

오페라하우스의 객석음향평가에 대한 시지각의 영향

The Effects of Visual Input on the Evaluation of the Acoustics in the Opera Houses

김수연* · 전진용*

Su Yeon Kim, Jin Yong Jeon

Key Words : 오페라하우스, 시지각, 친밀감(Intimacy), 청감실험, ITDG, 1-IACC, 극적 인티머시

ABSTRACT

Opera house acoustics were subjectively evaluated in order to investigate the effect of performance stage views on the audience's perception of the seat acoustics in an opera house. Nine seats from an existing opera house were selected for the auditory and/or visual experiments according to seating area distribution and acoustical parameters such as RT and 1-IACC_{E3}. The recorded music, convolved from the impulse response, was presented with and without visual images of the stage. Subjects were asked to assess the auditory/visual descriptors and overall impression of the music at each seat. The results showed that good visual input helps produce a favorable impression of the acoustics, but a limited view degrades acoustical impression. The acoustical parameters in the tested seats were also investigated to find the relationship between the acoustical parameters and the visual/sound impression

1. 서론

지난 반세기 동안 콘서트홀과 오페라하우스의 음향에 대한 평가는 주관적인 평가와 더불어 음향 특성의 측정 및 분석을 통해 더욱 과학적으로 규명되어 왔다. 특히 최근의 연구 동향을 살펴보면 여러 음향 지표가 다양한 연구와 진보 과정을 거쳐 새롭게 제안되고 있으나 여기서 간과하고 있는 점은 공연장 내에서 인간의 감성의 흐름이 단지 청각에만 의존하는 것이 아니라 여러 다른 감각기관, 특히 시지각의 영향이 지대하다는 사실이다. 특정 홀에서 공연을 '감상한다'라고 했을 때 귀로 '듣는 것', 즉 청각적 감상뿐만 아니라 연주자나 연기자들 포함한 무대 및 공연장 내부 환경에 대한 시각적인 감상이 당연히 포함된다. 결국 하나의 홀에 대한 평가는 청각적 평가와 더불어 시각적 만족도에 대한 평가도 함께 이루어져야 한다고 할 수 있다. 최근 음향평가에 대한 시지각의 영향을 연구한 사례로는 2004년 미국음향학회에서 Jerald R. Hyde가 콘서트홀에서의 시지각 환경은 음향적 친밀감과 무대와 좌석 간에 거리

에 따른 음량의 인식에 영향을 준다는 내용을 발표한 바 있다. 또한 스웨덴의 Chalmers Room Acoustics Group은 실내공간에서 측정된 음향 지표와 청감실험을 했을 때 피험자들의 반응 사이에 상관관계가 미흡한 경우가 있다는 사실에 착안하여 특정 콘서트홀의 시지각 환경을 제시되었을 때 청감평가를 한 결과 진향감, 음원으로부터의 거리감 및 ASW(Apparent Source Width)는 음원만 제시되었을 때 상관관계가 높고 시각적 이미지가 함께 제시되었을 때에는 공간의 크기감 평가와의 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 본 연구는 청각과 시지각의 상관관계를 규명하고 감성의 통합적인 설계안을 제시하기 위해 연구 대상으로서 오페라하우스를 선정하였다. 청각적 인상이 대부분 중요한 콘서트홀과는 달리 오페라 하우스가 본연구의 대상으로 적합하다고 판단하였다. 오페라의 공연 공간에서는 시청각 예술이 조화롭게 제 기능을 발휘하여야 하며, 공연의 내용을 관객이 시청각적으로 충분히 이해할 수 있는 장소로서 관객을 만족시킬 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 호주의 시드니 오페라하우스(Sydney Opera House)의 오페라 극장(Opera Theatre)을 대상으로 30개소 이상 좌석의 음향 지표를 측정 하였으며 그 중 청각과 시지각의 상관관계를 규명하기 위한 대표 좌석 9곳을 선정하였다. 선정된 좌석을 대상으로 시지각 환경이 제시되지 않았을 때와 제시되었을 때 청감평가를 통해 좌석별 선호도를 조사하였으며, 어떤

* 한양대학교 건축공학과 석사과정
E-mail : monetsy@hotmail.com
Tel : (02) 2290-1795, Fax : (02) 2291-1738

* 한양대학교 건축공학부 부교수

인자가 청감인자 또는 시각적 평가에 가장 큰 영향을 주는 지 상관관계를 분석하였다. 또한 본 연구의 결과를 오페라 하우스 설계에 구체적으로 적용하기 위해 시지각에 대한 영향을 공간 인자로 정량화 하였다. 또한 9개 좌석 위치의 물리적 특성을 고려하여 시지각의 영향이 각각 다르게 나타나는 원인에 대해 규명하였다.

2. SOH 오페라극장

2-1 개요

시드니 오페라 하우스(SOH) 오페라극장의 용적은 약 15,000 m³ 이며 좌석수는 Stalls 866석/Circle 466석/Box 198석으로 총 1,547석이다. 프로시니엄의 크기는 폭 11.5m, 높이 7.0m이며 오케스트라 피트는 75명의 연주자를 수용할 수 있다. 본 오페라하우스는 오페라, 발레, 무용 등을 공연 하는데 주로 사용되고 있다.

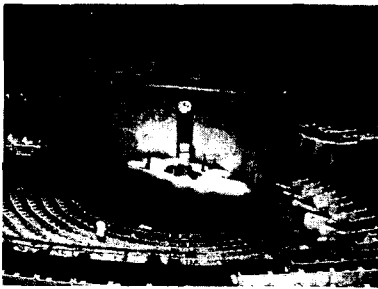


사진 1. SOH 오페라극장의 내부

2-2 좌석선정

본 연구를 위해 시드니 오페라하우스 객석 중 실험을 위한 9개 좌석을 Fig 1.와 같이 선정하였다. 이 때 음향 측정치의 분포가 고르게 반영되도록 하였는데, 특히 RT (Reverberation Time), IACC(Inter-aural Cross Correlation), LF(Lateral Energy Fraction)이 고려되었으며, 시각적으로는 각 좌석에서의 거리감 및 무대 시야의 제한 정도가 반영되도록 선정하였으며, 공간 내부의 다양한 좌석 환경의 차이가 반영되도록 좌석 선정에 참조하였다.

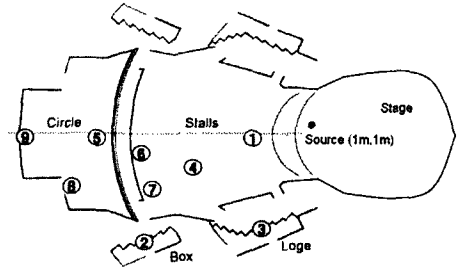


Fig 1. 객석평면 및 9개 실험좌석 선정

2-3 Acoustical Measurements(공석시)

시드니 오페라하우스의 평균 잔향시간(RT)은 공석시 500Hz 대역에서 1.17초이며 Fig 2.에서와 같이 좌석별로 비슷한 분포를 보인다. 또한 1-IACC_{E3}는 Fig 3.에서와 같이 측벽에서 가까운 좌석인 Box석(2, 3번)과 Circle에 위치한 스탠딩 좌석(8번)에서 0.7이상의 값을, 중앙부에서는 0.4-0.5 근방의 값을 가지며 LF_{E4}와 상관계수는 0.79로 높은 상관성을 보였다.

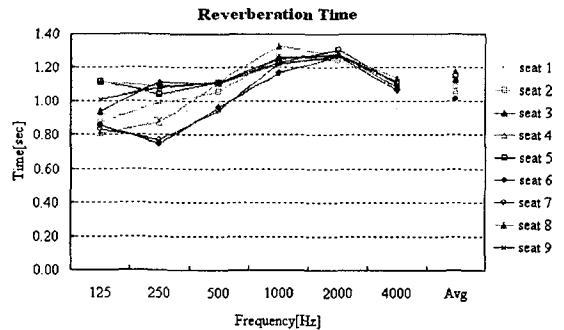


Fig. 2. Reverberation time

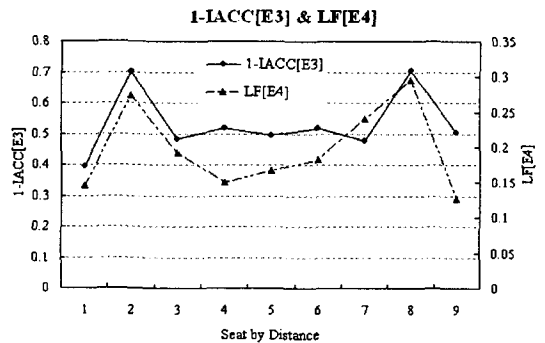


Fig. 3. 1-IACC_{E3} and LF_{E4}

3. 청감실험

3-1. 실험 방법 및 절차

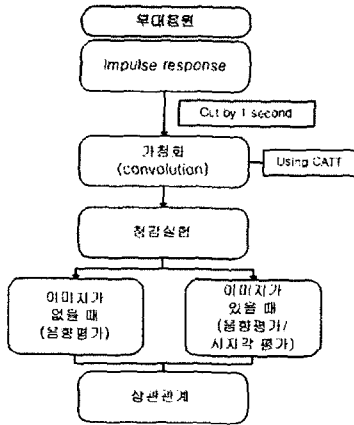


Fig. 4. 측정 및 청감실험과 분석 과정 개요

9개 좌석에서 측정된 임펄스 리스펀스는 무향실에서 녹음한 소프라노 성악 음원(Torna a Sorrento, Sopano, E.D.Curtis)과 각각 convolution 하여 가청화를 실시하였다. 청감실험은 호주 현지에서 20명의 피험자를 대상으로 하였다. 각 좌석에서 1.2m 높이에서 무대를 향하여 촬영한 사진을 시각적 이미지로 하여 이미지가 있을 때와 없을 때 각각 동일한 음원에 대해 피험자에게 Table 1.와 같은 설문지의 청감평가를 하도록 하였다.

Table 1. 청감실험 설문지의 구성

청각적 요소	소리의 크기(Loudness), 잔향감(Reverberation), 공간감(Envelopment), 친밀감(Intimacy), 명료도(Clarity), 집중도(Concentration)	
시각적 요소	배우와의 거리감 (Estimated Distance, ED)	
	무대의 크기 (Spatial Stage Dominance, SSD)	
	공연에 대한 시각적 친밀감 (Visual Intimacy to the Opera, VIO)	
	극장 내부 환경에 대한 시각적 만족감 (Visual Satisfaction of Surroundings, VSS)	
평가 방법	이미지가 없을 때	음향 평가(overall impression)
	이미지가 있을 때	음향 평가(sound impression) 시각적 평가(visual impression) 전반적 좌석 평가(overall impression)

청각 및 시각적 평가는 5점 척도로, impression 평가는 7점 척도로 평가하도록 하였으며 각 개인의 주관적 척도가 다르므로 분석과정에서 normalize 하였다.

3-2. 실험결과

Audio만 제시되었을 때는 Fig 5에서와 같이 음의 집중도 및 명료도에 대한 평가가 전체적 인상을 결정하는데 많은 비중을 차지하였다. 이는 제시된 음원이 소프라노 성악 음악이기 때문에 소리가 명확한 것을 피험자가 더 선호한 것으로 사료된다. 그러나 시각적 이미지가 함께 제시되었을 때에는 위 결과와는 상이하게 Fig 6.에서와 같이 친밀감에 대한 평가가 전반적 인상의 결정에 가장 큰 기여를 하였다. 친밀감이 많이 느껴질수록 좌석에 대한 선호도가 증가한 것이다. 또한 같은 음원에 대해 시각적 이미지가 동시에 제시되었을 때 친밀감의 영향이 음향 평가에도 동시에 반영되어 음원만 제시되었을 때와는 다르게 나타났다.

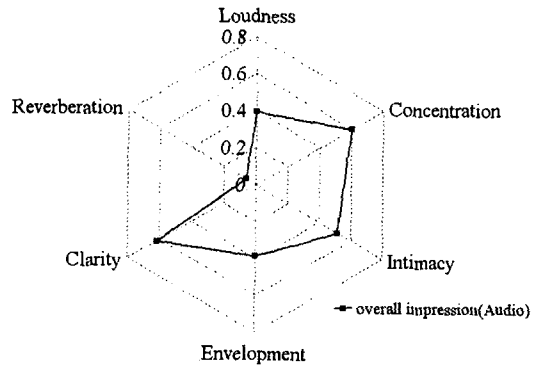


Fig 5. 음악만 제시되었을 때 overall impression과 음향 평가의 상관관계

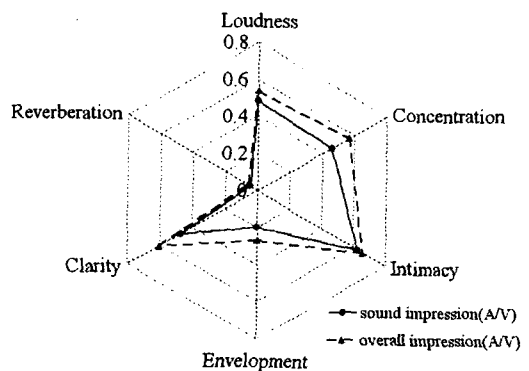


Fig 6. 시각적 환경이 함께 제시되었을 때 overall impression 및 sound impression과 음향 평가의 상관관계

또한 시각적 평가에서 어떤 요인이 시각적 인상에 가장 큰 영향을 주었는지 상관관계를 구해본 결과 공간의 형태적 요소와 관련된 '배우와의 거리감'과 '무대의 크기'에 대한

평가보다 감성적 평가량인 '공연에 대한 시각적 친밀감'과 '극장 내부 환경에 대한 시각적 만족감'에서 보다 높은 상관관계가 나타났다.

Table 2. 시각적 평가 인자와 visual impression의 상관관계

ED	SSD	VIO	VSS
0.47	0.56	0.73	0.77

위 두 가지 결론으로부터 시각적 이미지가 제시되었을 때 피험자에게 친밀감을 보다 더 강하게 느끼도록 한다는 사실을 알 수 있다.

3-3. 측정치와 주관적 평가

Fig. 7에서와 같이 좌석별로 시각적 이미지가 제시되었을 때 무대 위 성악 음원에 대해 느끼는 친밀감의 정도가 2, 8번 좌석을 제외한 나머지 7좌석에서 모두 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

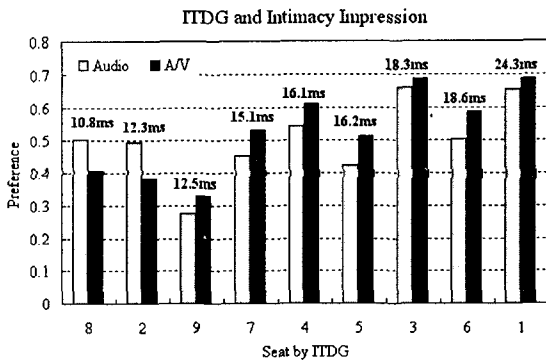


Fig. 7. ITDG와 선호도의 상관관계

또한 피험자들의 친밀감에 대한 평가와 ITDG의 상관관계를 보면 음원만 제시되었을 때 ($R^2=0.42$)보다 시각적 이미지가 함께 제시되었을 때 ($R^2=0.81$) 성악 음원에 대한 청감평가에 친밀감의 영향이 더 크게 나타났다.

일반적으로 ITDG가 짧을수록 (<20ms) 음향적인 친밀감이 증가한다고 알려져 있으나 9개 좌석 중 최전열부(d=7.93m) 및 중앙부($\theta=10.97^\circ$) 좌석(ITDG=24.3ms)을 제외한 8개 좌석이 모두 20ms 이내의 ITDG 값을 나타내고 있는 가운데 이들 9개 좌석 간의 상대비교에 있어서는 오히려 ITDG가 증가할수록 친밀감의 선호도가 증가하는 경향성을 보였으며 이러한 경향성은 시각적 이미지가 주어졌을 때 더 분명하게 나타났다.

시각적 이미지가 제시되지 않았을 때에는 측정치와의 상관관계 분석결과 명료도에서 가장 큰 상관관계(C_{80} , 0.62; D_{50} , 0.72)가 나타났으나 시각적 이미지가 함께 제시되었을 때는

명료도와 상관성은 낮아지고 ITDG와의 상관관계가 증가하는 경향을 볼 수 있었다(Audio, 0.62 ; Audio-visual, 0.79) 이는 피험자가 음악만 제시되었을 때는 명료도에 의해, 시각적 이미지가 함께 제시되었을 때는 친밀감에 의해 전반적 인상이 결정된다는 청감실험의 결론과 맥락을 같이 한다.

또한 좌석의 음향평가 및 선호도는 음향의 공간감 요소인 1-IACC와의 상관성이 높을 것이라는 예상과는 달리 음의 약한 상관관계가 나타났다. 대하여 주파수 대역별 특성을 조사한 결과 1-IACC의 overall 값의 높고 낮음에 관계없이 500Hz, 1000Hz, 2000Hz 대역에서 편차가 작으면 좌석의 음향은 더 선호되는 것으로 나타났다.

따라서 500Hz, 1000Hz, 2000Hz 대역의 최대값과 최소값의 차이로 1-IACC의 주파수 대역별 평탄 특성을 표시하면 다음과 같다.

$$1 - IACC_{flat} = \max_{1 - IACC} [500Hz, 1000Hz, 2000Hz] - \min_{1 - IACC} [500Hz, 1000Hz, 2000Hz]$$

Table 3.에서와 같이 음향지표와 sound 및 overall impression의 상관관계를 계산하면 이미지가 있을 때와 없을 때 모두 음향 평가에서는 1-IACC_{flat}과 높은 상관관계가 나타났다.

Table 3. 음향 지표와 sound 및 overall impression의 상관관계

	RT	EDT	C80	D50	1-IACC _{E3}	1-IACC _{flat}	LF _{E4}	ITDG
Audio	0.06	-0.22	0.62	0.72	-0.25	-0.76	-0.03	0.62
A/ audio	-0.15	-0.30	0.46	0.36	-0.62	-0.62	-0.40	0.79
V overall	-0.15	-0.25	0.22	0.05	-0.66	-0.38	-0.51	0.71

3-4. 극적 인티머시(I_{value})

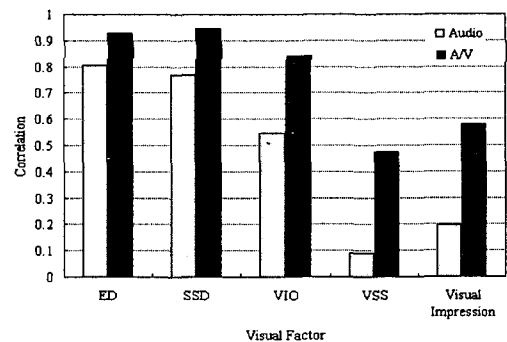


Fig 8. 시각적 인자와 친밀감(Intimacy) 평가의 상관관계

Fig 8.에서와 같이 시각적 환경 제시의 영향은 '음향적 친밀감'의 증가로 대표된다. 상관관계 분석을 통해서 음향적

친밀감의 증가에 시각적인 요인이 영향 요소로 작용한 사실을 확인 할 수 있었다. 특히 시각적 평가의 4가지 인자 중에서 배우와의 거리감(estimated distance)과 무대의 크기(stage spatial dominance)에서 상관관계가 높게 나타났다. 따라서 시지각 영향을 객관적으로 정량화하여 비교 분석하기 위하여 본 연구에서는 '극적 인티머시' 지표인 I_{value} 를 도입하였다. 극적 인티머시란 관객과 배우간에 느끼는 친밀감의 정도를 정량화한 값으로 광량의 법칙을 토대로 한다. 광량의 법칙이란 광량은 피사체의 거리 제곱에 반비례하고 광량의 변화는 광선 입사각의 코사인으로 비례한다는 법칙이다. 즉 인티머시는 시선이 교차하는 경우에 발생하며 그 정도는 해당 면에서의 광량이라고 가정하였을 때 극적 인티머시는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$I_{value} = \frac{\cos \theta}{R^2} \times k$$

여기서 R은 무대 중앙(무대 끝단으로부터 1m 지점)에서 각 좌석까지 거리를, θ 는 무대 중앙선과 각 좌석이 이루는 수평각을 나타낸다. 따라서 I_{value} 는 무대를 중심으로 한 시각적 환경 제시의 영향과 음향지표의 상관관계를 규명하는데 활용될 수 있으며 Table 4.에서와 같이 좌석별로 시각 환경의 차이에 대한 변별력을 제공한다..

Table 4. 좌석별 극적 인티머시, $I_{value}(k=1000)$

seat	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_{value}	15.6	1.57	1.67	2.83	3.09	3.01	0.87	1.97	1.19

객관적 음향 지표와 좌석별 극적 인티머시의 상관관계 분석 결과 Table 5.에서와 같이 I_{value} 는 ITDG 및 I-ACC_{flat}과 가장 높은 상관관계를 보였다.

Table 5. I_{value} 와 음향지표의 상관관계

RT	EDT	BR	C80	D50	LF _{Ed}	1-IACC _{Ed}	1-IACC _{flat}	ITDG
-0.41	-0.27	0.05	0.46	0.41	-0.33	-0.50	0.76	0.79

4. 결과의 분석 및 고찰

시지각 환경에 대한 좌석 선호도를 비교하기 위하여 9개 좌석에 대해 시각적 환경이 함께 제시되었을 때 overall impression과 sound impression에 선호도 변화가 있는지 시각적 이미지 제시 전과 제시 후 선호도 변화량을 퍼센트 로 나타내면 각각 Fig 9.와 Fig 10.과 같다.

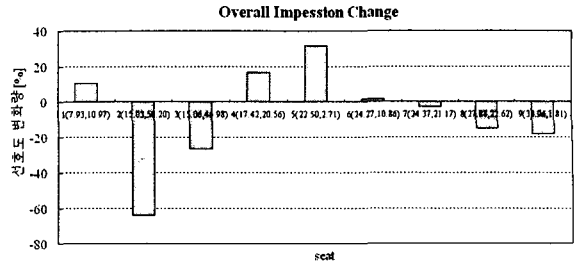


Fig 9. 시각적 환경 제시 전후 overall impression 평가 변화량 퍼센트[%]

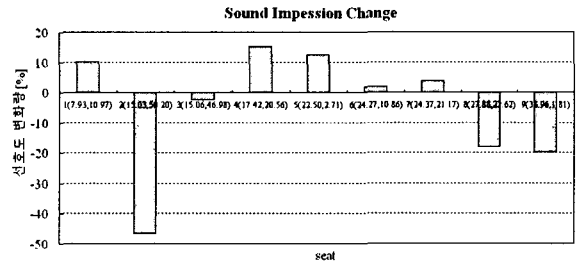


Fig 10. 시각적 환경 제시 전후 sound impression 평가 변화량 퍼센트[%]

x-axis : 좌석번호(거리 R(m), 수평각 θ (°))

1, 4, 5번 좌석은 객석 중앙부이며 무대 가까이 위치한 ($R < 23m, \theta < 30^\circ$) 곳으로 시각적 이미지가 함께 제시된 후 overall impression이 10%이상 증가하였으며 sound impression 역시 같은 경향을 나타내었다. 이 세 좌석의 무대 중앙으로부터의 거리는 공연장 설계 시 적용되는 1차 시야한도인 22m보다 가깝거나 근사하며 수평각은 좌석에 앉은 사람들이 눈을 움직일 때의 시야범위인 $0^\circ \sim 30^\circ$ 를 만족한다. 반면 2, 3번 좌석은 각각 Box와 Loge에 위치한 좌석으로서 무대로부터 거리는 가까우나($R \approx 15m$) 무대를 바라보는 시야가 제한($\theta > 45^\circ$)되는 단점을 가지고 있다. 위 두 좌석은 시각적 이미지가 주어질 경우 청감실험 결과 overall impression이 20%이상 감소하는 결과가 나타났다. 특히 3층에 위치하여 무대의 약 1/4정도가 시야로부터 가려지는 2번 좌석은 시각적 이미지가 함께 제시된 후 overall impression은 64%, sound impression은 47% 감소하였다. 1층 stalls에서 overhang 밑에 위치한 6, 7번 좌석은 impression의 변화가 크지 않았으며 circle에 위치한 스탠딩 좌석 8번과 최후열 근방에 위치한 9번 좌석은 impression이 10%이상 감소하는 경향이 나타났다.

8, 9번 좌석은 무대로부터 거리($R > 25m$)의 영향으로 위와 같은 결과가 나타난 것으로 사료된다.

Table 6.에서와 같이 좌석별로 선호도 순위는 1층 Stalls에 위치한 중앙부 좌석인 1, 4번이 시각적 이미지 제시 전후 모두 sound impression, overall impression의 상위에 위치했다.

Table 6. 좌석별 청감실험 선호도 순위

preference ranking	seat		
	Audio	A/V	
		sound	overall
1	3	1	1
2	1	4	4
3	4	3	5
4	6	6	6
5	8	5	3
6	2	7	7
7	7	8	8
8	5	2	9
9	9	9	2

그러나 Loge에 위치한 3번 좌석은 시각적 이미지 없이 청감만을 평가했을 때는 1순위로 선호되었으나 시각적 이미지 제시 후에는 9개 좌석 중 overall impression 5순위로 나타났다. 이는 시각적인 환경이 청감에 부정적인 영향을 끼친 결과이다. Circle에서 앞쪽 중앙에 위치하여 시각적 만족도가 비교적 높은 5번 좌석은 시각적 이미지 제시 후 sound와 overall impression 모두 순위가 증가하는 결과를 나타냈다.

5. 결론

본 연구를 통해 오페라하우스에서 객석 음향의 인지에 대해 시지각의 영향이 작용하는 것을 확인할 수 있었다. 시각적 이미지가 주어지기 전후에 무대의 성악음원에 대한 청감에 선호도 차이가 나타났으며 이는 좌석에 대한 overall impression의 순위를 바꾸는데 기여한 것으로 나타났다. 특히 시각적 이미지가 제시된 후에는 성악 음원에 대한 친밀감에 의해 overall impression이 가장 많이 좌우되는 것으로 나타났으며 이는 친밀감을 나타내는 음향 지표인 각 좌석별 ITDG값과의 상관관계 분석에서도 제시 전보다 제시 후에 선호도에 대한 영향이 더 커진다는 사실을 확인할 수 있었다.

새롭게 제안된 극적 인티머시에 가장 영향력이 큰 음향 지표를 찾아내는 과정은 시지각 만족도와 상관성이 가장 높은 음향지표를 규명하는 데에 의의가 있다. 결과적으로 규명된 음향지표 측정값인 ITDG와 극적 인티머시를 함께 개선하면 오페라 공연장으로서 음향 및 시지각적 만족도가 높은 장소를 설계할 수 있을 것으로 사료된다.

마지막으로 본 연구과정에서 제안된 1-IACC의 주파수 대역 평탄 특성 역시 음향 인자적 측면에서 새로운 접근으로 시지각의 영향과 관련성이 높은 척도라는 점에서 향후 다른 오페라하우스의 사례분석과 더불어 심층적인 연구가 필요한 부분이라고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Jerald R. Hyde, 2004, "Multisensory integration and the concert experience: An overview of how visual stimuli can affect what we hear", J. Acoustic. Soc. Am., Vol. 115, Pt. 2, pp.2402
- [2] Pontus Larsson, Daniel Vastfjall, and Mendel Kleiner, 2004, "Multimodal interaction in real and virtual concert halls", J. Acoustic. Soc. Am., Vol. 115, Pt. 2, pp. 2403
- [3] Izenour, Gorge C., Theatre Design, 2nd ed. New Haven, Yale Univ. Press, 1996, p.10
- [4] Andy Nguyen, Densil Cabrera, 2004, "Visual Counterparts to Spatial Impression in Auditorium Acoustics", International Symposium on Room Acoustics : Design and Science 2004
- [5] Densil Cabrera, Andy Nguyen, Young Ji Choi, "Auditory versus Visual Spatial Impression : A Study of Two Auditoria"
- [6] M. Barron, 1988, "Subjective Study of British Symphony Concert Halls", ACUSTICA, Vol. 66, pp.1-13
- [7] M. Barron, 1995, "Questionnaires for Subjective Assessment of Concert Spaces", 15th International Congress on Acoustics, pp 373-376
- [8] Leo Beranek, Concert Halls and Opera Houses, 2004, 2nd ed., pp.558-561
- [9] 이광노 외, 건축계획, 문운당, 1994, pp.500-501