

화력발전소의 소음지도 모델링 및 해석

Noise Map Modeling and Analysis of Thermal Power Plant

김원진* · 윤준호*

Won-Jin Kim, Jun-Ho Yun

Key Words : Noise Map(소음지도), Thermal Power Plant(화력발전소), Sound Power Level(음향파워레벨), Transmission Loss(투과손실), Noise Barrier(방음벽)

ABSTRACT

This study proposes an analysis model to simulate a noise map and estimate noise distribution for a location and its surroundings of a power plant. The noise map analysis was executed by using ENPro that is a commercial program for environmental noise prediction. Experimental evaluation for the proposed analysis model was carried out by comparing the results from noise analysis and measurement at several major points of the power plant and residential areas.

1. 서 론

최근 주거지역의 주요 환경문제 중 하나인 소음과 관련된 분쟁이 점점 증가하고 있는 실정으로, 건설현장 및 발전소 등에서 유발되는 환경소음에 대한 기준치가 강화되고 있는 추세이다. 화력발전소는 보일러, 터빈발전기, 탈황설비, 송풍기, 변압기, 연돌 등의 기기들이 옥내외에 설치되고 발전소의 내부는 물론 인접지역까지 소음공해를 유발할 수 있는 대표적인 플랜트이다⁽¹⁾. 특히, 도심지에 위치한 화력발전소는 발전소 부지 경계선 근처 주거지역이 밀집되어 있다⁽²⁾. 근래의 화력발전소는 대단위·대용량화 건설이 이루어지면서 소음에 대하여 주거지역에서의 민원제기와 근무환경 개선이 끊임없이 제기되고 변화를 요구하고 있다. 또한 환경소음 공해에 대한 관심도가 높아짐에 따라 쾌적한 주거 및 근무환경을 요구함으로 인해 발전소 운영과 건설시 유발될 수 있는 소음에 대한 기준치가 강화되고 있다. 따라서 발전소 소음을 저감하기 위해서는 소음을 유발하는 소음원에 대해 설계단계에서부터 정확한 소음예측을 수

행하고, 과도한 소음에 대해서 경제적이고 효과적인 방음대책을 수립할 필요가 있다.

본 연구에서는 환경 친화적이고 저소음 발전소의 유지를 위한 발전소 소음지도 모델을 제안하고, 발전소 소음평가 및 예측을 통하여 인근 주거지역에서의 소음저감 대책을 수립하였다.

2. 소음측정 및 음향파워레벨 산정

발전소 소음지도 해석을 위한 주요 소음원을 선정하고, 소음레벨을 측정하였다. 측정된 소음레벨 데이터를 바탕으로 소음원의 음향파워레벨을 산정하였다. 측정된 소음레벨을 식 (1)을 이용하여 음향파워레벨로 산정하였다.

$$PWL = SPL - 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right] \quad (1)$$

식 (1)에서 r 은 측정거리이며, Q 는 지향계수이다. R 은 실정수(room constant)로써 식 (2)와 같다.

$$R = \frac{S\alpha}{(1-\alpha)} \quad (2)$$

여기서, S 는 표면적, α 는 흡음률을 나타낸다. 자유

† 교신저자; 정회원, 계명대학교
E-mail : wjkim@kmu.ac.kr
Tel : 053-580-5265, Fax : 053-580-5165

* 계명대학교

음장인 경우에는 실정수 R 이 무한대가 된다. 발전소의 주요 소음원들이 위치하는 보일러 및 터빈발전기 건물 등은 식 (2)의 표면적 S 가 크기 때문에 식 (1)에서의 실정수 R 을 무시할 수 있다고 판단하고, 자유음장으로 가정하였다. 발전소의 주요 소음원과 1/1 옥타브 밴드별로 음향파워 레벨을 산정한 결과는 Table 1과 같다.

보일러 건물 내부에는 미분기, 보일러, 송풍기 등이 연소 및 유체 흐름에 따른 소음을 발생시킨다. 각각의 소음원들은 서로 인접하여 위치하기 때문에 보일러 건물 내부의 다양한 소음의 간섭이 없이 각각의 소음원들을 측정하고 산정하기에는 어려움이 있다. 따라서 보일러 건물 내부에 소음원이 중앙에 위치한다고 가정하였으며 이에 따라 상대적으로 파워레벨이 높다.

터빈발전기 건물 내부의 주요 소음원은 터빈발전기로 고압터빈(HP: high pressure turbine), 중압터빈(IP: intermediate pressure turbine), 저압터빈(LP: low pressure turbine)으로 구성된다. 각각의 터빈에

서 소음레벨을 측정하여 평균 음향파워레벨을 산정하였다.

석탄하역부두에 위치한 석탄하역기와 상/하탄기는 특정위치가 고정되어 설치된 것이 아니라 기기 작동시에 좌/우로 이동하기 때문에 정확한 소음레벨을 측정하기 어렵다. 따라서 실제의 음향파워레벨과의 오차가 있을 것으로 예상된다.

신재생 발전설비인 해양수력 발전설비는 주요 소음원이 수차와 발전기로써 지하에 위치한다. 해양수력 발전설비의 소음원이 지상에 위치한다고 가정하고, 지상에서 측정된 소음레벨을 이용하여 음향파워레벨을 산정하였다. 또 풍력발전설비는 제조사의 설비용량에 따라 2.0, 2.5, 3.0 MW로 구분되는데 각 설비용량별 측정된 소음레벨을 이용하여 음향파워레벨을 산정하였다. 특히, 2.5 MW의 풍력 발전설비는 변압기가 외부에 설치되어 있어서 상대적으로 음향파워레벨이 높은 것으로 판단된다.

Table 1 Sound power levels of major noise sources

Frequency [Hz]	Overall	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Boiler [dBA]	124.0	98.8	106.5	118.1	119.0	118.0	114.1	110.9	101.6
Steam Silencer [dBA]	86.7	58.9	63.9	73.8	77.6	73.7	74.6	75.8	70.3
Turbine Generator [dBA]	107.5	90.5	92.3	96.4	103.0	101.2	100.0	96.7	90.2
Main Transformer [dBA]	94.1	79.5	82.7	89.4	89.5	85.8	81.5	74.0	66.5
Induce Fan(IDF) [dBA]	104.4	84.9	94.8	99.5	93.7	94.0	98.2	95.2	83.3
Booster-up Fan(BUF) [dBA]	105.4	82.0	86.2	96.8	102.7	99.4	91.4	82.9	72.8
Absorber [dBA]	95.8	72.2	78.0	88.9	90.1	90.6	88.4	78.7	68.4
Stack [dBA]	110.6	86.7	96.9	96.1	106.5	106.9	96.3	96.4	96.4
Coal Ship Unloader [dBA]	117.1	92.9	99.4	105.0	109.0	111.8	111.2	107.0	107.0
Stacker/Reclaimer [dBA]	104.3	84.9	87.8	91.6	98.8	98.6	96.8	94.2	93.5
Hydro Electric Power [dBA]	99.1	71.7	84.0	90.8	94.6	94.5	89.5	81.2	70.0
Wind Power [dBA]	2.0 MW	104.6	83.1	93.7	98.1	98.7	98.6	96.3	89.1
	2.5 MW	111.3	97.8	101.4	104.3	104.1	103.2	103.2	102.9
	3.0 MW	110.7	93.0	104.7	104.9	105.2	101.1	98.4	95.2

3. 발전소 부지 및 주변지역의 3차원 모델링

ISO 9613(옥외소음 전달감쇠 평가방법)에 근거하는 환경소음 예측프로그램 ENPro(easy environment noise prediction program)⁽³⁾을 이용하여 발전소 소음지도 해석을 위한 모델링을 수행하였다.

3.1 지형 및 지면

해석대상 영역은 발전소 부지 및 인근 주거지역을 포함한 영역으로 선정하고, 가로 3,125 m, 세로 1,820 m로 정의하였다. 지형 및 지면의 모델링은 발전소 설계도면에 근거하여 수행하였고, 3차원 위치좌표를 갖는 지점은 좌표를 입력하여 총 절점 수 (node number) 약 2,500개로 모델링하였다. ISO 9613에 의거하여 지면 감쇠효과를 산정하기 위해서는 지면을 음향학적으로 부드러운 지면과 딱딱한 지면으로 구분하여 모델링하여야 한다⁽⁴⁾. Fig.1과 같이

해석대상 영역내의 산과 숲 등은 부드러운 지면, 그 외의 도로 및 아스팔트 등은 딱딱한 지면으로 정의하여 모델링 하였다.

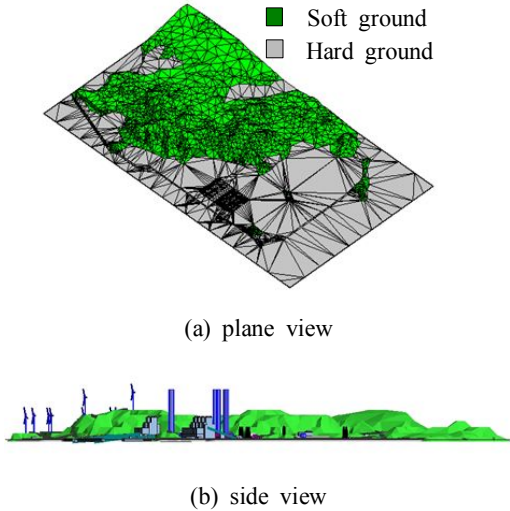


Fig.1 Topography and ground model

3.2 지물 및 소음원

지물은 발전소 1~6호기를 대상으로 Fig.2와 같이 복수개의 직육면체와 원기둥의 조합으로 복잡형상의 건물 및 각종 설비 등을 모델링하고, 소음원은 음향 파워레벨을 적용하여 점 소음원(point source)로 모델링하였다. 이때 신규증설중인 5~6호기는 1~4호기와 동일하다고 가정하여 모델링하였다.

보일러 및 터빈발전기 등의 각종 건물 모델링의 폭과 넓이는 건축도면을 기준으로 위치를 선정하고, 실제 치수와 동일하게 모델링하였다. 보일러 및 터빈발전기와 수력발전 건물 내부의 소음을 해석하기 위해서는 건물벽에 1/1 옥타브 밴드별 투과율(transmission coefficient)을 지정하여야 한다. 투과율 τ 는 식 (3.1)과 같이 입사음 에너지 I_i 에 대한 투과음 에너지 I_t 의 비로 정의된다.

$$\tau = \frac{I_t}{I_i} \quad (3)$$

건물벽의 투과손실(TL: transmission loss)은 투과율의 역수에 상용대수를 취한 후 10을 곱한 값으로

식 (4)와 같이 구한다.

$$TL = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \quad (4)$$

여기서는 건물벽에 대한 정확한 정보가 부족하고, 음 에너지를 측정하기 어렵기 때문에 식 (3.3)과 같이 건물 외부와 내부에서의 측정된 소음레벨의 차로 건물벽의 투과손실을 계산하였다.

$$TL = SPL_1 - SPL_2 \quad (5)$$

반복해석을 이용한 시행 착오법(trial & error)과 보정을 통하여 Table 2와 같이 건물주변의 지점에서 소음측정과 해석결과의 소음레벨에 근사하는 건물벽의 투과손실을 구하여 모델링에 적용하였다.

보일러 건물과 전기집진기 그리고 탈황설비까지 연결되어 있는 대형덕트에 대한 모델링은 실측자료를 바탕으로 실제형상과 유사하게 모델링하고, 설치 위치는 건축도면을 기준으로 배치하였다. 또한 송풍기 덕트는 내부 유체의 이동에 의해 소음이 발생되고, 외벽을 통해 소음을 방사한다. 하지만 송풍기 덕트의 소음은 유인송풍기, 승압송풍기 등의 탈황설비의 소음에 비해 영향이 작다고 판단하여 Fig.3과 같이 형상만을 고려한 선(line)으로 모델링하였다. Fig.4의 석탄하역부두의 석탄하역기와 상/하탄기의 위치는 기기 작동 시에 좌우로 이동되기 때문에 고정되지 않는다. 따라서 특정위치로 가정하여 모델링하였기 때문에 실제와 차이를 보일 수 있다.

발전소 부지 주변의 인근 주거지역 및 기타지역은 항공사진을 참고로 직육면체 조합으로 실제형상과 유사하게 모델링하고, 도로 및 송전탑 등은 형상만을 고려하여 선으로 모델링하였다.

Table 2 Transmission loss of building walls

Frequency [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Boiler Room [dB]	10	13	18	21	23	25	28	28
Turbine Room [dB]	14	17	15	17	18	21	21	27
Hydro Electric Power Room [dB]	11	14	22	24	25	22	17	10

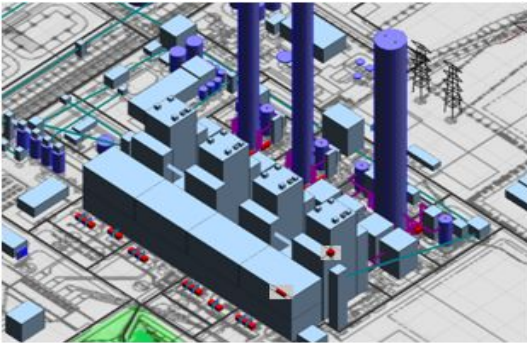


Fig.2 Model of buildings and machines

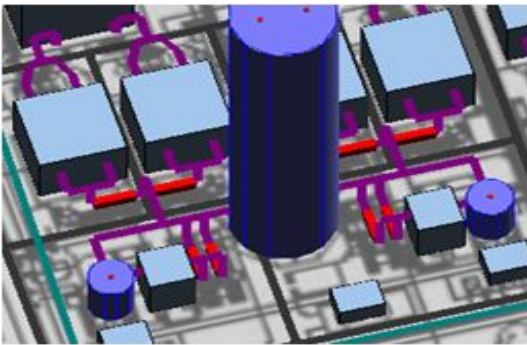


Fig.3 Model of flue gas desulfurizer

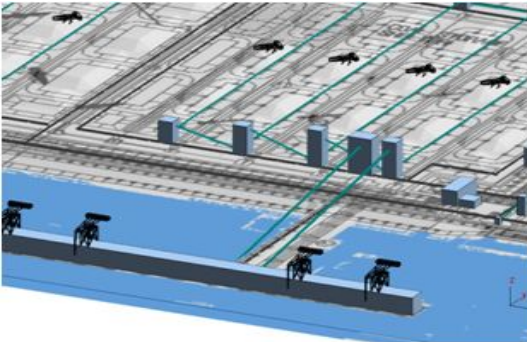


Fig.4 Model of coal ship unloader

4. 발전소 소음지도 해석

해석모델의 소음지도 해석을 통하여 발전소 부지 및 주변지역의 소음레벨을 분석하였다. 그리고 주거 지역에서 소음저감을 위한 방음대책을 수립하기 위하여 방음벽을 설계하였다.

4.1 해석모델의 실험적 검증

발전소 부지 및 주변지역의 해석을 수행하여 소

음 측정과 해석결과를 비교하였다. 시뮬레이션은 발전소 1~4호기의 전호기가 가동되고, 1개의 석탄하역기와 2개의 상/하탄기가 가동되고 있는 일상 소음의 조건으로 수행하였다.

발전소 1~4호기 지역의 해석결과를 분석하기 위하여 Fig.5와 같이 5개의 지점에서 소음 측정과 해석결과를 비교하였다. Table 3에서와 같이 5개의 지점에서 소음레벨이 ± 2 dB의 오차범위로 소음 측정과 해석결과가 유사하다는 것을 확인하였다.

Table 3 Comparison of noise levels measured and simulated at the surroundings of plant units 1 ~ 4

Frequency [Hz]	①	②	③	④	⑤
Measured [dBA]	73.6	78.2	79.2	70.1	65.0
Simulated [dBA]	74.8	76.0	79.1	70.7	65.9

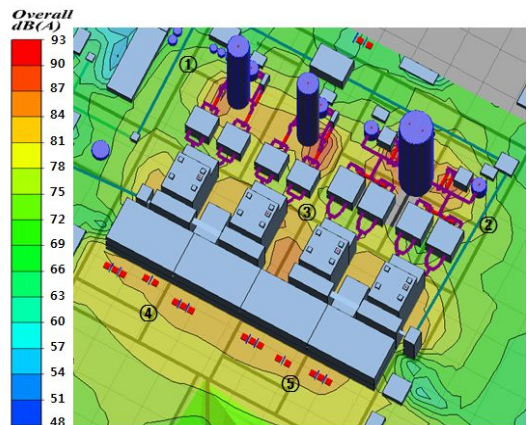


Fig.5 Noise map at the surroundings of plant units 1~4

4.2 방음벽 설계

Fig.6에 나타난 인근 주거지역에서의 소음저감을 위한 방음벽을 설계하여 방음대책을 수립하고자 한다. 방음벽은 소음환경기준인 45 dBA 이하를 충족하는 설계기준으로 선정하였다.

Fig.7과 같이 주거지역 앞쪽 도로에 350 m의 방음벽을 설치하고, 방음벽의 높이를 10 m에서 3 m까지 1 m씩 낮추면서 해석을 수행하여 소음레벨을 평가하였다.

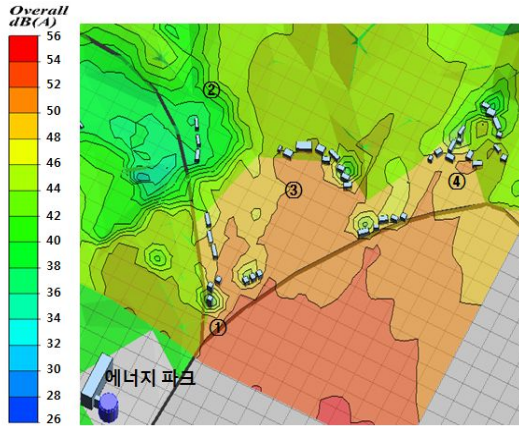


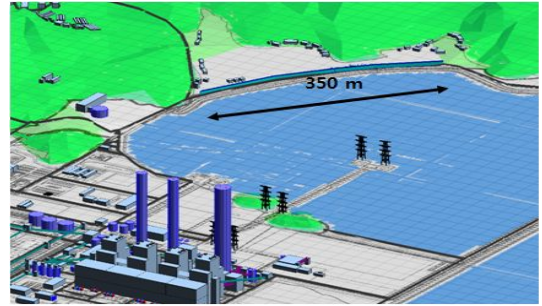
Fig.6 Noise map at the surroundings of residential district

Table 4의 해석결과를 보면 Case 7, 8을 제외하고 모든 Case의 각 지점에서 설계기준 45 dBA를 충족하였다. 특히, 방음벽에서 가까운 지점일수록 소음저감 효과가 크게 나타났다.

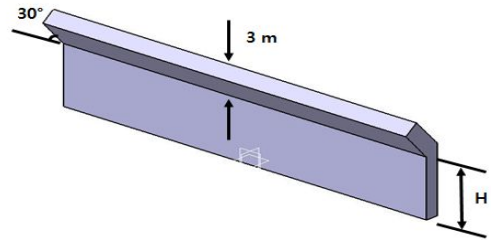
일반적으로 방음벽은 길이와 높이가 증가할수록 소음저감 효과가 크다. 소음환경기준을 충족시키는 방음대책을 수립하기 위해서 방음벽의 길이와 높이를 증가시키는 것이 효과적이지만 방음벽 설치비용과 안전상의 문제를 고려해야 한다. 방음벽은 자체 무게와 횡 방향 풍하중에 대해서 하중을 고려하며, 이러한 하중들은 방음벽 기초나 앵커로 지지하는 형태로 설계된다. 방음벽이 높아지면 풍하중에 대한 영향을 많이 받기 때문에 안전을 위하여 H형강(H-beam)을 보강하거나 기초를 두껍게 하면 설치비용이 증가하게 된다. 따라서 방음벽의 설치비용과 안전을 고려했을 때 높이가 가장 낮은 Case 6이 가

Table 4 Noise levels for different heights of barrier

Case	Height [m]	①	②	③	④
Reference	-	52.3	48.8	51.5	48.9
Case 1	10	39.7	43.9	43.2	41.2
Case 2	9	39.8	44.2	43.3	41.6
Case 3	8	39.9	44.2	43.4	42.2
Case 4	7	40.1	44.3	43.4	42.5
Case 5	6	40.3	44.4	43.5	42.8
Case 6	5	40.8	44.4	43.7	43.0
Case 7	4	41.3	45.2	43.8	43.2
Case 8	3	42.0	46.0	43.8	43.3



(a) barrier position



(b) shape

Fig.7 Model of soundproof barrier

장 적절하다고 판단되며, Case 6 방음벽의 5 m를 기준으로 방음벽 길이에 대한 설계가 필요하다.

다음은 방음벽의 길이를 350 m에서 230 m까지 30 m씩 줄이면서 해석을 수행하여 소음레벨을 평가하였다. Table 5에서 각 Case별 해석결과를 보면, Case 1을 제외하고는 모든 Case의 각 지점에서 설계기준 45 dBA를 충족시키지 못하였다. 따라서 Case 1 방음벽이 가장 적절하다고 판단된다

Table 5 Noise levels for different lengths of barrier

Case	Length [m]	①	②	③	④
Reference	-	52.3	48.8	51.5	48.9
Case 1	350	40.7	44.4	43.6	43.0
Case 2	320	40.7	44.4	43.6	48.4
Case 3	290	40.7	44.4	43.6	48.8
Case 4	260	40.7	44.4	43.6	48.9
Case 5	230	40.7	44.4	43.6	48.9

5. 결론

발전소 소음지도 해석을 이용하여 발전소 부지 및 주변지역 소음분포 평가와 소음저감 설계에 활용할 수 있는 모델링을 제안하고, 인근 주거지역에서의 과도한 소음에 대한 방음대책을 수립하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 발전소 주요 소음원의 소음레벨을 측정하고, 측정된 데이터를 바탕으로 1/1 옥타브 밴드별로 음향 파워레벨을 산정하였다.
- 2) 소음 측정과 해석결과를 비교하여 ± 2 dB의 오차범위의 해석모델을 실험적으로 검증하였다.
- 3) 인근 주거지역에서의 소음저감을 위한 방음벽을 설계하여 소음환경기준 45 dBA를 충족시키는 방음대책을 수립하였다.

참 고 문 헌

- (1) Cho, D. S. and Yoo, B. H., 1997, Environmental Noise Prediction of Power Plants, Proceeding of Spring Conference of Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 452~459.
- (2) Kim, Y. W., Kim, H. S., Bae, Y. C., Lee, H. and Kim, S. H., 2000, The Effectiveness of Noise Reduction Devices for Transformer Noise Control of Power Plants, Proceeding of Spring Conference of Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 1823~1828.
- (3) Kim, J. H., Cho, D. S. and Kim, S. S., 1999, Development of the Environmental Noise Prediction Program ENPro based on ISO 9613, Proceeding of Autumn Conference of Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 624~629.
- (4) Cho, D. S., Kim, J. H., Choi, T. M., Oh, J. H. and Kim, S. H., 2002, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 12, No. 3, pp. 236~242.
- (5) Noise and Vibration Control Act, 2008, Ministry of Environment, 29. 2. 3
- (6) Kim, Y. W., Bae, C. H., Kim, K. Y. and

Eum, H. M., 2008, Noise influence and Measures of Noise Source of Thermal Power Sites on Neighborhood Residence Area located in Wide Flatland, Proceeding of Spring Conference of Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 630~636.

(7) Chung, J. Y., Im, J. B., Lee, S. C. and Kim, K. W., 2011, Absorption Performance of Noise Barriers, Proceeding of Spring Conference of Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 556~557.

(8) Yoon, J. W., Lee, H. K., Ryu, K. H., Kang, H. M., Jang, T. S. and Park, Y. H., 2005, A Study on the Highway Traffic Noise Characteristics for the Designed of Noise Barrier, Proceeding of Spring Conference of Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 758~761.