

# 압전세라믹 제조 사업장의 납 노출 수준 저감 등 작업환경개선 사례

대한산업보건협회 충북산업보건센터 / 임 성 근

## 1. 사업장 선정 배경

본 사업장은 초음파를 발생시키는 압전세라믹과 이를 이용한 세척기, 센서, 용착기 및 분산기 등 각종 응용제품으로 그 기술력을 인정받고 있다.

초음파를 이용한 이들 제품에서 진동자, 특히 압전소자가 그 핵심 기술이라 하겠다. 하지만 압전소자는 그 생산 과정에서 각종 금속 분말원료가 사용되고, 이들 중에서 중금속인 일산화납(PbO)의 사용 비중이 높은 상황이다.

납은 인체에 조혈기능, 신경/근육계 및 신장 등과 태아에 영향을 미친다. 납에 대한 노출지표로 여러 가지 중 '혈중납'이 가장 안정된 지표로 인정받고 있는데, 독성학적으로는 혈중 납농도가 30 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ (임신부의 혈중납이 태반의 방어막을 통과해 태아에게 영향을 미치지 않도록 하는 수준) 이하로 유지하는 것이 적절하나, 기술적·경제적인 면에서 이 수준을 유지하기 어렵기 때문에 혈중

납농도를 40 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 로 정하고 있으며, 이 수준이 공기중 납농도로 노출기준(또는 허용농도) 0.05 $\text{mg}/\text{m}^3$ 에 해당한다.

2006년 하반기(10월) 및 2007년 2월에 실시된 작업환경측정 결과 납의 작업장 공기중 농도가 연속적으로 노출기준 0.05 $\text{mg}/\text{m}^3$ 의 2배 이상 초과하는 것으로 평가되었으며, 2007년 2월에 실시된 특수건강진단에서 수검자간 차이는 있으나 혈중납 최고치가 33.6 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 로 참고기준 40 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ 에 근접해 지는 상황이었다.

하지만 사업장의 규모가 작고 관리자 및 작업자들의 보건업무에 대한 인식부족으로 주기적인 환경평가와 환경개선활동, 작업관리 및 건강관리 등의 업무가 원활하게 진행되기 어려운 실정이었다.

이에 작업환경측정업무를 수행하는 협회에서 사업장과 협의 후 측정요원이 주기적으로 사업장을 방문해 개선 활동을 시작하게 되었다.

## 2. 사업장 개요

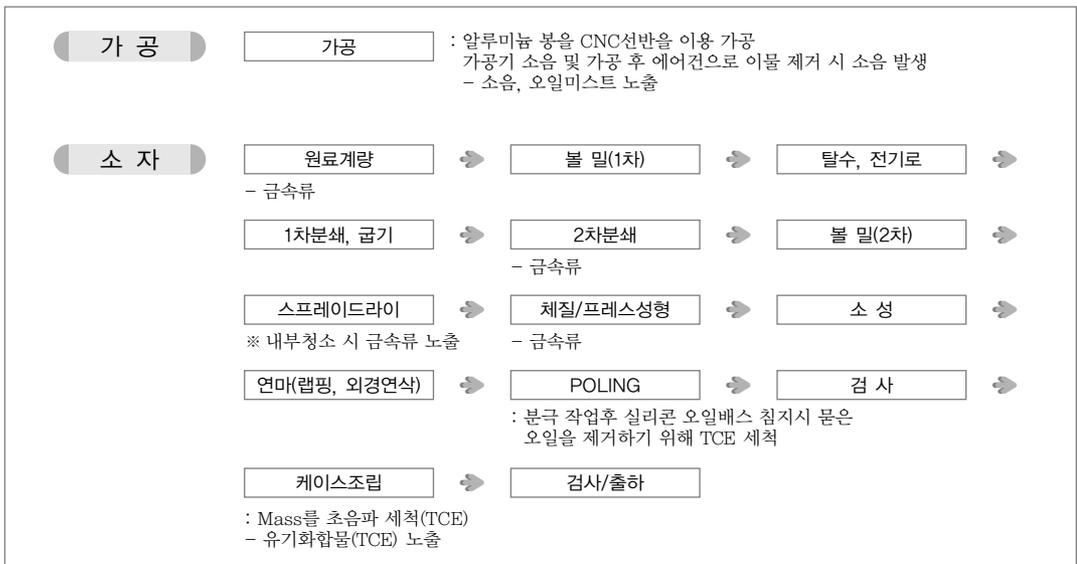
사업장명	(주)○○○○	소재지	충청북도 청원군 내수읍	
업종명(업종코드)	그외 기타 분류 안 된 비금속광물제품 제조업	주요생산품	압전 세라믹 등	
근로자수	총계(남/여)	사무직	생산직	외국인
	10( 7 / 3 )	3( 2 / 1 )	7( 5 / 2 )	( - / - )
보건관리자	-	안전보건 관리책임자	-	
안전관리자	-	노동조합	-	

## 3. 산재 현황

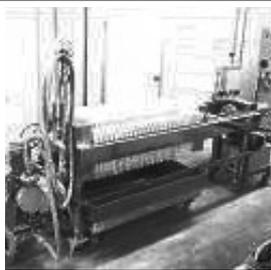
년도별 (최근3년)	근로자수	재해자수(산재승인)				
		계	사망	부상	직업병	작업 관련성질환
'05	10	-	-	-	-	-
'06	12	-	-	-	-	-
'07	11	-	-	-	-	-

## 4. 생산 공정 및 작업환경 실태

### 1) 전체 생산 공정흐름



## 2) 소자공정 작업흐름 및 작업환경 실태

작업 공정		작업내용 및 문제점	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 주 원료(PbO)와 기타 소량씩 첨가되는 원료를 저울로 계량</li> <li>- 15분(생산 1주기)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 분진발생</li> <li>- 현재 국소 배기 장치는 없음</li> </ul>
↓			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 계량한 원료를 밑에 넣어 미분쇄 [1차 볼밀]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 습식작업</li> </ul>
↓			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1차 볼밀이 끝나면 탈수(필터 프레스)시켜, 생성된 케익 덩어리를 전기로에서 건조</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 습식작업</li> </ul>
↓			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건조된 덩어리를 1차 망치로 분쇄해 도가니에 넣고 전기로에서 하소시킴</li> <li>- 하소된 덩어리를 작업대 위에서 다시 망치로 2차 분쇄시킴</li> <li>- 2.5시간(생산 1주기)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 분진발생</li> <li>- 망치 분쇄 작업은 별도 국소배기 장치가 없는 작업대에서 실시</li> </ul>
↓			

작업 공정	작업내용 및 문제점	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 망치로 2차 분쇄된 입자를 볼밀에 넣어 2차 미분쇄 시킴 [2차 볼밀]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 습식작업</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2차 볼밀 된 액을 열풍 건조 스프레이 드라이어 내부에서 분사/건조시켜 미립으로 만들</li> <li>- 10분(생산 1주기)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 분진발생</li> <li>- 스프레이드라이어 내부를 청소할 경우 설비내부에 들어감</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 스프레이 드라이어에서 얻은 과립을 체로 쳐 다음공정인 프레스작업에 적합하도록 준비</li> <li>- 30분(생산 1주기)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 분진발생</li> <li>- 발생하는 분진을 제거하기 위해 이동식 집진장치를 활용 중</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 체질한 분말을 프레스 성형하기 위해 프레스 상부의 소형 호파에 투입</li> <li>- 2분(생산 1주기)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 분진발생</li> </ul>

작업 공정	작업내용 및 문제점
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 프레스로 압전소자 성형 및 이동용 쟁반에 정리</li> <li>- 3시간(생산 1주기)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 분진발생</li> <li>- 많은 양은 아니지만 정리 시 분진 발생</li> <li>- 국소배기 장치 없음</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 성형된 소자를 전기로에 넣어 (쌓아) 소성</li> <li>- 1시간(1주기)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 분진발생 (소량 발생)</li> <li>- 단순적재</li> <li>- 소성로에서 발생하는 열, 흠 등은 배기 덕트로 배출</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전기로에서 소성이 끝난 소자의 두께 및 외경 사이즈를 맞추기 위해 습식연마, 물 세척</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 습식작업</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연마/세척이 끝난 소자는 건조시켜 기타 부속품과 조립해 납품이 가능한 진동자로 완성됨</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 단순 조립</li> </ul>

### 3) 작업환경측정 결과

공정	작업내용	인원	유해인자	기준치	측정치			
					'06. 10	'07. 02	'07. 08	'07. 11
가공	CNC가공	1	소음	90dB(A)	83.2	-	84.1	-
			오일미스트	5mg/m <sup>3</sup>	0.6826	-	0.22	-
소자제조	소자제조	2	연	0.05mg/m <sup>3</sup>	1.5038 ~1.6285	0.0071 ~0.1894	0.0837 ~0.1026	0.0218 ~0.0491
			이산화티타늄	10mg/m <sup>3</sup>	0.1134 ~0.1643	-	불검출 ~0.0093	-
			삼산화안티몬	0.5mg/m <sup>3</sup>	0.0560 ~0.0618	-	불검출	-
			망간	5mg/m <sup>3</sup>	0.0046 ~0.0120	-	0.0004 ~0.0005	-
폴리싱	폴리싱, 세척	1	T.C.E	50ppm	5.309	-	2.698	-
조립	초음파세척	1	T.C.E	50ppm	5.288	-	불검출	-

### 4) 건강진단 실시현황 및 결과

년도별 (최근3년)	근로자수	수진자수	직업병 유소건자		요관찰자	
			직업병(D <sub>1</sub> )	일반병(D <sub>2</sub> )	직업병(C <sub>1</sub> )	일반병(C <sub>2</sub> )
'05	10	6	-	-	-	-
'06	12	6	-	-	-	-
'07	10	6	-	-	-	-

### 5) 특수건강진단 중 혈중납 결과

연도	결과	혈중납 결과		참고범위
	수검인원	최저치	최고치	
'05/11	2	9.5	32.9	0~40µg/100ml
'06/12	1	10.1	-	
'07/02	2	26.1	33.6	
'07/09	2	4.8	8.3	
'07/12	1	30.1	-	

※ 소자제조공정은 젊은 연령대의 병역특례 및 단기 아르바이트 직원을 채용해 소자 공정에 1년 이상 장기간 근무하는 직원이 없어, 동일 작업자에 대한 혈중납 농도 변화 추이를 파악할 수 없는 상태임

### 5. 화학물질 취급현황

취급 공정	화학물질명	월사용량 (kg/L)	MSDS 이행(O,X)			비 고
			작성	비치	교육	
가 공	금속가공유	10kg	O	O	X	
소자제조	산화납(PbO)	130kg	O	O	X	
	이산화티타늄	20kg	O	O	X	
	삼산화안티몬	2kg	O	O	X	
	산화망간	0.5kg	O	O	X	
	지르코늄화합물	30kg	O	O	X	
폴리싱	실리콘유	30kg	O	O	X	
	은페이스트	0.5kg	O	O	X	
	T.C.E	5L	O	O	X	
조 립	에탄올	20kg	O	O	X	
	T.C.E	15L	O	O	X	
기타(전기실)	실납	0.1kg	O	O	X	

### 6. 국소배기장치 설치 현황

공정	작업 내용	후드					덕트	송풍기			공기 정화 장치
		후드 개수	설치 위치	형식	평균 제어 풍속	법적 제어 풍속		풍량	풍압	동력	
폴리싱	T.C.E 세척	3	세척대	외부식 상방형	-	1.0	양호	확인불가	확인불가	확인불가	없음
조립	T.C.E 세척	1	세척대	포위형	0.55	0.4	양호	50m <sup>3</sup> /min	-	-	없음
소자 제조	소자 생산	미설치	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## 7. 작업환경 실태(문제점) 및 개선에 대한 중점관리사항 결정

### 1) 작업환경 실태(문제점)

현장 소자제조과정 전 과정 조사로 파악된 주요 금속분진의 발생/노출작업은 다음과 같은 사항들로 파악되었다.

- ▷원료실에서 소량씩 첨가되는 원료를 정밀 저울로 계량하는 작업 시 소량의 분진이 발생되나 별도 국소배기시설은 설치되지 않음
- ▷건조 후, 소성 후에 원료를 나무망치로 분쇄하는 작업에서 금속분진이 다량 발생하나 별도 국소배기장치가 설치되어 있지 않음
- ▷스프레이 드라이어로 미립을 만드는 작업이 끝나면, 드라이어 내벽에 붙은 소량의 원료를 긁게 등을 이용 청소하는 작업 시 분진이 발생되고 있음
- ▷스프레이 드라이어에서 얻은 미립을 체로 치는 작업 시 분진 비산이 많음 작업간 이

- 동형 진공청소기 덕트를 체질 밑에 걸어놓고 발생하는 분진을 제거하고 있음
- ▷체질로 선별된 미립은 프레스를 이용해 소자를 찍어내기 위해 프레스 위 소형 호퍼에 투입하는 작업과 성형된 소자를 검사하고 쟁반에 정리하는 과정에서 소량의 분진이 발생됨
- ▷성형하여 쟁반에 정리한 소자를 소성로 가마에 차곡차곡 쌓는 작업 시 미량의 분진(쟁반 및 소자에 묻은 분진 등)이 발생됨
- ▷하절기에는 소성로의 열기로 작업장 내부 온도가 높아져 선풍기를 사용하는 경우가 있음 이는 작업장내 강한 기류를 발생시켜 비산된 분진의 부유시간을 늘리고, 퇴적 분진의 재 비산을 야기함
- ▷개인보호구 관리의 소홀
- ▷작업복 관리 및 개인 위생관리(작업간 흡연, 음식물 섭취전 관리 등)의 필요
- ▷기타 교육의 부재로 사용되는 각종 화학물질에 대한 위험성 인식 부족



[호흡보호구, 작업복 위생관리 소홀과 작업장내 선풍기 사용]

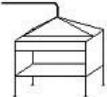


## 8. 업무 계획 및 진행

### 1) 업무 진행 계획

일 정	내 용
8월	개선활동의 필요성에 대한 사업장과 협의 작업환경측정 근로 건강진단 대상인원 파악 및 건강진단 실시 개선지원사업 신청
9월	측정결과 및 건강진단 결과 설명 국소배기장치 설치 안내 집체 보건교육 실시
10월~11월	국소배기장치 설치(분쇄, 체질 작업) 및 성능평가 작업환경측정(국소배기장치 설치 후)
12월	지도업무에 대한 평가 및 지속적인 보안을 위한 향후 계획 수립

## 2) 업무 진행

일 정	실 시 내 용	주요 안점
8월	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 한국산업안전공단 직업환경개선 지원사업 신청 준비</li> <li>- 8/3 ~ 8/13 직업환경측정실시</li> <li>- 8/13 국소배기장치 설치 관련한 미팅</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국소배기장치 설치에 대한 공단 지원신청, 관련사항 검토</li> <li>- 건강진단 실시 지도</li> </ul>
9월	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 9/14 건강진단(일반+특수) 실시</li> <li>- 9/28 측정결과 설명 및 보건교육 실시 (MSDS, 납에 의한 건강장해 예방)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 공단지원사업 수혜 불가 확인</li> <li>- 국소배기장치와 관련해 외부 시설업체에 설치 비용 견적</li> <li>※ 기존 국소배기라인에 가지 덕트를 연결하고 부스식 작업대를 설계, 제작 시 540만원 견적 비용 산정</li> </ul>
10월	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국소배기장치 설치건 검토</li> <li>- 10/23~10/28 국소배기장치 설치공사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 비용절감을 위해 후드 설계를 자체적으로 하고, 인근 업체에 제작 및 설치 공사만 의뢰하는 방향으로 검토, 진행</li> <li>- 설치할 부스식 구조 및 크기 결정</li> <li>※ 후드 내에서 망치 분쇄 및 체질작업이 이루어 질 수 있도록 하되, 현재 기 설치된 국소배기의 활용가능한 송풍량(50m³/min)으로 후드 개구면에서(여유로 송풍량의 80% 성능 수준에서) 제어 풍속 0.7m/sec을 만족할 수 있고 가능한 크게 할 수 있는 개구면적 계산 및 도안</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제작업체에 견적 의뢰해 320만원에 계약</li> </ul>
11월	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 11/23 직업환경측정 및 국소 배기장치 자체검사 실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 망치분쇄와 체질을 새로 제작한 국소배기 부스 내에서 실시하여 직업환경농도 평가</li> <li>- 설치한 국소배기장치가 적정제어풍속 0.7m/sec 이상의 제어속도(성능)를 유지하고 있음</li> </ul>
12월	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 12/10 측정결과 제공 및 설명</li> <li>- 12/28 특수건강진단 실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국소배기장치의 공기정화장치 설치건</li> <li>- 체질한 분말을 프레스 상부의 미니 호파에 투입(올리는)하는 작업과 관련하여 불안정한 발판과 자세에서 중량물을 드는 상황과, 분진이 발생 되는 문제의 개선에 대한 방법 협의</li> </ul>

## 9. 개선효과

부스식의 국소배기장치 설치	
<p>개선 전</p> 	<p>현 황</p> <p>건조된 덩어리를 1차 망치로 분쇄하거나, 전기로에서 하소된 덩어리를 작업대 위에서 다시 망치로 2차 분쇄 시 분진 발생</p>
<p>개선 후</p> 	<p>현 황</p> <p>분쇄작업대에 국소배기 후드 설치 설치된 국소배기는 발연관 및 열선풍속계를 이용한 제어풍속 측정결과 개구면 최소 풍속이 0.72m/sec 이상으로 양호함</p>

분쇄 및 체질작업 방법의 개선	
<p>개선 전</p> 	<p>현 황</p> <p>분쇄와 체질작업이 별도의 국소배기장치가 없는 작업대 위 및 작업장 바닥에서 실시됨</p>
<p>개선 후</p> 	<p>현 황</p> <p>분쇄 및 체질작업에 필요한 도구, 용기를 포위형 부스 안에 비치하고 작업자 손만 넣어 작업이 가능하도록 개선</p>

작업환경측정결과의 변화											
개선 전	개선 후										
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2006년 10월:노출기준의 33 배 초과</li> <li>• 2007년 2월:노출기준의 3.8 배 초과</li> </ul>	<table border="1"> <caption>작업환경측정결과 (2007년)</caption> <thead> <tr> <th>측정 일자</th> <th>노출량</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>07년 2월</td> <td>0.1894</td> </tr> <tr> <td>07년 8월</td> <td>0.1026</td> </tr> <tr> <td>07년 11월</td> <td>0.0491</td> </tr> <tr> <td>노출기준</td> <td>~0.05</td> </tr> </tbody> </table>	측정 일자	노출량	07년 2월	0.1894	07년 8월	0.1026	07년 11월	0.0491	노출기준	~0.05
측정 일자	노출량										
07년 2월	0.1894										
07년 8월	0.1026										
07년 11월	0.0491										
노출기준	~0.05										
2006년 하반기에 실시된 납의 작업자 개인 노출 수준이 노출기준치를 연속적으로 2배 이상 초과	2007년 들어 지속적인 작업자 교육과 환경개선 활동으로 큰 폭으로 낮아져 11월에 실시된 측정에서 노출기준 미만으로 평가됨										

사업주 및 작업자 인식 변화 등
개선(활동) 후
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업주 및 근로자의 의식변화 현장에서 취급하는 납을 포함한 각종 유해인자의 유해성에 대해 인식과 관심의 폭을 넓히는 계기가 되었고, 특히 작업자들에게는 스스로 유해인자 노출상황을 줄이고, 피하려는 실천의 계기 마련함</li> <li>• 협회와 사업장간의 상호 신뢰 및 친밀감 강화로, 향후 2008에는 작업환경과 관련한 지속적인 개선활동 전개와 더불어 '보건관리 국고지원사업'을 신청해 한층 더 안정적이고 체계적인 서비스를 희망 함</li> </ul>

## 10. 향후 개선방향

2007년 진행된 개선활동 이후 분쇄 작업과 체질작업에서 개선이 이루어져 작업환경

측정치가 노출기준 이내로 개선되었으나 아직 노출기준에 근접한 수준이므로, 공정별로 재평가해 2008년 개선활동의 우선순위 선정

[우선순위 선정]

공 정	작업시간(시간)	발생양태*	총 점	작업자 의견*	우선순위
원료 계량	1 (0.25)	2	2	++	5
1차 불밀	0	-	0		
탈수(필터프레스)	0	-	0		
전기로 건조	0	-	0		
분쇄	5(2.50)	1	5	++	3
2차 불밀	0	-	0		
스프레이드라이	1(0.17)	5	5	+++	2
체질(시빙)	2(0.50)	1	2	++	
프레스 성형	5(3.00)	2	10	++++	1
전기로 소성	3(1.00)	1	3	+	4
연마, 세척	0	-	0		
조립	0	-	0		
발생시간* 등급(시간)	1 ( ~ 0.5) 2 (0.5 ~ 1.0) 3 (1.0 ~ 1.5) 4 (1.5 ~ 2.0) 5 (2.0 ~ )	발생양태* 등급(정도)	1 (미약) 2 (조금) 3 (보통) 4 (많이) 5 (매우 많이)	작업자 의견* (개선필요에 대한 의견)	+ ++ +++ ++++ +++++

- 계량 작업간 발생하는 분진을 줄이기 위한 방안으로 계량용 저울에 국소배기장치 설치(포위형)
- 국소배기 부스 내에서 체질작업을 실시 후 성형프레스 상부의 미니 호파에 투입하는 작업 시 반복적인 분취나 들기가 없도록 방법을 개선 또는 보완
- 소자 성형부에 국소배기장치 연결하는 방안(성형 직후 소자에 묻은 분말을 제거하는 방안과 성형 레일부에 밀려나오는 분진 제거 목적)

- 국소배기장치에 분진여과용 정화장치 설치
- 소성로에서 발생하는 열기를 현재 배기 덕트와 벽면 팬 외의 방법으로 보완하는 방안 검토(현재 하절기에는 이와 관련하여 선풍기/냉풍기를 사용)
- 개인 위생관리를 위해 사업장내 샤워시설 및 세탁시설 설치
- 소규모사업장 보건관리 기술지원사업의 지속적인 보건서비스 수혜를 위한 신청 

[ 향후 개선해야 할 공정 및 작업 ]	
현 황	문 제 점
	<p>프레스 성형을 위해 분말을 프레스 위 소형 호퍼에 올리는 작업</p>
	<p>프레스에서 성형된 소자 정리, 성형기 주변 분말 청소</p>
	<p>스프레이 드라이어 내부를 청소</p>
	<p>옥외 국소배기장치의 공기정화장치 미설치</p>
	<p>소성 시 발생하는 열, 흠을 효과적으로 제거하기 위해 배기 덕트 및 벽면 팬 보완 요</p>