파수에 관계없이 모든 객석에서 고른 음의 이해도(RASTI)를 얻을 수 있다는 것을 의미한다.



(그림 8) 측정점별 평균 Δ RASTI의 비교

5. 결 론

본 연구의 결론은 확산성이 좋은 홀에서는 초기음의 공간 체류시간이 길어진다는 것 즉, 음 방사후 전체 음에너지의 대부분이 초기에 집중되어 분산됨에 따라 초기의 많은 음에너지가 확산된다는 Haan의 연구를 뒷받침하고 있으며 SDI(Surface Diffusivity Index)처럼 표면확산성(Surface Diffusivity)에 관련된 평가요소로서 두 개의 마이크로폰을 이용한 음향인자의 값의 위상차인 Δx 값이 건축공간의 확산성을 평가하는데 유용한 요소로서 사용되어질 수 있을 것이다.

본 연구의 결과로서 SPL, EDT, C80 값과 같이 주파수에 따른 파장의 차이로 인하여 반사, 확산 및 흡음의 영향을 받는 인자의 경우에, 확산성이 큰 홀에서는 고주파수 대역에서 인자의 Δx 값은 작게 나오는 반면에 저주파수 대역에서는 오히려 Δx 값이 크게 나오는 것을 알았다.

또한 RASTI의 경우는 주파수에 관계없이 확산성이 좋은 홀일수록 객석에 고른 분포를 이루게 됨을 알 수 있었다.

본 연구의 결과로 제시될 공간내의 확산성에

대한 인자는 실내 표면의 확산성의 중요성을 확인 할 수 있는 정량적인 근거가 될 수 있을 것이며 확산성으로 인하여 영향을 받는 음향인자의 구체적인 범위와 그 기여도를 알 수 있을 것이다. 따라서 본 연구는 실제 건축공간의 설계시에 음향설계의 목표에 따른 실내표면의 설계에 대한 정보와 그것이 실내음향에 미치는 영향을 예측할 수 있는 이론적인 바탕을 제공하는 기본적인 연구가 될 것이다.

참고문헌

- [1] L.L.Beranek, Music, Acoustics and Architecture, John Wiley, pp.445, 1962.
- [2] E.Meyer, "Definition and diffusion in rooms", J.Acoust.Soc.Am. 26(5), p.630-636, 1954.
- [3] T.J.Schultz, "Diffusion in reverberation rooms", J.Sound Vib. 16(1), p.17-28, 1971.
- [4] M.R.Schroeder, "Binaural dissimilarity and optimum ceilings for concert halls", J.Acoust.Soc.Am. 65(4), p.958-963, 1979.
- [5] C.H.Haan and F.R.Fricke, "Predicting the Acoustics of Concert Halls Using an Artificial Neural Network", Acoustics Australia vol. 23 (3) p.87-95, 1995.
- [6] C.H.Haan and F.R.Fricke, "An Evaluation of the Importance of Surface Diffusivity in Concert Halls, Applied Acoustics, 51, p.53-69, 1997.
- [7] 한찬훈, "실내음향에 확산성이 미치는 영향에 관한 실험적 연구" 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 제17권 제2(s)호, p.69-74, 1998.
- [8] 박계균, 한찬훈, "실내음향의 확산성에 대한 실험적 연구" 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 제18권 제1(s)호, p.313-318, 1999.
- [9] L.L.Beranek, "Concert hall acoustics-1992", J.Acoust.Soc.Am. 92(1), pp.1-39 (1992).