

국악공연장 음향설계기준에 따른 음향개선 사례연구

신직수*, 이원구**, 한찬훈**

RPG Korea Diffusor System*, 충북대학교 공과대학 건축공학과**

A Case Study of the Improvement of the Acoustics of a Traditional Music Hall according to the Acoustical Guideline of the Traditional Music

Shin Jic-Su*, Lee Wangu**, Haan Chan-Hoon**

Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National University

E-mail : Zzics76@hanmail.net*, kan09@hanmail.net**, chhaan@cbucc.chungbuk.ac.kr**

요 약

본 연구는 국립국악원 우면당의 개보수공사에 있어서 새로이 변경되는 객석의 형태와 규모 및 목적에 맞는 최적의 실내음향설계를 제시하기 위하여 현재의 우면당 실내음향의 문제점을 파악하고 설계된 도면을 기초로 하여 과학적으로 분석, 평가함으로써 국악공연에 적합한 최적의 음향성능을 창출하고 이에 따른 실내마감 자재 및 설계, 시공방법 등을 제시하였다. 또한 시공후 음향성능에 대한 평가작업을 시행하여 시공전과 비교함으로써 그 개선의 결과를 검증하였다.

1. 서 론

문화예술의 발전에 따라 국악에 대한 수요가 증가함에 있어서 국내에도 국악전용의 공연자의 건축이 증가하고 있다. 국악과는 달리 서양음악에 대한 실내음향학적 특성은 이미 많은 연구가 진행되어 왔으며 음악의 종류에 따른 공연장의 설계조건과 음향학적 특성을 평가할 수 있는 객관적인 음향인자를 정립하였다. 그러나 국악에 있어서는 공연장에 대한 음향학적인 지표가 공식화된 것이 없으며, 국악기의 음향특성과 이에 따른 공연장의 음향적 요구조건에 대한 연구가 최근에 이루어지고 있다. 본 연구의 목적은 국악공연장의 음향특성을 맞추기 위하여 실시한 국악공연자의 개건축사례를 통하여 일련의 음향적 분석과 설계를 실시하여 그 결과를 도출함으로써 국악공연장의 개선에 대한 가능성을 제시하고 그 과정을 소개함으로써 향후 국악공연장의 설계와 개선에 참고가 되고자 한다.

2. 국립국악당 우면당의 설계개요

서울시 서초동 소재 국립국악원 우면당은 지난 1989년 개관 이래 국악 전용공연장으로 사용되어 왔다. 특히, 정악과 민속악을 비롯한 국악 전반의 전문 공연장으로서 많은 공연을 소화하였으나 시설의 노후와 더불어 국악에 적합한 음향환경의 개선에 대한 요구가 대두되었다. 또한 당초의 open stage 형식의 Arena형 객석과 함께 3개의 위치에 분산된 객석을 가변적으로 개폐할 수 있게 하였으나 그 효율성이 적고 사용빈도가 낮아서 보다 전문화된 공연장의 형태로 변경하게 되었다. 우면당의 최초시공시 국악의 음향조건에 대한 설계기준이 존재하지 않았던 관계로 서양음악의 기준과 더불어 일상적인 강당의 음향계획에 의하여 설계가 이루어진 점이 있었다. 따라서 개보수공사에 임하여 보다 국악공연에 맞는 적절한 음향조건을 확보하는 것이 중요한 과제로 대두되었다.

우면당은 총 404석의 객석을 지닌 국악 전용공연장으로서 국악공연, 문화행사 및 국악무용등에 두루 이용될 계획이다. 새로이 변경된 설계안은 기존의 삼분화 된 평면을 지양하고 공연장의 형태로 가장 많이 쓰이는 장방형을 근간으로 하되 무대쪽의 객석폭을 줄인 변화된 부채꼴의 모양을 가지고 있다. 우면당의 단면형태는 1층의 주객석의 전반부바닥부터 후반부의 객석까지 경사진 계단형으로 처리되어서 모든 관객의 시야각 및 직접음선 경로를 확보하였다. 단, 본 공사에서 기존의 주객석 천장은 공사범위에서 제외되어 있으므로 종단면상의 큰 변화는 없다. 변경된 형태는 관객의 시야각을 보다 편하게 제공하고 있을 뿐만 아니라 객석의 양옆에

위치한 gallery형 계단석을 제외함으로서 무대와 객석의 평균이격거리를 짧게 할 수 있는 장점을 제공하고 있다. 또한 이러한 형태는 공연자의 입장에서는 관객의 시선을 일정한 각도 이내로 모아줌으로 집중력을 높이는 데 도움이 되고 있다. 또한 모든 좌석이 무대에 가까이 배치되어 공연을 시청각적으로 현장감 있게 느낄 수 있으며 모든 좌석에서 직접적인 시야각을 확보하고 있다. 개수전 이후의 우면당의 건축계획상 제원은 표 1과 나타낸 바와 같으며 개수전의 우면당 평면과 개수후 우면당의 평면은 각각 그림 1과 그림 2에 나타낸 바와 같다. 또한 변경되지 않은 우면당의 종단면도는 그림 3에 나타내었다.

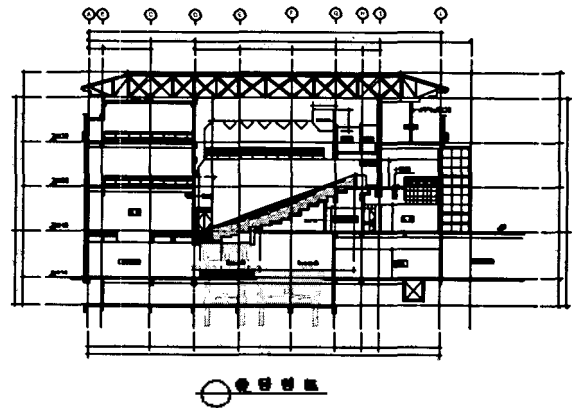


그림 3. 우면당 종단면도 (longitudinal section)

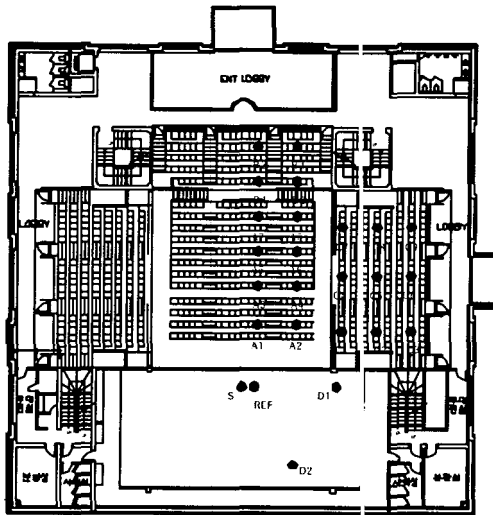


그림 1. 개수전 우면당의 객석평면도

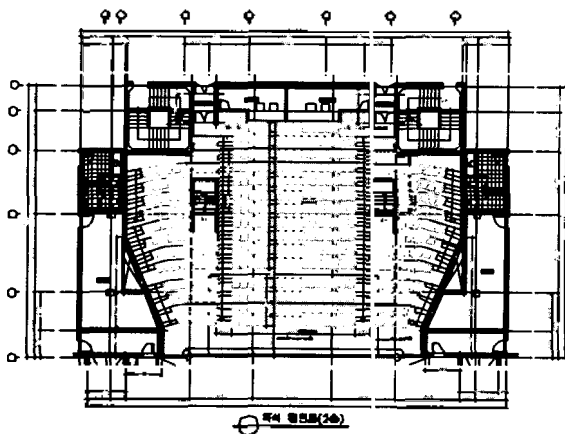


그림 2. 개수후 우면당의 객석 평면도

표 1. 국립국악원 우면당 우면당의 건축계획상 제원

제 원	길이(L)	폭(W)	높이(H)
최 대	16.2	23.6	12.2
평 균	15.1	18.9	7.5
체 적 (V)	약 2730 m ³		
실내표면적(S)	약 2763 m ²		
바닥면적 (F)	684 m ²		
좌석수 (N)	404 석		
V/N	6.8 (m ³ /석)		
무대면적	246 m ²		

3. 국악당 음향설계기준 및 음향설계목표

우리나라 국악공연의 음향설계 기준설정에 대한 연구결과 제안된 국악공연자의 음향설계 기준은 표 2에 나타낸 바와 같다. 표2에 정리된 결과는 국립국악원에서 발주한 국악음악의 설계기준설정연구의 일환으로 제시된 결과이다. 국립국악원 우면당의 규모를 고려하여 국악음악의 설계기준과 서양음악의 설계기준을 비교하여 나타내었다.

표 2. 국악음악의 음향설계기준

No	항 목	국악음악	서양음악
1	RT	0.8-1.0초	1.5초 이상
2	Bass Ratio	1.0-1.1	1.2
3	Brilliance	0.8-0.9	1.0 이상
4	G	3dB	4.0-5.5 dB
5	ITDG	9ms 이하	20ms 이하
6	C80	3dB 이상	0dB 이하
7	IACC	0.6 이상	0.5 이하

국립국악원 우면당은 국악전용 공연장으로서 건축시에 국악에 맞는 목표잔향시간을 설정할 필요가 있다. 우면당의 음향실험 결과 현재의 잔향시간이 기준치보다 작은 관계로 우면당의 목표잔향시간은 국악기준에 맞게

상향하여 조정하였다. 따라서 우면당에 맞는 적절한 잔향시간의 목표치를 표3과 같이 제안하였다. 주파수별 목표 잔향시간은 표2의 국악음악의 음향설계 기준에서 Bass ratio와 Brilliance를 고려하여 작성하였다.

표 3. 우면당의 주파수별 목표잔향시간

Hz	125	250	500	1K	2K	4K	8K	Tmid
RT	1.10	1.05	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	1.0

4. 건축음향 시뮬레이션

국립국악원 우면당의 목적에 따라 실내의 음향특성과 소리의 전달과정을 체계적으로 조사하기 위하여 음의 발생부터 소멸에 이르는 과정을 과학적으로 분석하고 실내디자인과 자재의 변경에 따른 결과를 용이하게 비교평가하기 위하여 컴퓨터를 이용한 3차원 시뮬레이션을 수행하였다.

우면당의 설계도면과 마감자재를 각 부위별로 시뮬레이션 모델에 적용하였다. 또한 각 자재의 흡음성능을 주파수별로 입력하여 설계된 우면당의 상태를 가시적으로 재현하였다. 시뮬레이션 모델의 운영을 위하여 약 532개의 각 부위에 적용된 마감자재는 표4에 나타난 바와 같다.

표 4. 개보수에 적용된 우면당의 부위별 마감자재

부 위	재 료
무대바닥	Wood Flooring
무대주위벽(상부)	Mineral Fiber 흡음보드
무대주위벽(하부)	Plaster Board
1,2층 객석의자	극장식 의자
1,2층 복도, 바닥	Wood Flooring
측벽(반사부분)	Plaster Board
측벽(흡음부분)	천마감 Tectum board
2층 후면벽	천마감 Tectum board
천장(전반부)	Gypsum board paneling
천장(후반부)	Mineral fiber board
확산체	Wooden paneling
천장 조명 booth	Heavy Plate Glass
출입문	Solid wooden door
조명실 유리	Heavy Plate Glass

새로이 설계된 우면당의 도면을 컴퓨터 시뮬레이션의 수행을 위하여 3D Graphic으로 제작하여 시뮬레이션용으로 전환한 3차원 표면상 모델은 그림4 와 같다. 시뮬레이션 모델은 주 무대를 포함한 측무대, 후무대의 공간을 포함하여 제작하였다.

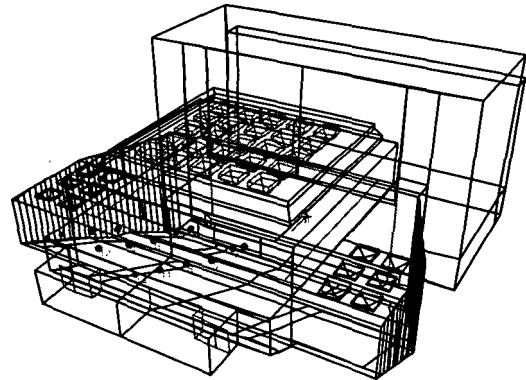


그림 4. 우면당 시뮬레이션 모델의 3-D 도면상 음원과 수음점의 위치

5. 실내음향측정

우면당의 개수공사전후의 음향성능을 평가하기 위하여 실내음향 측정기기를 이용하여 각 객석 위치별로 음압레벨과 잔향시간을 비롯한 실내음향인자를 측정하였다. 그 측정 결과를 분석하여 설계목표 및 국악공연에 맞는 음향성능 기준치와 비교함으로써 본 우면당의 음향상태를 평가하였다.

우면당에 대한 실내음향성능을 조사하는데 있어 실험일시 및 측정기기의 선택, 음원의 특성 등은 사전에 현장사정을 감안하여 조사 선택되었으며, 모든 실험은 ISO (International Standards Organization)와 ASTM의 규준에 따라 시행하였다.

표 5. 위치별 측정점 수

측정위치	권역(Zone)	측정점 수	
		개수전	개수후
중앙객석	A	8	10
후열객석	B	4	4
갤러리객석	C	9	5
무대부	D	2	2
합 계		23	21

개수전후의 실시한 음향실험시 채택한 우면당 무대와 객석의 측정점의 위치는 그림1과 그림4에 표시하였다. 측정점의 위치에 따라 전 객석을 4개의 권역(Zone)으로 나누었다. 객석에 세로열에 따라 A,B Zone을 설정하고, 객석 옆의 Gallery 계단형 객석에 C Zone을 설정하였다. 또한 별도로 무대 위의 공간을 D Zone으로 설정하였다.

일반적인 국악공연의 상황을 재현하기 위하여 실험시 무대에는 무대음향 반사판(Stage Enclosure)을 설치하지 않은 상태로 실험을 실시하였으며 개수후에는 음향반사판을 설치하고도 측정하였다.

각 홀의 음압레벨의 분포를 조사하기 위하여 우선 음원의 Power Level을 측정하여 위치별 음압레벨과 비교분석할 수 있는 기준을 설정함으로써 각 주파수별 음압 감소량을 측정하였다. 무지향성 음원은 무대 바닥에서 1.5m높이로 설치하였고 수음점은 각 측정점에서 1.2m 높이로 설치하였다. 각각의 측정점에서의 실험은 Microphone를 무대로 향하여 저항시킴으로써 직접음과 초기반사음의 측정에 용이토록 하였다. 측정시 음원 신호는 음원조사 및 무대에서는 일정한 음압의 MLS signal을 사용하였으며, 객석에서는 1 옥타브밴드로 측정하였다. 컴퓨터와 동기된 Generator에서 발생된 음 신호는 power amplifier를 거쳐 증폭된 뒤 무대위의 음원에서 방사되어 지정된 측정점에서 측정하였다. 우면당에서 실시한 음향실험의 각 기기구성과 실험도는 그림5와 그림6에 도식된 바와 같다.

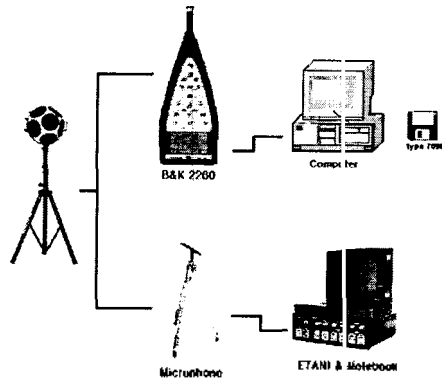


그림 5. 우면당 실험기기 구성도

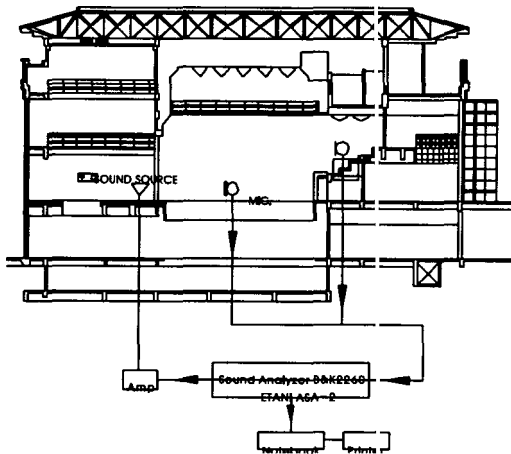


그림 6. 우면당 음향실험 현장장치도

6. 음향측정 결과 및 분석

6.1 음향출력 및 암소음레벨

실험은 공식의 상태에서 시행되었으며 음압레벨은 10초간 각 수음점에서 Leq값을 2회 측정하였다. 무대 위의 2개의 수음점과 객석의 21개 수음점의 음압레벨을 비교분석하기 위하여 1곳의 기준 수음점 (Reference receiver)을 음원으로부터 1m 떨어진 지점에 설정하여 음압을 측정하였다. 무대의 암소음 (Back Ground Noise)는 약 26.8dB였으며 1m 떨어진 지점에서 음원의 음향출력(Sound Power Level)은 약 90dB였다.

표 6은 현장 음향실험시 측정된 우면당 무대의 주파수별 암소음레벨을 보여주고 있으며 표7은 음원의 음향출력레벨을 주파수별로 나타내고 있다.

표 6. 우면당 객석의 주파수별 암소음레벨 dB(A)

Hz	125	250	500	1K	2K	4K	평균	Leq
dB	13.7	13.0	13.6	10.4	7.9	7.8	0.8	26.8

주) Leq : 63-20kHz까지의 평균 Leq값

표 7. 음원의 주파수별 음향출력레벨 dB(A)

Hz	125	250	500	1K	2K	4K	평균	Leq
dB	51.6	67.9	72.6	74.8	80.5	78.8	71.0	89.8

6.2 음압레벨 (SPL)

실험계획에 따라 객석의 각 측정점을 1 Octave 대역으로 음압레벨을 측정하였다. 평균음압레벨은 객석의 모든 측정점의 평균값을 나타낸다. 개수전과 개수후의 주파수별 음압레벨의 평균치를 표8에 나타내었다. 특히, 개수후의 음압레벨은 무대반사판이 없을때와, 있을때를 구분하여 별도로 표시하였으며 반사판을 설치한 경우에는 천정반사판만 설치하였을때와 천정과 무대측벽의 반사판 모구를 설치하였을때로 다시 구분하여 별도로 비교 분석하였다.

표 8. 반사판에 따른 객석의 주파수별 음압 (dB)

Hz	125	250	500	1K	2K	4K	평균
개수전	35.4	53.0	58.0	58.1	61.0	60.2	54.3
반사판無	36.7	54.2	57.2	58.7	60.6	60.6	54.7
천정판有	38.0	54.1	58.2	60.6	62.9	62.0	56.0
천정+측벽반사판有	37.2	54.7	58.4	61.3	63.9	62.7	56.4

음압레벨의 분포를 분석한 결과 반사판이 없을때, 개수전과 개수후의 음압레벨의 차이는 거의 없었으나 반사판을 설치한 경우 약 2dB까지 상승하였음을 알 수 있다. 각 경우의 음압레벨을 그림7에 도식하였다.

그림7에서 알 수 있듯이 음압레벨은 125Hz의 저주

파수 대역에서 가장 낮게 형성되고 있으며 주파수가 증가할수록 음압레벨도 커지는 특성을 보이고 있다. 이것은 대부분 관재로 이루어진 내부 마감재료(저주파수 대역)에 기인하는 것으로 판단된다.

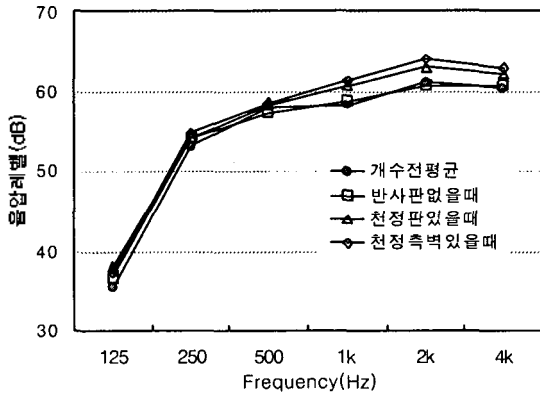


그림 7. 우면당객석의 위치별 평균음압레벨 비교

6.3 잔향시간(AT)

음압레벨과 같이 우면당 객석에서 측정점별로 잔향시간을 주파수별로 측정하였다. 표8은 우면당의 객석의 개수전후와 반사판의 설치유무에 따른 객석의 평균 잔향시간을 나타내고 있다.

표 8. 반사판에 따른 객석의 평균잔향시간 (초)

Hz	125	250	500	1K	2K	4K	Tmid
개수전	0.76	0.66	0.67	0.73	0.65	0.60	0.70
반사판無	1.17	0.85	0.87	0.86	0.82	0.76	0.87
천정판有	1.13	0.93	0.97	0.96	0.92	0.84	0.97
천정+측벽반사판有	1.17	0.90	0.90	0.89	0.85	0.80	0.90

분석결과 공개수전의 우면당의 중간주파수 대역의 전체 평균잔향시간은 0.7초로 나타났으며 동일조건하에서 개수후에는 0.87초로 다소 상승한 것으로 나타났다. 이것은 당초의 설계 목표치 약 1.0초보다 작은 값이다. 그 이유는 현장조사결과 개수공사의 범위에 포함되지 않은 무대부분의 상부가 지분까지 열려있어서 무대상부를 통하여 흡음되는 에너지양이 많기 때문인 것으로 나타났다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 무대반사판을 설치하여 잔향시간을 측정된 결과 중간주파수 대역의 전체 평균잔향시간은 0.97초로 나타났으며 이값은 당초의 목표치인 1.0초에 근접한 값이다. 무대의 측벽반사판을 설치한 경우는 천정반사판의 일부를 제거해야했음으로 인한 잔향시간의 손실이 나타났다.

개수전후와 반사판에 따른 우면당의 객석에서의 전

체 평균잔향시간을 주파수별로 비교하여 그림6에 나타내었다. 잔향시간의 주파수 특성은 일반적으로 저주파에서 길고 고주파로 갈수록 짧아지는 경향을 나타내고 있다. 4000Hz이상의 고주파수 대역에서의 잔향시간은 상대적으로 작게 나타난 것은 고주파음에 대한 공기적 흡음력이 타 주파수대에 비하여 상대적으로 크기 때문이다.

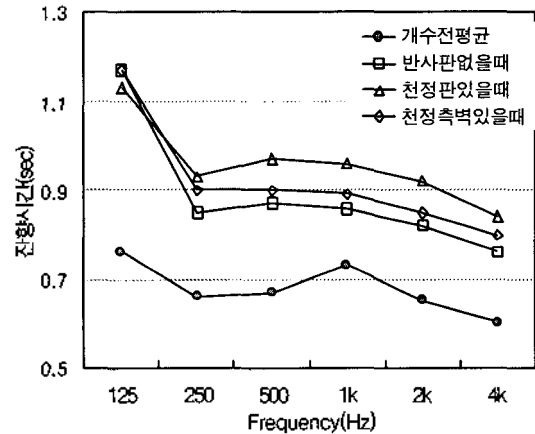


그림 6. 우면당객석의 위치별 평균잔향시간 비교

6.4 음악명료도(O50)

음악명료도 지수인 C80값은 음악공연시 객석에서 인지되는 음악의 명료도를 의미한다. 서양음악의 경우 C80값의 최적치는 -0.1부터 +3.0dB사이의 범위로 정해져 있다. C80값은 전체에너지에 대한 초기음 에너지의 비율로서 그 값이 클수록 직접음에 의한 에너지비율이 크다는 것을 의미한다. 개수전후와 반사판의 설치유무에 따른 공식시 우면당 객석의 주파수별 평균 음악명료도를 비교하여 표10과 그림7에 나타내었다.

표 10. 반사판에 따른 객석의 음악명료도 (dB)

Hz	125	250	500	1K	2K	4K	평균
개수전	5.2	7.4	7.1	7.1	8.0	9.1	7.32
반사판有	2.31	8.28	6.66	7.52	8.14	10.16	7.18
천정판有	1.56	4.18	4.85	4.13	4.94	6.21	4.31
천정+측벽반사판有	2.31	5.26	4.33	4.84	6.31	7.94	5.17

분석결과 개수전의 음악명료도와 개수후의 음악명료도의 평균치는 비슷하였으나 주파수별 분포는 다르게 나타났다. 즉, 개수전의 음악명료도는 저주파수대역과 고주파수대역의 C80값의 차이가 많지 않았으나, 개수후에는 그 차이가 커져서 고주파수 대역으로 갈수록 더 큰 C80값을 보이고 있다. 특히, 반사판을 설치하였을 때에는 잔향시간의 상승에 따른 음악명료도의 감소효과를

보이고 있으며 이때에도 고주파수 지역의 C80값이 상대적으로 높게 나타났다.

그림8의 결과를 분석하였을때 무대의 반사판의 사용과 관계없이 국악음악의 음악명료도 기준치인 1.0dB이상으로 나타나고 있음을 알 수 있으며 모든경우에서 직접음의 비중이 매우 높은 것으로 나타났다.

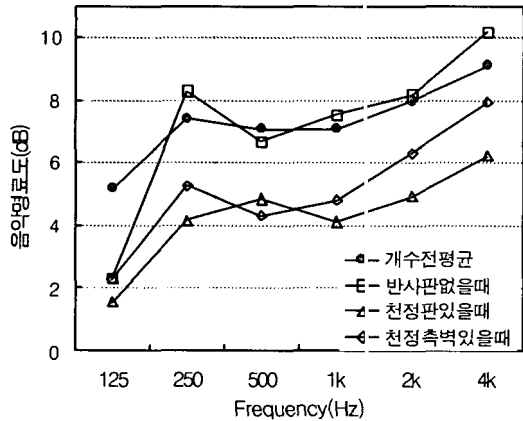


그림 8. 우면당객석의 위치별 평균음악명료도 비교

7. 결론 및 고찰

본 연구의 실험은 국립국악원 우면당의 개보수공사에 따른 재건축에 있어서 기존의 음향적 문제를 극복하고 보다 국악공연에 맞는 음향을 얻기 위한 실내디자인의 효과를 분석하기 위하여 실시되었다. 이를 위하여 음향기자재를 이용하여 현장의 실내음향실험을 실시함으로써 우면당의 과거와 현재의 음향상태를 조사함으로써 개수공사에 따른 음향개선효과를 평가하고 현재의 문제점을 보완할 수 있는 대안을 제시하고자 하였다.

이를 위하여 개수공사전에 현장의 음향을 측정하였으며 그 결과를 바탕으로 국악공연의 음향성능기준에 부합하는 설계안을 컴퓨터 시뮬레이션을 응용하여 제시하였다. 또한 개수공사 이후에 현장의 실내음향을 다시 측정하여 그 결과를 개수이전의 상태와 비교함으로써 개수공사에 따른 음향성능의 차이를 분석하였다.

본 연구의 결과와 음향평가를 통한 결론은 다음과 같다.

1) 개수전 우면당의 음향상태는 국악당의 음향조건에 비하여 많이 건조한(Dry) 음향을 가지고 있는 것으로 나타났다. 즉, 기준치 이하의 잔향시간(공석시 약 0.7초)과 각 객석별 음압레벨의 분포도상에서 다소 큰 편차(약 2.6 dB)가 나타나고 있음을 알 수 있었다.

2) 음악명료도(C80)는 서양음악에 비하여 직접음의 비중이 큰 약 7dB를 보이고 있으며 이것은 국악의 특성상 바람직한 값으로 판단된다.

3) 개수전에 0.7초이던 잔향시간이 개수후 약 0.9초

로 상승하였으며 무대반사판을 설치한 경우 0.97초까지 잔향시간이 나타났다.

4) 현재 우면당에 있는 무대반사판은 약 0.1초의 잔향상승효과를 가지고 있는 것으로 나타났다. 그러나 무대측벽으로 인한 잔향상승효과는 전혀 없으며 무대천장 반사판을 1개 줄이고 무대측벽을 설치한 경우가 오히려 약 0.07초 짧게 나타났다.

3) 반사판 유무에 따른 잔향시간의 비교결과 현재의 무대상부를 막을 수 있는 무대음향반사판을 설치시 객석의 잔향시간이 당초의 목표치인 1.0초대로 나타날 수 있으리라 판단된다.

국립국악원 우면당은 전형적인 국악 전용공연장으로서 잔향조건이 일반 공연장과는 매우 다른 특성을 가지고 있다. 형태상으로 기존의 Arena 형태에서 장방형과 폭이 작은 부채꼴형으로 변경되었으며, 또한 공사의 범위상 천장은 제외되어 객석의 주벽과 바닥을 변경하는 제한이 있었다. 공연장의 특성상 천장으로 인한 음의 분배와 반사가 매우 중요한데 차체에 이부분에 대한 재설계와 공사가 이루어지지 못한점은 아쉬운 점이다. 따라서 제한된 범위내에서 우면당의 설계상의 문제와 형태와 규모 및 객석의 배치로 인한 음향적인 결함을 보완하고 현재상태에서 취할 수 있는 최선의 방법을 동원하여 음향을 검토분석하였다.

본 연구의 결과는 향후 국악당 및 국악음원을 사용하는 공간의 설계에 유용하게 사용될 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

- [1] 김범수, 박경수, 최철민, 성평모, "국악 공연에 적합한 공연장의 음향특성에 관한 연구", 한국음향학회 학술발표대회 논문집 18권 2(s)호, 1999.
- [2] 최철민, 문한길, 두세진, 오양기, 성평모, "국악 공연에 적합한 공연장의 음향특성에 관한 연구 II", 한국음향학회 학술발표대회 논문집 19권 1(s)호, 2000.
- [3] 신성환, 정철호, 이정권, 연철호, 한찬훈, "국악음원의 음향방사특성에 관한 연구" 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 제22권 제1(s)호, 489-492, 2003.
- [4] 신직수, 연철호, 한찬훈, "청감실험에 의한 국악음악당 음향설계의 기준설정 에 관한 연구" 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 제22권 제1(s)호, 497-500, 2003.
- [5] Haan,C.H. & Yeon.C.H. & Jeong.C.H., I.J.G., "Modeling of Sound Fields Considering the Acoustical Characteristics of Korean Traditional Musical Instruments", 32nd Inter-Noise Con. Jeju, 2003.
- [6] 정철호, 이정권, 연철호, 한찬훈, "국악음원의 음향방사특성을 고려한 국악원의 음향성능 예측" 한국음향학회지, 제23권 제2호, 146-161, 2004.