

댐 수차 발전기 소음의 전달특성과 평가에 관한 연구

윤재현 · 국정훈 · 김재수[†]

원광대학교 건축학부

(2008년 3월 11일 접수, 2008년 6월 30일 채택)

A Study on Traveling Characteristics and Evaluation about Noise of Hydraulic Turbine Dynamo in Dam

Jae-Hyun Yun · Jung-Hoon Kook · Jae-Soo Kim[†]

Division of Architecture, Wonkwang University

ABSTRACT : In case of the domestic condition, as the initiating from Sumjin River Dam, total 14 units of multipurpose dams had been constructed in 1965 for the roles of flood control, waterpower generation, irrigation, water supply, industrial water supply. In the case of such multipurpose dam, it produces electric energy by converting the potential energy utilizing its head and quantity of the water into kinetic energy. However, in this process, since during the time when the turbine connected to the hydraulic turbine dynamo revolves and there occurs a loud noise, it brings the physical, mental bad influences to those people also a decline of an effective working efficiency. On such point of view, after selection of various 16 measurement points, this study has measured and analyzed the travelling characteristics of noise generated at the hydraulic turbine dynamo in Daechung Dam, and also has evaluated the degree of indoor noise using the evaluation index such as PSIL, NC. As the result of noise-evaluation, in case of Daechung Dam, since the noise damage grade appears very seriously at various spaces, it is considering that its soundproof measure would be necessitated keenly. Also, it is considered that such data could be utilized as the valuable material hereafter for establishment of an efficient noise-reduction countermeasure and a comfortable working environment for the hydraulic turbine dynamo plant.

Key Words : Hydraulic Turbine Dynamo, Transference Characteristics, Valuation Index, Reduction Countermeasure

요약 : 국내의 경우 1965년 섬진강댐을 시초로 홍수조절·수력발전·관개·상수·공업용수 공급 등의 역할을 하는 14개의 다목적댐을 건설하였다. 이러한 다목적댐의 경우 물의 낙차와 양에 의한 위치에너지를 운동에너지로 전환하여 전기에너지를 생산하게 된다. 그러나 이 과정에서 수차 발전기에 연결된 터빈의 회전시 고소음을 발생시켜 사람들에게 신체적, 정신적 악영향과 효율적인 업무능률의 저하를 초래한다. 이러한 관점에서 본 연구는 16개의 다양한 측정점을 선정하여 대청댐의 수차 발전기에서 발생하는 소음의 전달특성을 측정·분석하였으며, PSIL, NC 등의 평가지수로 실내소음의 정도를 평가해 보았다. 소음평가 결과 대청댐의 경우 여러 공간에서 소음의 피해 정도는 매우 심각하게 나타나 방음대책이 절실히 필요할 것으로 사료된다. 이러한 자료는 향후 수차 발전소의 효율적인 소음 저감대책과 쾌적한 업무 환경 수립을 위한 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

주제어 : 수차발전기, 전달특성, 평가지수, 저감대책

1. 서론

국내의 경우 1965년 섬진강댐을 시초로 홍수조절·수력발전·관개·상수·공업용수 공급 등의 역할을 하는 14개의 다목적댐을 건설하였다. 이러한 국내 대부분의 다목적댐의 경우 물의 낙차와 양에 의한 위치에너지를 운동에너지로 전환하여 전기에너지를 생산하는 수력발전 방식을 채택하여 약 40여개의 수차 시설에서 사용하고 있다. 그러나 이러한 모든 수차시설의 경우 전기에너지를 생산하는 과정에서 수차 발전기에 연결된 터빈(Turbine)의 회전시 고소음을 발생시켜 사람들에게 신체적, 정신적 악영향과

효율적인 업무능률의 저하를 초래하는 등의 많은 문제점이 발생되고 있다. 따라서 수차 발전소 내부의 소음을 최소화 할 수 있는 방음대책 수립이 무엇보다도 시급할 것으로 사료된다. 이러한 관점에서 본 연구는 위에서 언급한 방식과 동일한 수력 발전방식을 사용하여 소음에 대한 문제점이 발생하고 있는 대청댐을 대상으로 16개의 다양한 측정점을 선정하여 수차 발전기에서 발생하는 소음의 전달특성을 측정·분석하였다. 또한 측정된 소음의 전달특성 바탕으로 PSIL(PREFERRED SIL), NC(Noise Criteria) 등과 같은 소음 평가지수로 실내소음의 정도를 평가¹⁾해 보았다.

이러한 자료는 향후 수차 발전 시설의 효율적인 소음 저감대책과 쾌적한 업무 환경 수립을 위한 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

[†] Corresponding author

E-mail: soundpro@wku.ac.kr

Tel: 063-850-6712

Fax: 063-843-0782

2. 수차발전기의 개요와 소음측정

2.1. 대형댐 수차발전기의 원리와 제원

측정대상 대형댐은 충북 청원군 현도면(賢都面) 하석리(下石里)와 대전 대덕구 신탄진동(新灘津洞) 사이의 금강 본류를 가로지른 댐으로 4대강유역 종합개발계획의 일환으로 1975년 3월 착공, 1980년 12월 완공되었다. 이러한 대형댐은 시설면적으로는 국내에서 3번째 규모에 해당하며, 대형댐에서 사용하는 수차 발전기의 원리(국내 40여개의 모든 수차 발전시설에서도 동일한 원리를 사용하고 있음) 및 제원은 Fig. 1, 2와 Table 1과 같다.

수차실에서 사용하는 수차 발전기의 경우 시설용량이 크고 많은량의 전기에너지를 생산해야 하기 때문에 터빈의 회전시 매우 큰 소음을 발생시키고 있다.

2.2. 수차발전기 소음 측정방법

수차 발전기로부터 발생하는 소음²⁾의 전달 특성을 측정하기 위하여, 수차 발전기를 정상적으로 가동한 상태에서 측정을 실시하였다. 측정방법은 환경부 고시 제2003-221호(2003.12.31)에서 정한 소음공정시험법에 준하여 실시 하였다. 측정시 소음계의 위치를 지면으로부터 1.2 m의 높이에

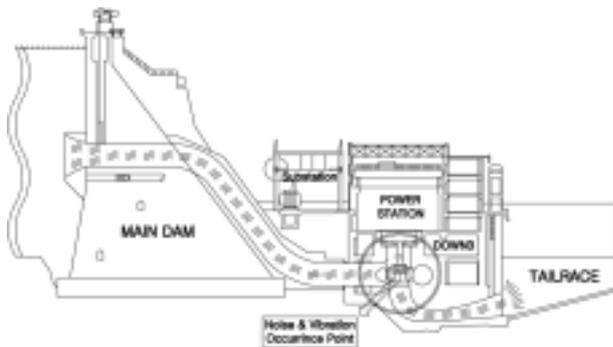


Fig. 1. Principle of Hydraulic Turbine Dynamo.



(a) Upper Part of Hydraulic Turbine Dynamo (b) Lower Part of Hydraulic Turbine Dynamo

Fig. 2. Shape of Hydraulic Turbine Dynamo.

Table 1. Dimension of Hydraulic Turbine Dynamo

Form	Sort	Shape	Capacity	Annual Elec. Power
semi-underground type	Francis	3-phase vertical axis, Umbrella-type (Francis)	45,000 kW × 2 units	240 ~ 196 GWh

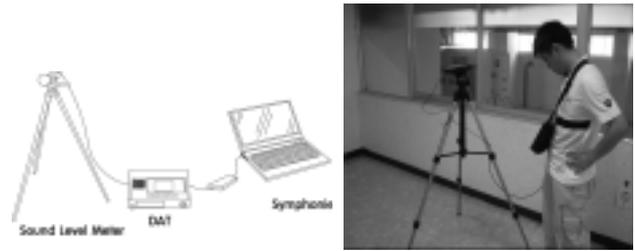


Fig. 3. Composition of Measuring Equipment and Measuring Feature.

삼각대로 고정하여 설치하였고, 측정점으로부터 30초간 측정하였다. 또한 소음계를 통해 들어오는 신호를 일본 SONY사의 DAT(Digital Audio Tape Recorder)로 현장에서 녹음하였다. 또한 녹음된 신호를 실험실에서 독일의 01dB사의 Symphonie를 이용하여 분석하였다. 측정장비 구성과 측정 장면은 Fig. 3과 같다.

2.3. 측정점의 개요

수차 발전기 소음의 전달특성을 파악하기 위해 발전소 내부에 위치한 다양한 실과 공간을 대상으로 16개의 측정점을 선정하였다. 측정점의 개요 및 평면형태³⁾와 공간에 따른 평가방법은 Fig. 4, Table 2와 같다.

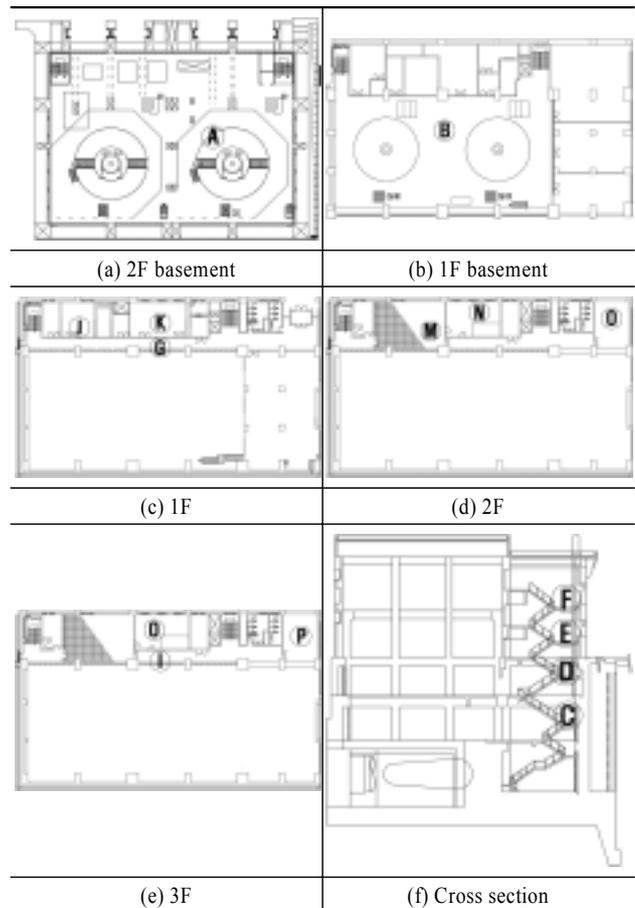


Fig. 4. Plane and Measuring, Position of Power Station.

Table 2. Summary of the Objective Measurement Point

Classification	Location	Title	Kind of Opening part	Evaluation Method	
Noise Origin	Second Basement Hydro-Generator	A	X	PSIL Evaluation	
Non-Business Space	First Basement Hydro-Generator Room	B			
	1st Floor Stair	C			
	2nd Floor Stair	D			
	3rd Floor Stair	E			
	4th Floor Stair	F			
Business Space	Corridor	1st Floor Corridor	G	Common Glass Window (3 mm single window)	PSIL and NC Evaluation
		2nd Floor Corridor	H		
		3rd Floor Corridor	I		
	Office Room	1st Floor Environment Team	J	Common Wooden Door	
		1st Floor Management Team	K		
		2nd Floor Central Control Room	L		
		2nd Floor Engineering Team Manager Room	M		
		2nd Floor Operation Team	N		
		3rd Floor Chief's Room	O		
		3rd Floor Engineering Team	P		

3. 수차 발전기 소음의 전달특성

3.1. 수차 발전기실 소음의 전달특성

수차 발전소 소음의 원인인 수차 발전기가 정상적으로 가동한 상태에서 측정된 주파수별 소음특성과 시간이력곡선을 비교·분석한 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에 (a)를 보면 수차 발전기의 시간에 따른 소음레벨 변동특성⁴⁾을 나타내는 시간이력곡선의 경우 전 측정 시간에 걸쳐 규칙적이고 일정한 정상소음의 특성으로 나타났다. 이러한 이유는 도로교통 소음과 같이 지속시간이 매우 짧고 일시적으로 변동의 형태로 발생하는 변동소음과는 달리 수차 발전기의 경우 가동되는 시간동안 동일한 량의 물이 계속해서 유입되어 수차 발전기의 터빈을 회전시키기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 5에 (b)를 보면 측정점에 따른

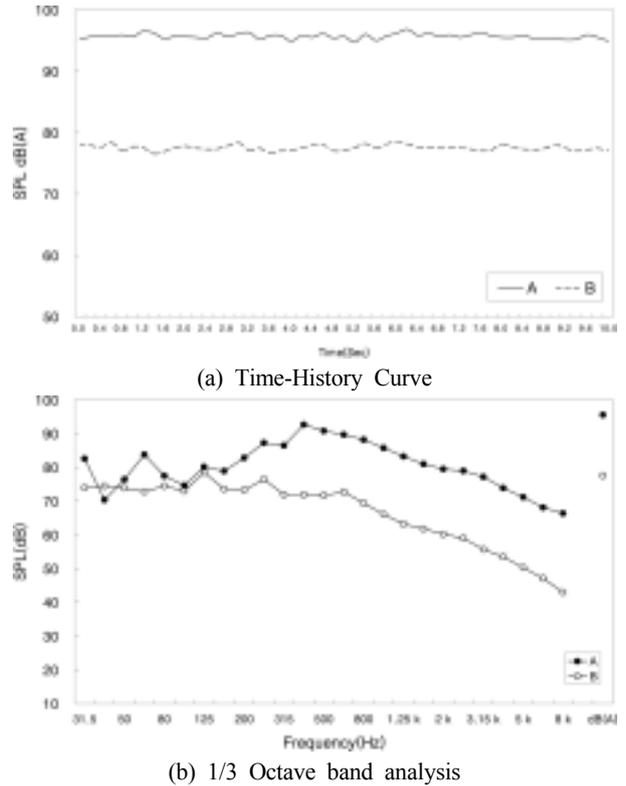


Fig. 5. Noise-Travelling Characteristics by Frequency of Hydraulic Turbine Generator Room.

dB(A)의 경우 수차 발전기 앞 A점은 95.6 dB(A), 수차 발전기 계단 끝 B점은 77.6 dB(A)의 높은 소음레벨로 나타났다. 주파수별 소음레벨의 경우 31.5~160 Hz의 저주파 대역에서는 불규칙한 패턴을 보이다가 400 Hz에서 92.7 dB의 Peak치를 나타낼 때까지 상승곡선을 그렸으며, Peak치 이후 주파수에서 서서히 감소하는 소음특성을 보였다. 또한 불규칙한 패턴을 보인 31.5~160 Hz에서는 측정점 별로 dB값이 거의 일치하게 나타났으며, 160 Hz 이후의 고주파수 대역에서 많이 감소하는 패턴을 보였다. 이러한 이유는 파장이 길고 에너지가 큰 저주파수의 경우 고주파수에 비해 음향 에너지 감쇠가 적기 때문인 것으로 사료된다. 이와 같은 소음특성을 갖는 수차 발전기의 높은 소음레벨이 수차 발전소 내부에 위치한 다양한 실과 여러 공간에 전달될 경우 사람들로 하여금 신체적 정신적 악영향과 효율적인 업무능률의 저하를 초래할 것으로 사료된다.

3.2. 계단을 통한 소음의 전달특성

수차 발전기가 정상적으로 가동한 상태에서 계단과 옥상에서 측정된 주파수별 소음특성과 시간이력곡선을 수차 발전소 내부 소음의 집적적인 원인인 B점의 소음특성과 비교·분석한 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6을 보면 계단과 옥상에서 측정한 dB(A)의 경우 측정점 별로 74.1~60.7 dB(A)로 일정한 거리감쇠 패턴을 보이고 있으며, 저주파수 대역보다는 400 Hz 이상의 중·고주파수 대역에서 소음레벨차가 높게 나타났다.

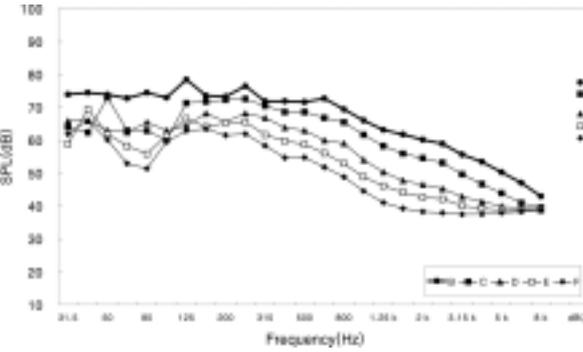
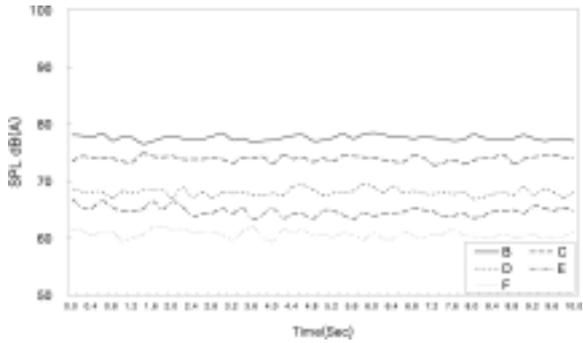


Fig. 6. Noise-Travelling Characteristics by Frequency of Stairs.

3.3. 창문을 통한 소음의 전달특성

수차 발전기가 정상적으로 가동한 상태에서 복도에서 측정된 주파수별 소음특성과 시간이력곡선을 B점의 소음특성에 비교·분석한 결과는 Fig. 7과 같다.

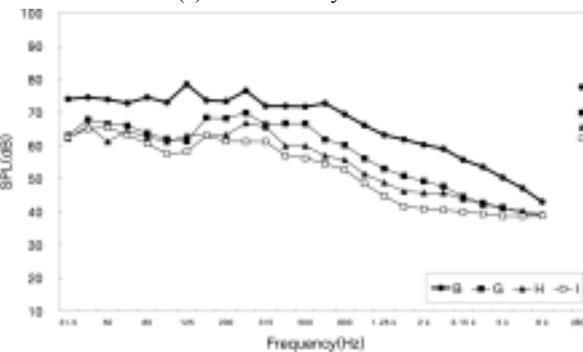
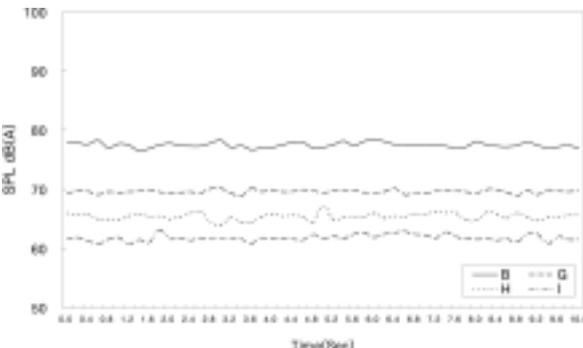


Fig. 7. Noise-Travelling Characteristics by Frequency of Corridor.

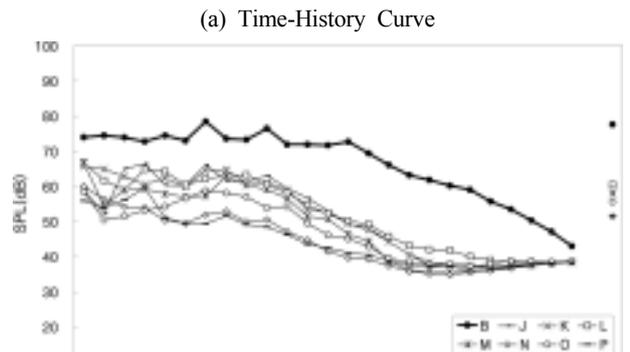
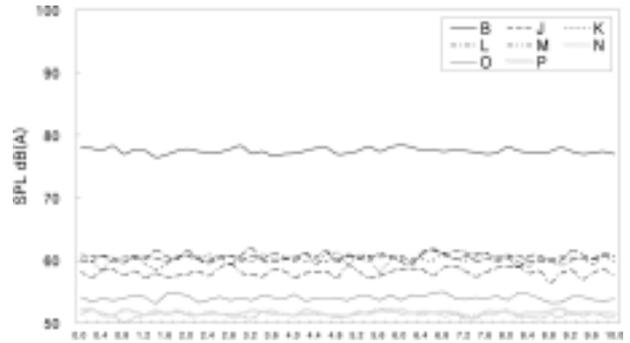


Fig. 8. Noise-Travelling Characteristics by Frequency of Space for Business-use.

Fig. 7을 보면 창문을 닫고 복도에서 측정된 dB(A)의 경우 G점 69.9 dB(A), H점 65.6 dB(A), I점 62.1 dB(A)로 거리별 감쇠효과가 나타났다.

3.4. 업무용 공간의 소음의 전달특성

업무용 공간의 경우 다른 공간에 비해 소음에 대해 가장 민감하게 반응하므로 모든 개구부를 닫고 최적의 상태에서 측정을 실시하였다. 수차 발전기가 정상적으로 가동한 상태에서 측정된 주파수별 소음특성과 시간이력곡선을 B점의 소음특성에 비교·분석한 결과는 Fig. 8과 같다.

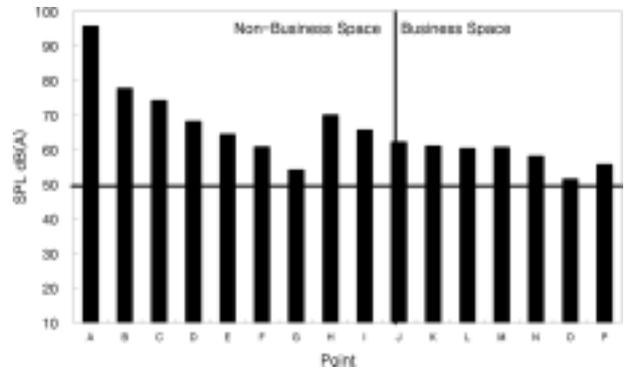


Fig. 9. dB(A) of each Measuring Point comparing with Recommendation Standard of Business Space, Non-Business Space.

Fig. 8을 보면 업무용 공간에서 측정된 dB(A)의 경우 측정점 별로 51.4~60.9 dB(A)로 다른 측정점에 비해 소음레벨이 낮게 나타났다. 지금까지 측정된 각 측정점의 dB(A)를 일반적으로 쾌적한 업무용 공간의 권장 dB(A)인 50 dB(A)와 비교한 결과⁵⁾는 Fig. 9와 같다.

Fig. 9를 보면 쾌적한 업무용 공간의 권장 기준인 50 dB(A)를 모든 측정점에서 만족하지 못하였다. 특히 업무용 공간의 경우 수차 발전기 소음으로 인한 스트레스와 방해로 업무능률의 저하를 초래하여 그 피해 정도가 가장 클 것으로 사료된다. 따라서 대상 발전소의 경우 심각한 발전기 소음에 노출되어 있기 때문에 지금까지의 대책 방안을 바탕으로 방음대책을 수립하면 쾌적한 업무 환경⁶⁾을 유지 할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 수차 발전기 소음의 평가

4.1. 소음이 인체에 미치는 평가

수차 발전기 소음의 전달특성을 인체에 미치는 영향과 비교한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3을 보면 소음의 건강보전 한계이면서 소음으로 인한 산발적 민원⁷⁾이 발생할 수도 있는 Beranek이 제안한 기준치인 60 dB(A)를 16개의 측정점중에 M, N, O, P 점을 제외하고 모두 상회하는 것을 알 수 있다. 따라서 대상 수차 발전소의 경우 여러 곳에서 심각한 발전기 소음에 노출되어 있기 때문에 사람들에게 신체적, 정신적 악영향을 미칠 것으로 사료된다. 따라서 효율적인 소음 저감대책을 마련해야 할 것으로 사료된다.

Table 3. Effect of Noise that influences to Human Body

Noise Level dB(A)	Effect to Human Body	Pertinent Measure Point	
		Non-Business Space	Business Space
100	Bring Audition-Loss when Long Exposure		
90	Increase Urine, Generates Hearing Difficulty	A	
80	Possible Early Rupture of Amnion		
75	Begins Occurrence of Stamina-Loss	B	
70	Contraction of Peripheral Blood Vessel, Decrease of Adrenocortical Hormones	C	
65	Decline of Spiritual Concentration, Various Hearing-Impediment	D	G, H
60	Limitation of Health Preservation by Noise	E, F	I, J, K, L

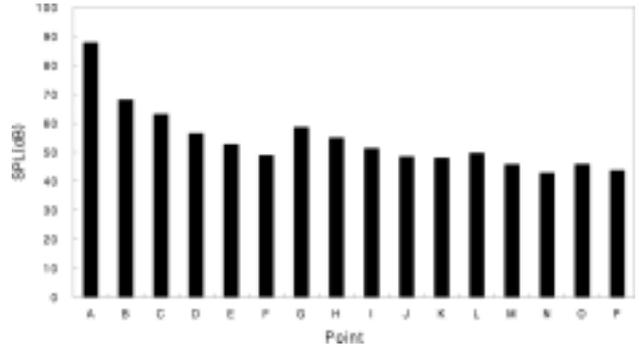


Fig. 10. PSIL of Each Measurement Point.

4.2. PSIL에 의한 소음평가

PSIL(Preferred SIL)은 Klumpp & Webster가 여러 종류의 소음평가법⁸⁾에 대해 회화 방해도와의 관계를 비교 검토하여 제안한 것으로, 회화음역인 500 Hz, 1,000 Hz, 2,000 Hz, 4,000 Hz의 음압레벨을 산술평균한 값이다. 각 측정점의 PSIL을 비교·분석한 결과는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10을 보면 각 측정점의 PSIL은 42.8~87.7 dB로 나타났다. 위의 결과를 ISO/TC 43에서 제안한 회화방해레벨과 회화 가능한 거리에 비교한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4를 보면 N(2층 운영팀)점과 P(3층 공사팀)점은 비교적 회화방해레벨이 40 dB로 작기 때문에 업무에 발전기 소음이 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다. 반면 A점은 PSIL이 87.5 dB로 평가되어 회화가 거의 불가능할 것으로 나타났으며, N, P점을 제외한 모든 측정점은 보통의 목소리로 회화했을 경우 만족한 이해도가 얻어지는 최대거리가 0.13~2.3 m로 짧기 때문에 원활한 의사소통은 어려울 것으로 사료된다. 또한 산업안전보건법 산업보건에 관한 규칙 제 58조에서 정한 85 dB 이상의 “소음작업”의 경우 회화가 거의 불가능한데, 비 업무용 공간의 경우도 위와 마찬가지로 회화방해레벨이 크므로 이에 대한 대책마련이 시급한 것으로 판단된다.

Table 4. Conversation-Impediment Level and Possible Distance for Talk(ISO Technical Report 3352, 1974)

Talk-Impediment Level (dB)	Max. Distance for Satisfying Understanding(m)	Pertinent Measurement Point	
		Non-Business Space	Business Space
40	4.2		N, P
45	2.3	F	J, K, L, M, O
50	1.3	E	H, I
55	0.75	D	G
60	0.42	C	
65	0.25		
70	0.13	B	

※ Distance, Obtainable Understanding Degree more than 95%

Table 5. NC and Determining Frequency at Business Space

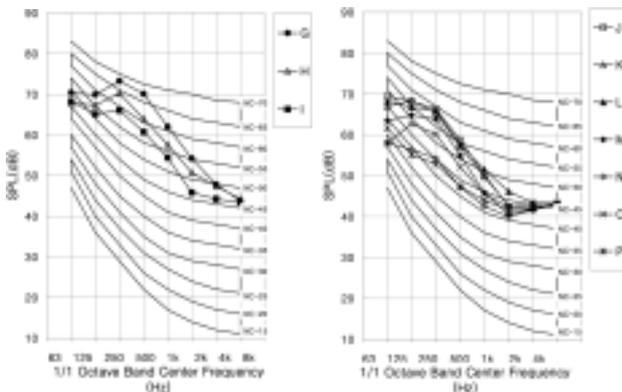
Classification	Measure Point	NC	Determining Frequency
Corridor	G	NC-68	250 Hz
	H	NC-64	250 Hz
	I	NC-59	250 Hz
Office	J	NC-59	250 Hz
	K	NC-58	250 Hz
	L	NC-59	250 Hz
	M	NC-57	250 Hz
	N	NC-46	8 kHz
	O	NC-52	250 Hz
	P	NC-46	8 kHz

Table 6. Permissible Value of Indoor Noise in accordance with NC Value

Kind of Room	NC Value	Pertinent Measure Point
Private Office, Small Conference Room	30 ~ 40	
Large Office, Store, Restaurant	35 ~ 45	
Working Room, Planning Room, Secretary Room	40 ~ 50	
Office Room, Computer Room	45 ~ 55	N, O, P
Store, Airport, Control Room in Power Plant, Railway Station	50 ~ 60	I, J, K, L, M
Factory, Working Space	60 ~ 75	G, H

Table 7. Noise-Evaluation of Inside Office Room according to NC Value

NC Value	Condition of Noise Environment	Pertinent Measure Point
20 ~ 30	Very quiet office where no obstacle for dialog and phone-talk	
30 ~ 35	Calm office where dialog is possible even using common voice	
35 ~ 40	Conference sitting around 2 ~ 5m table is available, comparatively quiet office	
40 ~ 50	Conference sitting at 1.5m table is possible, office where slightly difficult for phone-talking	N, P
50 ~ 55	Conference with more than 2, 3 persons is impossible, office where phone-conversation is difficult	O
more than 55	Due to very noisy, phone-talking is hard, not recommendable for any sort of office	G, H, I, J, K, L, M



(a) Corridor NC Curve (b) Office NC Curve

Fig. 11. NC Curve of Office-use Space.

4.3. NC곡선에 의한 소음평가

NC곡선은 1957년 Beranek이 사무실 소음의 실태조사와 직원의 앙케이트 조사를 바탕으로 회화의 양호한 전달을 위해서는 중고음역 성분의 배경소음을 충분히 작게 해야 한다는 결과를 토대로 제안된 곡선⁹⁾이다. 업무용 공간에 해당하는 각 측정점을 1/1 옥타브 밴드로 하여 NC곡선에 비교·분석한 결과는 Table 5, Fig. 11과 같다.

Table 5, Fig. 11를 보면 업무용 공간의 경우 NC-46 ~ NC-68로 나타났으며, 결정 주파수는 N, P점을 제외한 모든 측정점에서 250 Hz로 나타났다. 따라서 결정주파수를 제어할 수 있는 방음대책을 수립하면 사람들에게 미치는 소음의 영향을 크게 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 업무용 공간의 NC결과를 바탕으로 실내소음의 허용치와 사무실내의 소음평가에 비교한 결과는 Table 6, 7과 같다.

Table 6을 보면 NC값에 따른 실내소음 허용치의 경우 16개의 측정점 중에 N(2층 운영팀)점과 O(3층 단장실)점 그리고 P(3층 공사팀)점을 제외하고 모두 사무실 용도로는 적합하지 않게 나타났다. 또한 Table 7을 보면 사무실 용도로 적합한 N, O, P점도 전화 통화시 어려움이 따를 수 있는 열악한 사무실로 평가되었다. 위의 결과들을 미루어 볼 때 대상 발전소의 경우 심각한 발전기 소음으로 인해 복도에서의 원활한 의사소통이 어려우며, 사람들로

하여금 극심한 스트레스와 효율적인 업무능률의 저하를 초래할 것으로 사료된다. 따라서 쾌적한 업무환경을 위한 방음대책이 절실히 필요할 것으로 사료된다.

5. 결론과 향후 연구과제

국내의 경우 수력발전 방식을 채택하여 사용하고 있는 수차 발전시설은 40여개에 달하며, 모두 대청댐과 같은 열악한 소음 환경에 노출되어 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 대청댐을 대상으로 수차 발전기가 정상적으로 가동상태일 때 16개의 측정점을 비 업무용 공간과 업무용 공간으로 나눈 뒤 소음의 전달 특성을 측정·분석해 보았다. 또한 측정된 소음의 전달특성을 바탕으로 여러 가지 소음 평가지수를 통해 실내소음의 정도를 평가해 보았으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 대형댐 수차 발전기의 경우 약 95.6 dB(A) 정도의 높은 소음레벨을 갖는 정상소음의 형태로 나타났다. 또한 주파수별 소음레벨의 경우 31.5~160 Hz의 저주파 대역에서는 불규칙한 패턴을 보이다가 그 이후 주파수에서 상승 곡선을 그렸으며, 400 Hz에서 92.7 dB의 Peak를 보인 후 서서히 감쇠하는 소음특성을 보였다.

2) 수차발전기의 소음은 비 업무용 공간에는 60.7~95.6 dB(A)로 업무용 공간에는 51.4~69.9 dB(A)로 전달되었다. 이와 같은 결과는 소음의 건강 보전 한계이면서 소음으로 인한 산발적 민원이 발생할 수도 있는 기준치인 60 dB(A)를 G,N,O,P,Q 점을 제외하고 모두 상회하기 때문에 사람들에게 신체적, 정신적 악영향을 미칠 것으로 사료된다.

3) PSIL에 의한 평가결과 N,P점은 비교적 회화방해레벨이 40 dB로 작기 때문에 업무에 발전기 소음이 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다. 반면 A점은 PSIL이 87.5 dB로 평가되어 회화가 거의 불가능할 것으로 나타났으며, N,P점을 제외한 모든 측정점은 보통의 목소리로 회화했을 경우 만족한 이해도가 얻어지는 최대거리가 0.13~2.3 m로 짧기 때문에 원활한 의사소통은 어려울 것으로 사료된다.

4) NC곡선에 의한 평가 결과 업무용 공간의 경우 NC-46~NC-68로 나타났다. 또한 측정된 NC값을 바탕으로 실내 소음의 허용치와 사무실내의 소음평가에 비교한 결과 N, O, P점을 제외하고 모두 사무실 용도로는 적합하지 않게 나타났다. 따라서 대상 발전소의 경우 심각한 발전기 소음으로 인해 복도에서의 원활한 의사소통이 어려우며, 사람들로 하여금 극심한 스트레스와 효율적인 업무능률의 저하를 초래할 것으로 사료된다. 따라서 이러한 문제를 해결할 수 있는 체계적인 소음저감대책이 시급히 필요할 것으로 사료된다.

본 연구 결과를 통하여 얻어진 자료들을 기초로 하여 수차발전소 내부의 방음대책을 위한 리노베이션을 실시한다면 보다 쾌적한 업무 환경을 조성할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 김재수, 소음진동학, 세진사, pp. 161~178(2007).
2. 김재수, 건축음향설계(개정 제3판), 세진사, pp. 20~30(2008).
3. 박지창, 김재수, 김남, “음향 시뮬레이션을 이용한 댐 수차발전기실의 음향성능 개선에 관한 연구,” 대한환경공학회지, **29**(10), 1099~1105(2007).
4. 윤재현, 주덕훈, 김재수, “댐 수차 발전기의 소음·진동 특성에 관한 연구,” 대한건축학회 추계학술발표대회, **27**(1), pp. 921~924(2007).
5. 윤재현, 주덕훈, 박지창, 김재수 : “댐 수차 발전기 소음의 평가에 관한 연구,” 대한건축학회 추계학술발표대회, **27**(1), pp. 917~920(2007).
6. 윤재현, 이연주, 김재수 : “댐 수차 발전기 소음의 전달특성 및 방음대책에 관한 연구,” 대한건축학회 추계학술발표대회, **27**(1), pp. 717~720(2007).
7. Vern, O. Kundsens., Cyril, M. Harris., “Acoustical Designing in Architecture,” JOHN WILEY & SONS.INC, 145~164(1995).
8. M, David. Egan., “Concepts in Architectural Acoustics,” McGRAW-Hill Book Company, 187~194(1972).
9. William, J. Cavanaugh., Joseph, A. Wilks., “Architectural Acoustics,” JOHN WILEY & SONS.INC, 244~252(1982).