

# 음향시뮬레이션을 이용한 수차 발전기소음의 저감효과 분석

## Analysis on Reduction Effect of Hydraulic Turbine Dynamo Noise using Acoustic Simulation

정은정† · 주덕훈\* · 김재수\*\*

Jung Eun-Jung, Ju Duck-Hoon, Kim Jae-Soo

**Key Words** : 수차발전기실(Hydraulic Turbine Dynamo Room), 컴퓨터 시뮬레이션(Computer simulation)

### ABSTRACT

As Waterpower Generation generates electricity using the difference of altitude of water, also let the turbine revolves through water pipe, at this time the revolving turbine causes exceedingly huge noise. Accordingly, not only those workers in the hydraulic turbine dynamo room are suffering the difficulties in mutual communication, but also those workers in the adjacent office are enduring the obstruction to the business due to the noise. Therefore, this Study has analyzed the reduction effect on the noise of hydraulic turbine dynamo room utilizing computer simulation, through the preceding research with the optimized model for architectural acoustic factor of the hydraulic turbine dynamo room. It is considered that such research result could be applied as the useful material for improvement of acoustic performance and noise-reduction effect at other similar hydraulic turbine dynamo room in the future.

### 1. 서론

청정에너지로써 공해가 없고 연료의 공급이 없이도 오래 사용할 수 있는 수력발전은 물의 고저차를 이용하여 수관을 통하여, 터빈을 회전시켜 발전하는데 회전하는 터빈은 굉장히 큰 소음을 발생한다. 이러한 소음은 작업장내의 작업시 방해요소가 될 뿐만 아니라 인접 사무실내의 작업자들에게까지 악영향을 끼치고 있어 작업환경에 대한 관심이 높아지고 있는 시점에서 수차발전기실의 발전기소음의 저감대책이 매우 절실한 실정이다.

본 연구에서는 수차발전소음을 측정하여 그 특성을 파악하였다. 이렇게 파악된 수차발전소음의 특성을 토대로 선행연구에서 시뮬레이션을 통하여 최적의 건축음향적 요소를 제안하였던 모델을 가지고 음향시뮬레이션을 이용하여 수차 발전기실의 소음 저감효과를 분석해보았다. 이러한 자료가 축적된다면 수차 발전

기실내의 수차발전소음을 저감할 수 있는 기초적인 자료를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

### 2. 수차발전기실의 소음 측정 및 연구방법

#### 2.1 대상 수차발전기실의 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 <sup>2</sup> )	1,160	체적(m <sup>3</sup> )	약 22,800

표 2. 개선 전 수차발전기실의 마감재료

구분	재료	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
벽 및 기둥	시멘트 위 몰탈	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
	우레탄	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
	타일 위	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
바닥	페인트 마감	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
	철판	0.2	0.12	0.08	0.07	0.1	0.09
천정	트러스구조	0.2	0.12	0.08	0.07	0.1	0.09

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

\* 원광대학교 건축음향연구소

\*\* 원광대학교 공과대학 건축학부 교수

1) 정은정, 최둘, 김재수 ; “음향시뮬레이션을 이용한 댐 수차발전기실의 음향성능 개선”, 대한건축학회 추계학술발표대회 2007. 10



그림 1. 수차발전기실

## 2.2 측정 및 연구방법

지하 2층의 발전실에서 면음원으로 발생하는 소음을 측정하기 위해서, 발전기 가동 상태에서 지하 1층 바닥에서 총 10군데, 1층 창문 2군데, 2층 및 3층에서 각각 1군데씩 음압레벨을 측정하였으며 측정지점은 다음 그림 2.와 같다.

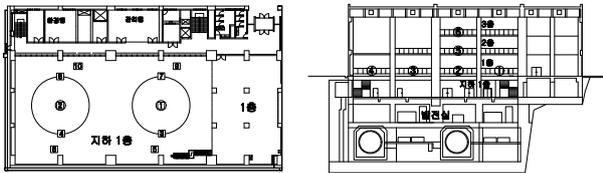


그림 2. 측정위치

시뮬레이션상에서 지하 1층 바닥에서 측정한 10군데의 소음을 음원으로 사용하였으며, 각 층에서 측정한 소음을 수음점으로 선정하여 시뮬레이션을 실시하였다.

음압레벨 측정방법은 그림 3.과 같이 소음계를 통해 들어오는 신호를 DAT(Digital Audio Tape Recorder)로 측정하였으며 녹음된 신호를 실험실에서 01dB사의 Symphonie로 주파수 분석하였다.



그림 3. 측정장면

## 2.3 발전기소음의 주파수별 특성

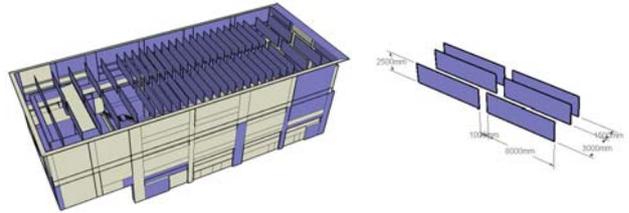
각 측정점에서 측정한 발전기소음의 음압레벨(SPL)은 다음 표 3.과 같다.

표 3. 각 측정점의 주파수별 특성

측정점	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB(A)
1	74.8	80.5	78.5	73.7	79.1	62.2	55.5	45	89.2
2	74.8	80.5	78.5	73.7	79.1	62.2	55.5	45	89.2
3	75.6	87.1	76.4	73.7	67.1	61	52.5	42.3	89.2
4	75.6	87.1	76.4	73.7	67.1	61	52.5	42.3	89.2
5	73.7	72.9	78.5	74.7	79.2	62.5	54.7	44.9	89.9
6	73	79.3	77.8	75.6	69.2	62.6	53.7	43.4	89.5
7	75.6	87.1	76.4	73.7	67.1	61	52.5	42.3	89.2
8	75.6	87.1	76.4	73.7	67.1	61	52.5	42.3	89.2
9	73	79.3	77.8	75.6	69.2	62.6	53.7	43.4	89.5
10	73	79.3	77.8	75.6	69.2	62.6	53.7	43.4	89.5

## 2.4 소음저감을 위한 방법<sup>2)</sup>

대상 수차발전기실의 경우 반사성이 큰 재료와 큰 체적이 음압레벨을 증폭시키는 역할을 하였다. 따라서 천장에 흡음판을 설치하여 음압레벨을 낮추고자 하였으며, 설계에 적용된 흡음판은 그림 4.와 같다.



(a) 설치된 흡음판의 모습 (2) 흡음판의 크기

그림 4. 수차발전기실에 적용된 흡음판

표 4. 개선 후 수차발전기실의 마감재료

구분	재료	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
천장	암면 50T	0.20	0.85	0.95	0.90	0.85	0.90
벽 및 기둥	유공 페브릭	0.35	0.65	0.78	0.76	0.7	0.62
1층 바닥	카펫 6T	0.03	0.09	0.25	0.31	0.33	0.44

수차발전기실에서 발생하는 소음을 줄이기 위해서는 다음식에서 실정수( $R$ )를 크게하여 잔향음 성분인  $\frac{4}{R}$ 을 줄여야 한다.<sup>3)</sup>

$$SPL = PWL + 10 \log_{10} \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

$$R(\text{실정수}) = \frac{S\bar{\alpha}}{(1-\bar{\alpha})}, \quad \bar{\alpha}(\text{평균흡음률}) = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i}$$

본 연구에서는 예측의 신뢰성이 높은 음향시뮬레이션을 이용하여 소음의 저감정도를 예측해 보고자 한다. 이를 위해 표 2.의 개선전 재료에서 표 4.의 재료로 변경했을 경우 수차발전기 소음을 예측하였다.

표 5. 개선전후의 실정수 변화

구분	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
개선 전	16.96	19.94	19.94	31.31	31.31	28.28
개선 후	797.58	4893.43	9099.43	7950.83	6240.12	1432.28

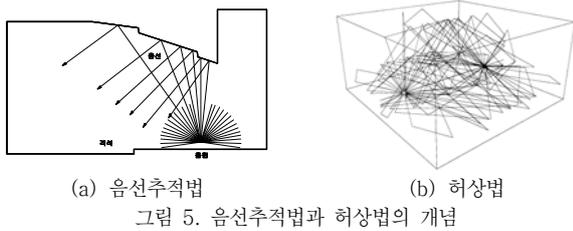
표 5.를 보면 흡음률이 높은 마감재료의 변경으로 인해 실정수의 값이 상승함으로써 특히 고음역의 음압레벨을 상당히 줄일 수 있음을 예상할 수 있다. 또한 선행연구의 시뮬레이션을 통하여 개선 후에 음압레벨(500Hz)의 음압레벨은 약 8.7dB, 청감보정음압레벨은 약 9dB(A) 정도 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

2) 정은정, 최둘, 김재수 ; “음향시뮬레이션을 이용한 댐 수차발전기실의 음향성능 개선”, 대한건축학회 추계학술발표대회, 2007, 10

3) 김재수 ; 소음진동학 p. 83, 2007, 세진사

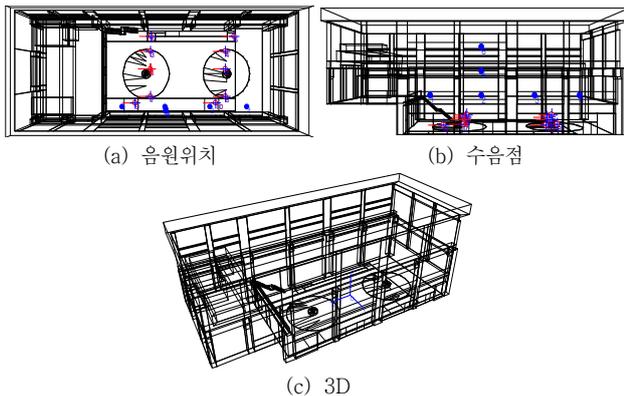
### 3. 음향시뮬레이션

연구대상 댐 수차발전기실의 음압분포 예측분석은 음선추적법(Ray-tracing Method)과 허상법(Image model Method)에 의한 3차원 음향시뮬레이션을 이용하였으며 사용프로그램은 ODEON 4.21이다. 또한 개선전-후의 측정결과를 비교 및 제안하기 위한 실험으로 측정조건은 실제 측정과 동일하게 습도 65%, 온도 28℃로 설정하였다.



음선추적법은 폐공간내를 전파하는 음의 상태를 재현하기 위한 기하학적인 방법의 하나로서 음원위치에 무지향성의 점음원을 설정하고 전공간에 등입체각이 되도록 다수의 음선을 방사시킨 후, 음선의 반사이력을 시간, 에너지, 입사방향에 대해 순차적으로 추적해 나가는 계산법이고, 허상법은 음이 폐공간내를 기하학적인 경면반사를 반복하면서 전파된다는 원리를 이용하여 있다.

다음 그림 6.은 음향시뮬레이션을 수행하기 위해 AutoCAD를 이용하여 대상 수차 발전기실을 3차원으로 모델링한 것이다. 음원은 총 10개이며 수음점은 총 6개이다.



수차발전기실에서 측정된 표 3.의 데이터를 바탕으로 음원의 음향과위레벨(PWL)<sup>4)</sup>을 구하면 표 6.과 같다.

$$PWL = SPL_0 + 20\log_{10}r + 11, \quad r = 1.2m$$

4) 김계수 ; 소음진동공학, 세진사 p.32

표 6. 각 측정점의 주파수별 PWL

측정점	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
1	87.4	93.1	91.1	86.3	80.7	74.8	68.1	57.6
2	87.4	93.1	91.1	86.3	80.7	74.8	68.1	57.6
3	88.2	99.7	89	86.3	79.7	73.6	65.1	54.9
4	88.2	99.7	89	86.3	79.7	73.6	65.1	54.9
5	86.3	85.5	91.1	87.3	81.8	75.1	67.3	57.5
6	85.6	91.1	90.4	88.2	81.8	75.2	66.3	56.0
7	88.2	99.7	89	86.3	79.7	73.6	65.1	54.9
8	88.2	99.7	89	86.3	79.7	73.6	65.1	54.9
9	85.6	91.1	90.4	88.2	81.8	75.2	66.3	56.0
10	85.6	91.1	90.4	88.2	81.8	75.2	66.3	56.0

### 4. 분석 및 고찰

#### 4.1 개선전의 음향시뮬레이션에 의한 음압레벨분포

그림 7.은 개선전의 실측치와 개선후의 예측치를 수음점 및 주파수별로 비교한 것이다.

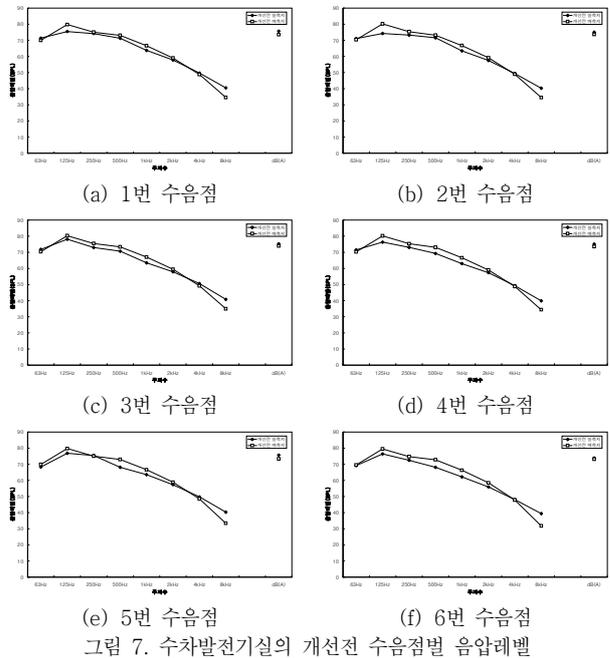
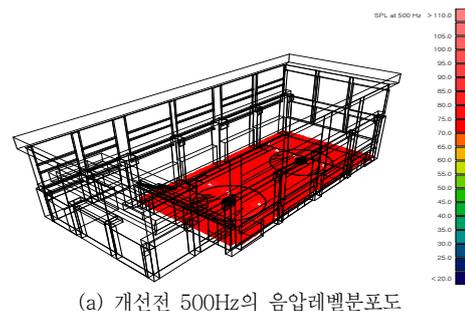
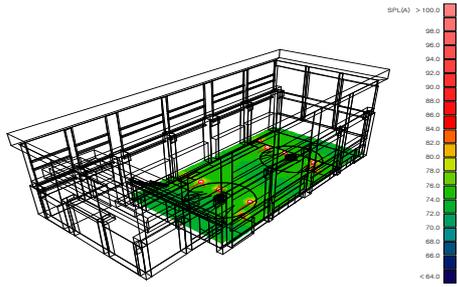


그림 7.을 통하여 연구대상 수차발전기실은 125Hz에서 피크치를 보이고 있으며 고음역으로 갈수록 감소하고 있다. 또한 전 주파수대역에서 주파수 패턴도 유사하게 나타나고 있어 시뮬레이션의 결과를 신뢰할 수 있을 것으로 사료된다. 다음 그림 8.은 음향시뮬레이션을 이용한 음압레벨분포를 나타낸 것이다.



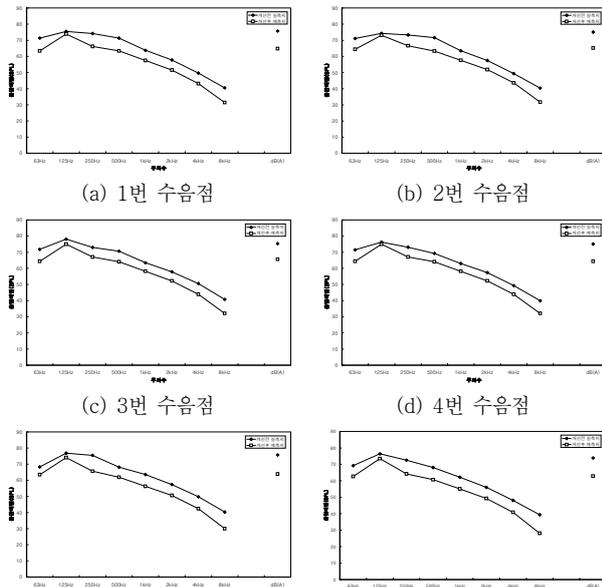


(b) 개선전 청감보정음압레벨분포도  
그림 8. 개선전 음압레벨분포도

개선전 각 수음점에서의 음압레벨(500Hz)의 평균은 69.9dB, 청감보정음압레벨의 평균은 75.1dB(A)이 넘는 높은 음압레벨을 보이고 있다. 따라서 수차발전기실 내부의 작업자들 뿐만 아니라 인접 사무실내에서의 근무자들에게까지 이 소음은 상당한 방해요소가 될 것으로 생각되어 음압레벨을 낮추는 것이 시급할 것으로 사료된다.

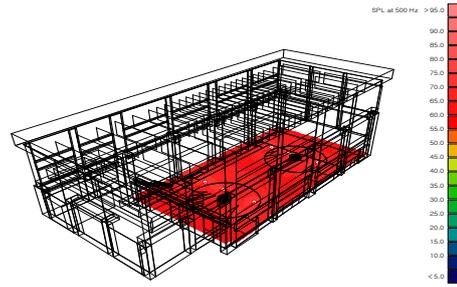
#### 4.2 개선후의 음향시뮬레이션에 의한 음압레벨분포

그림 9.는 그림 4.와 같은 흡음대책 후 음향시뮬레이션에 의한 기계실내의 각 수음점 및 주파수별 음압레벨을 나타낸 것이다.

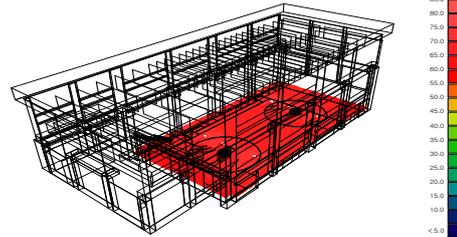


(a) 1번 수음점 (b) 2번 수음점  
(c) 3번 수음점 (d) 4번 수음점  
(e) 5번 수음점 (f) 6번 수음점  
그림 9. 수차발전기실의 개선후 수음점별 음압레벨

벽 및 기둥, 1층 바다, 흡음판을 설치함으로써 수차발전기실의 음압레벨 500Hz의 평균은 62.9dB, 청감보정음압레벨의 평균은 64.5dB(A)로 나타나 개선전보다 각각 500Hz에서는 약 7dB, 청감보정음압레벨은 10dB(A) 정도 저감된 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 선행연구<sup>5)</sup>의 결과와 거의 유사하여 신뢰성 있는 예측치를 제공하고 있다.



(a) 개선후 500Hz의 음압레벨분포도



(b) 개선후 청감보정음압레벨분포도  
그림 10. 개선후 음압레벨분포도

또한 개선전 실측치와의 개선후 예측치는 125Hz부터 그 값의 차가 뚜렷한데 이는 천장에 '암면 50T'의 흡음판의 흡음률이 125Hz에서 높기 때문으로 사료된다. 따라서 설계단계에서부터 음향시뮬레이션에 의한 수차발전기실의 저감정도를 예측할 수 있으며 이러한 자료를 토대로 마감재료의 선정 및 마감부위의 결정 등을 효율적으로 할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 5. 결론

본 연구는 선행연구에서 얻어진 결과를 토대로 실제 현장측정 한 수차발전기의 소음특성과 시뮬레이션을 통한 예측치의 신뢰성을 검토한 뒤 흡음대책을 한 후 수차발전소음의 저감효과를 분석한 연구이다.

1) 음향시뮬레이션에 의한 수차발전기실의 소음을 예측하기 위해서는 음향파워레벨을 정확히 산정하여 실험환경과 근접한 시뮬레이션 환경을 구축하는 것이 가장 중요함을 알 수 있다. 또한 현장측정에 의한 실측치와 음향시뮬레이션에 의한 예측치를 비교한 결과 소음레벨은 약 1dB(A)의 차이를 보이고 있으며 주파수 패턴도 유사하여 신뢰성있는 예측치를 제공하고 있다.

2) 시뮬레이션한 결과 개선전에 비해 개선후에는 음압레벨(500Hz)은 약 7dB, 청감보정음압레벨을 약 10dB(A) 저감됨을 알 수 있었다. 따라서 음향시뮬레이션을 이용한 체계적인 수차발전기 소음의 대책이 마련되면 상당히 많은 소음 저감 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 시뮬레이션을 통하여 설계 단계에서부터 수차발전기실의 소음을 정확하게 예측할 수 있을 것으로 사료되며 쾌적한 작업환경을 만드는데 효율적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

5) 정은정, 최철, 김재수 ; “음향시뮬레이션을 이용한 댐 수차발전기실의 음향성능 개선”, 대한건축학회 추계학술발표대회, 2007, 10

## 참 고 문 헌

- (1) 김재수 ; 건축음향설계(개정판), 세진사, 2004.4
- (2) 김재수 ; 소음진동공학, 세진사, 2007.2
- (3) 국정훈, 김대군, 김재수 ; “댐 수차발전기실의 건축 음향 특성에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회, 2007.11
- (4) 정은정, 최돌, 김재수 ; “음향시뮬레이션을 이용한 댐 수차발전기실의 음향성능 개선” , 대한건축학회 추계학술발표대회 2007. 11
- (5) 유희중, 정은정, 김재수 ; “기계실에서 발생하는 설비소음의 예측에 관한 연구” , 대한설비공학회논문집 19권 6호, 2007.6