

원자력 발전소용 덕트형 소음기 개발

°김준호*, 김영찬*, 유승국*, 김두훈*, 이종림** 전규식***

(Design and Performance Test of Ventilation Silencer for PWR Nuclear Power Plant)

(Joon-Ho Kim, Young-Chan Kim, Seung-Kuk Yu, Doo-Hoon Kim, Jong-Lim Lee, Kyu-Sik Jeon)

ABSTRACT

원자력 발전소의 공조 시스템에 설치되는 덕트형 소음기를 설계·제작하여 감음성능 시험, 내진해석, 내진시험, 난연시험 및 기밀시험 등을 수행하여 각각의 요구조건에 적합한 소음기를 설계·제작한 결과 원자력 발전소에 기 설치된 소음기와 동등한 성능을 갖는 것으로 나타났다. 소음기를 설계, 제작, 시험하는 과정에서의 노-하우를 바탕으로 어떠한 요구조건에도 만족하는 제품을 국내에서 설계·생산할 수 있는 기술 확보에 있다.

1. 서 론

공조설비계통의 소음원으로는 송풍기, 보일러, 냉동기, 펌프, 냉각탑 등이 있으며 이중 송풍기는 공조 및 환기설비계통에서 가장 큰 소음원이며 여러 형태의 소음기를 이용하여 제어하고 있다. 기류음을 감소시키기 위하여 그 감음원리에 따라 크게 흡음형, 팽창형, 공명형 등으로 구분된다. 또한 필요 감쇠량의 특성에 따라 적합한 특성의 소음기를 선택하고 또는 조합한다. 2개 이상의 소음기를 조합할 경우 결합 조건에 의해 감쇠특성이 다른 경우가 있으며 반드시 개개의 소음기 감쇠량의 합이 전체의 감쇠특성을 나타내지 않으나 이것을 조합하는 방법이 가장 일반적으로 사용된다.

그러나 국내 소음기 생산의 주된 생산 방식은 이미 공개된 자료나 외국의 설계 도면을 모방하여 제작하는 수준으로 단순 모방의 한계를 갖고 있어 기술 축적이 이루어지지 않아 최적 설계를 도출해

내기 어려울 뿐만 아니라 특수한 성능이 요구될 경우 자체적으로 소음기 설계가 불가능하여 외국 기업에 의존하는 실정이다. 따라서, 본 과제의 목적은 원자력 발전소의 공조 시스템에 설치되는 덕트형 소음기를 설계, 제작하여 감음성능 및 기타 구비 기능에 대하여 각각의 요구조건에 따라 시험하여 설계 및 제작 기술을 확보하는데 있다. 또한 향후 건설될 원자력 발전소에 공급과 산업용 특수 소음기를 개발하는데 일조하여 국내 소음기 생산 업체들에 도움을 주고자 한다.

2. 본 론

2.1 설계 목표

원자력 발전소용 공조 시스템은 사고시 방사선 피폭량을 제한치 이내로 유지하여 제어실에 안전성과 주거성을 확보할 수 있도록 적절한 방사선 방호설비가 구비 되어야 한다. 원자력 발전소용 소음기는 소음기 본래의 기능인 소음 감음성능을 고려한 설계뿐만 아니라 내진성, 난연성, 기밀성 등의 요구 조건을 만족하는 설계가 이루어져야 한다.

* 유니슨산업(주) 유니슨기술연구소

** 한국전력공사 전력연구원

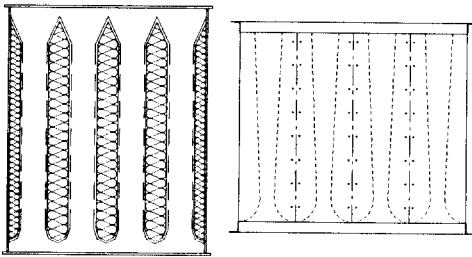
*** 유니슨건설(주)

소음기의 감음 성능 목표치는 제어실의 목표 소음 수준과 공조실의 발생 소음 수준 및 공조 시스템 전체 길이 등의 모든 조건을 고려하여 산정하여야 한다. 그러나 본 과제에서는 소음기 감음 성능의 목표치를 원자력 발전소에 기 설치된 소음기와 동일한 성능을 갖는 것으로 하였다. 이는 시작품을 설계, 제작, 시험하는 과정에서의 노-하우를 바탕으로 고객의 어떠한 요구조건에도 만족스런 제품을 설계·생산할 수 있는 기술 확보에 있다.

2.2 소음기 설계 및 제작

본 과제로 개발된 소음기의 기본적인 형상은 스프리트를 이용한 흡음형으로 기존의 소음기와 크게 2가지 점에서 다르다. 그 첫 번째는 Fig. 1에서 보듯이 스프리트 형상이 소음기 전후 방향으로 평행하지 않고 사다리꼴 형상을 갖고 있다. 즉, 소음기 입구와 출구의 개구율이 다르다. 이와 같은 결과는 시험을 통하여 얻어진 결과이며 이를 바탕으로 소음기의 설계를 결정 하였다. 또한, 소음기의 입구와 출구의 개구율은 소음기의 크기, 유량, 감음 목표치 등 여러 인자에 따라 그 비율을 달리 하였다.

그 두 번째 다른 점은 일반적인 공조용 소음기는 절곡과 리베팅을 하나 본 개발품은 기밀성 확보를 위하여 스프리트와 소음기 몸체의 접합 부분은 용접을 하였다.



a. 기존 소음기 b. 개발 소음기

Fig. 1. 소음기의 스프리트 형상

2.3 소음기 감음성능 시험 및 결과

소음기의 감음성능을 나타내는 척도로는 삽입손실(Insertion Loss, IL), 동적삽입손실(Dynamic Insertion Loss, DIL), 투과손실(Transmission Loss, TL), 소음감쇠량(Noise Reduction, NR), 음향감쇠(Attenuation, Att) 등이 있다.

본 시험은 동적삽입손실을 그 소음기의 감음성능

으로 하였다. 시험 시설은 ASTM(American Society for Testing and Materials) E 477에 따라 Fig. 2와 같고 일반 덕트와 소음기를 교환 부착하여 소음기 부착 전·후의 음향 파워 레벨, 음압 레벨 또는 음향 인텐시티 레벨의 차로부터 구하며 다음과 같이 정의된다.

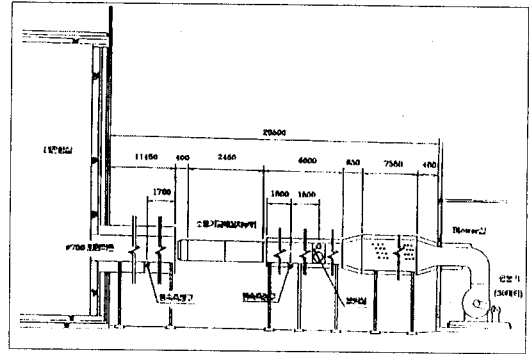


Fig. 2 ASTM 규격의 삽입손실 측정장치

$$IL = PWL_p - PWL = SPL_p - SPL \\ = SIL_p - SIL \quad (dB)$$

여기서,

PWL_p : 소음기 설치전의 음향파워레벨 (dB)

SPL_p : 소음기 설치전의 음압레벨 (dB)

SIL_p : 소음기 설치전의 음향인텐시티레벨 (dB)

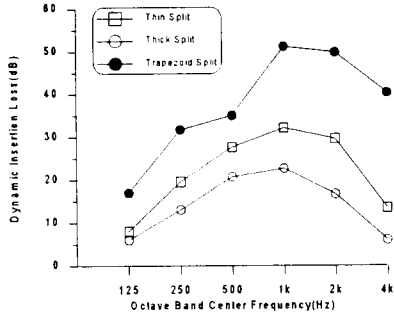
PWL : 소음기 설치후의 음향파워레벨 (dB)

SPL : 소음기 설치후의 음압레벨 (dB)

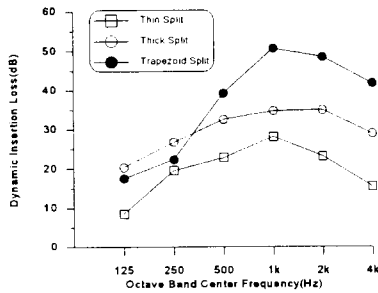
SIL : 소음기 설치후의 음향인텐시티레벨 (dB)

소음기의 감음성능 시험 결과는 Fig. 3과 같다.

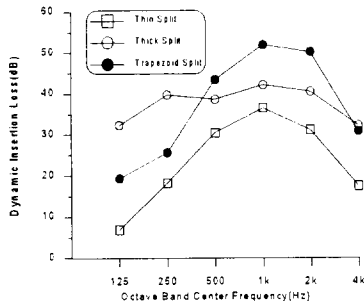
시험 결과에 나타나듯 사다리꼴 스프리트 소음기의 감음성능이 우수하였으며 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 기존의 소음기는 스프리트가 길이 방향으로 평행하게 배열된 반면 본 과제에서 개발된 소음기는 스프리트의 형상이 사다리꼴 형상으로 기인한 현상으로 생각된다. 또한 소음기 크기가 $600 \times 600-1500$ 의 스프리트 형상이 두꺼운 소음기의 경우 감음성능이 현저히 낮아지는 것은 시험 시설의 덕트 라인의 직경이 700mm 입을 고려할 때 소음기 개구율의 과도한 변화로 인하여 감음 시험이 제대로 수행될 수 없는 환경에 인한 것으로 여겨진다.



a. Silencer Size 600X600-1500



b. Silencer Size 900X750-1500



c. Silencer Size 1800X1200-1500

Fig. 3 성능시험 결과

2.4 난연 시험 및 결과

원자력 발전소용에 공급되는 자재 및 제품의 성능 중에서 안전성에 대한 목표는 절대적이다. 본 개발 소음기에 사용된 자재의 경우 일반적으로 난연 제품으로 인지되고 있으나 그 제품에 대한 난연 제품이라 입증할 만한 공인된 시험 결과를 구하기 어려웠다. 본 과제에서의 시험은 '한국화재보험협회 방재시험 연구소'에서 수행하였으며, KS 규격 'KS F 2271-1990 : 건축물의 내장재료 및 공

법의 난연성 시험 방법'에 의거 시험하였다. 시험 결과는 Table 1과 같다.

Table 1 각 시료의 난연시험 결과

시험 종류	No.	시 편 종류 (K : kg/m ²)	*시료 크기	판정
표면 시험	1	Rock Wool(120K)	a	적합
	2	Glass Wool(48K)	a	적합
	3	VIVA-Q(48K)	b	부적합
	4	Glass Cloth(Black)	c	부적합
	5	Glass Cloth(White)	d	부적합
	6	4 + 1 + 4	e	적합
	7	4 + 2 + 4	e	적합
기재 시험	1	Rock Wool(120K)	f	적합
	2	Glass Wool(48K)	f	적합
	3	Glass Cloth(Black)	f	부적합
	4	Glass Cloth(White)	f	적합
	5	4 + 1 + 4	f	적합
	6	4 + 2 + 4	f	적합

*시료 크기(가로×세로×높이, mm)

a(220×220×30), b(220×220×22)

c(220×220×0.16), d(220×220×0.25)

e(220×220×30.16), f(40×40×50)

2.5 기밀 시험 및 결과

원자력 발전소용 공조 시스템은 사고시 방사선 피폭량을 제한치 이내로 유지하여 제어실에 안전성과 주거성을 확보할 수 있도록 적절히 방사선 방호설비가 구비 되어야 한다. 따라서 본 과제에서 개발한 소음기는 소음감음 성능뿐만 아니라 기밀을 유지함으로써 오염 물질의 유입 혹은 유출이 되지 않도록 기밀성 확보를 목적으로 한다. 본 개발 소음기는 이음매 부분을 전부 용접하여 기밀성을 확보하였다.

기밀 시험의 절차는 'ASME SECTION VIII DIV. 1, UG-100 & UW-50' 에 준하여 실시하여 만족한 것으로 나타났다.

2.6 내진 해석 및 시험 결과

2.6.1 내진 시험 목적

원자력 발전소용 소음기에 대한 내진 검증 시험은 내진 시험 절차에 의해 구조적 안정성을 확인하기 위해 수행하였다. 내진 시험에 적용된 소음기는 원자력 발전소용으로 개발된 소음기와 일반 건물의 공조 시스템에 적용하는 기존의 소음기 두 가지이다.

개발된 원자력 발전소용 소음기는 유니슨 정밀에서 제작하였으며, 내진시험은 한국기계연구원에서 수행하였다.

내진시험에 적용된 운전기준지진(OBE:Operating Basis Earthquake)과 안전정지지진(SSE:Safe Shutdown Earthquake)는 설계지진과의 5배로 하였으며, 요구응답스펙트럼(RRS:Required Response Spectrum)의 만족 여부를 가리는 시험을 수행하였다. 내진 시험단계는 OBE시험을 5번 수행한 다음 한 번의 SSE 시험을 수행하였으며, 내진시험 전후로 하여 소음기의 고유진동수 및 감쇠비를 찾는 Resonance Search Test를 수행하였다.

2.6.2 내진시험 절차

내진시험은 Fig. 5에서와 같은 절차에 따라 시험하였으며 한국기계연구원의 진동 테이블에 시험 소음기를 설치한 모습을 Fig. 4에 나타내었다.



Fig. 4 진동테이블에 설치된 모습

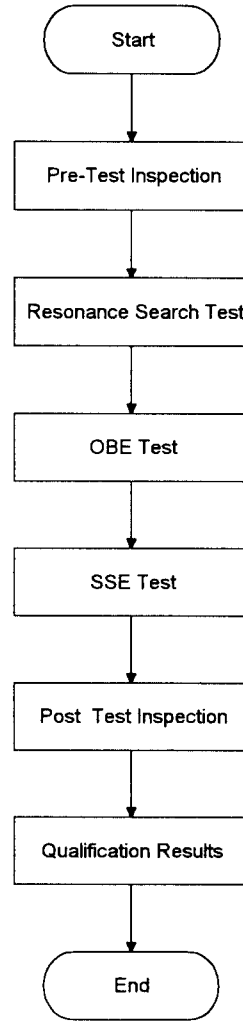


Fig. 5 내진시험절차

2.6.3 내진시험 결과

내진시험절차에 따라 Resonance Search Test에서 계측한 주파수응답함수(Frequency Response Function)를 이용하여 고유진동수 및 감쇠비를 Table 2에 나타내었다

소음기에 대한 내진시험결과 개발된 소음기와 기존의 소음기의 고유진동은 5Hz 이상에 있으며, 특히 원자력 발전소용으로 개발된 소음기는 내진 검증 결과는 지진운동과 동일하게 거동하는 강체장비로 간주된다. 따라서 원자력 발전소용으로 개발된 본 소음기는 내진성능이 매우 우수함을 확인하였다.

Table 2 고유진동수 및 감쇠비

Position	Step	Freq. (Hz)	Damping (%)
기존 소음기 상하방향	Res-Pre	26.4	1.4
	Res-3times	25.8	2.2
	Res-6times	25.2	3.2
	Res-OBE	26.6	1.4
	Res-SSE	26.6	1.4
기존 소음기 스프리트 폭방향	Res-Pre	24.9	5.6
	Res-3times	23.2	6.6
	Res-6times	22.7	7.5
	Res-OBE	26.5	6.7
	Res-SSE	26.5	6.7

3. 고찰 및 결론

원자력 발전소용의 공조 시스템에 설치되는 덕트형 소음기를 설계, 제작하여 감음 성능, 내진 해석, 내진시험, 난연시험 및 기밀시험 등을 수행하여 각각의 요구 조건에 적합한 소음기를 설계 제작한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 원자력 발전소용 소음기의 감음 성능은 설계 목표치를 만족하는 우수한 감음 성능을 보였으며, 기존의 평행한 스프리트형 소음기를 보완하여 사다리꼴 형상의 스프리트를 설계 제작 할 수 있는 기술을 확보하였다.
- 2) 내진 해석 결과와 내진 시험 결과를 상호 비교하면 아직은 두 과정에서 상당한 차이가 있으나 수행한 내진 시험의 자료를 이용함으로써 스프리트의 감쇠율 수정 및 모델링 기법을 보완하면 내진 해석의 정도를 향상시킬 수 있는 자료를 확보하였음을 알 수 있다.
- 3) 내진 시험 결과 개발된 소음기와 기존 소음기의 고유 진동수는 모두 5Hz 이상에 있으며, 특히 원자력 발전소용으로 개발된 소음기는 지진 운동과 동일하게 움직이는 강체 운동으로 거동함으로써 내진 성능이 매우 우수하였다.
- 4) 그리고, 기존에는 원자력 발전소용 소음기에 대

한 요구 응답 스펙트럼(RRS: Required Response Spectrum)이 없었으나, 본 과제를 수행하면서 원자력 발전소용 소음기에 대해 새로운 요구 응답 스펙트럼을 제시하고자 한다.

- 5) 난연 시험은 표면시험과 기재 시험 두 가지 방법으로 이루어졌으며, VIVA-Q를 비롯한 몇 가지 시험 샘플에서 부적합 판정을 받은 제품도 있으나, 원자력 발전소용 소음기에 적용한 Glass Wool이 Glass Cloth로 감싸는 조건하에서는 난연 시험 결과 모두 적합 판정을 받았다.
- 6) 기밀 시험은 ASME 규정에 따라 시험하였으며, 기밀 요구 조건 압력에 대해 시험을 수행한 결과 합격 판정을 득했다.

7) 이상과 같은 결과에 바탕으로 당사는 원자력 발전소용 소음기를 설계에서부터 제작에 이르기까지 만족스런 결과를 얻게됨에 따라 추후 발주될 원자력 발전소용 소음기를 국내에서 설계 및 제작할 수 있는 기술을 확보하였다.

참고문헌

- (1)일본음향재료협회, "소음·진동대책 핸드북", 집문사
- (2) P.K.Banerjee, S.Ahmad and K.Chen 1988, "Advanced application of BEM to wave barrier in multi-layered three-dimensional soil media", Earthquake Eng.& Strut. Dyn., Vol 16, 1041-1060
- (3) 일본건축학회 편, 1976, "실무적소음대책지침", 지보당출판, 동경
- (4) Bruel & Kjaer, "NOISE CONTROL", Bruel & Kjaer, Denmark, 1986.
- (5) 김석홍, "음향인텐시티법에 의한 공조설비 소음장치의 감음성능 평가에 관한 연구", 한양대학교 석사학위 논문, 1987.
- (6) 지만선, "원자력 발전소의 공조계통 설계기준", 월간 냉동공조기술, 통권 125호, 1995. 2.