

방음대책 수립 후 수차발전기 소음의 저감효과 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation for Reduction Effect of Hydraulic Turbine Dynamo Noise after Establishment of Soundproof Measure

윤재현† · 주덕훈* · 김재수**

Yun, Jae-Hyun, Ju, Duck-Hoon, Kim, Jae-Soo

Key Words : Computer Simulation(컴퓨터 시뮬레이션), Auralization(가청화), Psycho-Acoustics Experiment(청감실험)

ABSTRACT

As the waterpower generation plant, the subject of this Study, is a facility that produces plenty of electricity corresponds to 196~240GWh annually, and in its generation process it creates a loud noise when the turbine related to the hydraulic turbine dynamo revolves, and since such loud noise must be transmitted to the dynamo room and amplified, it is effecting a lot of influences to the adjacent office and space. In such viewpoint, this Research, based on the soundproof measure presented at the preceding research, has attempted to evaluate about the effect of noise-reduction countermeasure against the hydraulic turbine dynamo using Auralizational Technique through Psycho-Acoustics Experiment.

It deems that such result could be applied hereafter as the useful material when setting up a soundproof countermeasure for the hydraulic turbine dynamo room in dam.

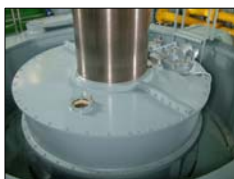
1. 서 론

본 연구대상 댐 수차발전소는 연간 196~240GWh에 해당하는 많은 량의 전기를 생산하는 설비로서 발전과정에서 수차 발전기에 연결된 터빈(Turbine)의 회전시 고소음을 발생하게 되며, 이러한 고소음은 수차발전기실로 전달되어 더욱 증폭됨으로써 인접한 사무실 및 공간에 많은 영향을 미치고 있다.

이러한 관점에서 본 연구는 선행연구에서 제시한 방음대책을 토대로 설계단계에서 가상 음장을 체험할 수 있는 가청화 기법을 이용하여 수차발전기의 소음저감 효과에 대한 청감실험을 통해 저감정도를 평가를 하고자 하였다. 이러한 결과는 향후 댐 수차발전실의 방음대책 시 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 수차발전실의 개요

수차발전실은 지하2층의 수차발전기와 지하1층의 수차발전기실로 구성되며, 근로환경에 피해를 주는 소음원이 되고 있다. 대상 수차발전실의 모습 및 제원은 그림 1., 표 1, 2와 같다.



(a) 지하 2층 수차발전기 하부



(b) 지하 2층 수차실 입구



(c) 지하 1층 수차발전기실의 정면



(d) 지하 1층 수차발전기실의 우측

그림 1. 수차발전실의 모습

표 1. 수차 발전기의 제원

형식	종류	형태	시설용량	연간 발전량
반 지하식	Francis	3상중축 우산형	4만5천kW × 2대	196~240GWh

표 2. 수차발전기실의 제원

구분	제원	구분	마감재료
길이	약 53.5m	벽, 기둥	시멘트 몰탈
폭	약 21.7m	바닥	타일 + 철판
면적	약 1,160㎡	천장	샌드위치 판넬(트러스 구조)
체적	약 22,800㎡		

지하 2층에 설치되어 있는 수차발전기의 경우 가동시 고소음을 발생하고 있다. 또한 이러한 고소음은 지하 1층에 위치한 수차발전기실의 반사성이 큰 마감 재료와 넓은 체적으로 인해 증폭되어 인접한 사무실 및 여러 공간에 많은 악 영향을 미쳐 정온한 사무실 환경을 유지하기 어렵게 만든다.

† 윤재현, 원광대학교 건축음향연구실
E-mail : yun810805@naver.com
Tel : (063) 857-6712, Fax : (000) 000-0000

* 원광대학교 석사과정

** 원광대학교 건축학부 교수

3. 방음 및 흡음대책을 통한 발전기 소음대책

3.1 수차발전기 입구에 철문설치를 통한 개선¹⁾

선행연구에서는 수차발전기의 소음저감대책으로 소음원의 입구에 철문을 설치하였으며, 철문으로 인해 저감되는 투과손실(TL, Transmission Loss)은 그림 2.와 같다.

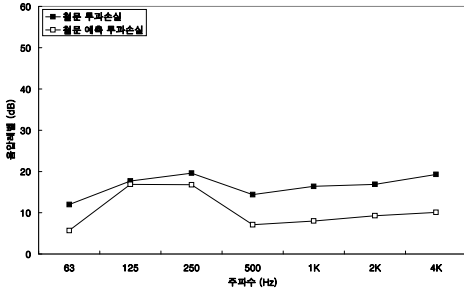


그림 2. 철문의 예측 투과손실

그림 2.를 보면 실제 적용한 투과손실 효과는 우회전달음 및 수차발전기실 내부에서 증폭되어 방사되는 음향 에너지에 고려하여 계산된 결과이다.

3.2 수차발전기실의 흡음대책을 통한 개선²⁾

선행연구결과 수차발전기실의 흡음대책³⁾을 통해 마감재료를 바꾼 개선 전·후의 SPL을 비교한 결과는 그림 3.과 같다.

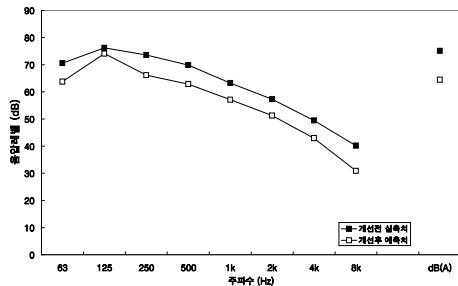


그림 3. 개선 전·후 음압레벨 비교

그림 3.을 보면 SPL은 개선전에 비해 개선후 500Hz에서 약 8.7dB정도 낮게 나타났으며, dB(A)도 개선전 75.1dB(A)에서 개선후 64.5dB(A)로 낮아진 것을 알 수 있다.

3.3 복도의 이중창을 통한 개선⁴⁾

대상 수차발전소의 경우 3mm유리 단창으로 되어 있어 수차발전기 소음이 쉽게 유리창을 투과하여 복도에 전달되기 때문에 그 피해정도가 심각할 것으로 사료된다. 따라서 그림 4.와 같은 방음대책을 강구하면 복도로 전달되

는 소음을 저감하는데 큰 효과가 있을 것으로 사료된다.



(a) 개선전 복도의 창 (b) 이중 방음 유리창 대책
그림 4. 복도의 방음대책

그림 4.와 같은 방음대책 수립시 복도에서 저감되는 음압레벨을 파악하기 위한 방법은 그림 5.와 같다.

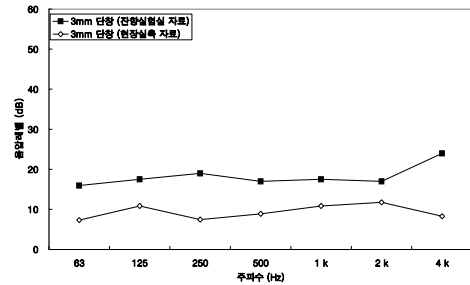


그림 5. 투과손실 비교

그림 5.를 보면 수차발전기실과 복도에서 실측한 단창의 투과손실과 변수요인을 최소화한 잔향실험실에서 측정된 투과손실의 편차는 9~16dB로 나타났다. 이러한 편차가 나타난 이유는 우회전달음 및 시공상의 정밀도등 기타 여러 가지 복합적인 요소가 작용하였기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 결과를 토대로 실제 이중창을 설치할 경우 투과손실은 그림 6.과 같다.

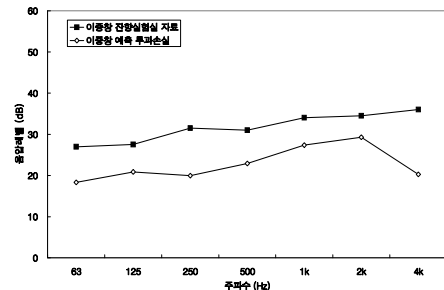


그림 6. 이중창의 예측 투과손실

3.4 계단실의 유리문을 통한 개선

대상 수차발전소의 경우 계단실 입구에 방음을 위한 차단막이 없기 때문에 수차발전기 소음이 그대로 유입되어 복도에서 소음레벨이 크게 나타난다. 따라서 그림 7.과 같은 방음대책을 강구하면 유리문에 의한 1차 감소효과로 소음을 차단하는데 큰 효과가 있을 것으로 사료된다.



(a) 개선 전 계단실 입구 (b) 방음 칸막이 유리문 대책
그림 7. 계단실의 방음대책

- 1) 국정훈, 주덕훈, 정은정, 김재수 : “가청화를 이용한 댐 수차 발전기실의 음성정보 전달 개선효과에 관한 연구” 2007 한국소음진동공학회 추계 학술발표대회
- 2) 정은정, 정철운, 김재수 : “가청화를 이용한 수차발전기실 소음의 개선효과 평가에 관한 연구” 2007 한국소음진동공학회 추계 학술발표대회
- 3) 정은정, 주덕훈, 김재수 : “음향시뮬레이션을 이용한 댐 수차 발전기실의 음향성능 개선” 2007 한국소음진동공학회 추계 학술발표대회
- 4) 윤재현, 이연주, 김재수 : “댐 수차 발전기 소음의 전달특성 및 방음대책에 관한 연구” 2007 대한건축학회 추계학술발표대회

그림 7.에 사용된 방음칸막이 유리문 10T의 투과손실은 그림 8.과 같다.

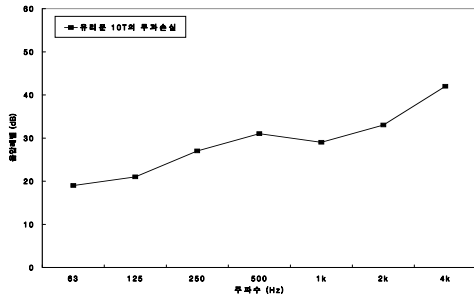


그림 8. 유리문의 투과손실

따라서 복도로 전달되는 소음레벨은 이중창의 예측 투과손실과 계단실에 설치한 유리문의 투과손실 요소가 동시에 작용하기 때문에 이를 합성한 값을 음원 구성 시 사용하였다.

4. 청감 평가

4.1 청감평가를 위한 음원의 구성

본 연구에 사용된 개선전 음원은 현장에서 녹음한 음원을 사용하여 실험에 대한 신뢰도를 높였다. 또한 개선후 음원은 Cool Edit Pro 2.1를 이용하여 수차발전기 입구에 철문을 설치했을 경우의 보정값과 수차발전기실의 흡음대책을 통한 음압레벨, 그리고 보정한 이중창의 예측 투과손실과 유리문의 투과손실을 합성연산(Convolution)하여 평가 음원을 구성하였다. 분석된 음원의 위치 및 형태는 그림 9,10.과 같다.

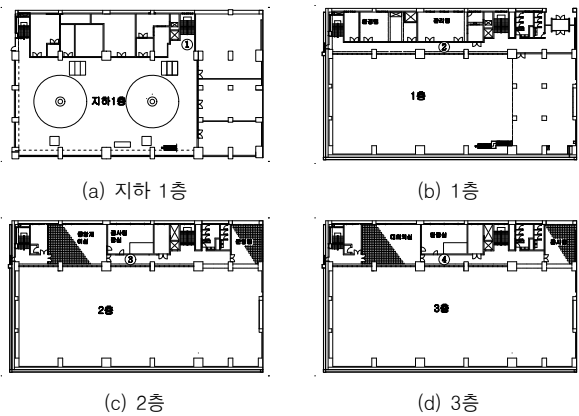
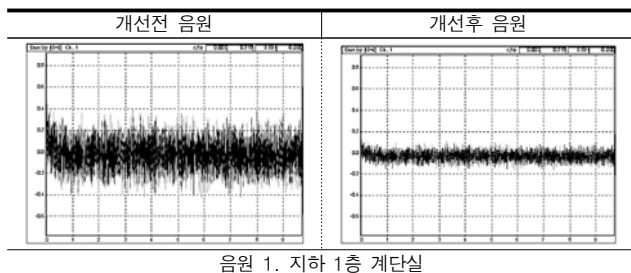


그림 9. 음원의 위치



음원 1. 지하 1층 계단실

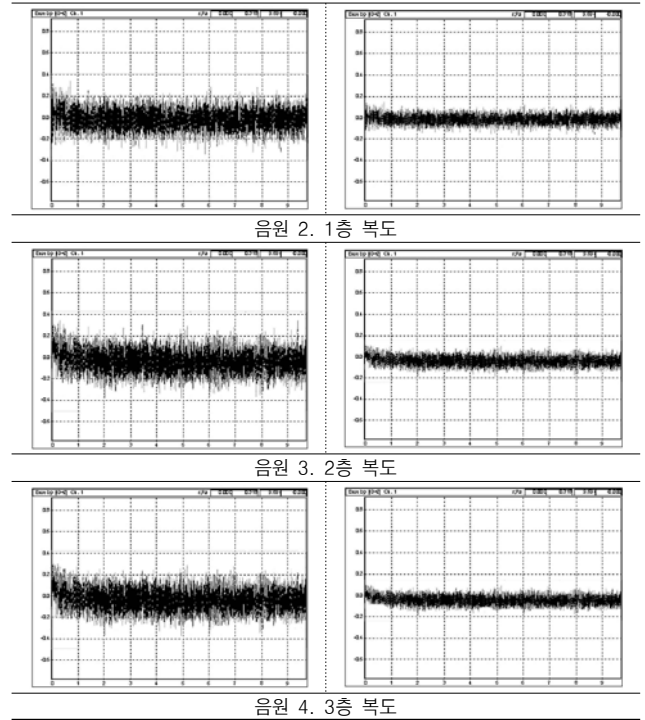


그림 10. 가청화 음원형태 비교

그림 8.의 음원형태를 통하여 수차발전실의 모든 방음대책을 통한 개선 후, 개선 전보다 훨씬 소음이 저감된 것을 알 수 있다. 청감실험에 사용된 설문지는 그림 11.과 같다.

어 휘 별	평가					
	1	2	3	4	5	6
듣기 싫다	1	2	3	4	5	6
신경 쓰인다	1	2	3	4	5	6
방해된다	1	2	3	4	5	6
거슬린다	1	2	3	4	5	6
시끄럽다	1	2	3	4	5	6
싫다	1	2	3	4	5	6
불쾌하다	1	2	3	4	5	6
짜증스럽다	1	2	3	4	5	6

그림 11. 주관적 반응을 평가하기 위한 평가시트

수차 발전기실의 소음 저감정도를 평가하기 위해 선행 연구⁵⁾⁶⁾를 기초로 하여 주관적인 반응을 평가할 수 있는 적절한 8개의 평가어휘로 설문지를 구성하였다.

4.2 청감 평가방법 및 실험

피험자는 20명으로 전부 남성들이며 정상청력의 20대가

5) 정철운, 윤재현, 김계수 ; “수차발전기 소음의 음향심리 평가를 위한 어휘의 유형화”

참여하였으며, 실험에 대한 이해를 돕기 위해 수차 발전기실의 문제점과 음원 및 어휘에 대한 설명을 충분히 해 준 뒤 실험을 실시하였다. 청감실험실 및 평가모습은 그림 12.와 같다.



그림 12. 청감실험 모습

청감실험은 무향실과 같은 조건인 원광대학교 청감실험실 (Psycho-acoustics chamber)에서 실시하였다. 음원재생 그림 13.과 같으며, 현장 녹음시와 동일하게 94dB의 기준음을 틀어놓고 앰프로 맞춘 뒤 녹음한 음원을 스피커를 통해 들려주었다.

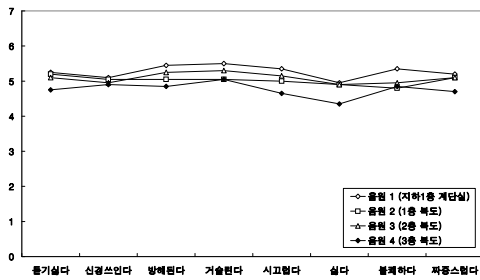


그림 13. 음원의 제시과정

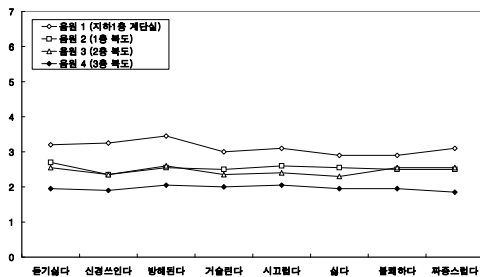
5. 분석 및 고찰

5.1 각 평가어휘에 대한 평균적 반응 항목

대상 수차발전실의 개선 전·후의 평가를 각 항목별 응답 결과를 정리한 결과는 다음 그림 14.와 같다.



(a) 개선 전 평균적 반응



(b) 개선 후 평균적 반응

그림 14. 개선 전후 각 어휘에 대한 평균적 반응

그림 14.를 보면 개선 전에는 수차발전기실에서 반사성이 강한 마감재로 사용으로 소음이 증폭되었고, 단창의 차음

효과가 미비하여 모든 항목에 대한 평균 반응치가 4.78~5.23으로 높게 나타났다. 그러나 개선 후 현수흡음판과 흡음성이 강한 마감 재료로 수차발전기실의 소음을 제어하고 차음효과가 큰 이중창과 유리문의 사용으로 인해 모든 항목에 대한 평균 반응치가 2.43~2.66으로 나타나 사무실로 전달되는 소음이 상당히 저감되었음을 알 수 있다. 또한 개선 후 음원 1.과 음원 4.의 평균 반응치는 3.1, 1.85로 편차가 나타나는데 이것은 거리감쇠에 의한 영향인 것으로 사료된다.

5.2 대상 수차발전실의 개선 정도 비교 분석

가칭화를 실시한 수차발전실의 전체적인 인상을 알아보기 위해 각 평가 어휘별로 4개 음원 전체에 대한 개선 전·후 응답분포 밀집도는 그림 15.와 같다.

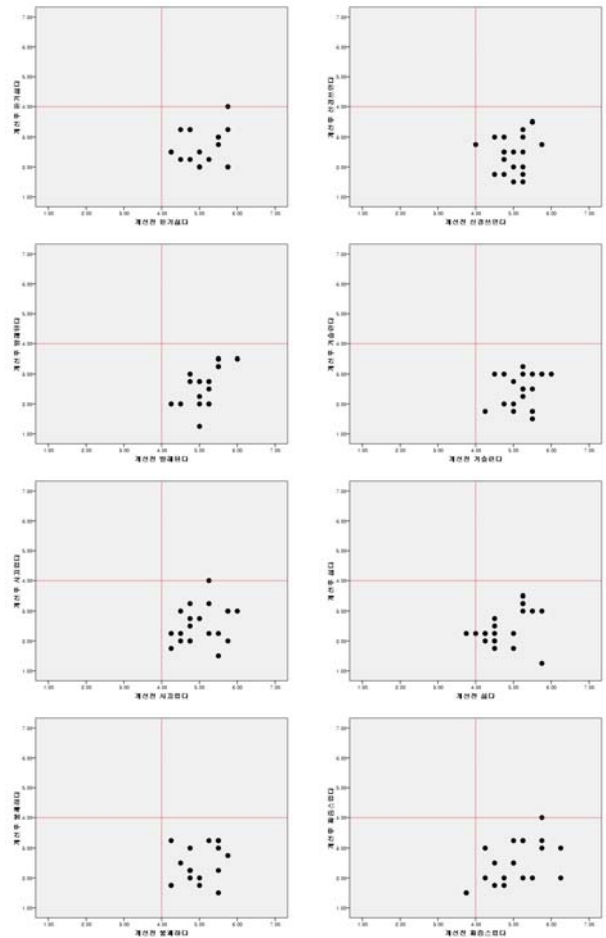


그림 15. 개선 전·후 응답분포의 밀집도

그림 15.를 보면 모든 항목은 좌측상단에 밀집 분포하여 개선 후 소음이 매우 감소했음을 알 수 있다. 이처럼 개선 후 소음저감에 대한 평가가 긍정적으로 나타난 이유는 소음원인 수차발전기의 소음과 수차발전기실의 소음증폭을 제어하고 인접한 사무실로 전달되는 소음의 차단성능을 높여주었기 때문이라 사료된다. 개선 전·후의 빈도분석결과를 정규분포곡선으로 나타낸 것은 그림 16.과 같다.

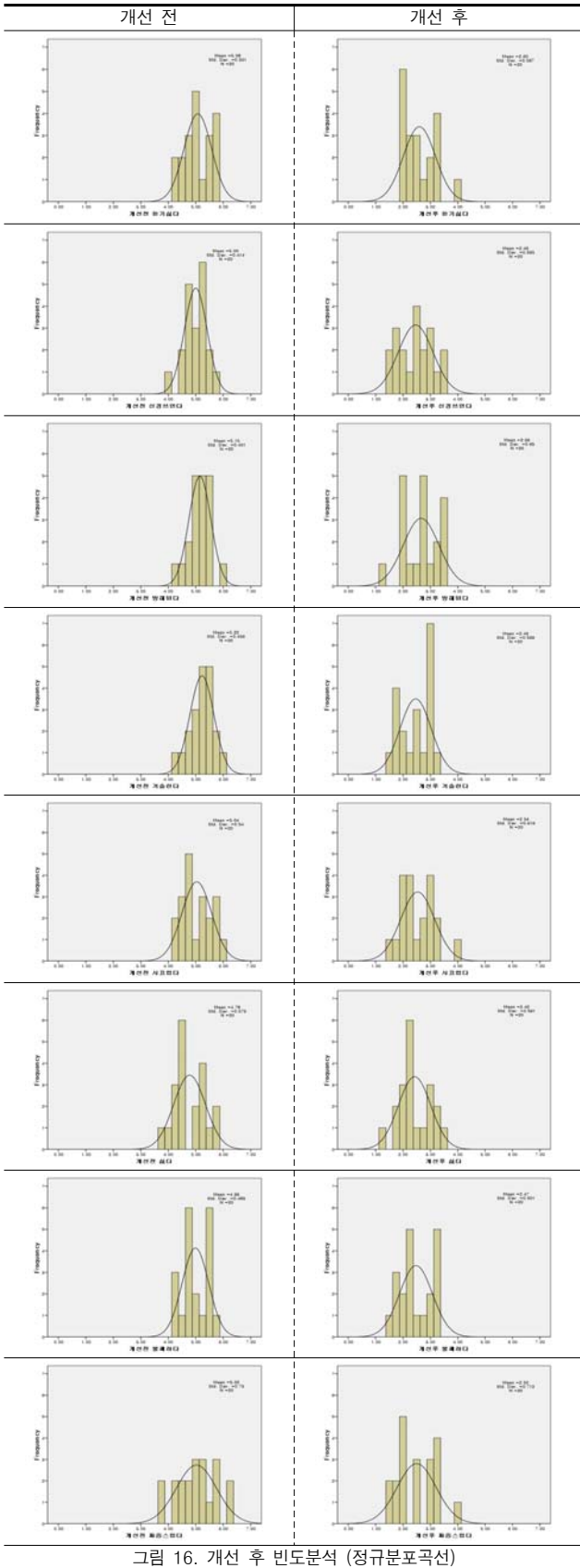


그림 16. 개선 후 빈도분석 (정규분포곡선)

그림 16.을 보면 개선 전·후의 정규분포곡선을 비교해보면 모든 항목에서 개선 후 일괄적으로 크게 감소하고 결과가 뚜렷하게 비교되어 소음저감 개선에 대해 매우 긍정적인

인 반응을 보였다고 사료된다.

6. 결론

본 연구는 가청화 기법을 이용하여 수차발전기 소음의 저감대책에 따른 반응정도를 평가한 논문으로 그 결과는 다음과 같다.

전체 음원에 대한 각 어휘에 대한 평균 반응치는 개선 전 4.78~5.23으로 높게 나타났고, 개선 후 2.43~2.66로 낮게 나타나 소음이 크게 저감되었음을 알 수 있다. 또한 응답분포 밀집도와 빈도분석에 대해서도 모든 항목에서 일괄적으로 크게 감소하고 뚜렷하게 비교되어, 수차발전기실을 통해 전달되는 소음의 저감효과가 긍정적으로 평가되었음을 알 수 있다. 이러한 결과를 보아 수차발전기의 소음과 수차발전기실의 소음증폭을 제어하고 각 층 사무실로 전달되는 소음을 효과적으로 차단한다면 개선 전보다 쾌적한 근로환경을 수립할 수 있을 것으로 사료된다.

위와 같은 연구 결과는 향후 이와 유사한 수차발전실의 리모델링 시 시공비 절감효과 및 방음성능을 향상시킬 수 있는 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 김재수 : 건축음향설계(개정판), 세진사, 2004.3.
2. 김재수, 양만우 : 건축음향설계방법론, 도서출판 서우, 2001.9.
3. 가청화를 이용한 실내체육관의 음향 성능평가에 관한 연구
대한환경공학회 학술발표대회, 2007.5.3
4. 김남돈, 윤재현, 김재수 : “가청화를 이용한 G예술회관의 대공연장 음향 성능평가에 관한 연구”
5. 윤재현, 김재수 : “음향성능 개선을 위한 소규모 다목적홀의 건축음향성능 평가.”
6. 주덕훈, 김재수 : “소규모 다목적 홀의 음향성능 개선 사례”
7. 가청화를 이용한 건축음향성능 평가기법
(사)한국음향재료협회 음향재료기술 3호, 2007.8