

산업용 Stack의 방음대책에 대한 연구

The Study on Noise Reduction of a Industrial stack

오진우[†] · 권병하* · 이장현* · 이효행* · 이규형*

Jin Woo Oh, Byoung Ha Kwon, Jang Hyun Lee, Hyo Haeng Lee and Kyu Hyung Lee

Key Words : Noise Reduction, Stack noise, Silencer, Scaled-model

ABSTRACT

산업용 Stack은 높은 위치의 지리적 특징과 낮은 주파수의 음향특성으로 인해 발생소음도 자체를 감소시키는 것이 무엇보다 중요하다. 대표적인 방음대책은 소음기가 있으나 규모가 크고 테스트를 위한 경제적인 부담이 크므로 이론적, 해석적인 검토를 통해 Stack 소음기의 형태를 선정하고 실제 적용 현장에서의 소음기 성능을 측정하여 예측결과를 평가하였다.

산업용 Stack 소음기의 경우 소음기의 구조에 대한 문제 및 저주파 성분이 높은 Stack 소음 특성을 고려하여 조건에 적합한 +형 스프리터 소음기를 설계, 적용하였다. 현장측정결과 문제대역인 저주파 대역에서 뚜렷한 소음감소를 나타내는 것을 알 수 있었다.

현장에 적용하며 최종적으로 현장에서의 효과를 측정하여 연구결과에 대한 검토를 실시하였다.

기 호 설 명

ΔL : 소음기 저감량 (dB)

K : 흡음상수(=1.05 \times $\alpha^{1.4}$)

α : 흡음재의 흡음률

P : 주장 (m)

L : 소음기 길이 (m)

S : Airway 면적 (m²)

1. 서 론

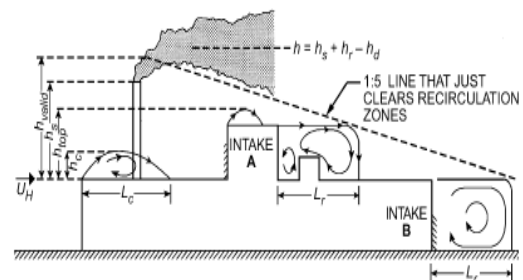
공장 Stack 소음은 발생원의 높이가 높아 넓은 지역에 영향을 미치며 특성상 저주파 성분이 많아 회절도 쉽게 발생하고 먼 거리까지 전달된다. 따라서, Stack 소음은 전달경로 및 수음원에서의 소음감소는 효과적이지 못하며 음원에서의 발생소음도 감소 방안이 효율적이다.

본 논문에서는 일반적으로 Stack에 적용되는 소음방안인 소음기에 대해 검토하였으며 소음기의 형상 및 구조에 따른 효과에 대해 이론적 검토, 해석 툴을 이용한 시뮬레이션 예측 및 축소모델 실험을 통해 최적의 소음기를 설계하여

2. STACK의 소음저감 방안

2.1 Stack 소음

공장 Stack의 경우 그 규모에 따라 다양하지만 수 미터에서 수 백 미터에 이르는 경우도 있다. 대형 Stack의 경우 주로 석유화학시설이나 발전소 등의 대규모 공장에 설치된다.



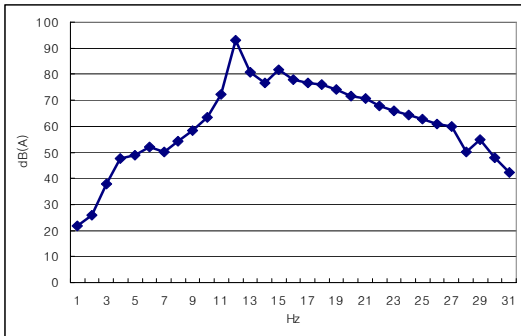
<Fig2.1 공장 Stack의 위치 및 높이>

공장 Stack은 높은 위치의 소음원으로써 영향지역이 넓고 Fig2.2와 같이 500Hz 이하의 저주파 특성이 강하여 전달거리가 멀고 회절이 용이하므로 전달경로 차단에 의한 소음저감효과가 크지 않으므로 Stack의 발생소음

[†] 교신저자; 주)엔에스비 기술연구소
E-mail : ozinu78@gmail.com
Tel : (032) 816-7992, Fax : (032) 816-7993

* 주)엔에스비 기술연구소

을 직접적으로 감소시키는 것이 가장 효율적, 경제적이다.



<Fig.2.2 Stack 소음 특성>

2.2 Stack 방음 설계 시 고려사항

Stack에 적용할 수 있는 소음저감방안은 저소음팬으로의 교체, 방음벽, 소음기 등이 있으나 현실적으로 대책이 용이하고 큰 효과를 기대할 수 있는 것이 소음기이다. 그러나 Stack 소음기의 설계와 적용에 있어 여러 가지를 고려해야 2차적인 문제 발생 및 성능 감소 문제를 방지할 수 있다. 특히 대형 Stack의 경우 문제 발생 시 상당한 경제적 손해가 발생하며 성능 예측이나 검토가 쉽지 않으므로 일반적인 소음기의 적용에 비해 세심한 고려가 요구된다.

Stack 소음기의 선정에 있어 고려해야할 대표적인 몇 가지는 다음과 같다.

- 단면형상
- 구조 안정성
- 환경적 요인
- 설치위치

3. 소음저감 방안의 검토

3.1 설계안의 선정

(1) 단면형상

소음기의 단면형상은 일반적인 흡음형 소음기의 성능을 결정하는 중요한 요소로써 스프리터 등을 이용하여 흡음재의 표면적을 최적화하여 소음기 저감량을 최대한 향상시킬 수 있도록 해야한다. 다만, 단면 형상을 최적화 시키면서 Stack의 효율성이 유지되어야 한다.

소음기 내부에 스프리터를 설치할 경우 흡음재의 표

면적이 증가하여 흡음성능 증가를 기대할 수 있다. 다만 과도한 스프리터 설계는 오히려 정압증가 및 난류에 의한 소음발생원인이 될 수 있으므로 주의해야 한다.

(2) 구조안정성

Stack의 규모가 커지는 만큼 저감에 필요한 소음기의 크기도 크기때문에 그 만큼 하중에 대한 검토가 필요하다. 이러한 검토내용은 소음기 자체하중에 의한 영향도 있으나 소음기가 주변 하중에 견딜 수 있도록 제작되어야 한다.

일반적인 ‘=’ 형 스프리터의 경우 편향적인 힘에 대한 구조적 보강이 가능하나 측면 방향의 힘에는 상대적으로 취약하므로 ‘+자 형’의 스프리터를 적용하여 여러 방향의 힘에 대한 구조 안정성을 증가시킬 수 있다.



<Fig.3.1 +자형 스프리터>

(3) 환경적 요인

일반적으로 소음기의 구성은 아연도강판, 갈바륨도금, 스테일레스 강 등이 주요 자재이며 이러한 재질의 결정은 Stack 내의 배기 성분에 따라 반응성을 고려하여 결정하여야 한다. 또한 통과 유속에 따라 내부의 흡음재 비산, 배기 중 습기에 의한 흡음재의 흡수 등에 대한 대비가 필요하다.

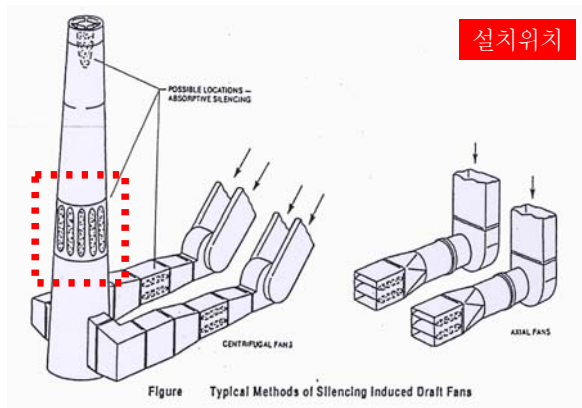
Stack 배기 성분의 화학적 물성을 고려하여 소음기 자재를 갈바륨도금과 스테인레스강으로 제작하였다. 또한, 흡음재 내 먼지의 침착을 방지하기 위해 Aluminum sheet로 표면처리를 하였으며 배기 풍속에 의한 비산을 방지하기 위해 타공판으로 지지, 고정한다.

(4) 설치위치

소음기는 내부의 스프리터에 의해 내부 기체의 와류를 발생시켜 Stack내의 또 다른 소음원이 될 수 있다. 따라서 소음기의 설치위치는 기류가 안정되는 공간에 한정된다. 즉, Stack의 기류 유입부 주변과 같이 기류가 불안

정할 경우 소음기 성능도 감소되고 소음기에 의해 기류의 불안정이 악화되어 또 다른 소음을 발생시킬 수 있다.

이 같은 관점에서 소음기의 설치위치는 기류가 안정적인 Stack의 중앙부가 최적이며 유입부 및 토출부에 설치하는 것은 소음 저감효과를 감소시킬 수 있다. Stack 소음기는 Stack 상부에 설치하는 것이 일반적이고 경제적이거나 소음저감의 극대화를 위해 Stack 내부에 소음기를 설치한다.



<Fig 3.2 소음기 설치 위치>

3.2 성능 예측 및 현장측정

성능예측은 Stack 내부에 설치되는 소음기 길이에 따라 평가하였다. 소음기 설치위치는 지상 28m 지점이다.

(1) 이론식을 이용한 예측

이론식에 의한 예측방법은 산정방법이 단순하고 조건변화에 대한 예측이 용이한 장점을 가지고 있다. 그러나 유동이나 구조적인 문제로 인한 소음의 영향 및 예측은 불가능한 단점이 있다.

이론적 검토를 위해 흡음형 소음기의 감쇠량 산정식을 사용한다.

$$\Delta L = \frac{KPL}{S} [dB] \dots \dots \dots (1)$$

공식에 사용되는 흡음재의 흡음률과 소음기 길이별 예측결과는 Table3.1과 Table3.2와 같다.

<Table3.1 흡음재 흡음률(48K, 50T, 타공판 적용)>

Hz	125	250	500	1K	2K	4K
α	0.16	0.32	0.68	0.80	0.62	0.61

<Table3.2 길이별 소음기 감음량 예측(이론식)>

길이	125	250	500	1K	2K	4K	ΔL
10m	3.6	7.2	15.2	17.9	13.9	13.7	4
15m	5.3	10.7	22.8	26.9	20.8	20.5	5.9
20m	7.1	14.3	30.4	35.8	27.7	27.3	7.7
25m	8.9	17.9	38.1	44.8	34.7	34.1	9.5
30m	10.7	21.5	45.7	53.8	41.6	41.0	11.3
비고	단위 : dB(A)						

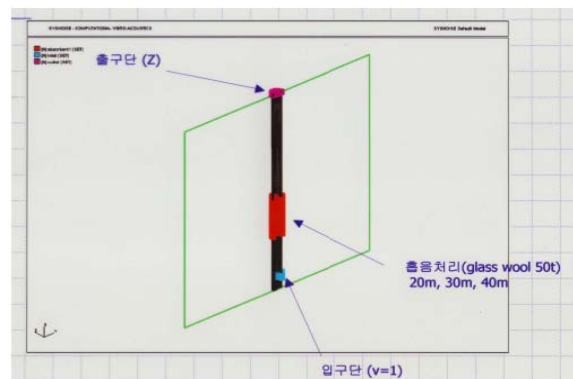
예측결과 주파수별 특성은 흡음재의 특성과 유사하게 500, 1KHz에서 최대 저감효과가 예측되었으며 길이별 특성은 길이에 비례하는 예측결과가 나타난다. 소음기 길이 10m에서 -4dB(A)가 예측되며 20m에서 -7.7dB(A) 예측최대길이인 30m에서 -11.3dB(A)가 예상된다.

(2) 해석모델에 의한 예측

해석프로그램을 이용한 예측방법은 여러 가지 조건 적용이 가능하며 해석모델에 따라 실제와 가장 유사한 예측이 가능하다는 장점이 있으나 사용자에게 따른 모델의 정의방법에 따라 결과양상이 달라질 수 있다는 단점이 있다.

예측을 위한 해석프로그램은 SYSNOISE를 사용하였으며 해석방법은 BEM Direct로 해석하였다.

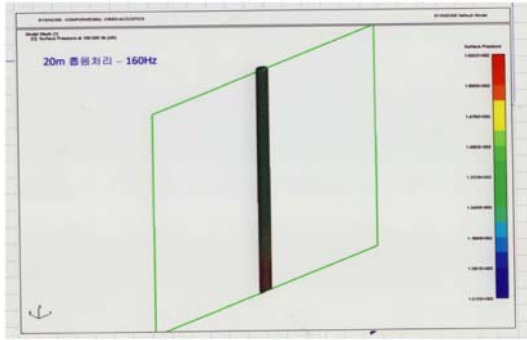
해석과정은 Fig3.3과 같이 Stack 연도 내 Fan 출구 위치면을 가진시켜 음을 발생시키고 소음기를 통과하여 Stack 출구단에서 예측되는 음압레벨 결과를 확인하도록 한다.



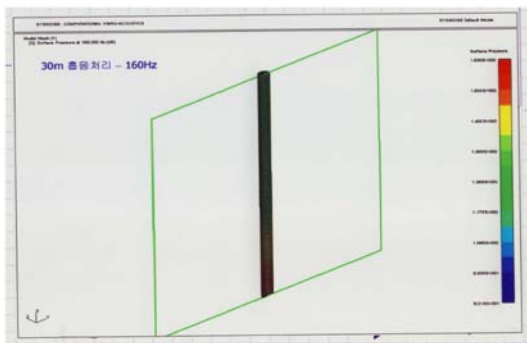
<Fig3.3 해석모델>

해석주파수는 node수의 한계 및 해석시간의 효율성을 위해 상대적으로 영향성이 큰 100~250Hz의 저주파 대역으로 한정하였다. 이 중 1/3-octave band의 주요주파수인 100, 125, 160, 200, 250Hz에 대하여 해석을 실시하였으며 대표적으로 160Hz 해석결과를 Fig3.3

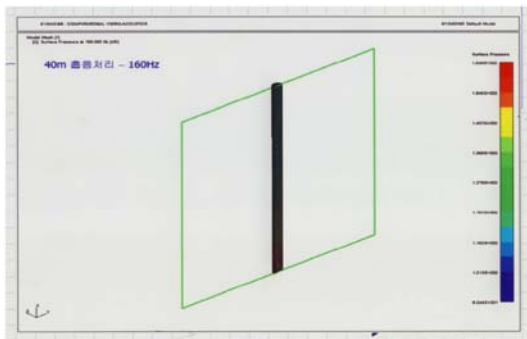
~3.5에 나타내었다.



<Fig 3.3 20m 흡음처리-160Hz>



<Fig 3.4 30m 흡음처리-160Hz>



<Fig 3.5 40m 흡음처리-160Hz>

해석결과는 Table 3.3과 같으며 190Hz이상에서 소음도가 증가하는 이상현상이 나타난다.

<Table3.3 길이별 소음기 감음량 예측(해석모델)>

길이	100	125	160	200	250
20m	-6.4	-9.2	-4.6	+6.8	+7.7
30m	-10.9	-15.8	-11.2	+2.2	+5.7
40m	-14.4	-19.4	-19.7	-5.4	+4.9
비 고				이상	이상

예측은 전술한 바와 같이 BEM을 이용한 방법을 선택

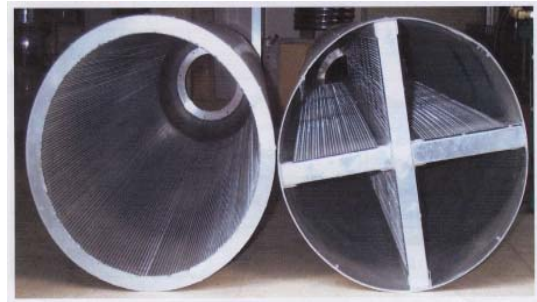
하였으며 유동에 따른 영향요인은 제외하였다.

소음기 길이별 예측결과 길이 증가에 따른 저감량의 증가가 예상된다.

(3) 축소모형 실험

축소모형 실험은 설계 단계의 제품을 테스트 가능한 크기로 제작하여 실제 효과에 대한 테스트가 가능하므로 감음경향 파악 및 예측이 가능한 장점이 있으나 모델 축소에 따른 음향적 특성변화를 감안해야하며 정확한 예측을 위해서는 관련자료수집 및 분석 등 준비기간이 오래 걸리는 단점이 있다.

실험방법은 Type이 원형 Lining과 +형 스프리터, 두 개의 모형을 제작하여 테스트하였으며 제작 모델의 형태는 Fig3.6과 같다.



<Fig3.6 테스트 모형 단면>

테스트를 위해 사용된 장비는 Table3.4와 같다.

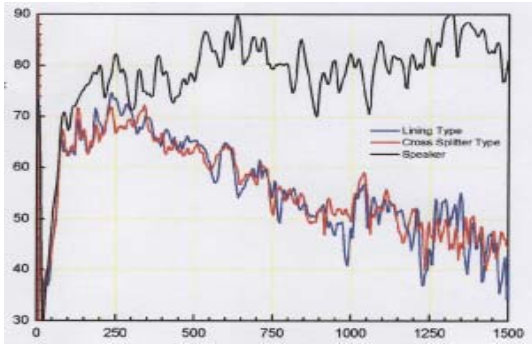
<Table3.4 측정장비>

Equipment	Model	Specification
Analyzer	HP 35670A	0~51.2kHz
Speaker Amp.	Vantage VIP200	20~20kHz 200Watt
Speaker	Black Gold 104A	26~1.7kHz 250Watt
Microphone	B&K 4189	2.8~8kHz 49.3mV/Pa

음원은 백색잡음을 사용하였으며 출구단 1.2m를 측정 지점으로 하여 모형의 형태별 측정결과를 비교하였다. 테스트 모형의 길이는 2500mm로 동일하게 적용하였다. 측정 비교결과는 Fig3.7 및 Table3.5와 같이 나타난다.

<Table3.5 모형 측정 주파수별 감음량 비교>

Hz	125	250	500	1k
원형 Lining	10.2	9.4	12.1	33.8
+형 스프리터	10.0	13.7	13.3	32



<Fig3.7 모형 형태별 측정결과 비교>

측정결과 주파수에 비례하여 저감량이 증가하는 경향을 보이며 전체적으로 유사한 값을 보이나 저주파 대역에서는 원형에 비해 +형 스프리터 Type이 효과가 좋은 것으로 나타나 저주파 소음이 강한 Stack에 적합한 것으로 평가되었다.

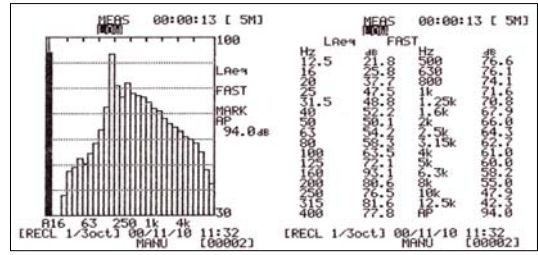
3.3 소음기 성능 현장측정

소음기 적용 현장은 L공장으로 Stack 중간부에 25m의 소음기를 적용하였으며 스택 상단부에서 소음기 적용 전/후의 소음을 각각 측정하여 소음기 효과를 검토하였다. 소음기는 Stack을 절단 후 설치하게 되며시공 및 설치 후 사진은 Fig3.8과 같다.

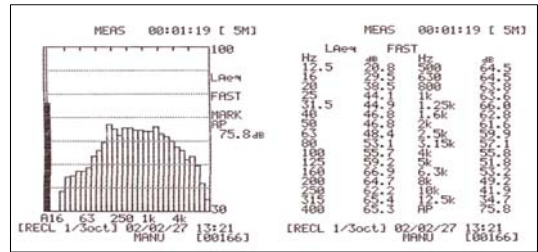


<Fig3.8 시공 및 설치 후 사진>

소음기 적용 전/후의 스택 상단부에서의 소음측정결과는 Fig3.9, Fig3.10와 같으며 최종적인 소음저감량은 Table3.9에 정리하였다.



<Fig3.9 대책 전 측정소음도>



<Fig3.10 대책 후 측정소음도>

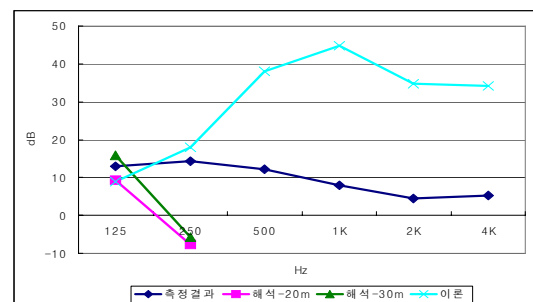
<Table3.9 소음기 적용 전/후 측정결과 비교>

	125	250	500	1K	2K	4K	A.P
전	72.1	76.5	76.6	71.6	66.0	61.0	94.0
후	59.2	62.2	64.5	63.6	61.6	55.8	75.8
ΔL	12.9	14.3	12.1	8	4.4	5.2	18.2

측정결과, 저주파 대역의 Peak가 눈에 띄게 감소하였으며 측정소음도의 저감량은 94dB(A)에서 78dB(A)로 18dB 저감되었다.

3.4 예측 및 측정 평가

예측 및 측정에 의한 비교결과는 Fig3.11과 같다.



<Fig3.11 측정 및 예측결과 비교>

4. 결론

본 보고서에서는 대형굴뚝의 소음저감을 위해 소음기를 적용하였으며 소음기를 이용한 효과적인 방음설계를 위

해 여러 가지 검토방안을 적용하였다.

1. 구조적인 문제와 저주파 특성이 강한 음원 특성을 고려할 때, 일반 스프리터 Type 및 원형 소음기 보다 +형 스프리터 Type의 소음기가 효과적인 것으로 나타난다.
2. 고주파 대역의 예상보다 낮은 저감량은 공장 배경 소음(주변설비)에 의한 영향으로 판단되며 Stack 소음에 대하여 적용된 소음기에 의한 방음대책이 효과적인 것으로 나타난다.
3. 예측결과는 해석프로그램에 의한 예측이 비교적 정확하게 나타나지만 프로그램 적용범위의 한계 및 200Hz이상에서 발생하는 이상 결과에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

4. 적용 사례

위치	현장사진	비고
L 공장		Stack 소음기 25m : 18.2dB(A) 저감
K 공장		설계안 적용 : 시공예정 (18dB(A)저감 예상)

후 기

향후계획

- 해석 예측 방법의 오류 및 보충사항 검토
- 유동에 따른 예측방법 연구
- 다양한 현장 검토를 통한 예측방법 검증

참 고 문 헌

(1) John Foreman, 1990, "Sound Analysis and Noise Control", Chapman & Hall.
 (2) ASHRAE HANDBOOK
 (3) Leo L. Beranek, "Noise and Vibration Control Engineering", Wiley
 (4) M. L. Munjal, 1987, "Acoustic of Duct and Mufflers", John Wiley & Sons