

도심지 복합화력 배가스 통로에서의 이상 소음 현상과 영향

Abnormal Resonance Noise Phenomenon and Effect through Exhaust Gas Passageway in Urban Combined Power Plant

김연환 · 이영신*** · 배용채** · 이현**

Yeon-Whan Kim, Young-Shin Lee, Yong-Chae Bae, Hyun Lee

Key Words : Exhaust Passageway, Dynamic Pressure, Beamforming Method, Standing Wave, Resonance Noise,

ABSTRACT

Power transformers, air-intakes and stacks in the urban combined power plant are main noisy sources. Because of Inhabitant complaint by abnormal noise transferred from the power plant. the noise was investigated at power plant and uptown area. The result of diagnosis made the acoustic resonance phenomenon by 580Hz's combustion dynamic pressure with the standing wave mode of sound fields in exhaust passageway of gas turbine into main noise source of public complain. The abnormal noise is caused by the resonance exhaust noise transferred through stacks of power plant

1. 서론

도심지 발전소에는 각종 펌프류, 압축기 공기흡입기, 안전 변, 변압기, 연돌 등 다수의 소음 유발기들로 구성되어 있다. 특히, 도심지에 위치한 발전소 부지 경계선 가까이 다양한 주거환경으로부터 민원사례가 종종 발생하고 있다. 준공 이후 발전소 주변의 고지대 주택가 또는 아파트 상층부에서 연속 이상 소음 감지에 따른 민원이 제기되어 소음현황을 조사한 결과 580Hz의 조화파 성분의 소음레벨이 10dBA 이상 간헐적으로 증폭되는 이상현상이 나타났다. 주변 소음원 및 발전소의 각종 소음원을 조사한 결과 발전소의 특정 운전부하에서 가스터빈 배출 가스 덕트에서 580Hz의 조화파가 증폭되는 것으로 조사되었다. 국내 발전소 배가스 통로의 이상소음 현상은 주로 보일러에서 배출되는 고온의 연소가스가 튜브군에 수직 방향으로 흘러갈 때 발생하는 주기적인 와류와 배가스 통로의 음장 주파수의 공명현상이 주 원인이었다.

본 논문은 도심의 복합화력 주변에서 간헐적으로 나타나는 이상 소음현상을 규명하고자 소음원을 조사하고 발생 메커니즘 및 발생위치 진단 사례를 기술한다.

2. 소음원 측정

2.1 발전소 주변의 환경소음 특성 조사

민원지역은 발전소에 비하여 높은 지역에 위치하여 저지대에 위치한 발전소, 각종 공장, 도로변에 대하여 지향성이 큰 지역이다. 발전소 연돌에 지향성을 갖는 2개 지점에 대하여 마이크로폰을 사용하여 소음을 측정하였다.

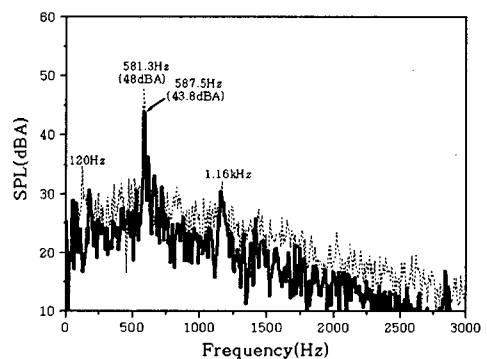


그림 1. 발전소 주변지역에서의 이상 소음 스펙트럼

이상적인 소음레벨은 주변소음이 조용할 때 580Hz성분은 38dBA로서 낮았으나 증폭되는 조건에서 581Hz성분은 48dBA(그림 1참조)로서 최소 10dBA이상 커지는 현상을 나타내었다. 증폭시 580Hz뿐 아니라 1.16kHz 등과 함께 조화파 형태로 나타났다.

* 한전 전력연구원
E-mail : ywkim@kepri.re.kr
Tel : (042) 855-5426, Fax : (042) 855-5444

*** 충남대학교

** 한전 전력연구원

2.2 발전소 소음원 특성 조사

(1) 주 소음원 조사

그림 1의 주거지에서 나타나는 이상증폭 소음 주파수를 근거로 발전소 내 주 변압기, 압축기 공기 흡입구, 해수 순환수 펌프, 등을 조사하였다. 그림 2는 발전소 가스터빈 배출가스 덕트(exhaust duct)로서 그림 3과 같이 580Hz, 1.16kHz 등의 이상 소음 성분들이 방사되었다. 그림 3은 동일부하에서 운전 모드별 소음 스펙트럼이다. 최대 소음레벨 85dBA였으며 580Hz성분은 80dBA이었다.

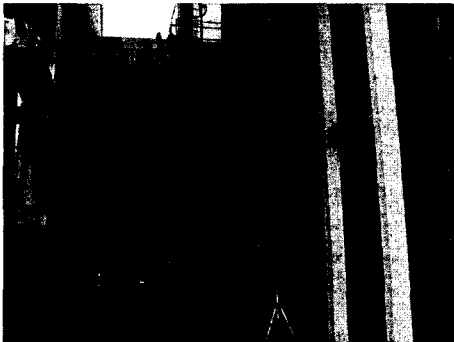


그림 2. 가스터빈 배가스 덕트에서의 소음측정

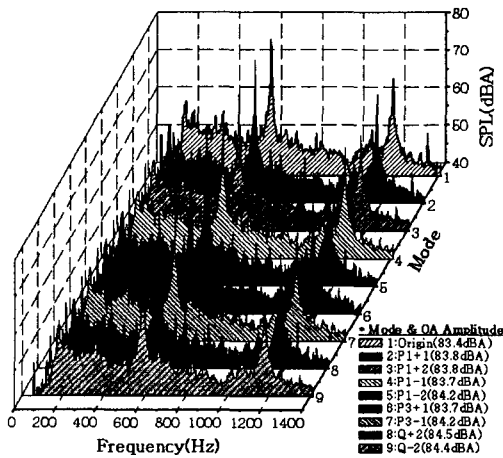


그림 3. 배가스 덕트의 이상 소음 스펙트럼

(2) 연돌을 통한 배출소음

그림 4는 연돌출구에서 측정된 소음 스펙트럼으로서 그림 3의 이상소음 특성이 연돌출구에서 배출되는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 주거지에서 간헐적으로 나타나는 증폭소음은 가스터빈 배출덕트, 배열회수 보일러, 연돌을 통하여 전달되는 현상으로 추정할 수 있었다. 이상 증폭소음이 발생시 정상 시에 비하여 연돌의 소음은 20dBA 이상 증대된 결과를 보였으며 580Hz의 조화파 특성들이 방출되었다.

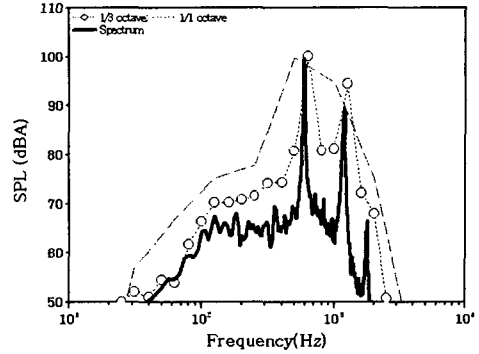


그림 4. 이상소음 발생시 연돌 출구의 소음 스펙트럼

3. 이상 증폭소음의 전달 경로 분석

3.1 가스터빈 디퓨저 소음

그림 5는 이상소음이 발생하는 운전조건에서 가스터빈 디퓨저에 대하여 측정된 방사소음의 스펙트럼이다. 디퓨저의 소음레벨은 그림 3에 비하여 580Hz 성분만 7dBA 이상 큰 소음레벨을 나타내었다. 그림 5의 결과는 공명 증폭지점을 배출 덕트 출구 쪽 보다는 디퓨저로 가정할 수 있다.

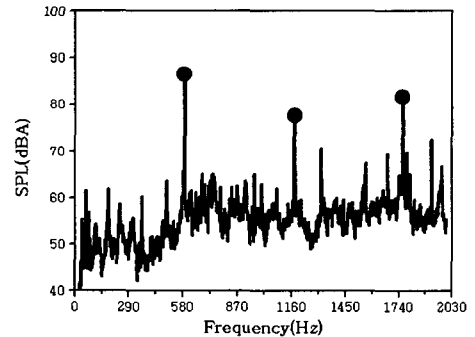


그림 5. 이상소음 발생시 디퓨저의 소음 스펙트럼

3.2 덕트 내부 배가스의 동압특성

(1) 연소기의 동압특성

가스터빈은 연소기에서 유입되는 고온 고압 배가스에 의하여 회전하는 구조로서 연소기에서 발생하는 연소진동의 맥동특성이 가스터빈을 거쳐 디퓨저 및 배출 덕트에 영향을 줄 수 있으며 디퓨저 또는 배출 덕트 음장의 580Hz 정재파를 여기하는 증폭 문제로 발전할 가능성을 검토할 수 있다. 대상 연소기는 14개의 캔으로 구성되어 있으며 캔 마다 동압측정 포트가 설치되어있다. 그림 6은 14개 연소기 캔의 동압특성을 보여준다. 14개 캔 모두에서 580Hz성분의 특성들이 나타났으며 이상증폭 현상이 없는 부하 대에서도 유사하게 580Hz성분 맥동압 특성이 분석되었다. 따라서 가스터

빈 이후 통로에서 나타나는 이상 증폭현상은 연소 맥동의 영향에 의한 것으로 볼 수 있다.

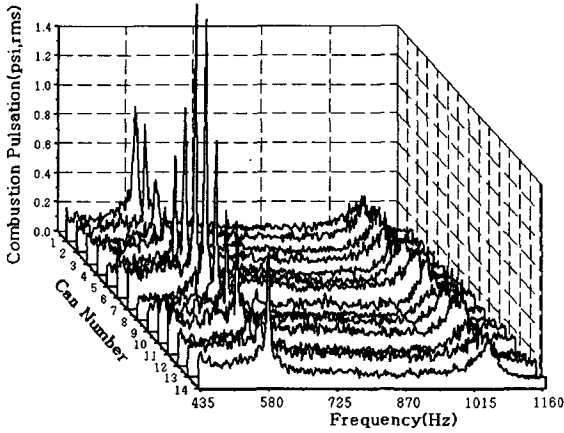


그림 6. 연소기 14개 캔의 동압 스펙트라

(2) 배가스 통로에서의 맥동파 특성 비교

그림 7은 부하별 가스터빈 배가스 덕트의 출구 측의 동압과 배수회수보일러 중간부에서 측정된 동압특성을 보여주는 스펙트럼이다. 연소기의 진폭에 비하여 낮으나 580Hz의 주파수특성이 가스터빈이후 통로에서 나타났으며 배수회수 보일러쪽 통로에서는 주로 580Hz의 성분들만이 통과되는 특성을 보였다. 실험결과는 이상 증폭현상 발생시 나타나는 580Hz성분에 대하여 배가스 통로의 음향 임피던스가 다른 주파수 성분들에 비하여 작아 통과되기 쉬운 상태 즉 음향 임피던스가 작은 것으로 추정할 수 있었다.

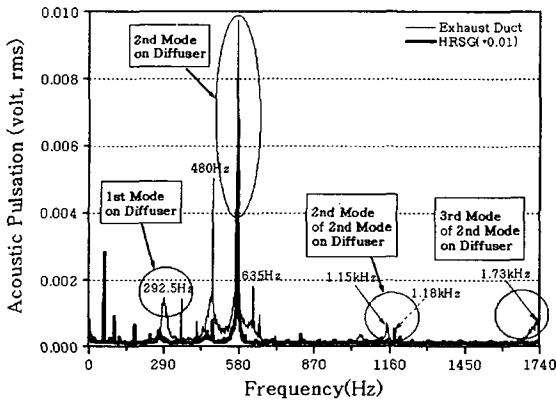


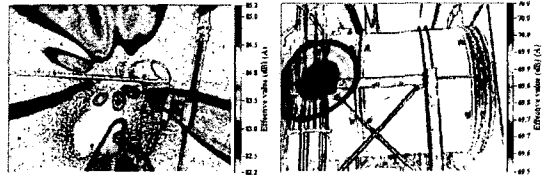
그림 7. 가스터빈 배출 덕트 출구 및 HRSG측 동압 스펙트라

3.3 빔포밍법을 통한 소음전달 경로 검증

(1) 빔포밍법의 적용

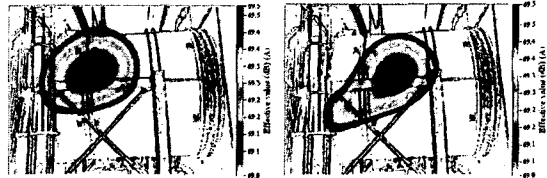
배가스 배출덕트와 같은 대형설비의 소음원 규명은 음원의 크기, 위상, 형태 등에 대한 구체적인 정보가 중요시 된

다. 소음측정 및 동압 측정시험을 통하여 분석된 증폭소음의 발생위치 및 이동경로를 검증하고자 본시험에서는 빔 포밍법을 적용하였다. 본 시스템은 이상 증폭음의 특성 및 방사 위치를 규명하기 위하여 많은 수의 마이크로폰 어레이를 사용한다. 그림 8은 이상소음이 증폭시 580Hz, 1.16kHz, 1.74kHz 등의 증폭소음이 전달되는 과정을 보여준다. 그림 8(a)은 디퓨저 쪽의 소음분포로서 변동 없이 일정한 형태를 보였으며 배출 덕트 쪽에서는 시간에 따라 그림8(b)~그림 8(d)의 형태로 전달되었으며 이상증폭 현상이 가스터빈 측에서 발생되어 연돌로 전달되는 형태로 분석된다.



(a) 디퓨저의 소음분포

(b) 배출덕트 소음분포(단계 I)



(c) 배출덕트 소음분포(단계 II)

(d) 배출덕트 소음분포(단계 III)

그림 8. 가스터빈 배가스 배출 덕트를 통한 증폭소음 이동현상

4. 증폭지점 추정

4.1 배가스 통로의 정재파 검토

가스터빈 마지막 단에서 배가스는 스트러트(strut) 및 디퓨저(diffuser)를 거쳐 배출 덕트로 전달된다. 이때 배가스의 물리량은 표 1과 같다.

표 1. 가스터빈 배기가스 통로에서 매질의 물리량

매 질	R (J/kmol K)	M (kg/kmol)	비열비	온도 (K)	음속 (m/s)
배기가스	8,314	28.3	1.31	875~890	580~585

그림 9는 가스터빈 디퓨저의 내부 구조이며 스트러트는 디퓨저에서 가스터빈 측에 배출 덕트는 배열회수 보일러 측에 위치한다. 배가스 통로의 간격은 디퓨저 내부 공간(그림 10참조)은 700~1080mm, 이고 스트러트는 580~650mm, 가스터빈 마지막 단 뒷쪽은 460~500mm이다. 각 위치에 대한 정재파를 계산한 결과 가스터빈 마지막 단 공간의 1차 모드에서 580Hz의 정재파가 계산되어지며 디퓨저는 580Hz가 2차 모드 정재파로 계산되었다. 그림 11은 양 끝단이 막힌

구조의 공간에서 발생하는 정재파의 형태를 보여준다. 따라서 배가스 통로에서 발생하는 580Hz 맥동파의 증폭위치는 1차적으로 가스터빈 출구측 통로로 분석되었으며 증폭된 580Hz의 음압이 디퓨저에서 2차 모드의 580Hz 정재파를 재 증폭함으로써 음압레벨이 커진 것으로 분석되었다.

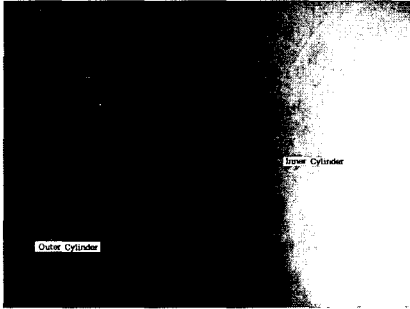


그림 9. 가스터빈 디퓨저 내부 사진

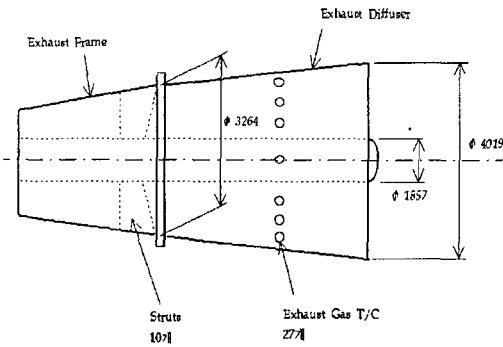


그림 10. 가스터빈 디퓨저 크기

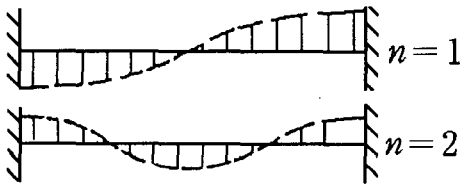


그림 11. 가스배출 통로에서 정재파의 형태

5. 결론

도심의 복합화력 주변에서 간헐적으로 나타나는 이상 소음현상의 진단 결과는 다음과 같다.

- 이상소음 현상은 가스터빈 배가스 통로에서 발생한 증폭 소음이 배가스와 함께 연돌로 배출되어 주거지에 전달된 현상으로 규명되었다.
- 배기가스 통로에 대한 동압분석 결과 연소기에서 580Hz

맥동파가 분석되어졌으며 배출 덕트로 전달된 후 배열회수 보일러에서는 다른 성분은 약화되고 580Hz 성분은 잘 투과되는 것으로 분석되었고,

- 빔법 포밍법을 적용하여 검증한 결과 580Hz 조화파 성분의 전달경로는 가스터빈 후단으로부터 배출 덕트를 통하여 배열회수 보일러 측으로 전달되는 것으로 나타났다.
- 따라서, 배가스 통로에 대한 음장의 반경방향 정재파를 계산한 결과 가스터빈 출구에서 1차 모드가 580Hz인 정재파가 연소기의 580Hz 맥동파에 의하여 여기 될 수 있으며 1차 증폭된 580Hz의 음압이 디퓨저 후단의 2차 모드가 580Hz인 정재파를 재 증폭시켜 이상 공명소음으로 발전한 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- (1) 김연환, 2002, "열공급 보일러 배가스 열교환기 덕트에서 발생하는 과도 소음 현상", 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집.
- (2) Yeon-whan, kim, "Flow-Induced Noise due to VON KARMAN Streets in Tube Banks of Gas Air Heat Exchange", inter · noise 2003, N553, 2003.
- (3) C. H. Gilkey, "Recent Experience with Vibration Problems Associated with Fossil Fuel steam Generating Equipments", ASME Journal of Combustion", February 1971, pp31-34.
- (4) K. P. Byrne, "The Use of Porous Baffles to Control Acoustic Vibrations in Cross flow Tubular heat Exchangers", ASME Journal of Heat Transfer", Vol.105, 1983, pp751-758.
- (5) Cyril M. Harris, Shock and Vibration Handbook, 3rd ed. ch29, McGraw-Hill Book Company, 1988.
- (6) Lawrence E. Kinsler, Fundamentals of Acoustics, 3rd ed. John Wiley & Sons, 1982.