

가청화를 이용한 댐 수차 발전기소음의 저감효과 평가

Evaluation on Reduction Effect of Dam Hydraulic Turbine Dynamo Noise using Auralization

정은정† · 정철운* · 김재수**

Jung Eun-Jung, Jung Chul-Woon, Kim Jae-Soo

Key Words : 수차발전기실(Hydraulic Turbine Dynamo Room), 가청화(Auralization), 소음저감(Noise-reduction)

ABSTRACT

In case of the hydraulic turbine dynamo room at Dam, due to its big volume and reflexible finishing material, since the noise of electricity-generation is amplifying, it influences the difficulty of mutual communication among the workers, also it is causing both mental and physical damages to those workers in the neighboring office. Accordingly, after presentation of the optimized renovation model of the hydraulic turbine dynamo room using the acoustic simulation, this Research has compared and evaluated them using the auralizational technique between the present condition of "before improvement" and the acoustic condition of "after improvement". As the result of psycho-acoustics experiment, as the acoustic conditions at both "before & after Improvement" were apparently compared, it appeared that there is a considerable amount of noise-reduction effect at psycho-acoustics. It is considered that such material could be utilized as the valuable data hereafter for the time when any construction and renovation of the hydraulic turbine dynamo room and other similar workshop.

1. 서론

본 연구대상 댐 수차 발전기실은 큰 체적과 반사성 마감재료로 인하여 발전시 터빈이 회전하여 굉장히 큰 소음이 발생하는데 이 소음을 더욱 증폭시키는 역할을 하였다. 그리하여 작업장 내에서 작업자들끼리 의사소통에 어려움이 있을 뿐만 아니라 인접 사무실내의 작업자들에게까지도 작업의 방해요소가 되고 있으며, 이러한 소음은 정신적 및 신체적인 피해를 받고 있어 소음 저감대책이 절실한 실정이다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 선행연구를 통하여 소음 저감효과가 있는지를 파악하였으며, 파악한 결과 음압레벨(500Hz)은 약 7dB, 청감보정음압레벨은 약 10dB(A) 저감됨을 알 수 있었다. 이 결과를 가지고 설계단계에서 가상 음장을 체험할 수 있는 가청화 기법을 이용하여 청감실험을 실시하였다. 이렇게 소음 저감에 대한 만족도를 조사한 결과는 향후 댐

수차 발전기실의 음향 성능 및 시공시 기초자료로 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

2. 가청화 음향 시뮬레이션

가청화는 홀의 설계단계에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 음향 설계를 한 뒤 객석의 수음점에서 구한 임펄스 응답(Impulse Response)과 무향실에서 녹음한 원음(Dry Source)을 합성연산(Convolution)하여 컴퓨터상에서 개관 후 공연이 되었을 때 음향상태를 직접 들어볼 수 있는 시스템이다. 기존의 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 건축음향설계는 건축가에게 설계단계에서는 많은 도움을 주었지만 실제 개관했을 경우 어떤 소리로 들릴 것인가에 대한 신뢰성은 거의 없었다. 그러나 가청화를 통해 설계단계에서 홀이 완성된 후 음장을 직접 체험할 수 있으며, 발주자와 설계자가 홀 형태의 결정, 마감재료의 선택, 음원의 지향성 등 각종 조건들의 변화에 따른 상황을 실제의 음으로 직접 들어봄으로써 홀에서 요구하는 음향상태를 결정하는데 이용된다.

† 교신저자: 원광대학교 건축음향연구실
E-mail : dmswjdo@nate.com
Tel : (063)857-6712

* 원광대학교 건축음향연구실

** 원광대학교 공과대학 건축학부 교수

1) 정은정, 정철운, 김재수 ; “음향시뮬레이션을 이용한 수차 발전기소음의 저감효과 분석”, 한국소음진동공학회 추계학술발표대회, 2007. 11



그림 1. 가청화 프로세스

3. 개요 및 측정방법

3.1 연구 대상 댐 수차 발전기실의 개요

본 연구대상 수차발전기실의 평면은 직사각형이지만 지하 1층에서 지상 3층까지 뚫려있어 체적이 매우 큰 특징을 갖고 있다.

표 1. 대상 수차발전기실의 제원

구분	제원	구분	제원
길이(m)	53.5	폭(m)	21.7
바닥면적(m ²)	1,160	체적(m ³)	약 22,800



그림 2. 수차발전기실

선행연구 결과²⁾ 반사성 강한 마감재료 사용으로 인해 실측 잔향시간이 8.66초로 매우 길게 나타났다. 본 수차 발전기실을 Beranek이 제안한 체적과 목적에 따른 적정잔향시간 표에 넣어본 결과 약 22,800m³의 적정잔향시간은 500Hz에서 약 1.7초임을 알 수 있었다. 따라서 천장에 흡음판을 설치하고 벽과 기둥, 1층 바닥의 재료를 변경함으로써 잔향시간을 줄일 수 있었다.

2) 정은정, 최돌, 김재수; “음향 시뮬레이션을 이용한 댐 수차 발전기실의 음향성능 개선”, 대한건축학회 추계학술발표대회, 2007. 10

표 2. 개선 전·후 비교

건축음향특성(500Hz) 비교 ²⁾					
	RT(sec)	SPL(dB)	D ₅₀ (%)	C ₈₀ (%)	RASTI(%)
개선전	8.66	66.95	10.6	-7.11	33.25
개선후	1.71	58.23	80.25	7.3	69.13

소음특성에 의한 비교 ¹⁾		
	SPL(dB), 500Hz	SPL(A)
개선전	66.95	75.1
개선후	62.9	64.5

3.2 개선후 철문의 투과손실 적용

본 연구에서는 소음저감대책으로 소음원의 입구에 철문을 설치하였다. 일반적인 설비기계실에서 철문의 투과손실은 약 19dB(O.A)이지만³⁾ 본 연구에서는 발전기실 내부에서 철문에 의해 반사된 소음이 발전기위 상부에 있는 철판을 타고 수차발전기실로 직접 유입될 것을 고려해 약 10dB(OA)의 보정치를 주어 철문의 투과손실을 9dB(O.A)로 적용하였다. 이때 보정치는 발전기실 내부를 시뮬레이션하여 철문을 설치하였을 경우와 설치하지 않았을 경우의 차로 설정하였다.

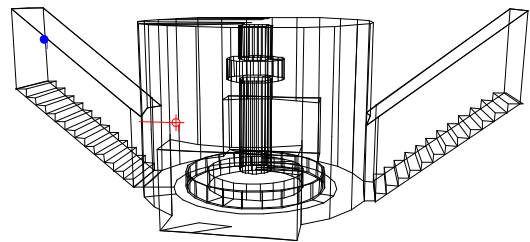


그림 3. 소음원 입구 및 소음원 전달

표 3. 철문의 투과손실 및 보정치

번호	주파수(Hz)							OA
	63	125	250	500	1K	2K	4K	
철문	12	17.7	19.6	14.4	16.4	16.9	19.3	17.9
보정값	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
사용값	2	7.7	9.6	4.4	6.4	6.9	9.3	7.9

3.3 청감평가를 위한 음원의 구성

본 연구에 사용된 가청화 음원은 현장과 똑같이 재현하기 위하여 개선전의 음원은 현장에서 녹음한 음원을 사용하였으며 이 음원을 음향시뮬레이션 프로그램(Odeon 4.21)에서 가청화한 후 wav 파일로 저장된 결과를 Cool Edit Pro 2.1로 분석한 음원형태는 다음 그림 5와 같고, 각 음원의 위치

3) 건축설비 기계실의 벽체 투과손실에 관한 실험적 연구 한국소음진동공학회 학술발표대회, 2007.5.10

는 그림 4와 같다.

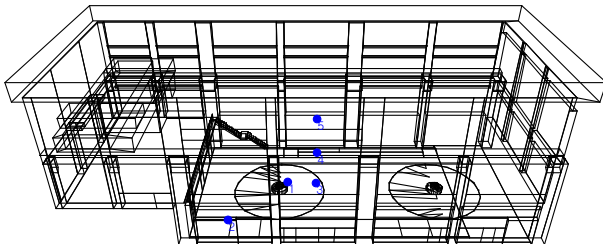


그림 4. 음원의 위치

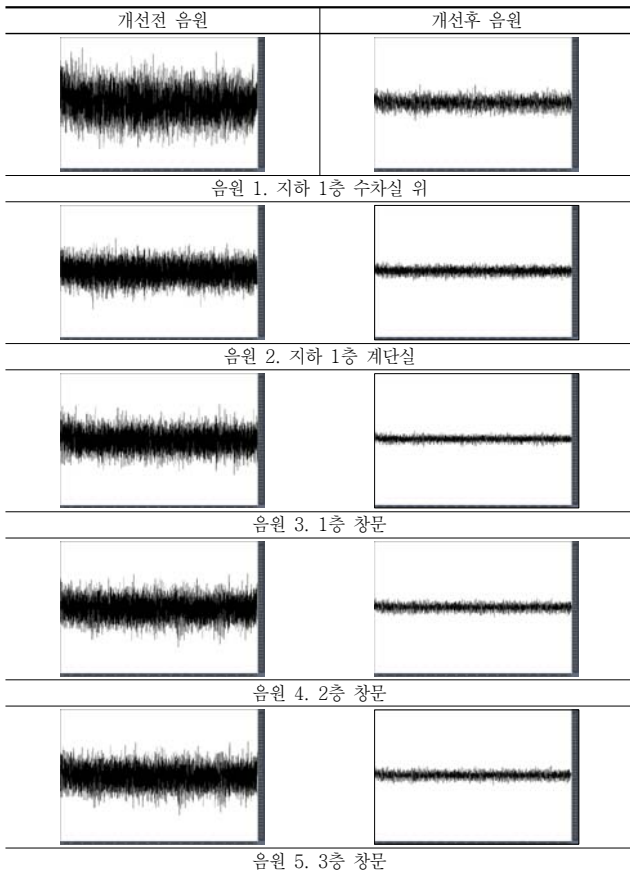


그림 5. 가청화 음원형태 비교

그림 5의 음원형태를 통하여 흡음대책(마감재료 변경 및 흡음판 설치)을 세운 후 보다 흡음대책과 주차발진기에 방음문을 설치했을 때가 개선전보다 훨씬 저감된 것을 알 수 있다.

그림 6. 주관적 반응을 평가하기 위한 평가시트

어휘 별	평가						
	1	2	3	4	5	6	7
듣기쉽다	1	2	3	4	5	6	7
신경쓰인다	1	2	3	4	5	6	7
방해된다	1	2	3	4	5	6	7
거슬린다	1	2	3	4	5	6	7
시끄럽다	1	2	3	4	5	6	7
싫다	1	2	3	4	5	6	7
불쾌하다	1	2	3	4	5	6	7
짜증스럽다	1	2	3	4	5	6	7

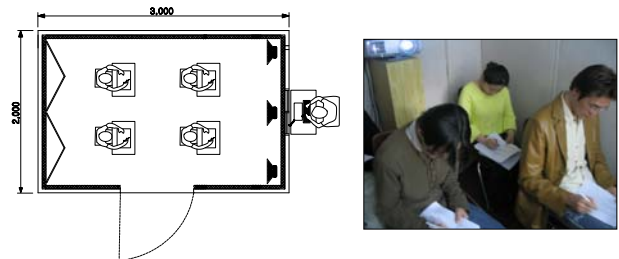
주차 발전기실의 소음 저감정도를 평가하기 위해 선행연구⁴⁾를 기초로 하여 저감 정도를 주관적으로 평가할 수 있는 적절한 평가어휘를 그림 6.과 같이 8개를 선정하였다.

3.4 청감 평가방법 및 실험

피험자는 20명으로 전부 남성들이며 정상청력의 20대가 참여하였으며 실험에 대한 이해를 돕기 위해 주차 발전기실의 문제점과 음원 및 어휘에 대한 설명을 충분히 해준 뒤 실험을 실시하였다.



그림 7. 음원의 제시과정



(a) 청감실험실 (b) 청감실험장면
그림 8. 청감실험 모습

청감실험은 그림 8.과 같이 원광대학교 청감실험실(Psycho-acoustics chamber)에서 실시하였다.

500Hz에서 잔향시간(RT)은 0.09초, 음성명료도(D₅₀)는 99.9%, 음성전달지수(RASTI)는 93%로서 무향실(Anechoic chamber)과 같은 조건을 갖춘 협실이며, 음

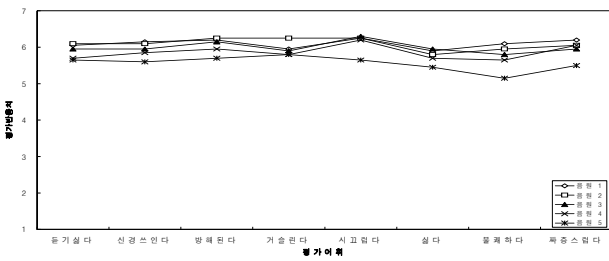
4) 정철운, 윤재현, 김계수 ; “주차발전기 소음의 음향심리 평가를 위한 어휘의 유형화”, 대한건축학회 추계학술발표대회, 2007. 10

원재현 방법은 노트북을 이용하여 현장 녹음시와 같이 기준음을 틀어놓고 앰프로 94dB을 말춘 후 녹음한 음원을 스피커를 통하여 들려주었다. 그림 8(b).는 청감실험장면이다.

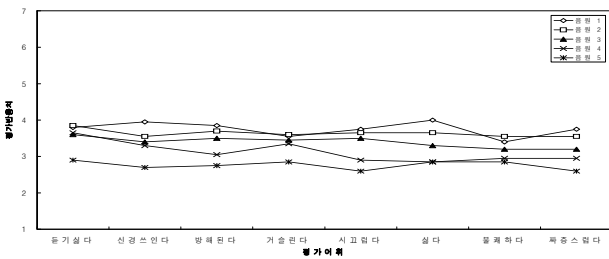
4. 분석 및 고찰

4.1 각 평가어휘에 따른 평균적 반응 분석

수차 발전기실의 개선 전·후의 평가를 각 항목별 응답결과로 정리한 결과는 다음 그림 9와 같다.



(a) 개선전 평균적 반응



(b) 개선후 평균적 반응

그림 9. 개선전후 각 어휘에 따른 평균적 반응

개선전에는 모든 평가 어휘에 대하여 평균반응치가 5 이상의 높은 반응치를 보였으며, 그 중 “시끄럽다”는 5.65~6.3, “짜증스럽다”는 5.5~6.2로 평가되어 다른 어휘에 비해 다소 높게 평가되었다.

그러나 여러 요소를 고려한 개선후에는 모든 평가어휘에서 2.6~4의 평가 반응치가 나타나 확실하게 소음저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 음원 5는 3층에 해당하는 음원으로서 다른 음원에 비해 개선전·후의 평가반응치가 낮음을 알 수 있다. 실제 소음 측정시에도 거리감쇠가 이루어짐을 알 수 있었는데 청감실험을 통하여 거듭 확인할 수 있었다.

4.2 대상 수차 발전기실의 저감정도 비교 분석

가청화를 실시한 수차 발전기실의 전체적인 인상을 알아보기 위한 각 평가 어휘별 5개 음원 전체에 대한 개선 전·후 응답분포 밀집도는 그림 10.과 같다.

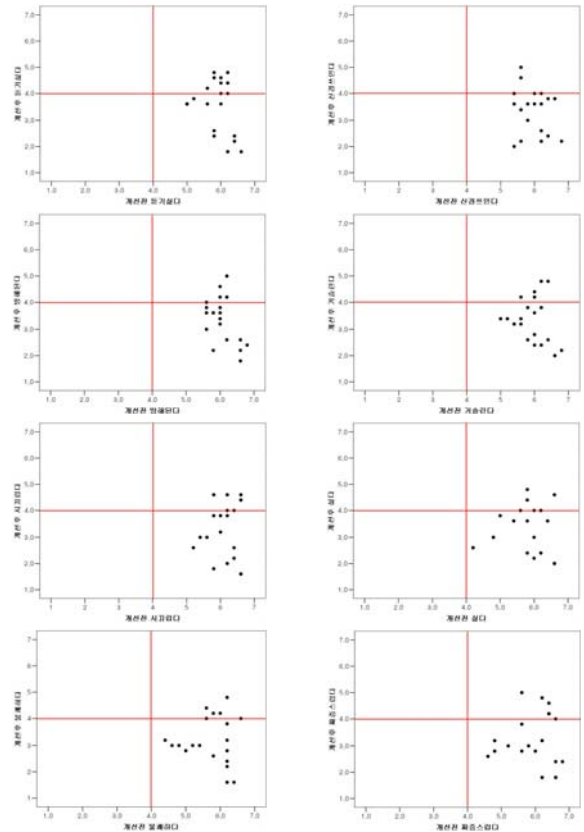
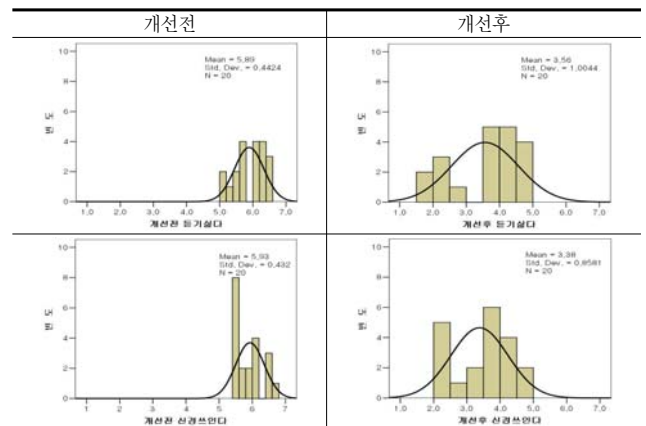


그림 10. 개선전·후 응답분포의 밀집도

모든 평가어휘 8개는 우측 아래쪽에 분포하고 있다. 따라서 음향설계를 통하여 잔향시간을 줄임으로써 음압레벨이 낮아져 분명하게 수차 발전소음이 저감되었음을 청감실험을 통하여 실내음향 및 소음저감 효과에 대하여 긍정적인 평가를 얻었음을 알 수 있다.

그림 11.은 각 평가어휘별로 개선 전·후 응답결과의 정규분포 곡선을 나타낸 것이다.



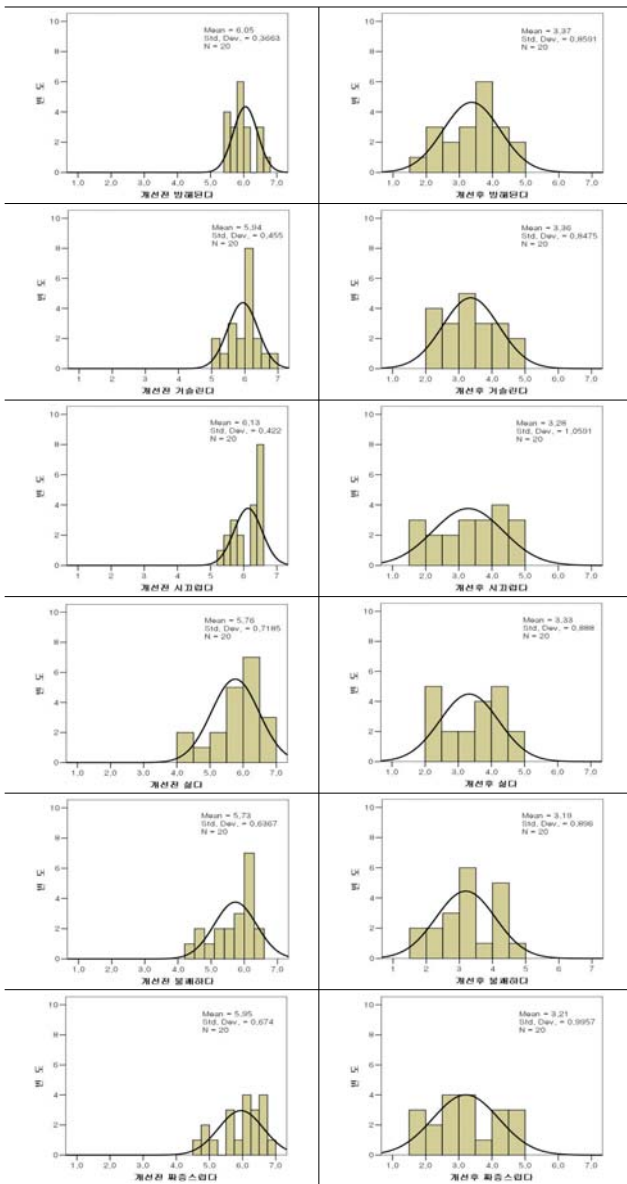


그림 9. 개선 전·후 평가어휘별 정규분포곡선

그림 9의 정규분포곡선에서 모든 평가항목에서 개선 전·후의 결과가 뚜렷하게 비교가 되며, 각 어휘가 평가된 평균값으로 비교해 보았을 때 “시끄럽다”의 어휘가 가장 큰 폭으로, “짜증스럽다” > “방해된다” > “불쾌하다” > “거슬린다” > “신경쓰인다” > “싫다” > “듣기싫다”의 순으로 소음 저감 정도를 느끼는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 발전기 소음이 큰 체적과 반사성 마감재료로 인해 더욱 증폭되어 작업자들의 신체적·정신적으로 느끼는 피로도를 낮추어 작업환경을 개선하고자 시뮬레이션을 통해 리모델링 후 가청화를 통하여 리모델링 전·후의 청감실험을 실시하였다.

전체 음원에 대한 각 어휘에 대한 평가반응치는 “시끄럽

다” > “짜증스럽다” > “방해된다” > “불쾌하다” > “거슬린다” > “신경쓰인다” > “싫다” > “듣기싫다” 순으로 소음 저감 정도를 느낌을 알 수 있었다. 또한 개선 전·후의 어휘에 대한 평균반응치가 가장 큰 폭으로 저감 정도를 알 수 있었던 “시끄럽다” 어휘의 경우 5.65~6.3에서 개선 후에 3.75~2.6으로 나타났고, 이 외의 다른 어휘에 대해서도 개선 후의 평가반응치가 개선 전보다 낮게 평가되어 실내음향 및 소음저감 효과에 대하여 긍정적인 평가를 얻었음을 알 수 있다.

위와 같은 결과를 반영하여 설계한다면 물리적 파라메타 및 수차 발전기실 및 인접한 사무실내의 작업자들의 느낌까지 반영할 수 있어 더욱 훌륭한 공간이 될 것이며 이러한 자료는 수차 발전기실 및 이와 유사한 작업장의 건축 음향적 요소 및 소음저감 효과를 향상시킬 수 있는 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) 김재수 ; 건축음향설계(개정판), 세진사, 2004.4
- (2) 정은정, 주덕훈, 김재수 ; “음향시뮬레이션을 이용한 수차 발전기소음의 저감효과 분석”, 한국소음진동공학회 추계학술발표대회, 2007. 11
- (3) 정은정, 최돌, 김재수 ; “음향 시뮬레이션을 이용한 댐 수차 발전기실의 음향성능 개선”, 대한건축학회 추계학술발표대회, 2007. 11
- (4) 정철운, 윤재현, 김재수 ; “수차발전기 소음의 음향심리 평가를 위한 어휘의 유형화”, 대한건축학회 추계학술발표대회, 2007. 11
- (5) 국정훈, 정철운, 윤재현, 김재수 ; 건축설비 기계실의 벽체 투과손실에 관한 실험적 연구, 한국소음진동공학회 춘계학술발표대회, 2007. 5