

발전소 증설이 부지경계의 기존 지역에 미치는 소음영향과 저감 대책

Noise influence Coming to Existing Neighborhood Area by Extension of Power Site and Noise Reduction Service

김연환[†] · 구재량* · 배춘희* · 김계연* · 양동철**

Yeon-Whan Kim, Jae-Rayng Goo, Chun-Hee Bae, Kye-Yean Kim, and Dong-Cheol Yang

Key Words : 화력발전소(Thermal Power Plant), 인근주거지역(Neighborhood Residence Area), 증설(Extension), 증기방출(Steam Exhaust), 소음영향(Noise Influence), 저감방안(Reduction Service)

ABSTRACT

4000MW급 유연탄발전소는 기존 500MW급 4기의 발전설비 운영조건에서 지역공동체는 긍정적이었으나, 500MW급의 증설 호기가 늘어나면서 지역 공동체는 발전소 증설과 관련하여 기존 동쪽 부지 경계지역의 소음환경에 대하여 부정적인 문제를 제기하였다. 2000MW급 증설이 진행되어온 4000MW급 발전소의 다양한 소음원에 의한 소음과 증기방출 과도소음에 대하여 고저가 다양한 주변지역에 미치는 영향을 평가하고자 3차원 모델링기법을 적용한다. 기존호기를 비롯한 전체의 발전소 전면부 소음원을 비교 시험결과 증기방출 소음 파워가 기존 설계의 변경 제작되어 기존호기에 비해 20~30dBA 높아져 동시 방출시 주변지역에 과도하게 영향을 미치는 상태였으며 500MW급 4기를 추가 증설에 따라 일상소음원에 의한 소음 영향도 증설전 대비 2~3dBA 증가된 것으로 평가되었다. 따라서, 증설호기의 과도 소음원 제거 방안으로 대기 방출증기가 회수되도록 증설호기의 증기방출설비를 개선하였고, 증설에 의하여 증가된 소음 영향을 저감하고자 기존 경계지역에 미치는 소음원을 고려하여 방음벽을 설치한 결과 47 ~ 49dBA를 나타내고 인근 주거건물의 전면부 소음은 43dBA이었다.

1. 서론

발전소 인근에 주거지역이 위치하고 있는 경우 발전소의 신설 또는 증설에 의한 소음민원이 증가하는 추세이다. 2000년 이후 발전소관련 소음민원은 시운전 과정 및 정상운전 중 증기방출에 의한 과도소음, 배가스 통로의 공명에 따른 이상 소음민원, 대형 팬에 의한 소음민원 및 하절기 터빈건물의 배출 팬 소음민원 등이 주류를 이루고 있다. 특히 증기 방출소음은 발전소 주변 주거지역으로 과도한 소음을 전파하는 특징이 있다. 발전소 기동 및 정지시 시스템의 작동오류 등에 의하여 대기로 방출됨으로써 갑작스럽게 주변지역에 과도한 소음을 나타낼 수 있다. 또한, 동일한 용량의 발전소라도 설계에 따라서 소음 파워가 다양하게 나타나는 등 설계시 잠재되었으나 예상치 못한 문제들로 신설발전소의 초기 운영시 소음 민원이 발생할 가능성이 많다. 특히, 발전소의 다양한 소음원 배치 및 발전소의 증설에 따라 일상소음원이 증가함으로써 발전소의 소음 파워는 커진다. 비록 발전소 주변지역에 미치는 소음레벨이 법적인 환경소음 기준은 초과하거나 만족할 지라도 소음레벨의 증가로 실 주거하

는 발전소 주변 지역 공동체로부터 심리적이고 주관적인 환경 소음 민원이 증가하는 추세이다.

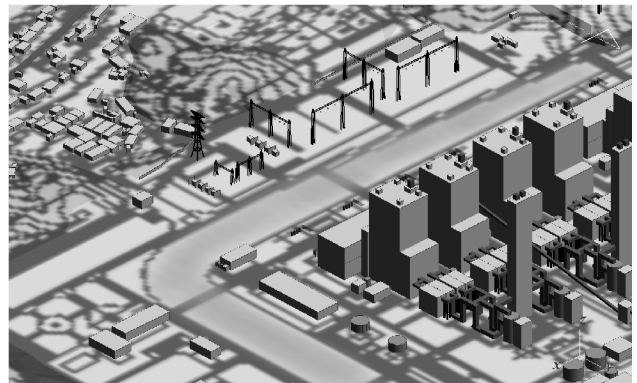


Fig 1. View of front area of 4000MW class power site

Fig.1은 4000MW급 발전소에서 남쪽지역을 바라본 모습이다. Fig.1에서 수로의 남쪽 완편이 동쪽부지, 수로의 남쪽 오른편이 서쪽부지로, 구분하며 양부지의 부지경계 남쪽 지역은 중앙에 구릉이 위치하고 서쪽은 낮은 논이 위치한다.

본 논문은 초기에 500MW급 4기의 2000MW급 발전소이었으나 2000년 이후 증설된 500MW급 4기의 일부 설비의 설계 변경으로 시운전 기간 뿐 아니라 일상운전의 특정 운전모드에서 과도 소음이 주기적으로 나타나는 소음민원과

[†] 한전 전력연구원 엔지니어링센터
Tel : 042-855-7356
E-mail : ywkim@kpri.re.kr

* 한전 전력연구원 엔지니어링센터

** 한국동서발전(주)

발전소 증설에 따른 소음과위 증가로 주거지역에 가까운 기존 부지 경계의 일부지역에서 미치는 영향을 저감하는 방안 에 대한 사례에 관하여 기술한다. 4000MW 유연탄화력발전 소의 소음원을 평가하며 주변지역의 주요 소음 현황 및 주 변 지역의 배치환경을 검토하고 ISO 9613-2에 근거한 발전 소 3차원 소음 모델링 및 해석을 수행하였다.

2. 발전소 주변지역에서의 소음특성 조사

2.1 발전소 부지경계 및 주변지역의 소음기준

발전소 부지경계 및 주변지역은 기존호기 건설전에는 준 농림지역으로 환경규제기준이 75dBA이었으나 발전소 건설 후 주변지역은 법적으로 관리지역이므로 심야 기준 소음 규 제치는 주간 65dBA, Leq이고 심야는 55dBA, Leq로 관리되 고 있다. 또한, 발전소는 법적으로는 전기발생사업장으로써 공장으로 보지 않고 있어 부지 경계지역에 대한 법적인 기 준이 없이 관리지역과 동일한 기준을 적용한다. 대상 주변지 역도 도로변의 영향을 받고 있으며 식당 등 상가건물들과 혼재되어 있어 순수한 주거지역으로 보기 어려운 측면은 있 으나 도로변에서 멀고 구릉에 가까운 지역에 위치한 건물들 에 대하여 실 주거지로 고려하여 건물 높이 이내에서 발전 소 부지경계의 소음기준을 공장 배출규제기준 50dBA, Leq 를 부지경계 기준치로 고려하여 평가하고 대책을 시행한다.

2.2 동쪽부지 경계 지역에 전파되는 소음특성

Fig.2는 Fig.1의 동쪽부지의 남쪽 부지경계에서 과도소음 특성이 없는 발전소 일상운전 조건에 관한 소음을 시험하고 분석한 것이다.

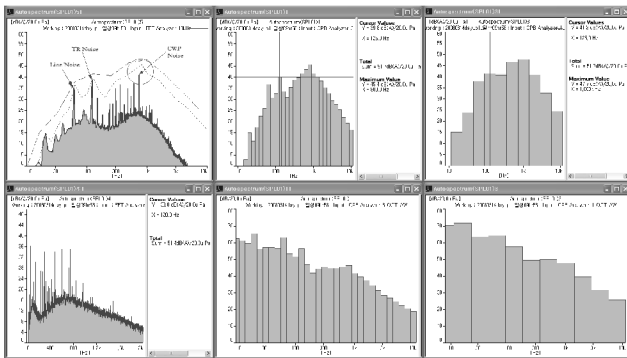


Fig 2. Noise spectrum before noise reduction service in existing eastern boundary area in normal condition

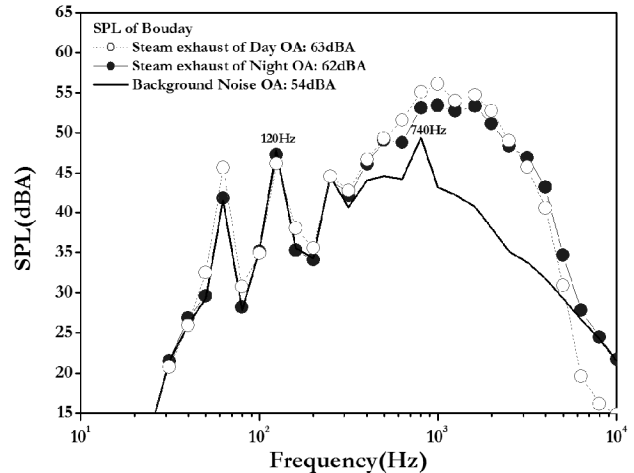
2.2.1 일상 소음원의 영향

2000년 이후 2000MW의 증설된 8개호기의 일상운전조건 에서 담이 있는 부지경계 근처에 대한 소음레벨은 52~ 53dBA, Leq이고 담벼락이 없는 부지경계 근처는 57~58dBA 로서 대상지점은 공장배출허용 기준으로 정할 경우 2~

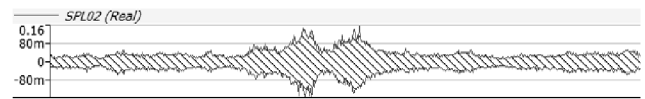
8dBA의 소음 저감이 필요하다. 증설호기 전면부에 위치하 고 있는 부지경계의 소음은 일상시 54dBA이었다. 증설된 2000MW급 발전소에 의한 소음원의 파워증대로 기존부지의 남쪽 경계 지역에서 민감하게 영향을 받을 수 있다. Fig.2의 시험결과 대상 부지경계에 영향을 발전소 및 발전소의 주 소 음원은 154kV 변압기, 765kV 변압기, 발전소 주변압기로부터 의 120Hz의 고조파 소음원, 765kV 첩탑 및 터빈-발전기 로부터 전파되는 전원소음원 그리고 발전소의 해수순환수펌 프(CWP) 소음원 등 발전소 정면지역에 위치하는 기기들이 다.

2.2.2 증설호기 과도소음원의 전파 영향

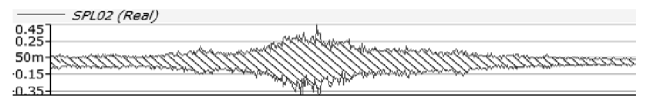
Fig 3는 증설호기에서 증기방출 전후 및 주간 및 심야 시간대에서 서쪽 부지경계에서 나타난 소음을 보여준다. 무연탄 발전소 보일러는 주기적으로 내부 청소를 위하여 증 기를 사용하고 남은 증기를 대기 방출 운전 모드에서 고 소 음이 발생한다.



(a) 1/3 octave spectra effected by steam exhaust noise



(b) Sound wave coming to the eastern area (unit: pa)



(c) Sound wave in the western area (unit: pa)

Fig 3. Noise effected from steam exhaust source at boundary area of power plant

Fig 3(a)은 증설된 발전소 보일러에서 증기 방출이 있는 경우 서쪽부지의 변전소 지점에서 54dBA, Leq(도로변 차량 소음 포함)의 주간 소음도는 62~63dBA, Leq로 8dBA이상 증가하였고 동쪽부지의 소음레벨도 52dBA, Leq에서 55dBA, Leq로 증가하였다. Fig.3(b)는 동쪽부지 경계로 전파된 최대

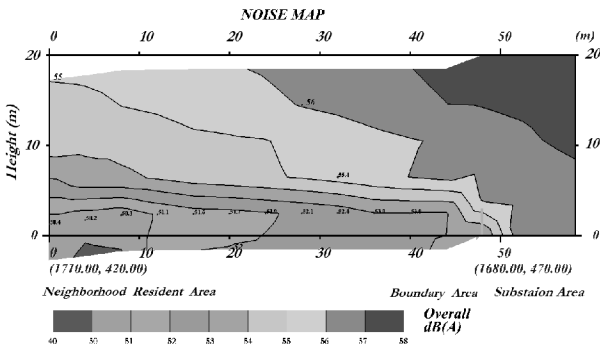
증기방출 소음 피크가 78dBA(=0.16pa, o-p)임을 보여준다. Fig.3(c)는 증설호기의 증기방출 조건에서 서쪽부지의 변전소지역으로 전파된 최대 소음피크는 87.0 dBA(=0.45pa, o-p)로 지향성 및 거리차로 동쪽부지보다 발전소로부터의 증기방출시 전파된 피크치가 9dBA 높았다. 증기방출은 일부시간대에 집중되며 동시방출시 영향이 크게 나타난다.

3. 부지경계에 미치는 발전소 기여도 분석

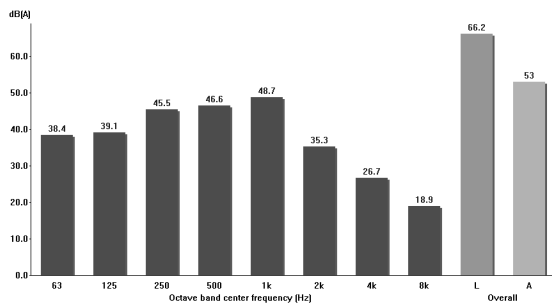
3.1 발전소 및 변전소의 일상 소음원의 영향

3.1.1 동쪽부지의 남쪽경계에 관한 소음전파영향

Fig. 4는 소음 민원이 제기된 기존호기가 위치하는 동쪽부지의 남쪽경계지역에 관하여 0 ~ 20m 높이의 소음전파 분포도이다. 발전소 부지경계에는 벽이 설치되어 있다.



(a) Propagating overall noise distribution

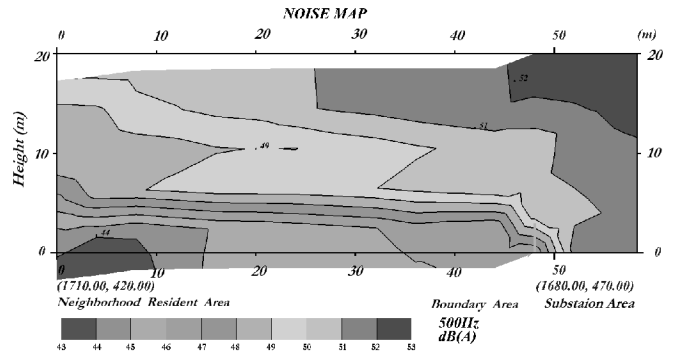


(b) 1/3 octave spectrum near the eastern boundary

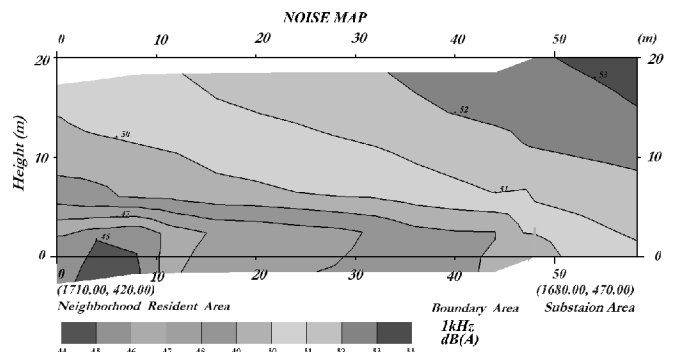
Fig 4. Overall noise propagated to the eastern boundary area from sound sources of normal condition in 4000MW power plant

Fig. 4에서 오른쪽은 변전소 및 발전소가 위치하며 왼쪽은 남쪽의 주거지역이 위치한다. Fig.4(a)는 부지경계에서 약 50m 이내 지역의 2m 높이 이내에서 발전소가 일상적으로 운전되는 조건에서 총합 소음레벨은 부지경계이후 50m의 지역이 51~ 54dBA로 해석되며 Fig.4(b)와 같은 1/3 옥타브 스펙트럼을 나타내 가장 크게 기여하는 중심주파수는 1kHz와 500Hz로 분석된다. Fig.5(a)는 Fig.4(a) 중 500Hz

옥타브 중심주파수에 대한 0~20m높이에 관한 소음 분포도이다. 500Hz 옥타브 중심주파수는 주로 변압기의 360Hz 소음성분이 기여한다. 500Hz 옥타브중심주파수의 소음은 20m 이상 높이에서 회절하여 부지경계에 영향을 주는 경향이 나타난다. 부지경계에서 40m 이내 지역은 500Hz성분의 크기가 44~47dBA로 해석된다. Fig.5(b)는 Fig.4(a)중 기여도가 높은 1kHz 옥타브중심주파수에 대한 0~20m높이범위에 대한 소음분포도이다. 1kHz 소음원은 Fig.2의 결과에서 발전소의 해수순환수펌프의 740Hz에 의한 소음이다. 1kHz 옥타브중심주파수의 소음은 20m 이상 높이에서 회절하여 부지경계에 영향을 주는 것으로 분석된다. 부지경계에서 30m 이내의 지역은 1kHz성분의 크기가 47~49 dBA로 해석되고 30m 이후 남쪽지역은 44~47dBA로 해석된다. 따라서 동쪽 부지경계 주변지역의 경우 일상적인 조건에서의 소음은 총합소음레벨이 53dBA에 있고 그 주소음원은 Fig.2의 결과에서 변압기의 350Hz 소음과 발전소 정면에 위치하는 해수순환수펌프의 740Hz 소음의 영향으로 분석된다.



(b) 500Hz octave center frequency noise distribution



(c) 1kHz octave center frequency noise distribution

Fig 5. Noise propagated from sound sources of 4000MW power plant at the eastern boundary area for normal condition

3.1.2 서쪽부지의 남쪽지역에 관한 소음전파영향

Fig.6은 증설호기가 북쪽에 위치하는 서쪽부지 경계지역에서 0 ~ 150 m 높이의 소음전파 분포도를 보여준다. Fig. 5는 발전소 터빈건물의 정면부에서 부지경계를 거쳐 서쪽

인근지역까지 높이 및 거리에 따른 소음 전파도이다.

Fig.6(a)는 발전소 해수순환수펌프의 50m 상부에서 최대 총합소음레벨이 67dBa로 해석되고 부지경계지역을 통과하면서 54dBa를 600m떨어진 지상에서는 47dBa로 해석된다. Fig.6(b)는 Fig.6(a)중 기여도가 가장 큰 1kHz 옥타브중심주파수에 대한 높이 및 거리에 대한 소음분포도이며 총합소음레벨의 분포도와 유사한 분포 경향을 보여준다. 일상운전조건에서 발전소가 남쪽지역에 기여율이 큰 소음원은 발전소 정면부에 위치한 해수순환수 펌프임을 알 수 있다.

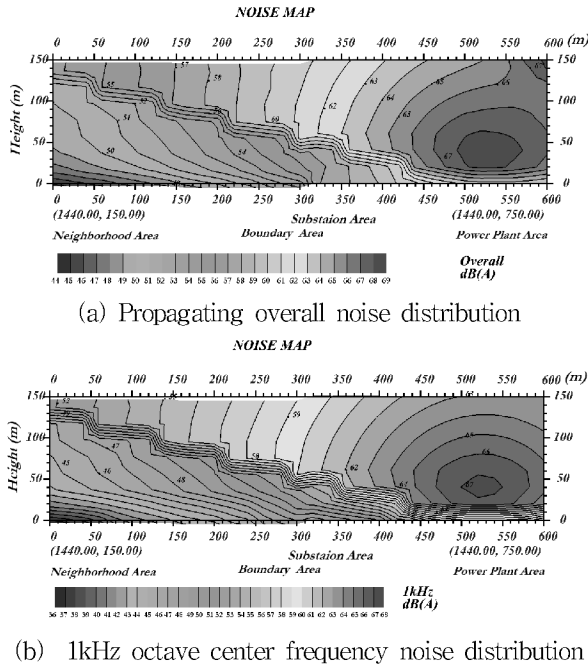


Fig 6. Noise propagated from sound sources of 4000MW power plant at the western boundary area

3.2 발전소의 과도 소음원의 영향

3.2.1 동쪽부지 남쪽경계의 소음전파특성

Fig. 7은 북쪽에 기존의 500MW급 4기가 북쪽에 위치한 배치도에 대하여 남쪽 지역으로 증설호기 보일러에서 증기를 방출되는 운전모드에 관하여 소음전파 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 부지경계의 20m거리이내의 2m 높이에서 총합소음레벨은 55~58dBa이고 주거지역 2층 건물에서는 56~59dBa로 나타난다. 동쪽지역 부지경계는 3~4dBa, 주거건물 2층 높이는 2~5 dBa 높게 나타난다,

3.2.2 서쪽부지 남쪽경계의 소음전파특성

Fig.8은 서쪽부지는 증설된 500MW급 4기가 위치한 지역으로서 증설호기 보일러에서 증기를 방출하는 조건에 대한 서쪽지역의 남쪽지역에 대한 소음전파 시뮬레이션 결과

이다. 발전소에서 71dBa를, 부지경계에서 63dBa를 나타내고 남쪽 도로변지역의 경우는 56dBa으로 일상 조건보다 8 dBa 높은 소음으로 해석된다.

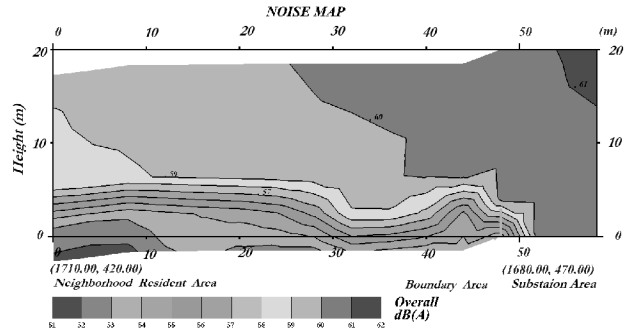


Fig 7. Noise distribution propagated from steam exhaust source at the eastern boundary area

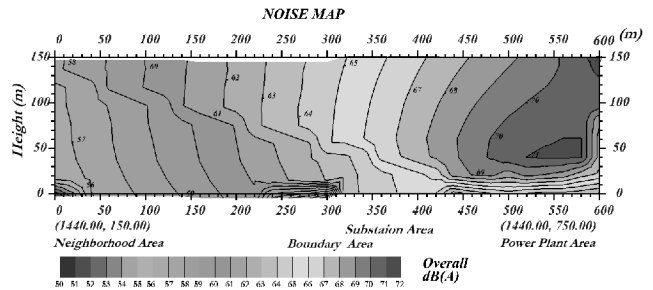


Fig 8. Noise distribution propagated from steam exhaust source at the eastern boundary area

4. 발전소 증설 민원에 대한 대책과 효과

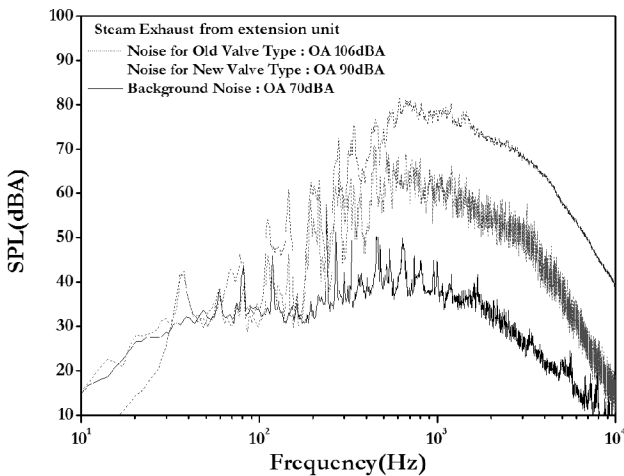
4.1 증설호기 과도소음원의 방출증기 회수

Fig.9는 기존호기에 비하여 과도한 소음을 발생시킨 증설호기 보일러의 증기방출 배관의 모습과 소음원 근처에서 시험한 소음 스펙트럼이다. 보일러의 증기방출 소음은 발전소의 일상 운전 중 유연탄보일러에서 내부의 튜브를 주기적으로 청소하기 위해 사용하는 증기(35kg/cm²)의 감압된 일부 스팀이 방출관을 통하여 대기로 방출하면서 발생하는 과도 소음원이다. 과도소음원인 증기방출 소음은 대기에 충격을 가하는 특성 때문에 비교적 멀리 떨어진 민원지역까지 전파된다. 현장방출시험결과 증기방출 소음파워가 실제로 기존호기 대비 2기가 최대 25~30dBa, 그리고 나머지 2기는 20dBa 높아져 동시에 방출시 주변지역에 심각한 소음영향을 주는 상태이었다. 발전소의 동쪽부지의 민원지역 소음저감 대책인 방음벽보다 그 소음원이 높은 곳에 위치하고 있어 원천적인 대책이 될 수 없다. 증기 방출관의 효과적인 소음저감 대책으로는 흡음형 소음기가 적합하나, 본 연구에서는 먼저 기존호기와 차이를 나타내는 방출관 배출 밸브의 타입을 교체하고 최종적으로 대기 방출증기를 시스템에서 회수하도록 배관시스템을 보완하였다.

Fig.9(b)는 증설호기의 증기방출 밸브는 소음에 취약한 볼밸브가 설치되어 기존호기와 같이 글로브 밸브로 변경함으로써 대기 중 증기를 방출시 106dBA였던 것을 90dBA로 26dBA를 저감할 수 있었으나 기존호기는 동일 조건에서도 75dBA를 만족하고 있어 최종적으로 회수처리 되도록 시스템을 보완한 결과 소음은 70dBA로 암소음 수준을 달성하였다.



(a) View of boiler steam exhaust pipe operated



(b) View of boiler steam exhaust pipe operated

Fig 9. Noise source generated by steam exhausting at boiler

4.2 2000MW 증설의 소음부가 영향 저감대책

4.2.1 증설에 따른 기존부지 소음도 영향 검토

Fig.10은 기존 2000MW만을 고려한 동쪽부지의 경계지역으로부터 기존 부지경계지역에 대한 증기방출이 없는 일반 소음원에 관한 해석결과이다. 발전소 벽 근처를 제외한 대부분 지역에서 <52dBA를 나타내는 것으로 평가된다. 2000년 이후 500MW급 4기의 증설로 발전소 전면부의 소음 파위의 증가가 예상되었다. 2000MW 증설을 고려한 해석결

과인 Fig.4(a)와 비교하면 동일지역에서 소음도가 1 ~ 2dBA 증가 된 상태인 것으로 평가된다.

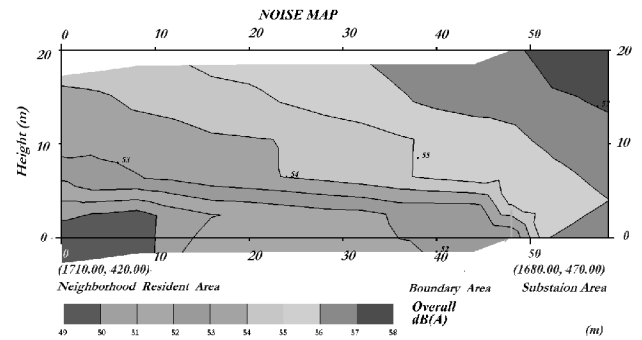


Fig.10 Noise propagated from sound sources of the existing 2000MW power plant at the eastern boundary area for normal condition

4.2.2 증설에 따른 부가된 영향 저감대책

증설에 따라 기존 부지경계 지역의 소음도가 50dBA를 초과하는 지점이 발생하였으나 주거지역 오른쪽에 높은 구릉이 위치하고 증설호기의 증기방출 회수대책으로 발전소가 주는 과도한 소음레벨은 발생하지 않았다. 도리어 여전히 성공을 주기적으로 지나는 항공기의 소음에 의하여 55dBA를 초과하는 경우가 심야에도 주거지역에서 나타났다.

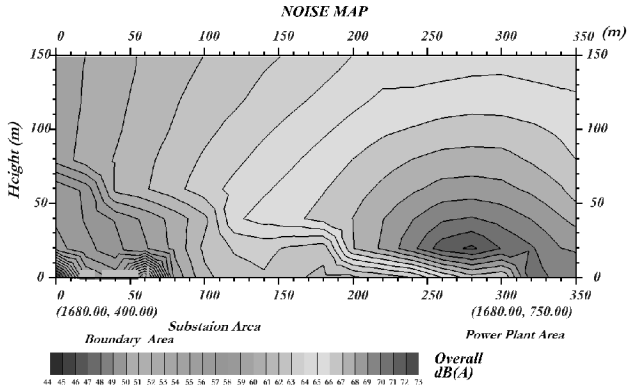


Fig.11 View of the eastern boundary area with the barrier

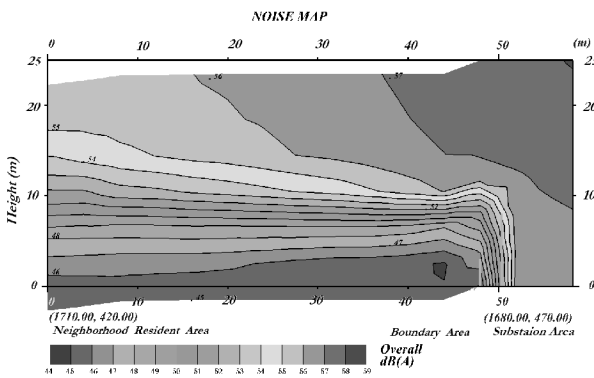
Fig.11에서 동쪽부지의 남쪽경계의 소음도를 50dBA 이 내로 유지하기 위하여 방음벽을 설계한 모습이다. 증설호기에 의한 증가 소음영향, 기존호기의 변압기, 해수순환수펌프 소음 및 변전소의 765kV 변압기의 소음영향이 최소화되도록 하였다. 이미 설치된 765kV 첩탑 높이 및 풍하중 등을 고려하였으며 높이는 전원소음주파수인 60Hz 소음 파장보다 길도록 설계하여 소음도가 45dBA에 근접하도록 선정하였다.

4.2.2 방음벽 대책의 효과

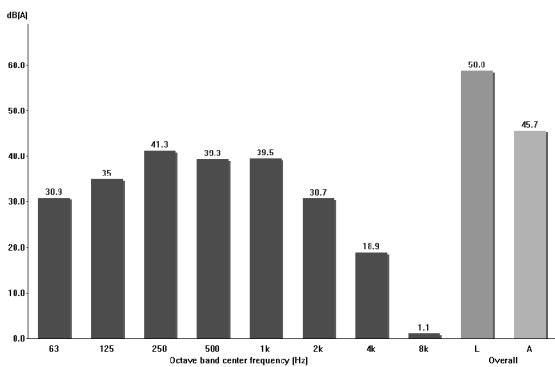
Fig.12는 Fig.11과 같이 방음벽을 기존 부지의 경계지역에 설치하고 증기방출이 없는 조건에 대하여 발전소에서 대상 부지경계까지 거리에 따라 0~150m 높이에서 분포하는 소음도를 보여준다.



(a) Noise distribution propagated area from power plant



(b) Noise distribution in near boundary area

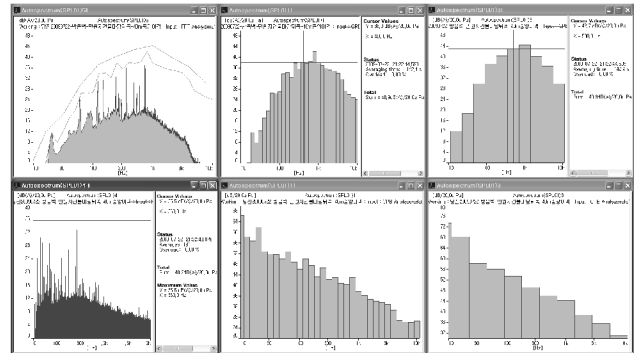


(c) Noise spectrum of near boundary area

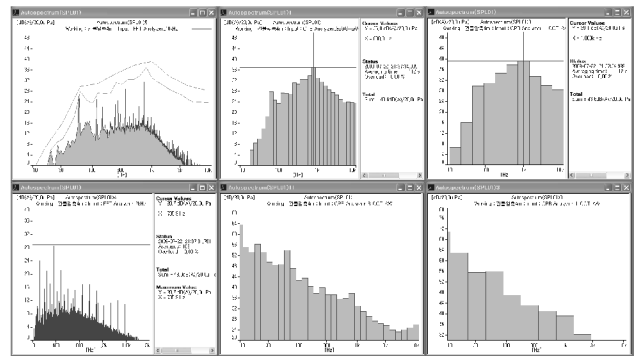
Fig.12 Noise propagated from sound sources of the 4000MW power plant at the eastern boundary area with noise reduction service for normal condition

Fig.12(b)는 방음벽 설치에 따라 부지 경계의 30m 이내 거리에서 <46dB(A)를 보이고 30~50m거리에서는 >46dB(A)를 나타내며 Fig.12(a)의 50~60m 거리에 위치한 공동 주거건물의 전면부 소음레벨은 44~45dB(A)로 예측되었고 설치 후 실제 검증 시험 결과는 Fig.13과 같이 부지경계에서 40m

이격지점까지는 기존 1개 호기의 증기방출조건에서 49dB(A), Leq를 나타내어 증기방출영향을 그 영향을 제거하면 소음도는 <46dB(A)가 되는 것으로 분석되었다. 기존 1개호기 증기방출조건에서의 공동주택 정면 60m지점에서는 43dB(A)이었다.



(a) Noise in 30~40m area near the barrier installed



(b) Noise in >60m area from the barrier installed

Fig 13. Noise spectrum after noise reduction service in existing eastern boundary area in normal condition ; Steam exhausted condition from one of the existing 2000MW power plant

6. 결론

2000MW급 증설이 진행되어온 4000MW급 발전소의 다양한 소음원에 의한 소음과 위 증대와 증기방출 과도소음 등이 고저가 다양한 주변지역에 미치는 영향을 3차원 모델링 기법으로 평가하고 환경개선을 위하여 발전소 주변지역에 관한 소음저감 서비스의 내용은 다음과 같다.

- (1) 발전소 동쪽부지의 기존 500MW급 4기의 발전설비만의 운영되는 동안 지역공동체는 긍정적이었으나,
- (2) 500MW급의 증설 호기가 늘어나면서 지역 공동체는 발전소 증설과 관련하여 기존 동쪽 부지 경계지역의 소음 환경에 대하여 부정적인 문제를 제기하였다.
- (3) 따라서, 8개호기의 다수의 소음원으로부터 인근지역에 미치는 소음영향을 평가하기 위하여 주변지형과 고저를

- 고려하여 3차원 소음해석을 수행하였다.
- 8개 호기의 주요 설비에 관한 소음파워를 현장실험에 의하여 평가하여 소음DB를 구축하고 소음원 모델링에 고려하여 ISO 9613-2 기법에 의하여 소음해석을 수행하였다.
 - 일상소음원에 의한 소음영향은 부지경계 지역에서 기존의 2000MW발전소만 운전한 경우 50dBA 이내 수준이었으나 500MW급 4기를 추가 증설 후의 소음레벨은 2~3dBA 증가된 것으로 평가된다.
- (4) 기존호기를 비롯한 전체의 발전소 전면부 소음원을 비교 시험결과 증기방출 소음 파워가 기존 설계의 변경 제작되어 기존호기에 비해 20~30dBA 높아져 동시방출 시 주변지역에 과도하게 영향을 미치는 상태로 규명하였다.
- (5) 1차적으로 증설호기의 증기 방출의 과도소음을 제거하기 위하여 방출증기가 회수되도록 증설호기의 해당설비를 개선하여 과도소음의 문제를 해결하였으며,
- (6) 증설에 의하여 증가된 소음 영향을 저감하고자 기존 경계지역에 미치는 소음원을 고려하여 방음벽을 설치하여 47 ~ 49dBA(기존 1개 호기의 증기방출 조건)를 달성하고 이때 인근 주거건물의 전면부의 소음레벨은 43dBA를 나타내었다.

참 고 문 헌

- (1) Yeon-Whan Kim, Jae-Rayng Goo, 2001, "Evaluation and countermeasure for Environmental Noise during Plant Commissioning Process in Thermal Power Plant", Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, KSNVE, pp897~902.
- (2) Yeon-Whan Kim, Jun-.Shin. Lee, 1998, "The Investigation of Environmental Noise for Power Plants located in Downtown Area", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp722~ 727.
- (3) Yeon-Whan Kim, Jae-Rayng Goo, 2002, "Flow-Induced Noise and Vibration Due to Von Karman Streets in Tube-Bank Ducts of Gas Air Heat Exchangers", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp339~345.
- (4) W.H. Kim, W.H. Joo, J.G. Bae, 2004, "Noise and Vibration Reductions in Exhaust Duct System of Complex Power Plants", Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, KSNVE, pp641~646.
- (5) Dong Il Lee, and Ja Yoon Koo, 1996, "Electrical and Mechanical Noise Study of the 765kV Transmission Line", Journal of KSNVE, Vol. 6, No. 1, pp.89~95.
- (6) Dae-Seung Cho, and Byoung-Ho Yoo, 1997,

"Environment Noise Prediction of Power Plants", Journal of KSNVE, Vol. 7, No. 4, pp.621~629.

(7) Gi-Ho Jo, 1997, "Noise Assessment in EIA: The DangJin Steam Power Plant", Journal of KSNVE, Vol. 7, No. 2, pp.281~291.

(8) Jae-Seok Kim, Louis F.Cohn, and Kap-Soo Kim, 1998, "Study on the Effects of Absorptive Treatment for the Highway Noise Barriers", Journal of KSNVE, Vol. 8, No. 1, pp.146~156.