

Zwicker 파라미터를 이용한 수차발전기 소음의 음질분석

Sound Quality Analysis of

Water Turbing Generator Noise using Zwicker Parameter

국 정 훈[†]·윤 재 현*·김 재 수**

Kook Joung-Hun, Yun Jae-Hyun, Kim Jae-Soo

Key Words : Water Turbing Generator(수차발전기), Zwicker Parameter(지커파라미터), Sound Quality(음질)

Abstract

In case of the Hydraulic Turbine Dynamo operating for Waterpower Generation, it makes very huge and loud noises, and it influences bad effect physically as same as mentally to those people who are working inside of power plant, and brings the decline of an effective working efficiency. However, its evaluation method or measure about such noise reflects merely its physical attribute which is sensuous Loudness of the Noise itself, since the accumulation effect of Noise or the meaning connected with psychological response did not reflect, it is the actual state that a rational evaluation is unable to expect.

Consequently, this Study has attempted to evaluate the Noise of Hydraulic Turbine Dynamo by analyzing the sound quality using Zwicker's Psychological Acoustic Parameter, after classification by its positions of the Noise occurring at Hydraulic Turbine Dynamo.

1. 서 론

수력발전을 위해 운영하는 발전기의 소음은 발전소 내부에서 일하는 사람들에게 신체적, 정신적 악영향을 주며 효율적인 업무능률의 저하를 초래하고 있는 실정이지만, 발생하는 소음에 대한 평가방법은 단지 소음 자체의 감각적인 크기(Loudness)인 물리적인 속성만을 반영할 뿐 음질(Sound Quality)특성을 고려한 심적인 반응과 관련된 의미는 전혀 반영하지 않아서 합리적인 평가가 이루어지지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 수차발전기에서 발생하는 소음을 위치별로 분류하여 Zwicker의 심리 음향적 파라미터를 이용하여 분석해보므로써, 수차발전기에서 발생하는 소음을 평가하고자 하였다.

2. Zwicker의 파라미터

소음의 피해를 최대한 줄이고 소음환경을 개선하기 위해서는 인간의 심리적 쾌감과 관련한 소음의 평가와 소음의 인위적인 조절에 대한 연구가 필요하다. 따라서 소음에 대한 심리음향학적 분석을 위하여, 독일의 Zwicker에 의해 제안된 Loudness, Sharpness, Fluctuation Strength, Unbiased Annoyance, Tonality, Roughness에 의한 파라미터를 평가에 활용하였으며, 설명은 표 1.과 같다.

표 1. Zwicker의 심리음향학적 파라미터

파라미터[단위]	내 용
Loudness[sones]	소리에너지의 측정값. (주어진 시간에서 인식되는 소리에너지만을 측정하는 척도)
Sharpness[acum]	소리의 날카로운 정도. (저주파와 고주파의 스펙트럼 균형)
Fluctuation Strength[vacil]	20Hz보다 낮은 영역을 받아들이는 주파수 F_{mod} 에 대한 Sound Model과 관련.(명확한 소음 안에 맑은 음의 독특함)
Unbiased Annoyance[au]	소리의 불쾌한 정도를 표시. (Sharpness, Fluctuation Strength의 결합)
Tonality[tu]	스펙트럼에서 음조의 조화량을 표시. (복잡한 소음 안에 맑은 음의 독특함)
Roughness[Asper]	중주파수 변조의 혼란스러운 효과. (명확한 소리의 빠른 조음)

3. 수차발전기소음의 측정

3.1 수차발전기의 제원 및 원리

수차발전기는 본 댐에 저장되어 있는 물이 저지대로 빠져나갈 때의 낙차를 통해 수차(Turbine)를 돌려 발전하는 시스템으로 공해가 없고 운전비용이 저렴하다는 장점을 가지고 있다.

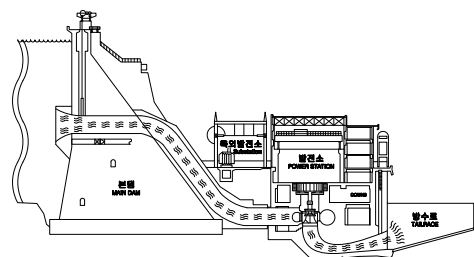


그림 1. 수차발전기의 원리

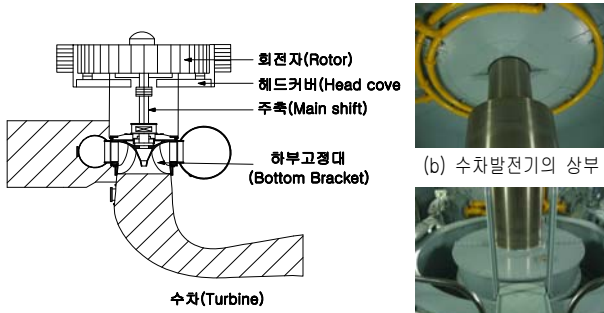
[†] 국정훈, 원광대학교 건축음향연구실
E-mail : kookcrew@hanmail.net
Tel 063-857-6712

* 원광대학교 건축학부 석사과정

** 원광대학교 건축학부 교수

물의 낙차를 통한 발전기에 연결된 터빈의 회전 시 굉장히 큰 소음이 발생하며, 이로 인해 발전소 내부에서 일하는 사람들이 업무에 집중할 수 없을 정도로 많은 피해를 입고 있는 실정이다.

대청댐의 수차실에서 사용하는 수차발전기의 모습 및 제원은 그림 2., 표 2.와 같다.



(a) 수차발전기의 위치별 명칭 (b) 수차발전기의 상부 (c) 수차발전기의 하부
그림 2. 수차발전기의 모습

표 2. 수차발전기의 제원

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

3.2 측정위치 및 측정방법

3.2.1 측정방법

발전기 터빈에서 발생하는 소음을 측정하기 위하여, 발전기를 정상적으로 가동한 상태에서 각 수음점 별로 지면으로부터 1.2m의 높이에 소음계를 설치하여 약 30초간씩 측정하였으며. 소음레벨 측정방법은 환경부 고시 제2003 - 221호(2003.12.31)에서 정한 소음진동공정시험법에 준하여 실시하였다. 측정시 그림 3.(c)와 같이 소음계를 통해 들어오는 신호를 DAT(Digital Audio Tape Recorder)로 현장에서 녹음하였으며, 녹음된 신호를 실험실에서 01dB사의 Symphonie로 분석하였다.

측정기기 구성 및 배열은 그림 3.과 같다.

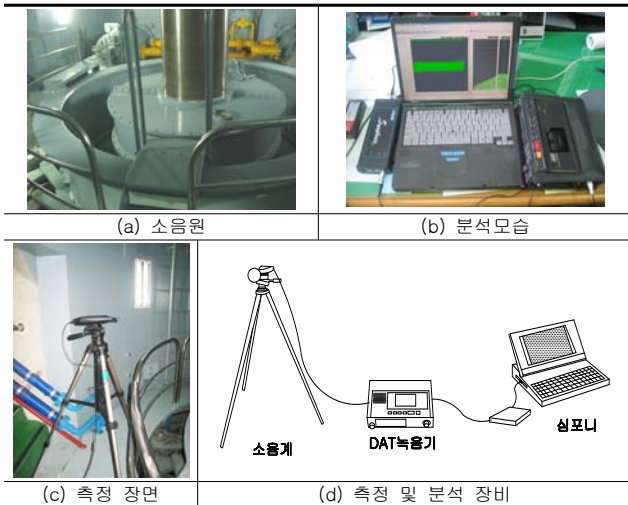


그림 3. 측정기기 구성 및 배열

본 연구에서 분석에 사용된 주파수범위는 20Hz~8kHz까지의 1/3옥타브이며, 전 대역 음압레벨도 dB(A)값으로 측정·분석하였다.

3.2.2 측정위치

수차발전기의 소음을 측정할곳은 지1층부터 3층까지 총 20곳이며, 각 측정지점 및 수차실의 모습은 다음 그림 4.와 같다.

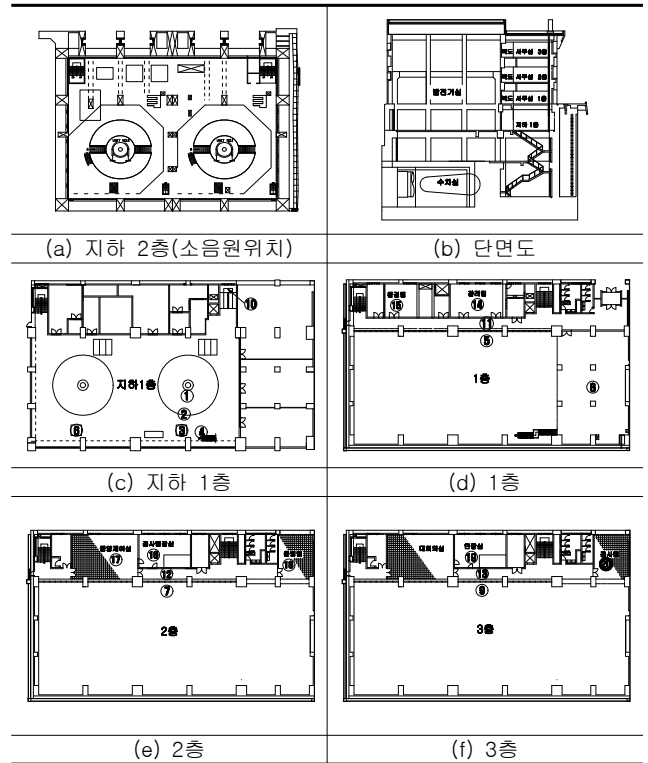


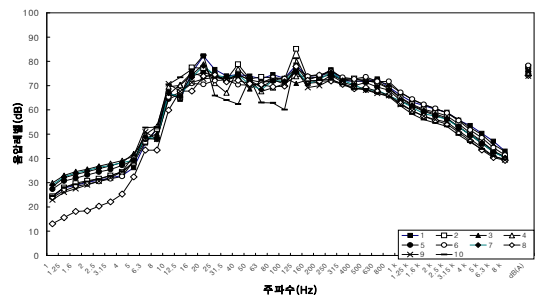
그림 4. 수차발전기의 소음 측정위치

4. 분석 및 고찰

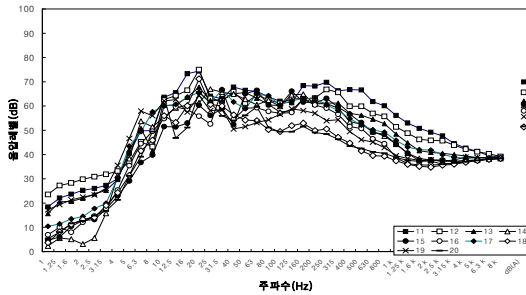
4.1 각 수음점의 주파수별 소음특성

4.1.1 수차발전기 주파수별 소음특성

수차발전기가 정상적으로 가동한 상태에서 20개의 수음점에서 측정된 주파수별 소음특성을 비사무공간(1번~10번)과 사무공간(11번~20번)으로 나누어 비교·분석하였다. 결과는 그림 5.와 같다.



(a) 수차발전기의 주파수별 음압레벨(1번~10번)



(b) 수차발전기소음의 주파수별 음압레벨(11번~20번)
그림 5. 수차발전기의 주파수별 음압레벨

수차발전기소음의 주파수별 음압레벨의 경우 31.5Hz~315Hz의 저주파 대역에서는 불규칙한 패턴을 보이며 상승곡선을 그리다가, 400Hz에서 Peak치를 보인 후 서서히 감쇠하는 소음특성을 보였다. 또한 수차발전기 소음이 직접 노출되는 비사무용공간(1번~10번)의 경우 균일한 음압분포를 보여 수음점별로 큰 차이를 보이고 있지 않으나, 사무용공간(11번~20번)의 경우 수음점의 위치 및 전달 경로상의 건축 구조물에 따라 주파수별로 큰 감쇠패턴을 보였다.

4.1.2 수차발전기 소음의 수음점별 음압레벨(dB(A))

측정된 20개의 수차발전기소음을 수음점별로 분류하여 음압레벨(dB(A))을 나타내보면 그림 6.과 같다.

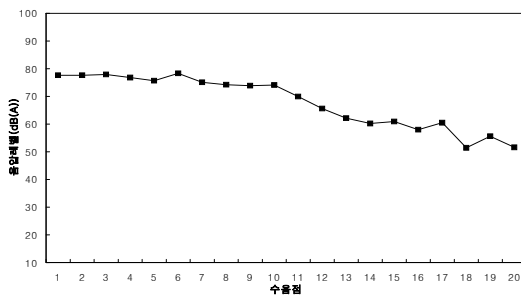


그림 6. 수차발전기소음의 SPL(dB(A))

그림에서 보면 비사무용 공간인 발전기실내에 위치한 1번부터 10번까지는 77.6dB(A)~74.1dB(A)로 음의 크기가 거의 비슷하게 나타나 거리에 따른 감쇠는 적은 것으로 나타났다. 이는 수차실내부의 큰 체적과 마감 재료의 반사성 때문에, 잔향시간이 길어져 확산음장을 형성했기 때문으로 사료된다. 또한 사무용공간에 위치한 수음점인 11번~20번은 복도쪽 유리 및 벽과 나무문등의 투과손실에 의한 소음의 저감으로 69.9dB(A)~51.6dB(A)인 비교적 큰 감쇠패턴을 보였다. 따라서 소음에 직접 노출된 지점보다는 복도쪽이나 사무실안쪽의 소음도가 비교적 적은 것을 알 수 있다.

4.2 Zwicker 파라미터에 의한 분석

4.2.1 Loudness

Zwicker의 파라미터중 ‘음의 크기’에 대한 물리적인 평가량을 파악하기 위해 각 설비소음별로 Loudness를

평가해보면 그림 7.과 같다.

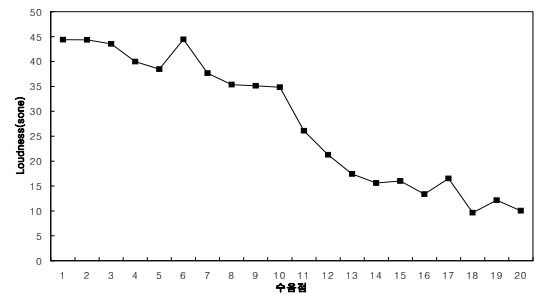


그림 7. 수차발전기소음의 Loudness

그림에서 보면 소음원과 거리가 가깝고 소음에 직접적으로 노출되는 지점의 Loudness가 높게 나타났으며, 거리가 멀어질수록 천천히 감쇠하다가 사무실 쪽에서 급격히 감쇠하는 패턴을 보였다. 일반적으로 음압레벨의 10dB이 증가하면 주관적인 감각적 크기(Loudness)는 두 배 정도 증가한다. 따라서 Loudness가 소음의 크기를 나타냄을 감안할 때, 전체적인 수음점에서의 dB(A)와 Loudness는 유사한 패턴을 보여, 매우 상관성이 높음을 알 수 있다.

4.2.2 Sharpness

Zwicker의 파라미터 분석항목에서 수차발전기소음의 ‘날카로움’에 대한 물리적인 평가량을 나타내는 Sharpness의 결과는 그림 8.과 같다.

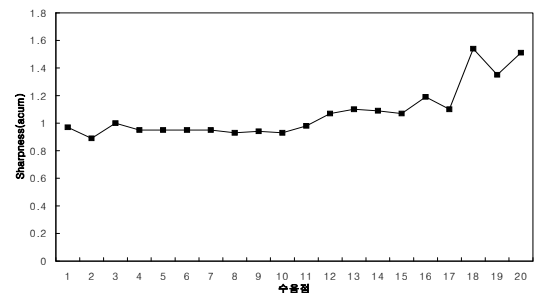


그림 8. 수차발전기소음의 Sharpness

그림에서 보면 ‘수차발전기소음에 대한 날카로움’의 정도를 나타내는 Sharpness는 평균 1.08acum, 표준편차 0.19acum으로 나타나 수차발전기소음은 날카롭게 평가됨을 알 수 있다. 수음점별 Sharpness를 보면 유리 및 벽체를 통과하여 들어온 사무공간의 Sharpness가 수차발전기실 내부보다 더 높게 나타났다. 이는 수차발전기와 같은 큰 소음에 직접적으로 노출될 경우 소리의 크기에 민감하게 반응하지만 사무실과 같이 조용한 환경에서는 저주파보다는 고주파와 같은 날카로운 소리에 대해 더 민감하게 반응하기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 방음 대책시 이러한 부분에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

4.2.3 Fluctuation Strength

‘20Hz 이하 저주파의 주기적 변동’을 나타내는 Fluctuation Strength를 보면 그림 9.와 같다.

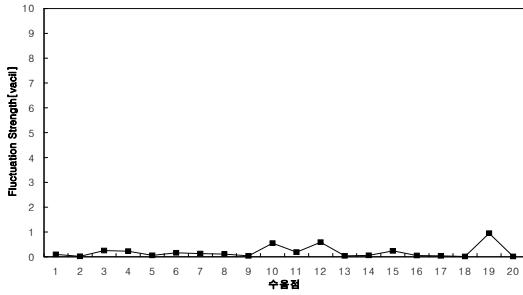


그림 9. 수차발전기소음의 Fluctuation Strength

그림에서 보면 Fluctuation Strength는 모든 위치에 서 1Vacil이하로 나타났으며, 수음점별 표준편차는 0.24vacil로 거의 균일하게 나타났다. 이는 수차발전기의 경우 20Hz이하 저주파 대역의 주기적 변동이 크지 않기 때문으로 사료되며, 건설소음이나 설비소음의 Fluctuation Strength보다 작은 것¹⁾²⁾으로 나타났다.

4.2.4 Unbiased Annoyance

Zwicker의 파라미터 항목 중에서 ‘소음에 대해 불쾌감을 나타내는 물리적인 평가량’인 Unbiased Annoyance를 파악해보면 그림 10.과 같다.

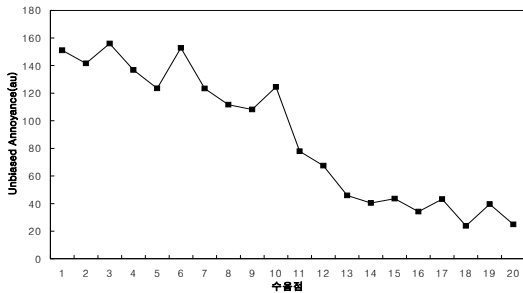


그림 10. 수차발전기소음의 Unbiased Annoyance

그림에서 보면 수차실내에서 측정된 1번~10번의 경우 평균 132.93au, 표준편차는 17.3au이었으며, 11번~20번은 평균 44.07au 표준편차 17.01au로 나타나 사무공간에서는 유리창 및 복도 벽체 등에 의해 소리가 감쇠하여 불쾌감이 줄어든 것으로 나타났다. 따라서 칸막이나 이중 유리창등을 설치·보강하여 소음에 직접 노출되는 것을 최대한 줄일 수 있다면 소음에 대한 불쾌감을 대폭 개선 할 수 있을 것으로 사료된다.

4.2.5 Tonality

‘소음의 크기에 대한 주파수별 조화정도’를 나타내는 Tonality를 파악해 보면 그림 11.과 같다.

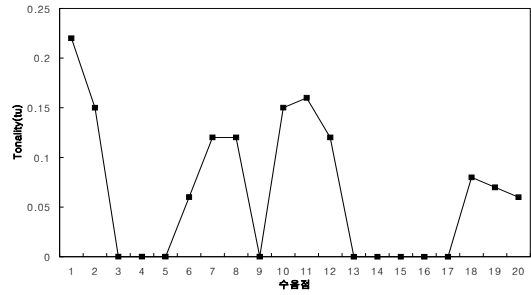


그림 11. 수차발전기 소음의 Tonality

그림에서 보면 크기에 대한 주파수별 조화정도는 거 리나 소음의 세기등 수음점 별로 상관성이 부족해, 수 차발전기의 경우 Tonality의 값을 신뢰 할 수 없을 것 으로 사료된다.

4.2.6 Roughness

‘20~300Hz 저주파 대역의 음조변화’를 나타내는 물 리적인 평가량을 파악해 보면 그림 12.와 같다.

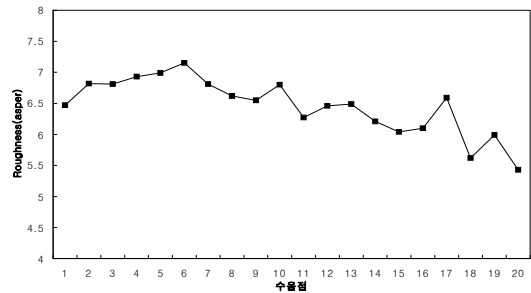


그림 12. 수차발전기소음의 Roughness

1번~10번 수음점의 경우 평균 6.80asper, 표준편차 0.21asper로 나타나 비슷한 패턴을 보였으나, 11번~ 20번까지의 수음점은 평균 6.12asper 표준편차 0.37asper로 불규칙하게 감쇠하는 패턴을 보였다.

4.3 dB(A)와 Zwicker 파라미터와의 상관성분석

dB(A)와 Zwicker 파라미터의 각 항목간의 상관관계 를 살펴보면 표 3.과 같다.

표 3. 위치에 따른 측정값의 상관도

	dB(A)	Loudness	Sharpness	F,S	Roughness	U.A
dB(A)	1.00					
Loudness	0.98	1.00				
Sharpness	-0.895	-0.805	1.00			
Fluctuation Strength	-0.07	-0.1	0.07	1.00		
Roughness	0.83	0.78	-0.84	0.005	1.00	
Unbiased Annoyance	0.97	0.99	-0.77	-0.03	0.77	1.00

수차발전기소음에 대한 Zwicker 파라미터의 상관분 석 결과를 보면, 6개의 평가지표중 dB(A), Loudness, Unbiased Annoyance가 0.9 이상으로 상관관계가 매우 높게 나타났으며, Roughness와 Sharpness도 상관 성이 있게 나타났다. 다음 그림 13.은 높은 상관관계 를 갖는 항목들을 비교한 것이다.

1) 광광수 ; 건설심리 평가를 위한 음향심리 분석에 관한 연구, 원광대학교 대학원 박사학위 논문, 2004.8, pp 101

2) 국정훈, 정은정, 김재수 ; Zwicker 파라미터를 이용한 건축설비소음의 음질평가, 대한건축학회 학술발표대회 26권, 2006.10.26

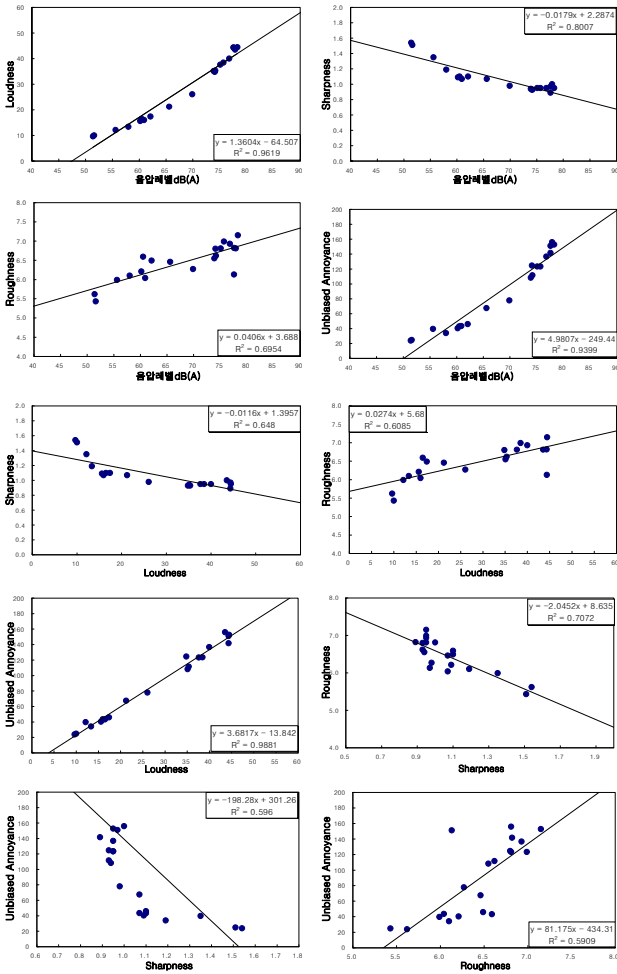


그림 13. 높은 상관관계를 갖는 항목들의 비교

5. 결 론

본 연구는 Zwicker 파라미터의 물리량을 통해 수차발전기소음에 대한 심리평가를 하고자 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. Loudness는 음압레벨(dB(A))와 같이 수차발전기실 내부에서는 음원으로부터 거리가 멀어질수록 서서히 감소하다가 유리창이나 벽체등을 통과하여 사무실 공간으로 이동시 급격히 감소하는 패턴을 보였다.

2. Sharpness는 평균 1.08acum로 날카롭게 평가되었으며, 사무공간의 Sharpness가 수차발전기실 내부보다 더 높게 나타났다. 이러한 이유는 수차발전기실 내부의 경우 심리적으로 소리의 크기와 시끄러움에 더 높은 가중치를 두지만 사무실의 경우 음압레벨이 낮아지므로 오히려 Sharpness에 더 높은 가중치를 두는 것으로 나타났다. 따라서 사무실과 같이 조용한 환경에서는 고주파와 같은 날카로운 소리에 대해 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

3. 사무공간의 경우 유리창 및 복도 벽체 등에 의한 소리감쇠로 인해 비사무공간보다 상대적으로 불쾌함의 평가 항목인 Unbiased Annoyance가 줄어드는 것

로 나타났다. 따라서 소음에 직접 노출되지 않도록 칸막이나 이중 유리창등을 설치·보강한다면 소음에 대한 불쾌감을 대폭 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

4. 수차발전기소음의 Fluctuation Strength와 Tonality는 건설소음이나 설비소음보다 작은 것으로 나타났으나, 수음점 별로 상관성이 부족해, 값을 신뢰할 수 없는 것으로 나타났다.

5. Zwicker 파라미터에 의한 수차발전기소음의 평가 결과 음압레벨(dB(A))과 ‘음의 크기’에 대한 물리적인 평가량인 Loudness 그리고 Unbiased Annoyance는 소음원의 크기와 불쾌감을 느끼는 감성적 곤혹도가 비례하여 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

향후 본 연구결과를 토대로 청감실험에 의한 수차발전기소음의 음향심리분석이 이루어진다면, 수차발전기소음 개선 및 규제기준 설정을 위한 유용한 자료를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김재수 건축음향설계(개정판), 세진사, 2004.3.
2. 김재수, 양만우 건축음향설계방법론, 도서출판 서우, 2001.9.
3. 국정훈, 정은정, 김재수 : “Zwicker 파라미터를 이용한 건축설비소음의 음질평가”, 대한건축학회 학술발표대회, 2006.10.26
4. 박정호, 김평석, 설수환, 광광수, 김재수 "대학 기숙사의 기계실에서 발생하는 설비소음의 특성에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표대회 23권 2호, 2003.10
5. 박정호, 한경연, 서정석, 김재수 "음향시뮬레이션에 의한 기계실 설비소음의 예측에 관한 연구", 한국주거학회 학술발표대회, 2004.11.13