

공장건물 소음실제와 차음대책

임 홍 순

(방재시험연구소 건재시험실(음향팀) 선임연구원)

1. 머리말

국내 산업의 발달과 국민소득의 향상으로 인한 쾌적한 주거환경에의 욕구가 점차 증가함에 따라 주변 소음문제가 주된 민원의 대상이 되고 있다. 더우기 산업의 도시집중화 현상으로 인해 주거지역과 인접해 있는 공장 등이 많아, 이들 공장들로부터 발생하는 가동소음은 주변 주거환경에 커다란 민원문제를 일으키고 있으며 이로 인해 공장의 생산활동에 장애를 가져와 경제적 손실도 크다.

이러한 공장 소음문제를 또 다른 재해적 측면에서 분석, 보완대책 등 보다 적극적으로 대처한다면 훨씬 경제적으로 문제 해결을 할 수 있을 것으로 판단된다. 고로 본고에서는 주거에 인접한 공장들을 사례로 하여 공장 건물구조의 차음공법에 의한 소음대책 실재를 건축음향 이론적 배경과 함께 정리하여 실무 책임자들의 공장소음 대책에 도움이 되고자 한다.

2. 공장건물과 소음의 주변전달경로

소음문제는 소음원이 건물내에 있는가 또는 건물 밖에 있는가에 따라 그 대책이 달라진다. 일반적으로 공장내에 소음원이 있는 경우가 많으므로 이때 공장 건물 내부에서 소음이 외부로 전달되는 경로는 주로 다음과 같다.

- 가. 외벽(지붕, 창)으로의 전달
- 나. 개구부(틈, 환기그릴, 천정모니터, 옥외배

기팬)를 통과하여 외부로 전달

다. 고체 진동으로 인한 벽체로부터 2차 소음의 방사전달

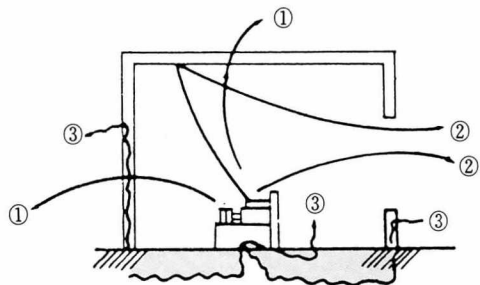
상기의 전달 계통도를 나타내면 <그림 1>과 같으며 그 내용은 다음과 같다.

①의 외벽체를 통한 음투과전달은 공기→고체(구조체 공진효과 포함)→공기로 전달

②의 개구부를 통한 음전달은 공기매질로서 전달

③의 고체 진동하는 벽체로부터 발생하는 2차 소음에 의한 전달은 기계기초, 표면(지반)으로 전달되면서 건물 외벽을 진동시키며, 그 공진으로 벽체 또는 지반에서 2차 소음을 외부로 방사 전달하게 된다.

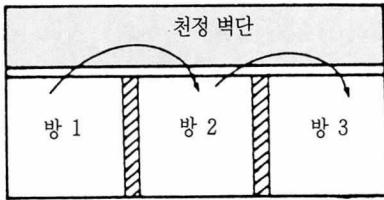
이때 건물내의 발생소음은 공해로서 주변환경 등에 문제가 되지 않도록 외벽 차음구조 공법 등을 통해 대지경계선에서 기준치 이하로 감쇠하여



<그림 1> 공장소음 전달 경로계통

야 하는데, 그 차음량(이하 투과손실이라 함)은 건물내의 소음, 소음규제 기준치, 경계선까지의 거리 등에 의하여 결정된다.

또한 음은 회절현상을 갖고 있어 건물벽 등을 차음도가 높은 재료로 막고 있어도 천정 등 빈 연결공간 등으로 우회하여 투과하게 되는데 그 사례를 <그림 2>에 나타내었다.



<그림 2> 취약한 부분으로의 음의 전달 계통

3. 공장건물 소음대책 적용 실제

가. 건물외벽의 차음성을 증가시키는 방법

외벽의 차음성은 질량법칙에서 단위면적당 중량 (kg/m^2)이 클수록 또는 음주파수가 높을수록 차음성능 값이 크게 되는 특성이 있다. 그러므로 외벽은 콘크리트 및 중량블럭 등의 단위면적당 중량이 큰 재료를 사용하면 차음성이 커서 이상적이다. 또한 경량 기포콘크리트 등 통기성이 있는 재료는 표면을 미장하여 통기성을 없앤다든가, 이중벽 또는 삼중벽을 쌓는다면, 연결부 틈 등의 밀폐 등의 대책이 강구될 수 있으며 이를 세부적으로 나타내면 다음과 같다.

(1) 통기성을 없앴다.

<표 1>에서 나타난 바와 같이 외벽을 콘크리트 블럭만으로 시공했을 경우 보다 표면 플라스틱 미

<표 1> 각종 재료의 벽체 음향투과손실

투과손실(단위: dB)

No.	재 료	두께(mm)	면밀도 (kg/m^2)	주 파 수(Hz)						125~2k 평균
				125	250	500	1k	2k	4k	
1	나 왕 합 판	6	3.0	11	13	16	21	25	23	17
2	"	12	8.0	18	20	24	24	25	30	22
3	"	40	24	24	25	27	30	38	43	29
4	insulation보드	12	3.8	13	12	17	23	29	32	19
5	석 고 보 드	7	6.8	12	20	23	29	32	32	23
6	"	9	8.7	19	22	25	28	34	23	26
7	homogenholz	6	4.5	18	18	22	27	32	31	23
8	"	20	13	24	27	26	27	24	33	26
9	novo판	35	17	21	23	27	28	24	29	25
10	빠라이트 보드	12		17	18	24	30	33	30	24
11	프레스블 보드(석면시멘트)	4	7.1	18	22	23	28	33	36	25
12	"	6	11	19	25	25	31	34	28	27
13	금속판 알루미늄	1.2		8	11	14	21	27	30	18
14	철 판	0.7	5.6	9	14	20	26	30	37	20
15	아 연 판	1.0	11.3	28	25	29	33	38	43	32
16	판 유 리	3	7.5	14	18	22	28	32	23	
17		6	15	~20	~25	~27	~30	~34	~26	
18		10	25	~24	~27	~31	~31	~27	~37	
19	pair glass 양면 5mm 중공 6~18mm	16~28		21	27	31	29	33	42	
20	유리블록 145×145	95	97	16	17	27	32	28	30	
21	콘크리트 블럭면	100	160	~18	~21	~31	~34	~30	~32	40
22	콘크리트 양면 오일 페인트 마감	"	"	30	32	38	46	53	39	28
23	콘크리트 양면 플라스터 15mm	"	"	91	24	28	32	36	40	28
24	콘크리트 양면 몰탈 마감	150	180	32	36	40	48	54	51	41
				33	37	42	49	56	57	43
				31	35	45	52	56	56	44

장 등을 추가하므로써 차음성이 월등히 증가하였다. 이와 같이 차음재료에서는 통기성을 없애는 것이 중요하다.

(2) 질량이 큰 재료라야 한다.(단일벽의 투과손실)

외벽에서 음이 투과하는 원인에는 크게 분류해서 음파에 의한 벽판의 굴곡진동 즉, Coincidence 효과에 의한 것과 기계 등의 진동이 직접 벽체를 공진시키는 것 두 가지가 있다. 그러므로 차음성을 크게 하고자 할 때는 이 두 가지 진동현상을 발생하지 않도록 하는 것이 필요하며, 무거운 재료일수록 공진을 이루지 못하므로 질량법칙이 성립되고 큰 차음성을 얻을 수 있다는 뜻이다. 그 적용사례로서 다음 두 가지가 있다.

첫째, 단일벽의 투과손실은 단위면적당 중량을 알고 있으면 재료의 종류에 무관하게 식(1)에 의해 구할 수 있다.

$$TL = 13 + 14.5 \text{ Log}_{10} m \dots\dots\dots(1)$$

여기서 TL : 음향투과손실 (dB)

m : 단위면적당 중량 (kg/m²)

즉, 질량법칙에 의하면 중량 m이 2배가 되면 음투과손실량(TL)은 4.4dB씩 증가함을 나타낸다.

둘째, 음투과손실량과 주파수 및 질량의 관계를 이용한 식(2)에 의해 소음의 주파수와 재료의 단위면적당 중량을 알면 해당 벽의 그 주파수 대역에서의 투과손실량을 구할 수 있으며, 주파수가 2배가 되면 투과손실량이 5.4dB씩 증가함을 나타낸다.

$$TL = 18 \text{ Log}_{10}(f \cdot m) - 44 \dots\dots\dots(2)$$

(3) 연결부 틈이나 뚫린 부분이 없는 구조이어야 한다.

아무리 차음성이 큰 재료를 사용하여 외벽을 구성하여도 연결부에 틈이 생기거나 개방된 부분이 있을 때 그 부분에서는 음이 직접 투과하게 되므로 외벽의 차음효과는 저하된다. 예를 들면 외벽

에 생긴 틈이 외벽 면적의 1/n이라 하면 외벽 전체의 투과손실은 10Log₁₀n보다 커지지 않는다. 즉, 틈 면적을 S, 틈 이외의 벽면적 S_w라 할 때 식(3)의 관계를 이용해 외벽 전체의 평균투과손실을 구할 수 있다.

$$TL = 10 \text{ Log}_{10} 1/\tau \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{여기서 } \tau (\text{투과율}) = \frac{S_w \tau_w + S}{S_w + S}$$

여기에서 $\tau_w \ll S/S_w \ll 1$ 로 하면, $TL \approx 10 \text{ Log}_{10}(S_w)$ 의 근사식을 구할 수 있으며, 이는 벽체 전체의 음투과손실은 틈 면적율(S_w/S)에 의해 좌우됨을 나타내고 있다.

이것의 한 적용 사례로서 벽체의 투과손실량을 50dB가 요구된다고 할 때는 벽체에서 틈이 차지하는 면적율이 1/100000 이하가 되어야 하는데, 이는 벽체를 아무리 차음성능이 좋은 재료를 쓰더라도 틈이 있으면 벽체의 차음성이 좋아지지 않는다는 것을 말해준다.

틈을 없애주는 방법으로는 벽면에 판을 붙이거나 코킹 등 처리하는 방법이 있다.

(4) 2중, 3중 복합벽의 장점을 이용한다.

2중, 3중벽일 때 각 벽체 사이를 진동이 직접 전달이 되지 않도록 띄워 설치된 복합벽은 조립식 부재에 대한 차음성을 개선하는데 큰 장점이 있다.

단일벽의 투과손실을 크게 하기 위해서는 질량이 큰 재료를 사용하면 되나, 이미 설치되어 있는 벽체의 질량과 두께를 크게 보수하기에는 구조적 측면이나 경제적으로 불가능하다. 따라서 투과손실이 큰 외벽이 요구될 때는 2중벽 또는 3중벽 등 복합벽으로 설치하는 작업은 비교적 용이하므로 많이 이용되고 있다.

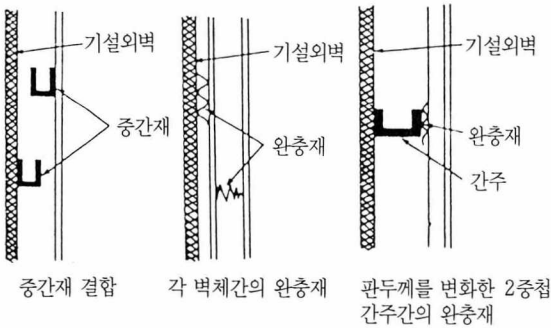
이러한 복합벽의 사례로서 <그림 3>과 같은 시공방법이 사용되고 있으며, 이러한 복합벽을 시공할 때는 아래 사항을 충분히 고려하여야 한다.

① 각각 벽은 질량이 큰 것을 선정한다.

② 벽체간에는 가능한 큰 간격을 두어 공기층

을 크게 한다.

③ 각각 벽체 사이 진동전달을 완충시키는 구조로 한다.



〈그림 3〉 복합구조 차음공법 사례

〈표 2〉 유리창의 구조별 차음량(음투과손실)

판후(板厚) 및 구조	투과손실
3mm 一重	22
5mm 一重	23
6mm 一重	23
8mm 一重	27
3mm 二重(공간 6mm)	29
5mm 二重(공간 6mm)	30
6mm 二重(공간 6mm)	31
6mm 二重(공간 13mm)	34
5+6+3mm 二重(공간 각 6mm)	30
6+6+6mm 二重(공간 각 6mm)	34
6+6+6mm 二重(공간 6mm, 13mm)	37
glass block 145×145×95mm	40
glass block 140×140×95mm	33

나. 환기구의 처리

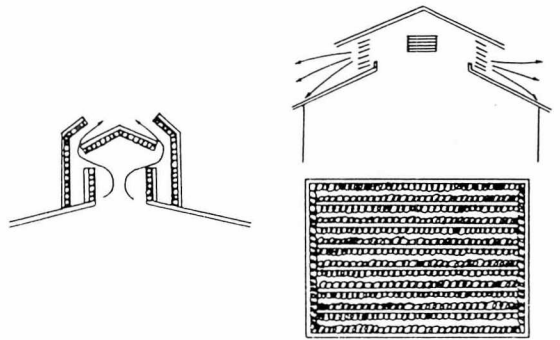
환기의 방법은 ① 자연환기, ② 강제(기계)환기로 분류된다.

(1) 자연환기

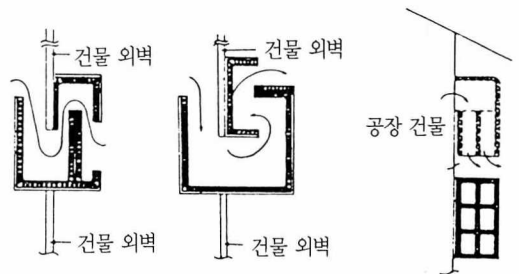
자연환기란 자연바람의 압력 또는 건물내외의 공기 온도차로 생기는 공기의 부력 또는 중력에 의한 환기를 말한다. 이러한 자연환기를 위한 개구부는 음향적인 측면에서 건물내 소음이 밖으로 누출되어 문제가 되기도 한다. 즉, 높은 위치에 있는 개구부는 근처 고층 아파트 등에 음이 전파되어 영향을 줄 수도 있다. 이러한 자연 환기구를 통과하는 최대한 소음을 저감시키는 방법으로는

〈그림 4〉와 같은 방법이 이용된다.

상기 〈그림 4〉에서 환기구의 내면에는 다공질 흡음재료(유리면, 암면 등)를 부착하여 음의 감쇠효과를 고려한다. 그 외에도 〈그림 5〉와 같이 환기구에 굴곡단면을 가진 소음장치를 부착하는 방법도 생각할 수 있으며, 이 경우 당연히 환기구 내에 공기 마찰 저항이 발생하는데 저항이 커지면 환기 기능이 저하되므로 가능한 저항이 커지지 않도록 하는 것이 필요하다.



〈그림 4〉 자연 환기구 형태



〈그림 5〉 자연 환기구에 소음장치가 설치된 모습

(2) 강제 환기

강제 환기란 항상 일정한 양의 환기가 필요할 때 또는 대량환기가 필요할 때 사용되며 송풍기 등의 기계의 힘을 이용하여 공기를 흡입 배출하는 것이다. 이것도 당연히 날개의 회전으로 소음이 발생하며, 이 소음이 공장 내의 발생소음과 합쳐져 더욱 소란스럽게 된다. 더우기 지붕 상부에 환기 팬이 나란히 설치되는 경우 선음원으로 나타나는 특성 때문에 인근 주변에 소음문제가 발생하므로 소음기를 설치하거나 소음방출 방향을

반대로 조정하는 방법이 고려되어야 한다.

다. 출입구의 처리

건물에는 필히 출입구가 설치되고 또 출입구는 사람의 출입, 재료나 제품 등의 반입, 반출, 환기, 채광 등의 역할을 한다. 특히 금속의 구조, 열처리공장 등과 같이 열을 이용하는 작업환경에서 출입구의 개방 상태는 작업환경 개선에 기여를 하게 되나 공해 문제로 볼 때 출입구의 개방상태는 건물내의 소음을 밖으로 방출하게 되므로 문제가 있는 것이다. 따라서 출입구의 설치시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

(1) 출입구의 위치 변경

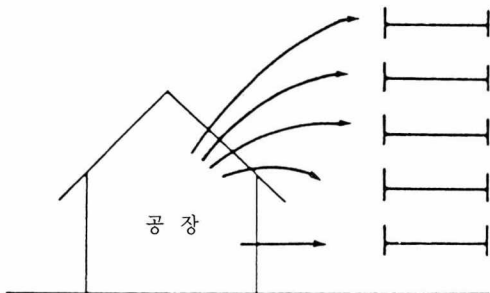
주거지와 문제가 되는 경계선은 피하고 소음방출 방향을 고려하여 문제지역과 최대한 반대 쪽으로 위치를 변경한다.

(2) 차음성이 큰 문으로 바꾼다.

외벽과 같은 정도 이상의 차음성을 갖는 재료로 된 철제문, 샷타 등으로 바꾼다.

라. 창문의 처리

종래의 대부분 창은 출입구 이상으로 채광 및 환기 등의 환경조절 역할이 있었다. 또 건축법상 공장건물은 창 및 열린 부분이 10% 이상으로 규정하고 있는데, 최근 공해문제가 대두되자 창문 등 개구부를 통한 소음방출을 억제하기 위하여 가급적 목재창을 샷시창 등으로 바꾸어 틈을 감소시키거나 이중창으로 하는 등 대책을 강구하고 있다.



〈그림 6〉 공장 지붕을 통한 인근 아파트로의 소음전달 사례

또한, 창문 유리 두께는 외벽의 차음량과 같은 정도의 것을 선정할 필요가 있으며, 그 참고를 위해 유리창의 차음량(투과손실)을 〈표 2〉에 나타내었다.

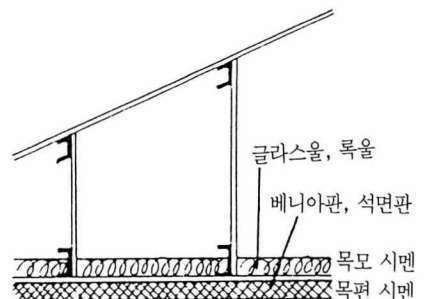
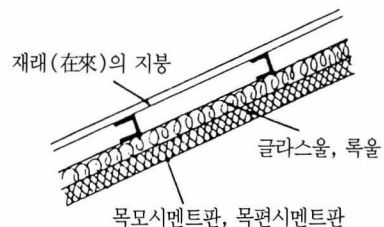
마. 지붕의 처리

지붕은 소음대책을 세울 때 소홀하기 쉬운 부분으로서 많은 공장 건물의 지붕은 중량을 가볍게 하려는 의도에서 합석, 스텐트 등 비교적 경량재료를 사용하고 있어서 외벽을 아무리 차음성을 높인다 하더라도 음은 차음성이 약한 부분, 즉 천정 지붕 등으로 많은 음이 누출되어 근처의 고층 아파트 등에 영향을 주게 된다(〈그림 6〉 참조).

따라서 지붕을 보수하거나 천정을 만들 때는 〈그림 7〉과 같은 사례를 이용하면 좋다.

바. 외벽 내면의 흡음처리

건물 내에서 발생한 소음은 천정 및 벽면과 바닥 등에 입사한다. 콘크리트 등 평활한 표면재질에 음이 입사되면 대부분 음이 반사되나 공장 건물은 여러가지 복합재료로 구성되어 일부 흡음특성을 지니므로 전부 반사되지는 않는다. 일반적으로 건물 내에서 발생한 소음은 여러 곳에 입사하여 다시 반사되므로 이러한 반사음이 합성되어 소



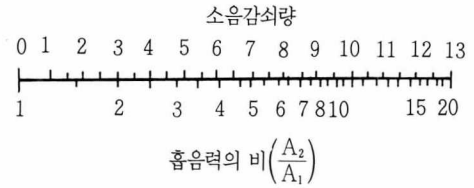
〈그림 7〉 지붕의 차음공법 사례

음레벨은 높아진다. 따라서 건물의 소음방지 대책을 세울 때 벽면에 흡음처리를 하여 반사음을 감소시킴으로서 실내의 음압레벨 상승을 방지하는 것이 중요하다.

한 사례로서 흡음처리 효과로서 실내흡음력을 10배로 증가시키면 실내음압레벨은 10dB로 낮아진다. 그러나 실제로 일반 공장 건물에서 실내흡음력을 10배 증가시킨다는 것은 거의 불가능하다. 즉 유리창 및 바닥, 기계 등의 표면에 흡음처리한다는 것은 불가능하기 때문에 건물 구성재료 자체의 흡음력을 충분히 고려하여도 기존의 수 배의 흡음력을 증가시키는 것은 현실적으로 힘들며, 대체로 3배 정도가 한계로 알려져 있다.

이와 같이 흡음율이 낮은 재료, 즉 반사율이 큰 재료로 구성되고 실내 공간이 큰 옥내일수록 흡음율이 높은 재료와 흡음구조를 사용, 흡음처리해 주면 실내 감음량을 크게 할 수 있다.

이 감음량을 구할 때 흡음처리 전과 후의 흡음력 비, 즉 A_2/A_1 의 값을 알고 있으면 <그림 8>과 같은 대비표를 이용하여 용이하게 구할 수가 있다.



<그림 8> 흡음처리에 의한 소음감쇠량 대비표

4. 맺는 말

지금까지 공장 건물 소음의 실제와 대책을 건물 구조의 차음공법 등의 일반적 사례를 들어 정리해 보았다. 이번에 정리하여 본 사례는 건축음향적 측면에서 기본적으로 중요하고도 중요한 개념들로서 날로 증가하는 환경 소음문제의 보다 경제적이고 효율적인 대책을 위해서 필요하다고 생각된다. 아울러 당 연구소의 음향시험시설 도입과 함께 건물 차음구조 및 부재에 대한 많은 시험이 가능하게 되었고 주요 연구용역의 실제적 실험을 통한 데이터가 축적되어 감에 따라, 차후 건물구조 및 재료에 대한 차음공법 등 실용적 자료들이 제공되리라 본다. (㉞)

'96 화재·소방학회 학술발표회 개최

(사)한국화재·소방학회(회장 이운용)는 96년 11월 12일 한국과학기술 총연합회관에서 화재/과학(물리화학) 및 건물/지역화재 등 5개 연구주제에 대한 발표자를 신청받아 학술발표회를 개최한다.

이번 학술발표회 연구내용의 과제는 ① 화재/과학(물리화학) ② 건물/지역화재 ③ 산업화재/위험성 평가 ④ 종합기술/시스템 기술 ⑤ 기업 소개 등이다.

동 학회에서는 연구 주제 및 발표자에 대한 신청을 9월 20일부터 10월 19일까지 1개월간 학회 사무국에서 접수를 받으며, 신청자격은 학회 또는 회원의 공동 연구자에 한한다.

한편, 학회에서는 일본건축연구소 연소실장 Hasemi와 중국과학기술대학 열화학기술대학 열화재안전공학연구소 교수 Fan Weicheng씨를 초청, 연구 강연도 갖는다.

이 행사는 내무부, 한국화재보험협회, 한국소방안전협회, 한국소방검정공사의 학술단체에서 후원한다.

*문의 및 접수처 : (사)한국화재·소방학회 사무국

(우)135-703 서울 강남구 역삼동 635-46

한국과학기술회관 906호

전화 : 02)555-2450, FAX : 02)3453-5855