

## 산업환기시설의 설치실태 및 개선방안

### Implementation and innovation of industrial ventilation facilities

이 동 호  
D. H. Rie

인천대학교 산업안전공학과



- 1959년생
- 열 및 물질전달을 전공했으며 열펌프 및 공조관련 유동의 가시화에 관심을 가지고 있다.

#### 1. 머리말

우리나라는 과거 '60~'70년대의 공업화 과정을 거치면서 고도의 경제성장을 가져왔으나, 산업재해율은 외국에 비하여 높은 편이다. 일반 산업재해와는 달리 직업병의 유형은 유해요인에 노출 후 5~20년 경과된 후에야 비로서 발병되는 특성을 나타내므로 작업현장에서의 직업병 발생요인을 파악하기에는 매우 어려운 점을 들 수 있다. 이러한 직업병의 예방차원에서 지금까지 심각히 고려대상이 되지 않은 국소배기 및 지하공간의 환기는 일상적으로 작업장내에서 생활하는 근로자 및 지하공간을 이용하는 국민의 건강을 확보할 수 있는 방향으로 설정되고 진행되어야 할 것이다. 환기문제의 시급한 개선은 일반적인 사업장내에서 뿐만 아니라 사회간접자본 확충의 일환으로 국내 고속도로망 및 도시교통망의 신·증설 및 터널개소의 증가로 인한 터널내 매연 및 일산화탄소 등의 발생량 증가추세로 터널환기에서도 많은 관심과 연구가 진행되어야 한다. 또한, 지하공간 내의 상가 및 지하철 이용자의 쾌적한 환경을 구축하기 위해 지하시설 내의 환기 부족에 기인하는 공기오염, 하절기의 고온다습으로 인한 불쾌감 등은 지하공간내의 환기분야에서

시급히 해결해야 할 과제들이다. 이러한 작업장 및 지하공간 내의 쾌적한 환경구축은 OECD가입으로 주변환경의 개선이 무엇보다도 요구되는 현시점에서 필히 관심을 갖고 개선되어야 할 과제라 해도 과언은 아닐것이다.

사업장 내의 국소배기장치와 관련하여 산업보건사업의 활동은 건강관리를 위한 의학적 조치 및 작업환경관리를 목적으로 하는 산업위생학적 조치로 나누어져 있으며, 산업위생학적 조치로 과거에는 작업환경측정·평가에만 주력하였으며 환경개선에 중점을 둔 공학적 개선대책의 마련에는 현재까지 극히 미약한 실정이다. 따라서 근로자보호를 위한 전문인력의 부재, 노조·사업자·정부 간의 인식부족으로 인한 전문성 결여로 산업환기설비 본연의 제기능을 발휘하지 못하고서는 산업체 근로자의 건강을 보장하기가 매우 어렵다. 따라서, 어떠한 요소가 산업환기 측면에서 문제점인가를 파악하여 개선해 나가지 않고서는 현실적인 문제점을 해결하기는 불가능하다고 사료되는 바, 산업환기설비의 설치실태 현황, 설비 전문업체의 현황 및 국소배기장치 성능시험법으로 간단히 사용할 수 있는 유체측정법에 대해 알아보기로 한다.

## 2. 산업환기시설의 특성

### 2.1 산업환기시설system의 구성

산업환기system은 일반적으로 ① 유해물질 포집을 위한 후드, ② 포집된 유해물질을 처리장소까지 이송하기 위한 덕트, ③ 송풍기, ④ 배기가스의 안전한 처리를 위한 공기정화장치, ⑤ 처리가스를 배기하기 위한 배기구로 구성된다.

### 2.2 산업환기시설system의 설치 수준

국내 산업환기시설system은 개념의 위에서 언급한 환기시설system 개념의 미정립으로 전체의 환기시설 system을 총체적으로 고려하지 않고 각기 분리된 별개의 시설로 생각하는 경향이 있어 개념상 많은 혼란이 야기되고 있다. 따라서, 환기시설system의 구성요소 중 1부분의 설계상 잘못으로 설치완료 후 system 전체성능을 떨어뜨리는 문제점으로 부터 다음의 설치수준을 기본적으로 따라야 한다.

- (1) 작업환경을 정밀측정, 분석 후, 설치유무의 판단
- (2) 설치필요성이 있을 경우 근로자의 작업방법 및 원자재의 이동 형태등을 고려한 설비형식의 선정.

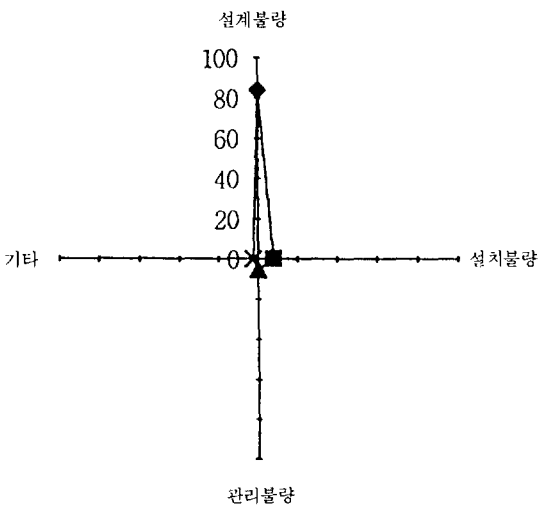


그림 1 설계, 시공 및 관리상의 문제점

- (3) 사용물질의 물리 화학적 특성과 독성정도를 평가한 후드의 포착속도 등 설계값 산정.
- (4) 공학적 계산에 의거 배풍량 결정. 덕트, 송풍기 및 공기정화장치의 형식, 규격 및 재질 결정.
- (5) 제작 및 설치시 설계자의 의도대로 설계면에 충실하게 시공하였는지에 대한 검증.

## 3. 국소배기장치의 설치현황 및 문제점

### 3.1 후드 및 덕트의 설치실태

- ① 실태조사 : 산업안전공단(1991년)
- ② 실태조사 대상 : 전국의 제조업체 748개소
- ③ 조사대상 설치개소 : 총 5,164개소(업체당 평균 약 7개)
- ④ 작업장소별 : 분진작업장소 56.6%, 유기용제 작업장소 16.1%, 특정화학물질작업장소 11.2%, 중금속작업장소 7.5%, 기타 8.6%.
- ⑤ 후드 형태별 : 외부식 후드 49.6%, 포위식 후드 21.6%, 레시바식 후드 20.9%, 캐노피식 후드 5.2%, 기타 2.8%.
- ⑥ 포착속도(Capture Velocity : 후드의 유해물질 포집효율을 나타냄) : 전체의 54.2%

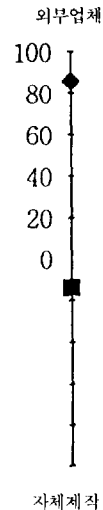


그림 2 제작업체의 현황

가 기준을 만족함.

- ⑦ 원인 : 설계시 적정 배풍량 미고려 > 사후관리 미숙(댐퍼 조정 부적절, 덕트의 파손으로 인한 누기, 공기정화장치 관리불량으로 인한 압력손실) > 근로자의 교육미비로 인한 미사용.(그림 1)
- ⑧ 폭로 : 동절기 > 하절기(국소배기장치 가동시는 작업장내의 음압발생을 방지하기 위해 급기설비설치 및 급기시설의 냉·난방화 요구)

### 3.2 국소배기장치 제작업체의 실태

- ① 제작 : 외부업체 85.9%(전체의 약 28.6% : 철공소와 같은 비전문 외부 제작업체 제작), 자체제작 14.1%(그림 2)
- ② 문제점 : 전체의 42.7%가 전문인력 부재상황에서 제작, 설치됨에 따라 설계(그림 3)
  - 제작시 참여업체의 자격요건 제한 및 전문업체 지도육성이 시급과제로 대두되고 있다.

## 4. 국소배기장치 전문 제작업체의 실태 및 문제점

### 4.1 대기오염방지 시설업체 현황

국소배기장치 설계 및 시공에 대한 전문성이 있다고 생각되는 업체로서는 대기환경보전법 제 44조에 의한 환경처의 대기오염방지시설업 등록업체를 들 수 있다. '92년 기준 환경부의 대기오염방지시설업체는 425개소이며, 등록기준은 다음 표 1과 같다.

### 4.2 국소배기장치 전문 업체의 실태 및 문제점

설문조사 대상 : 환경처에 대기오염방지시설업으로 등록된 425개 업체

설문응답 : 113개 응답업체

- ① 문제점 : (1) 전문 대기오염방지 시설업체에서도 근로자 건강보호의 관점에서 노동부 유해물질 허용기준을 충족시키기 위한 국소배기시설의 설계·시공이 아니라 환경처 배출허용 기준을 준수하기 위한 업무를

표 1 대기오염방지 시설업 등록기준(환경부)

자본금 또는 재산	기술 능력	시설 및 장비	
		제도설비 및 시공장치	사무실
법인 : 자본금 2억원이상	1. 대기관리기술사 1인이상 2. 대기환경기사 1급 1인이상 3. 다음 각 항목 중 2항목 이상 해당자 각 1인이상	1. 제도설비 : 2조이상 2. 시공장비 가. 용접기(전기, 산소, 알곤) : 각 1대이상 나. 압축기 : 5마력 이상 1대 이상 다. 전압변환기 : 5kw이상 1대 이상 라. 절단기(컷터기) : 3마력 이상 1대 이상 마. 드릴(햄머, 핸드) : 각 1대이상 바. 연마기 : 100mm이상 1대 이상 사. 체인브록 : 1.5톤 이상 1대 이상 아. 파이프머신 : 3인치 이상 1대 이상	50㎡
개인 : 재산평가액 4억원 이상	가. 일반기계기사 1급, 건설기계기사 1급 또는 공조냉동기계기사 1급 나. 화공기사 1급 또는 공업화학기사 1급 다. 전기기사 1급, 전기공사기사 1급, 전기기기기능장 또는 전기공사기능장 라. 산업위생관리기사 1급		

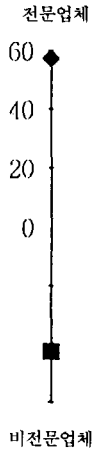


그림 3 전문업체의 제작 참여

수행. (2) 정부주도로 전문제작업체 대상으로 근로자 건강보호측면의 전문기술 자료의 보급 및 전문기술교육의 전무를 들수 있다.(그림 4)

5. 산업환기장치의 적합한 설치를 위한 해결 방안

산업환기의 약 절반이 비전문성가에 의해 설계·시공되고 있으며, 비교적 전문성이 있는 환경부 대기오염방지시설업체에서도 근로자 건강보호측면의 고려가 이루어지지 않아 근로자 직업병 예방 차원에 미달되고 있는 실정을 감안하여 산업환기장치가 제대로 설계 및 설치되고 사후관리가 적절히 이루어지기 위한 방안으로 다음사항을 들수 있다.(그림 5)

- (1) 전문업체의 지원 육성
- (2) 국소배기장치 설계 시술 검토제도의 도입
- (3) 시설의 사후관리를 들수 있다.

5.1 전문업체의 지원 육성방안을 위한 대책

- (1) 전문업체 등록제
- (2) 기술자료 개발·보급
  - ① 작업환경의 측정기준 및 기법
  - ② 유해물질 허용농도의 적용 및 평가기준
  - ③ 산업환기시설의 시설(설계·시공)기준

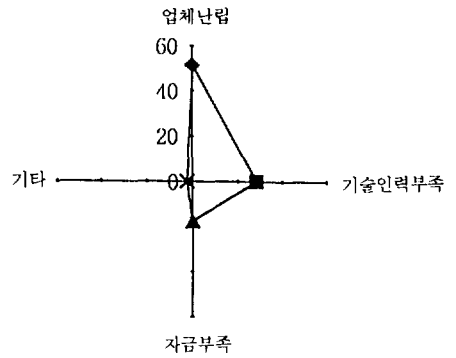


그림 4 업계의 현안과제

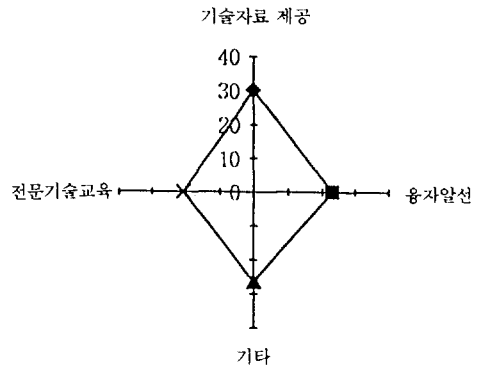


그림 5 작업환경개선능력 제고방안

- ④ 산업환기시설의 유지관리 지침
- (3) 전문기술교육
- ① 유해요인별 근로자 건강관리
  - ② 작업환경측정 및 평가기법
  - ③ 산업환기시설 설계 시공기법

5.2 국소배기시설 설계기술검토제도의 도입 방안

현재 설치된 국소배기시설의 효율이 낮은 문제점으로서 비전문업체에서의 설계 등 설계불량이 전체의 84.1%에 이르고 있는 실정이므로 이의 개선을 위하여서는 설계에 대한 기술검토가 필요하다. 따라서, 국소배기시설의 설치전에 시설의 올바른 설계여부를 검토하여 개선시키기 위한 국소배기시설의 설계기술검토제도의 도입이 요망된다.

(1) 설치기술검토 절차



(2) 전문업체 육성(그림 6)

- ① 등록된 전문업체에서의 설계·시공을 의무화하여 전문업체의 육성을 유도
- ② 산업재해 예방 시설자금의 융자지원(한국 산업안전공단 시행 중)

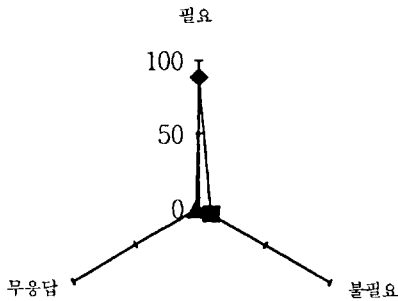


그림 6 작업환경시설업체 등록제 필요성

5.3 시설의 사후관리방안

설치된 시설의 성능을 지속적으로 유지하고 사용년한을 늘이기 위하여는 적절한 사후관리가 지속적으로 유지되어야 함은 물론, 근로자가 사용의 필요성을 충분히 인지하고 지속적으로 사용가능하도록 다음 방안이 요구된다.(그림 7, 8)

(1) 사업장 자체검사의 활성화

- ① 현행 자체검사제도를 대폭 보장
- ② 자체검사원 양성
- ③ 자체검사기법의 개발

(2) 산업환기시설 사후관리지침 개발 보급

(3) 근로자 및 사업주에 대한 효율적 시설활용을 위한 교육

6. 기업안전보건관리 수준평가제도

기업안전보건관리 수준평가제도 운영에 관한 규정(제정 1996.9.4 예규제 313호)의 산업안전보건법 제4조 규정에 의하여 “기업의 자율적인 안전보건관리기반을 조성”을 유도하고 있다. 따라서, 기업의 안전보건관리수준평가제도 도입에 입각한 제1장 제5조의 안전경영진단으로부터 진단을 받아야 하는 기업안전보건관리수준의 평가항목은 다음과 같다.

- (1) 사업주의 안전보건에 대한 경영의식에 관한 사항

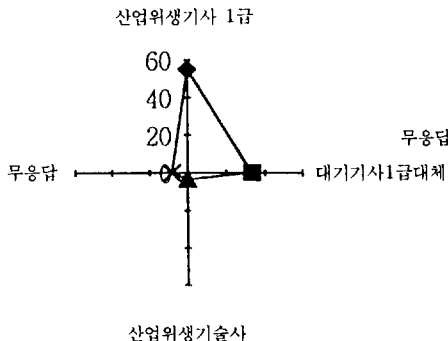


그림 7 등록제실시에 따른 추가기술인력

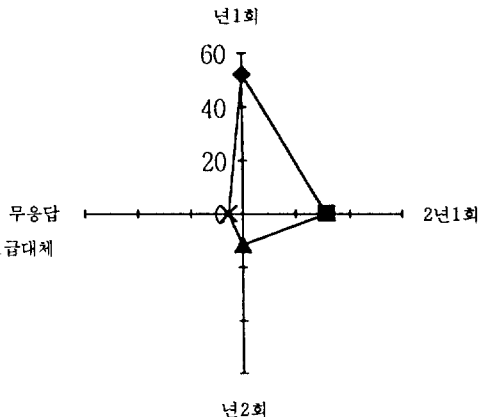


그림 8 전문기술교육의 주기

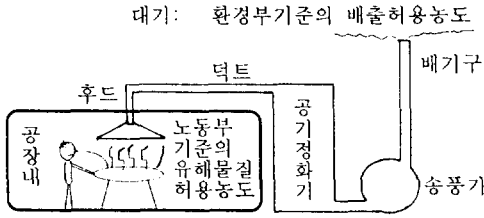


그림 9 근로자 건강보호관점과 환경보호관점의 차이

- (2) 사업주의 재해예방투자 노력에 의한 사항
- (3) 안전보건관리체제 및 전문인력 확보에 관한 사항
- (4) 안전보건관계자 활동에 관한 사항
- (5) 근로자의 안전보건활동 참여에 관한 사항
- (6) 안전보건관리규정 이행에 관한 사항
- (7) 산업안전보건위원회 운영에 관한 사항
- (8) 근로자 안전보건교육 실시에 관한 사항
- (9) 노사의 산업안전보건 법령 준수여부에 관한 사항
- (10) 유해, 위험요인 평가 및 이에 대한 안전보건조치에 관한 사항
- (11) 재해조사실시 및 원인분석에 관한 사항
- (12) 각종 안전보건관련 문서의 기록 등에 관한 사항
- (13) 기계, 기구 및 설비의 유지, 점검, 관리에 관한 사항
- (14) 유해물질 관리에 관한 사항
- (15) 작업환경관리에 관한 사항
- (16) 근로자 건강관리에 관한 사항
- (17) 근로자 복지, 후생에 관한 사항
- (18) 재해발생시 비상조치계획에 관한 사항
- (19) 협력업체의 안전보건 경영지원에 관한 사항
- (20) 안전시설에 관한 사항

7. Laser Light Sheet(LLS)에 의한 유체 거동의 가시화법

국소배기장치는 작업장내에서 발생하는 유해물질을 보다 효율적으로 작업장(외기) 밖으로

배출시키는 목적으로 사용되고 있으며 국소배기 장치의 구성요소인 배기후드부, 분기덕트, 주덕트의 흡인덕트부, 공기청정기(제진, 배기처리장치), 배풍기부 및 토출기의 토출 덕트부로 구성된 전 국소배기system의 종합된 성능으로 평가되어야 한다.

따라서, 각 구성요소부의 특성에 적합한 설계 시공의 확인 및 유해물질 포집 및 비산한계 등을 laser를 이용한 간단한 가시화 실험으로 유체흐름의 특성을 쉽게 파악가능하다. 또한 후드개구면 속도분포의 균일화를 위해 제작된 후드개구면 내의 유체흐름을 파악하기 위한 수단으로 이용가능함과 아울러 유체흐름을 테이퍼관과 배플관의 분배법 및 다수의 테이퍼관 접속에 의한 분배법에 따라 복잡하게 변화하는 부분까지도 가시화하고자 하는 부분을 레이저광이 투과가능한 구조로 제작함으로써 단시간내에 경제적으로 성능시험을 행할수 있는 점 또한 레이저광원을 이용한 유체유동계측의 장점이라 할수 있다. Laser Light Sheet에 의한 유체흐름의 가시화법은 종래의 가시화법과 비교해 화상의 선명도 및 광원의 취급이 용이한 점등으로부터 활용도가 높으며 특히, 밀폐공간 내 또는 국소공간에서의 유체흐름을 파악하기위한 수법으로 널리 이용되고 있다.

7.1 유체가시화를 위한 조명과 traser

LLS는 다음과 같은 성질을 갖는다.

- (1) 2차원 단면만을 절단하므로 두께방향의 중첩이 없으며 traser의 움직임을 명확히 관찰가능하다.
- (2) traser에 의한 산란이외의 산란광의 영향을 차폐시킬수 있다.
- (3) 유체흐름상태를 간단히 이해할수 있다.

종래의 일반적인 방법으로 하로겐램프를 사용하여 가시화광원으로 사용하였을 경우, 충분한 산란강도를 얻지 못하였으므로 가시화 가능한 traser로 연기 및 메타알테히드입자를 사용하였다. 이들 traser는 입자가 매우 미세하므로 다량으로 주입하여 산란광의 강도를 확보함에 따라 미세한 난류의 해석에는 적합하지 못함은 물론 분해능의 저하로 유체유동의 정확한 해석으로는

불가능하였다.

스모크와이어와 같이 국소적으로 난류흐름을 가시화하는 방법이 있으나 난류확산에 의해 traser농도가 급격히 저하하므로 고선명도의 영역을 얻기는 어렵다. 종래의 할로겐램프 광원으로는 전반적으로 유체흐름상태와 국부적인 흐름에 대한 동시 가시화법으로는 적합하지 못하다.

### 7.2 LLS를 광원으로 이용한 가시화 system

Laser광을 광원으로 한 가시화 기술은 레이저 광을 실린더리얼 렌즈(원통형 렌즈) 또는 회전(또는 진동)하는 미러를 이용한 slit(light sheet)를 이용한다. 이 방법은 레이저 빔을 막막상으로 확산시키므로 LLS라 부른다.

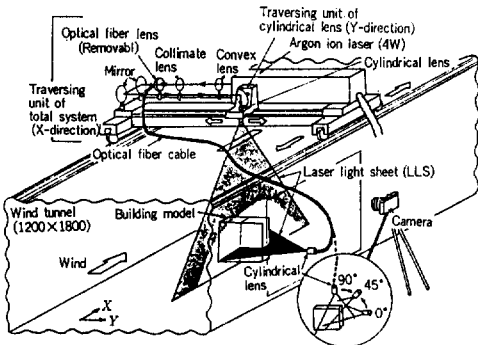


그림 10 LLS 가시화 장치 예

일반 유체의 흐름 및 미세한 난류해석 시 고출력의 레이저 광원과 공기중의 부유(浮遊)미립자를 traser (탄산마그네슘 분말, 직경 1~10 $\mu$ m로 요구되며, traser 미립자 각각의 산란광에 의한 흐름을 가시화하는 점이 LLS의 특징이라 할 수 있다. 따라서, 기체중의 부유입자가 직접가시화되므로 부유미립자는 Lagrange的으로 가시화 해석된다.

표 2 는 LLS와 종래의 할로겐 램프 광원과의 비교를 나타낸다. 그림 10에 LLS를 이용한 풍동내의 옥외 기류의 가시화에 대한 광학system의 개략도를 나타낸다. 광원으로는 4W의 Ar 이온 레이저를 이용하여 ① 수직하향으로 레이저를 투사한 경우 ② 광fiber를 이용하여 수평으로 레이저 광을 투사한 경우에 대해 나타낸다.

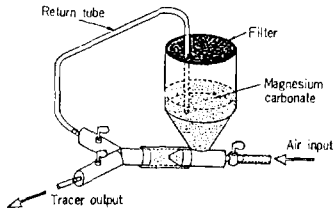
광fiber를 사용한 경우는 1/2의 광출력이 손실되는 단점이 있으나, LLS의 조사각도, 조사위치를 자유롭게 선택가능한 장점을 갖는다.

가시화 traser로서는 탄산마그네슘 등의 급속 미세분말 (5 $\mu$ m)을 사용한다. 공기를 대상으로 하는 가시화는 무엇보다 traser를 정상적으로 정량공급되어야 하므로 그림 11에 나타난 것과 같이 다량 및 소량의 traser 공급장치를 사용함으로써 효과적으로 traser를 공급할 수 있다.

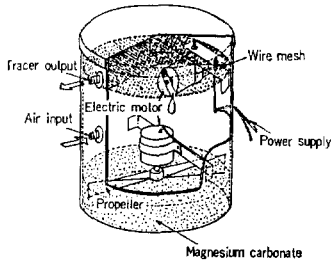
LLS를 이용한 가시화 예로 다음과 같은 기류

표 2 LLS와 종래의 할로겐 광원과의 비교

구 분	L L S	종래의 광원(할로겐 lamp)
1. 광원의 밝기	고출력 laser사용으로 높은 조도의 광을 쉽게 얻을 수 있음.	발열, 광원의 크기등으로 높은 조도 얻기 힘들.
2. traser의 종류와 직경	높은 조도가 얻어지므로 직경 10 $\mu$ m 정도의 미립자 1개당 1개의 산란광을 얻을 수 있음. 비디오 촬영후 난류 미세구조 관찰가능.	충분한 산란광을 얻기 위해서는 Traser 다량공급, 또는 큰입자(메타알데히드)의 Traser사용시 가능, 난류 미세구조 파악은 곤란.
3. light-sheet 작성	laser광을 cylindrical lens로 확산시키는 간단한 광학계로 작성가능 light sheet의 두께 및 퍼짐각도 변화 또한 용이.	광을 beam으로 만들어 렌즈로 확산시킬 수 없으므로 light sheet 작성 불가능. slit(1 or 2장)으로 사용 가능하나 light sheet의 두께, 퍼짐각도의 변화 어려움.
4. light-sheet 이동	광 fiber 사용으로 LLS의 조사위치 조사각도를 자유자재로 변화가능.	광원자체의 이동으로 light-sheet 이동 가능.



(1) 다량의 traser를 공급하는 경우



(2) 소량의 traser를 공급하는 경우

그림 11 traser 공급장치

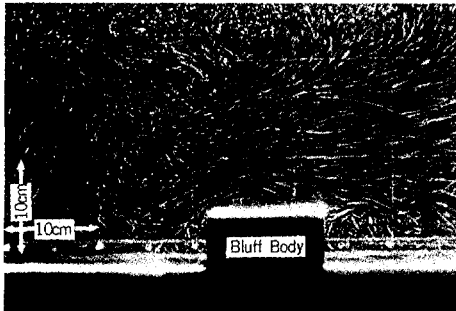


그림 12 실내 기류의 가시화 예 ( $Re=5 \times 10^3$ )

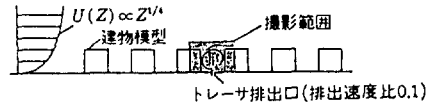
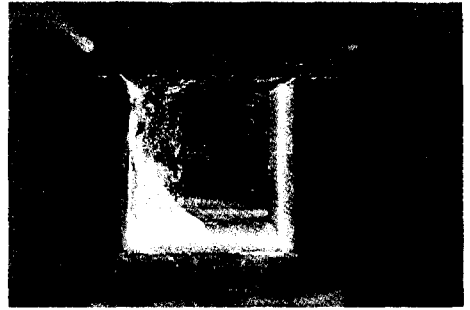


그림 13 건물주변의 가스확산의 가시화 ( $Re=14 \times 10^3$ )

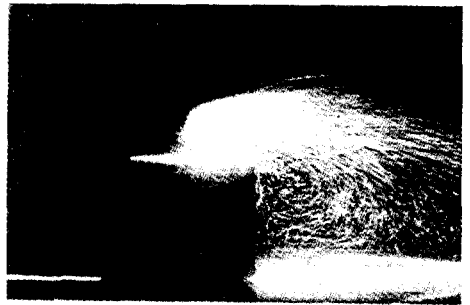


그림 14 연통에서 배출되는 가스확산의 예 ( $Re=14 \times 10^3$ )

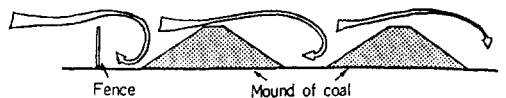
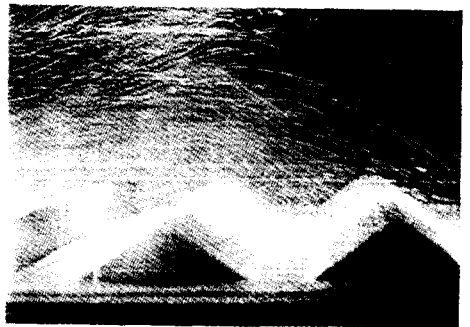


그림 15 방풍벽의 효과 검증의 가시화 예 ( $Re=3.5 \times 10^3$ )

특성을 파악 가능하다.

- (1) 실내기류(그림 12  $Re=5 \times 10^3$ )
- (2) 실내 확산
- (3) 건물주변의 가스확산(그림 13  $Re=14 \times 10^3$ )
- (4) 연통에서 배출되는 가스의 확산(그림 14  $Re=14 \times 10^3$ )
- (5) 방풍벽의 효과 검증(그림 15  $Re=3.5 \times 10^3$ )

등을 들 수 있다. 정확한 가시화를 수행하기 위해



서는 가시화 대상의 스케일이 큰 경우 상사조건에 맞추어 흐름장을 재현해야 하나, 국소배기장치 성능시험의 경우에는 1:1 스케일로 직접 가시화 실험가능하므로 유체거동 검증에 유효하게 사용될수 있다.

## 8. 맺음말

OECD 가입에 따라 선진국의 대열에 한 걸음 다가선 외형적 선진화보다 수출역군으로서 열악한 환경에서 근무하는 생산직 근로자의 기본 권리인 작업장내에서의 보건안전을 우선적으로 고려, 개선하지 않고서는 선진국으로의 진입은 불가능하다고 보아도 과언은 아닐 것이다. 따라서, 산업환기시설(국소배기시설)을 대상으로 작업장의 환경을 개선하기 위해서는 전문업체의 등록제, 기술자료 개발 및 보급, 전문기술교육에 대한 대책 마련이 시급함과 아울러 국소배기장치

설계 시술 검토제도의 도입 및 시설의 사후관리가 적절히 조화될 때 작업장내의 환경은 개선될 것으로 전망된다. 한편, 다품중소량생산이 주요 대상이 되는 300인 미만의 중소제조(영세제조업 포함) 분야에서의 발생 재해가 전체 재해중 과반수를 점유하고 있는 점을 토대로 중소기업 생산직 근로자의 보건안전에 역점을 두어 생산직종별 특성에 맞는 국소배기system의 개발 및 보급에 보다 중점을 두어야 할것이다.

## 참 고 문 헌

1. 한국산업안전공단, 1993, 일한노동자 취업 병예방 협력사업 산업환기기술세미나 기술자료집.
- 2.村上, 1987, “レーザー利用による流れの可視化”, 流れの可視化 Vol.7, No.25, pp.1~6.