

중·소규모 사업장의 국소배기장치 설치 실태와 문제점 및 개선방안

임성근¹ · 박두용² · 김원기³ · 김수근^{4†}

¹대한산업보건협회 충북산업보건센터

²한국산업안전공단 산업안전보건연구원

³와이즈에이치

^{4†}성균관대학교 의과대학 산업의학교실 강북삼성병원 산업의학과

Additional Improvement and Evaluation of Exhaust Ventilation Systems at Small and Medium Sized Enterprise

Lim Seong Keun¹ · Park Doo Yong² · Kim Won Ki³ · Kim Soo Geun^{4†}

¹Center of ChungBuk Industrial Health, Korean Industrial Health Association, ²Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency, ³WiseH, ^{4†}Dept. of Occupational Medicine, Kangbuk Samsung Hospital Sungkyunkwan University School of Medicine

Objectives : The purposes of this study were to evaluate exhaust ventilation systems(EVSs) and to suggest problems and improvements.

Methods : For 50 small and medium-sized enterprises, we carried out evaluation of EVSs. We evaluated hoods with smoke tester and measurement of capture velocity. In addition, we used several indicators for performance evaluation designed in this study.

Results : 1. Based on the smoke flow pattern and the criteria of occupational health and safety act, 67.8% of hoods were rated 'good' level at smoke test whereas 26.3% were rated 'good' level at measurement of capture velocity.

2. 29.3% of hoods, of which ratio of measured actual air flow at hood(Qah) to required ideal exhaust air flow at hood(Qih) was 1 or more, were rated 'good' level.

3. The % of EVS, of which ratio of measured actual air flow at stack(Qast) to total required ideal exhaust air flow at

hood(Qith) was 1 or more, was 29.0%.

4. For the ratio of measured Qast to existing air flow at fan(Qfan), only 5% of EVSs were 1 or more and 26.0% were 0.8 or more but less than 1.0.

5. For the ratio of measured Qast to total measured actual exhaust air flow at hood(Qath), 74.0% were 0.8 or more but less than 1.0.

6. The percentage of EVS, of which ratio of total measured Qath to existing Qfan was 0.8 or more, was 19.0%.

7. The percentage of EVS, of which ratio of total measured Qath to total required ideal exhaust Qith was 1 or more, was 26.0%.

8. For the comprehensive evaluation indicators designed in this study, 29.0% were 0.8 or more.

Conclusions : We found that few exhaust local ventilations at small and medium-sized enterprises were rated 'good' level and that most exhaust local ventilations had 'poor' design and

접수일 : 2009년 11월 25일, 채택일 : 2010년 3월 15일

† 교신저자: 김수근(110-746 서울 종로구 평동 108번지 성균관대학교 의과대학 산업의학교실 강북삼성병원 산업의학과,
Tel: 02-2001-2445, Fax: 02-2001-2650 E-mail: ksg6201@empal.com)

installation.

Therefore, relevant professional manpower and enterprises have to construct exhaust local ventilation where it is needed, and technical guidance and economic support are needed to improve 'poor' exhaust local ventilation after self-evaluation.

Key Words : Exhaust ventilation system, Performance evaluation, Small and medium-sized enterprises, Constructor of exhaust ventilation system.

[용어정의]

· Q_{ih} (Q ideal at hood); 후드에서의 필요환기량 : 국소배기장치 설계에 있어 후드의 형태, 발생원과의 거리, 개구면 크기, 제어속도 등을 고려해 이론적으로 구하는(오염원을 적절히 제어하기 위해 후드로 유입시켜야 하는 공기량)공기유량($m^3/분$, $m^3/시간$)이다.

· Q_{ah} (Q actual at hood); 후드부 실측배풍량 : 설치된 국소배기장치의 후드로 실제 유입되어 흐르는 공기량($m^3/분$, $m^3/시간$)이다.

· Q_{ith} (Q ideal total at hood); 국소배기장치(시스템) 총 필요환기량 : 국소배기장치 설계에 있어 연결된 모든 후드에서 계산한 필요환기량의 총 합으로 송풍기 선정 근거가 되는 공기유량($m^3/분$, $m^3/시간$)이다.

· Q_{ath} (Q actual total at hood); 국소배기장치(시스템) 후드에서 측정한 총 배풍량 : 국소배기장치에 연결된 후드에서의 실측한 배풍량(Q_{ah})을 모두 합한 풍량($m^3/분$, $m^3/시간$)이다.

· Q_{fan} ; 설치된 송풍기 송풍량 : 국소배기장치 설계, 제작업체에서 설계 사양으로 국소배기시스템에 적합한 풍량과 정압의 송풍기를 제작하여 명시하거나, 송풍기 제작회사에서 기성 송풍기 제작 후 일정 시험을 거쳐 부착(일반적으로 형식, 송풍량, 회전수, 정압, 축동력, 제작일 등을 표시함)한 것으로 사업장 현장조사 시 명패(name plate) 등으로 파악된 송풍량($m^3/분$, $m^3/시간$)이다.

· Q_{ast} (Q actual at stack); 배기구(stack) 실측 배풍량 : 배기구를 통해 실제 배기되는 공기유량($m^3/분$, $m^3/시간$)이다.

I. 서론

산업안전보건법(산업보건기준에 관한 규칙)에는 국소배기장치의 설치대상 작업(인자) 및 그에 대한 법적제어풍속을 정하고 있으며, 또한 정기적으로 자체검사를 실시하여 성능이 유지되도록 관리하여야 하는 것으로 규정하고 있다. 하지만 국소배기장치의 성능을 단적으로 볼 수 있는 제어풍속에 대한 한국산업안전공단(1991)의 조사에 의하면 54.2%가 “양호”, 45.8%가 “불량”이라고 보고되었고, 이필용(2001)은 제어풍속측정 결과, 33.3%가 “양호”, 66.7%가 “불량”하다고 보

고하였다. 박선근(2005)의 제어풍속조사에서도 제어풍속 평가 결과, 55.6%가 “양호” 44.4%가 “불량”으로 평가되었다.

이처럼 국소배기장치의 성능이 양호하지 못한 원인으로 한국산업안전공단(1991) 보고서에서는 설계불량이 84.1%, 설치불량이 7.9%, 관리 불량 5.4%, 기타 2.6%로 나타나 기술적인 문제점을 가지고 있다(박선근, 2005).

이필용(2001)과 박선근(2005)은 국소배기장치를 평가함에 있어 제어풍속과 함께 국소배기장치의 각 요소별 적·부를 파악하고 그 시스템을 종합적으로 평가하였는데, 각 12.0%와 14.8%가 양호하다고 하였다. 김태형 등(2005)은 송풍기의 효율을 조사하여 유량비 80% 이상으로 양호한 송풍기는 26%에 불과하다고 하였다.

이와 같이 우리나라 사업장에 설치되어 있는 국소배기장치의 성능이 양호한 경우가 60%이하로 나타나 문제가 심각하며, 화학적인자로 인해 발생하는 직업병 및 사망사고의 한 원인으로 환기시설 불량을 들고 있다. 국내에서 기존에 실시된 국소배기장치 실태조사에 이에 대한 조사 접근이 이루어졌으나 그 중요성 비하면 실태조사가 매우 미진하여 이 연구에서는 중소규모 사업장을 대상으로 국소배기장치 설치 실태 조사 및 문제 파악 후, 개선방안을 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

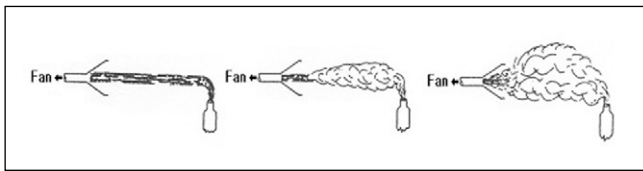
조사대상은 충청지역 중·소규모 제조업체 중 국소배기장치가 설치된 사업장을 대상으로 2006년 3월부터 2007년 3월까지 50개 사업장의 100개 국소배기장치를 대상으로 하였다.

국소배기장치는 그 구성상 후드, 덕트, 공기정화장치, 송풍기 등 다양한 구성 요소들의 상호작용으로 작동되는 시스템으로, 현재까지 정립된 국소배기장치의 설계기본절차와 국소배기시스템 내로 유입된 유체(공기)의 질량보존 법칙을 체계적으로 접근해 조사가 가능하도록 국소배기장치의 설계에 관한 문헌, 기존 연구자료 및 법적 기준에 대한 고찰을 통하여 조사표를 만들었다. 이 조사표를 이용하여 배기구에서 실측한 풍량(Q_{ast})과 이론적 총 필요 환기량(Q_{ith}), 설치된 송풍기 풍량(Q_{fan}), 각 후드에서 실측한 총 배풍량(Q_{ath})을 조사하여 각각을 상호 비교하였고, 마지막으로 국소배기장치의 적정

성을 종합적으로 평가하기 위하여 앞에서 비교한 각각의 결과를 가지고 아래의 Formula 1과 같은 산출식을 이용하였다.

연기발생기(smoke tester)를 이용한 기류흐름 확인 및 육안 검사는 Figure 1과 같이 ‘양호(a)’ (연기 퍼짐이 적은 형태에서 후드 개구부로 바로 유입되는 경우), ‘불량(c)’ (후드 개구방향으로 기류 흐름이 형성되지 않거나 미약하여 연기 모양이 넓게 퍼지는 경우) 및 그 중간 형태인 ‘보통(b)’ (후드 개구방향으로 기류가 형성되나, 연기 모양이 다소 퍼지는 형태)로 구분하여 조사하였다(한돈희, 2001). 포위식 또는 레시바식 후드(캐노피형은 제외하였으며, 회전체 있는 경우 회전체가 정지된 상태에서 점검)의 경우 개구면에서 가장 저조한 기류 흐름을 형성하는 위치에서, 포집형 후드의 경우 오염물질이 발생하는 오염원에서 가장 멀리 떨어져 가장 저조한 기류 흐름을 형성하는 위치에서 점검결과를 그 평가 대상으로 하였다. 또한 인위적으로 외부기류를 형성한 경우(선풍기 가동 등)는 이를 제거하고 점검하였다.

$$\text{종합평가지표}^* = \frac{\left(\frac{Q_{fan}}{Q_{th}} + \frac{Q_{ast}}{Q_{th}} + \frac{Q_{ast}}{Q_{fan}} + \frac{Q_{ath}}{Q_{ast}} + \frac{Q_{ath}}{Q_{fan}} + \frac{Q_{ath}}{Q_{th}} \right)}{6} \quad [\text{Formula 1}]$$



(a) 0.51m/sec or more (b) 0.25~0.38m/sec (c) less than 0.15m/sec

Figure 1. Smoke production type by change of control velocity

Formula 1 : It shows the real condition of design and installation, maintenance of local exhaust ventilation system with a nice shades of meaning among calculation and measured air flow.

The six ratios, that is combined each air flow, are able to say complete local exhaust ventilation system theoretically when it is close to 1.

While we were calculating comprehensive evaluation indicators to use the six ratios, it happened the comprehensive evaluation indicators had a big impact on account of the over 1 ratio. If it comes to over 1, the 1 is subject to the highest figure.

This study has been evaluated the local exhaust ventilation system is good enough if the each ratio and comprehensive evaluation indicators has been over 0.8 or more.

열선풍속계(thermal anemometer : Air velocity Meter 8385A. TSI. USA)를 이용한 제어풍속측정은 발연관 기류흐름조사로 파악된 기류방향을 고려해(지향성 센서의 풍상마크가 흡인기류와 수직이 되도록) 측정하였으며, 포위식 또는 레시바식 후드의 경우 개구면을 한 변이 0.15m이하가 되도록 16개 이상(개구면이 현저히 작은 경우 둘 이상) 등면적으로 분할하여(덕트 횡단측정법에 준함) Figure 2와 같이 각 부분의 중

심에서 흡인하는 기류의 속도를 열선풍속계로 측정해 가장 낮은 결과를, 포집형 후드의 경우 후드에서 가장 멀리 떨어져 있는 오염원에서 오염물질이 후드로 흡인되는 속도(가장 낮은 속도)를 제어풍속으로 하였다(한돈희, 2001).

Qah를 구하기 위해 열선풍속계를 이용해 후드(후드와 연결된 덕트에서 측정이 가능한 경우 덕트에서도 측정)에서 직접 속도를 측정하였다. 측정 지점은 덕트 내 유속을 측정하는 횡단측정법에 준하여(Figure 2), 후드 단면에서의 풍속측정은 포위식 또는 레시바식 후드의 경우 개구면을 한 변이 0.15m이하가 되도록 16개 이상(개구면이 현저히 작은 경우 둘 이상) 등면적으로 분할하여 각 부분의 중심에서 흡인하는 기류의 속도를 열선풍속계를 사용하여 측정하고, 산술평균을 하여 구하였다.

각 후드에서의 이론적 필요환기량(Qih) 및 국소배기장치의 총 필요환기량(Qith)은 조사된 후드별 유해물질의 상태, 유해물질 발산조건, 후드크기, 방향, 발생원과의 거리(X m), 설치위치(자유공간, 작업대 위 등), 플랜지 부착여부, 법적제어풍속 등 필요 환기량 계산에 필요한 사항을 체크하여 ACGIH (2004)에서 제시한 계산공식에 따라 계산하였다. 현장조사에서 발생원과의 거리 적용과 기존에 공식화 되지 않은 변형된 후드에 대한 환기량 계산 공식 적용에 어려움이 있었으나, 거리의 경우는 설치 목적에 맞게 발생원 중 가장 먼 거리를 적용하였으며, 기본 모양에서 변형된 후드는 기본 모양에 가장 근접한 모양의 산출식을 적용하였다. 또한 실제 현장에서 접근이 쉽지 않은 형태 (고열 배기 목적의 레시바식(receiving) 캐노피 후드, 도금조나 세척조 등에 설치된 개방조(open surface tank) 후드, Push-pull장치 등)는 조사대상에서 제외하였다.

현장에 설치된 송풍기 풍량은 송풍기의 외관에 부착된 명패(name plate)나 대기오염물질배출시설 인허가 관련 서류를 확인하여 조사하였고 배기구를 통해 배출되는 실제 풍량은 후드의 환기량 측정과 같은 방식으로 배기 덕트 점검구에서 풍속을 측정하여 산술평균하여 평균 풍속을 구하고, 여기에 측정 단면적을 곱하여 배기구 실측 배풍량을 산출하였다.

III. 연구결과

1. 사업장 규모별 국소배기장치 및 후드 분포

조사된 사업장의 규모는 50인 미만인 사업장이 25개 (50.0%), 50~99인 16개(32.0%), 100~299인 7개소(14.0%), 300인 이상인 사업장은 2개(4.0%)의 순으로 나타났으며, 사업장당 평균 2개의 국소배기장치가 설치되어 있었고 국소배기장

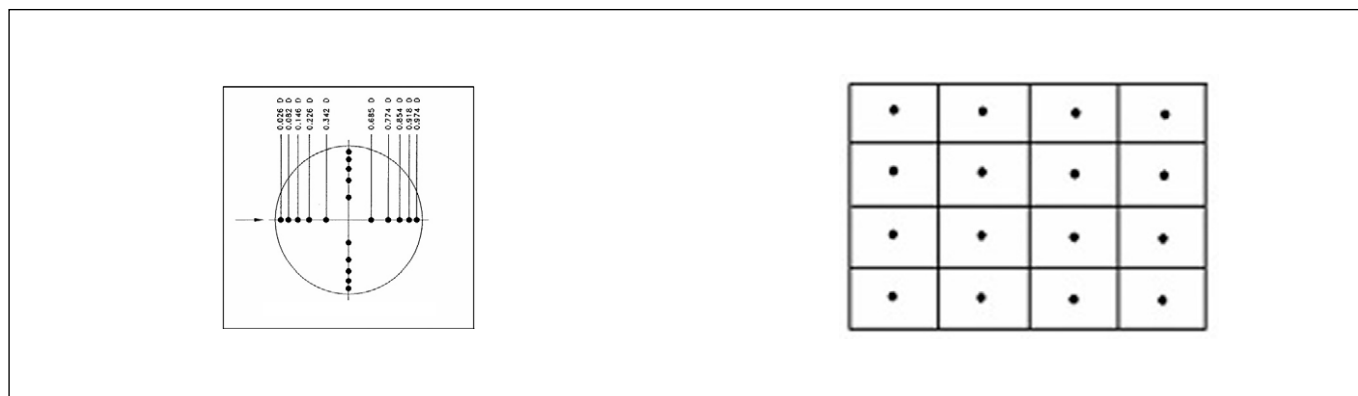


Figure 2. Air flow velocity measuring positions (round type and square type hood)

Table 1. Vent-systems and hoods classified by firm size

No. of employees	No. of plants percent (%)	No. of vent-systems percent (%)	No. of hoods percent (%)
Below 50	25 (50.0%)	33 (33.0%)	210 (35.4%)
50 ~ 99	16 (32.0%)	33 (33.0%)	268 (45.1%)
100 ~ 299	7 (14.0%)	23 (23.0%)	86 (14.5%)
Above 300	2 (4.0%)	11 (11.0%)	30 (5.1%)
Total	50 (100.0%)	100 (100.0%)	594 (100.0%)

Table 2. Vent-systems and hoods classified by business type

Manufacturing	No. of Plants	(%)	No. of Systems	(%)	No. of Hoods	(%)
Metal-forming machinery and machine tools	1	2.0	1	1.0	1	0.2
Furniture	1	2.0	2	2.0	4	0.7
Rubber products	4	8.0	8	8.0	53	8.9
Other article of paper and paperboard	1	2.0	2	2.0	9	1.5
Structural metal products	1	2.0	2	2.0	18	3.0
Casting of metals	1	2.0	1	1.0	2	0.3
Basic chemicals	2	4.0	6	6.0	78	13.1
Other non-metallic mineral products n.e.c.	3	6.0	9	9.0	40	6.7
Other food products n.e.c.	1	2.0	2	2.0	2	0.3
Other products n.e.c.	1	2.0	1	1.0	6	1.0
Other fabricated metal products n.e.c.	3	6.0	4	4.0	100	16.8
Other chemical products	6	12.0	12	12.0	63	10.6
Products of wood, cork, straw and plaiting materials	1	2.0	1	1.0	9	1.5
Agricultural and forestry machinery	1	2.0	1	1.0	4	0.7
Other porcelain and ceramic products	1	2.0	10	10.0	28	4.7
Electronic components and boards	3	6.0	9	9.0	49	8.2
Refined petroleum products	2	4.0	2	2.0	14	2.4
Pharmaceuticals, medicinal chemical and botanical products	2	4.0	2	2.0	20	3.4
Parts and accessories for motor vehicles	5	10.0	10	10.0	32	5.4
Computers and peripheral equipment	1	2.0	1	1.0	2	0.3
Pulp, paper and paperboard	1	2.0	1	1.0	4	0.7
Plastics products	8	16.0	13	13.0	56	9.4
Total	50	100.0	100	100.0	594	100.0

치 1개당 5.94개의 후드가 연결되어 있었다(Table 1). 업종별로는 플라스틱제품 제조업(16%), 기타 화학제품 제조업(12%), 자동차부품제조업(10%), 고무제품 제조업(8%) 등의 순으로 한국표준산업분류(중분류) 총 22개 업종에 대하여 조사가 이루어 졌다(Table 2).

2. 후드 형태별 연기발생기를 이용한 점검결과

후드의 형태별 분포에서는 외부식 후드 중 상방형이 245개(41.2%), 포위형이 184개(31.0%), 외부식 측방형이 106개(17.8%), 레시바형이 40개(6.7%), 외부식 하방형이 19개(3.2%) 순이었으며, 연기발생기로 후드 부 유입기류를 육안으로 확인하여 평가한 결과, 전체 후드의 67.8%인 403개에서 양호 또는 보통이었다(Table 3).

Table 3. Air flow inspection use of smoke tube classified by hood type

Hood Type	No. of Hoods Percent (%)	Air flow inspection use of smoke tube		
		Good	normal	Bad
Enclosing	184 (100.0%)	140 (76.1%)	30 (16.3%)	14 (7.6%)
	245 (100.0%)	82 (33.5%)	35 (14.3%)	128 (52.2%)
Exterior	106 (100.0%)	45 (42.5%)	13 (12.3%)	48 (45.3%)
	19 (100.0%)	15 (78.9%)	3 (15.8%)	1 (5.3%)
Receiving	40 (100.0%)	40 (100.0%)	-	-
	594 (100.0%)	322 (54.2%)	81 (13.6%)	191 (32.2%)

Table 4. Comparison of inspection result by hood type

Hood Type		No. of Hoods Percent (%)	Smoke tube / Control velocity			
			Good/Good	Good/Bad	Bad/Bad	Bad/Good
Enclosing		184 (100.0%)	105 (57.1%)	35 (19.0%)	44 (23.9%)	0 (0%)
	Up	245 (100.0%)	29 (11.8%)	53 (21.6%)	216 (66.5%)	0 (0%)
Side		106 (100.0%)	12 (11.3%)	33 (31.1%)	94 (57.5%)	0 (0%)
	Down	19 (100.0%)	8 (42.1%)	7 (36.8%)	11 (21.1%)	0 (0%)
Receiving		40 (100.0%)	2 (5.0%)	38 (95.0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Total	594 (100.0%)	156 (26.3%)	166 (27.9%)	272 (45.8%)	0 (0%)

3. 후드 형태별 발연관 평가와 열선평속계 평가 결과 비교

Table 4와 같이 발연관 평가와 제어풍속 조사를 후드 형태별로 비교한 결과(발연관 3단계 평가결과를 2단계로 조정해, Table 3의 보통과 불량률 Table 4에서는 불량률로 통합), 모두 양호한 경우는 포위형이 105개(57.1%)이었고, 외부식 상방형은 29개(11.8%), 외부식 측방형은 12개(11.3%), 외부식 하방형은 8개(42.1%), 레시바형은 2개(5.0%)로 나타났고 발연관 점검결과는 양호하나 법적인 제어풍속 기준에 미흡한 것으로 평가된 후드는 포위형에서 35개(19.0%), 외부식 상방형은 53개(21.6%), 외부식 측방형은 33개(31.1%), 외부식 하방형은 7개(36.8%), 레시바형은 38개(95.0%)이었다. 이 조사는 발연관 테스트가 후드 모양 또는 오염물의 성상에 따른 제어풍속 적정 여부와 활용가치를 보고자 한 것이다.

4. 후드 형태별 실측 배풍량(Qah)과 이론적 필요 환기량(Qih)의 비

조사한 594개 후드에서 실측한 배풍량과 이론적 필요 환기량의 비(Qah/Qih)를 계산한 결과 1 이상이 174개(29.3%)이었고, 후드 형태별로는 외부식 하방형이 19개 중에 11개(57.9%), 포위형이 184개 중에 104개(56.5%), 외부식 측방형이 106개 중에 21개(19.8%), 외부식 상방형이 245개 중에 36개(14.7%), 레시바형이 40개 중에 2개(5%) 이었다(Table 5).

5. 국소배기장치의 종합평가지표 결과

국소배기장치의 각각의 후드에서 제어풍속 기준에 적합하기 위해서 이론적으로 요구되는 필요 환기량(Qih)을 모두 더한 총 필요환기량(Qith)과 설치된 송풍기 풍량(Qfan)의 비를 계산한 값이 1 이상인 국소배기장치는 41개(41.0%), 0.8~1.0인 경우는 총 53개(53.0%)였으며, 배기구에서 실측한 풍량(Qast)과 국소배기시스템 전체의 이론적 필요 환기량(Qith) 비가 1 이상인 국소배기장치는 29개(29.0%), 0.8~1.0 미만은 6개(6.0%)이었다. 또한, 배기구를 통해서 배출되는 실측 배풍량(Qast)과 설치된 송풍기 풍량(Qfan)비를 계산한 값이 1 이상인 국소배기장치는 5개(5%), 0.8~1.0미만이 26개(26.0%)이었고, 후드 실측 총배풍량(Qath)과 배기구 실측 배풍량(Qast) 비가 1 이상인 장치는 없었으며, 0.8~1.0인 장치가 74개(74.0%)로 나타났다. 후드 실측 총 배풍량(Qath)과 설치된 송풍기 풍량(Qfan) 비를 계산한 결과 조사된 100개의 국소배기장치 중에 1 이상인 경우는 4개(4.0%), 0.8~1.0미만이 15개(15.0%)이었다. 그리고 후드 실측 총배풍량(Qath)과 이론적 총 필요환기량(Qith) 비를 계산한 값이 1 이상인 경우는 26개(26.0%), 0.8~1.0미만이 5개(5.0%)이었다(Table 6).

이를 토대로 국소배기장치의 종합평가지표를 계산한 결과, 0.8~1.0 값을 가지는 국소배기장치가 29개(29.0%), 0.6~0.8미만이 25개(25.0%), 0.4~0.6미만이 35개(35.0%), 0.4 미만이 11개(11.0%)이었다(Table 7).

Table 5. Qah/Qih ratio by hood type

		Hood Type					Total	
		Receiving	Exterior			Enclosing		
			Up	Side	Down			
$\frac{Q_{ah}}{Q_{ih}}$	less than 0.4	N	33	152	62	1	23	271
		(%)	(82.5%)	(62.0%)	(58.5%)	(5.3%)	(12.5%)	(45.6%)
	0.4~0.6	N	1	33	12	5	19	70
		(%)	(2.5%)	(13.5%)	(11.3%)	(26.3%)	(10.3%)	(11.8%)
	0.6~0.8	N	1	11	4	2	23	41
		(%)	(2.5%)	(4.5%)	(3.8%)	(10.5%)	(12.5%)	(6.9%)
	0.8~1.0	N	3	13	7	0	15	38
		(%)	(7.5%)	(5.3%)	(6.6%)	(0.0%)	(8.2%)	(6.4%)
	1.0 or more	N	2	36	21	11	104	174
		(%)	(5.0%)	(14.7%)	(19.8%)	(57.9%)	(56.5%)	(29.3%)
Total	N	40	245	106	19	184	594	
	(%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	(100.0%)	

Table 6. Number of vent-systems according to each ventilation ratio

	less than 0.4	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 0.8	0.8 ~ 1.0	1.0 or more	Total
<i>Qfan</i>	27	15	5	12	41	100
<i>Qith</i>	(27.0%)	(15.0%)	(5.0%)	(12.0%)	(41.0%)	(100.0%)
<i>Qfan</i>	41	13	11	6	29	100
<i>Qith</i>	(41.0%)	(13.0%)	(11.0%)	(6.0%)	(29.0%)	(100.0%)
<i>Qfan</i>	10	20	39	26	5	100
<i>Qith</i>	(10.0%)	(20.0%)	(39.0%)	(26.0%)	(5.0%)	(100.0%)
<i>Qfan</i>	4	5	17	74	-	100
<i>Qith</i>	(4.0%)	(5.0%)	(17.0%)	(74.0%)		(100.0%)
<i>Qfan</i>	21	31	29	15	4	100
<i>Qith</i>	(21.0%)	(31.0%)	(29.0%)	(15.0%)	(4.0%)	(100.0%)
<i>Qfan</i>	47	12	10	5	26	100
<i>Qith</i>	(47.0%)	(12.0%)	(10.0%)	(5.0%)	(26.0%)	(100.0%)

Table 7. Result of Comprehensive Evaluation

Comprehensive Evaluation indicators	No. of Vent-Systems Percent (%)	
0.8 or more	29	29.0%
0.6 or more but less than 0.8	25	25.0%
0.4 or more but less than 0.6	35	35.0%
less than 0.4	11	11.0%
Total	100	100.0%

IV. 고 찰

국소배기장치가 적절하게 설치되어 운영되고 있는 지를 평가하기 위해서는 각 부위(후드, 덕트, 송풍기 및 모터, 공기정화장치 등)별로 육안 및 점검장비를 이용한 계측으로 외관 검사와 성능검사를 해 양호와 불량을 판단하는 것이 일반적이며, 노동부 고시(기계·기구 등 자체검사규정)에도 이러한 틀로 자체검사와 평가를 하도록 되어 있다. 그러나 본 연구에서는 외관의 육안검사 보다는 성능검사를 위주로 조사하였다.

후드의 발연관 검사와 제어풍속을 측정하여 연기의 형태와 산업안전보건법의 법적 기준 이상인 경우를 '양호', 그 이하인 것은 '불량'으로 평가한 결과, 발연관 검사에서는 후드 외부로의 누출 없이 적절한 유입이 67.8%로 양호하였고, 제어풍속 측정에서는 법적기준 이상으로 양호한 것이 26.3%였다. 이는 박선근(2005년)의 발연관 검사에서 '양호'한 경우가 63.0%인 것에 비하여 다소 양호한 편이었으나, 제어풍속 평가 결과(26.3%)는 한국산업안전공단(1991) 보고서의 54.2%, 이필용(2001)의 33.3%, 박선근(2005)의 55.6%에 비해

양호한 경우가 적었다. 이필용(2001)과 박선근(2005)의 연구에서는 제어속도 측정값을 각 지점에서의 최소치와 최대치의 평균을 합하여 다시 측정지점수로 나누는 산술평균을 적용한 반면, 본 연구에서는 후드 형태와 관계없이 가장 낮은 측정치(제어해야 할 가장 먼 위치의 측정치)를 제어풍속으로 하였고 때문이라고 생각한다. 후드 개구부의 발생원에서 가장 먼 곳의 최소풍속을 제어풍속으로 적용하여 평가할 경우 난기류가 발생하거나 균일류가 형성되지 않는 1~2지점에서 권고치(법적기준) 이하로 측정되어 판정이 '불량'으로 되는 경우 사업장에서 불이익을 받을 수 있어 평균치를 제어풍속으로 적용하도록 규정을 개정하는 것이 바람직하다는 의견도 있다(최우호, 2000). 하지만 난기류 발생이나 균일류가 형성되지 못해 유해인자의 작업자 노출이 증가한다면 이는 처음 설계(ACGIH 제어풍속 권고치 상한을 적용하도록) 및 설치(플레넘 등을 적용해 균일류가 형성 되도록)시 충분히 고려하지 못한 설계와 설치의 문제이므로 평균 풍속을 제어풍속으로 적용하는 것은 바람직하지 않다.

국소배기장치의 후드에서 실측 배풍량과 이론적 필요 환기량을 비교한 비가 1 이상이면 실제 측정된 제어풍속도 법적인 수준에 적합할 것으로 예상할 수 있다. 본 연구에서는

실측 배풍량이 이론적 필요 환기량 이상인 후드가 29.3%로, 제어속도를 측정 한 결과보다는 양호한 편이었다. 후드형태 별로 본 결과는 외부식 하방형이 57.9%, 포위형이 56.5%, 외부식 측방형이 19.8%, 외부식 상방형이 14.7%, 레시바식이 5%로 나타났다. 이 값이 양호한 경우가 포위형에서 외부식 상방형 보다 높은 것은 필요환기량을 계산할 때 더 낮은 제어풍속을 적용할 수 있고, 역으로 동일한 시스템이라면, 외부식 상방형으로 유해인자를 제어하기 위해 그만큼 많은 필요환기량이 요구되는 이론과 부합되는 결과이다. 따라서 가능한 포위형 후드가 권장된다는 결과를 얻을 수 있다.

설치된 송풍기 풍량과 해당 국소배기장치의 설계, 설치시 이론적으로 요구되는 총 필요환기량의 비(Q_{fan}/Q_{ith})가 1 이상인 경우는 41.0%이었다. 설치된 송풍기 풍량은 부착된 명판(name plate)에 근거 하였는데, 국소배기시스템을 전문적으로 설계, 제작 및 설치 업체가 실험에 의해 정격정압과 유량을 기록해 둔 평판이라 하면, 나머지 59%는 설계, 설치 단계부터 문제가 있음을 보여준다.

국소배기장치의 배기구에서 실측 배풍량과 이론적 총 필요환기량 비(Q_{ast}/Q_{ith})가 1 이상인 경우 최초 설계 및 설치가 적절했을 것이고, 설비에 문제(후드와 Fan 사이에 공기누입 등)가 없다면 실제 가동되는 상태도 적절하다 예상할 수 있다. 조사결과 1 이상인 국소배기장치는 29.0%이었다. 박선근(2005)은 배풍량이 필요 환기량 이상인 경우가 57.4%에 비하면 본 연구결과에서의 결과는 저조하였다.

배기구에서 실측 풍량과 설치된 송풍기 풍량이 비(Q_{ast}/Q_{fan})가 1 이하인 것은 최초 설계 때 정확히 압력손실을 예측(계산)하지 못했거나(또는 정압이 맞지 않은 송풍기 설치) 설치 이후 관리가 잘 이루어졌는지를 간접적으로 볼 수 있는 지표가 될 수 있다. 실제 조사에서 1 이상인 시스템은 5.0%이었고, 0.8~1.0미만이 26.0%로 송풍기 효율(유량비)이 0.8이상인 경우는 31.0%로, 김태형(2005)의 연구에서 유량비 0.8이상인 경우가 26%이었던 것에 비하여 다소 양호한 편이었다.

배기구에서 실측 풍량과 각 후드에서 실측한 총 배풍량의 비(Q_{ath}/Q_{ast})는 배기구로 실제 배출되는 총 공기가 모두 후드를 통해 유입되었는지를 보여주는 것으로 덕트 중간에 문제(구멍 등)가 발생하면 이 값은 낮아지게 되어, 간접적으로 국소배기장치의 관리 상태를 보여줄 수 있다. 실제 조사한 결과에서 0.8~1.0의 값으로 나온 것이 74.0%로 나타났다. 이는 조사된 국소배기장치 모두에서 정도의 차이는 있지만 라인 중(덕트, 공기정화장치, 점검구 등)에 공기 누입 문제 등이 있을 수 있으므로 꼼꼼한 외관검사의 중요성을 보여주고 있다.

국소배기장치의 각 후드에서 실측한 총 배풍량과 설치된 송풍기 풍량의 비(Q_{ath}/Q_{fan})가 1 미만인 경우는 처음 설계시

시스템의 압력손실을 과소평가 했거나(또는 정압이 맞지 않은 송풍기 설치), 관리의 소홀로 시스템 내부에 압력손실이 증가하는 등의 원인이 있을 때 그 값이 1 미만으로 내려간다. 실제 조사에서 0.8 이상인 국소배기장치는 19.0%이었으며, 0.4 이하도 21%였다.

각 후드에서 실측한 총 배풍량과 이론적 총 필요 환기량의 비(Q_{ath}/Q_{ith})는 설계, 설치 및 관리 잘못으로 인하여 1이하로 낮아질 수 있다. 조사결과 1이상의 시스템이 26.0%로 이는 후드마다 풍량과 정압 분배만 적절하면, 적정 제어풍속과 환기량을 얻을 수 있을 것이다.

마지막으로 이상의 국소배기장치 평가를 종합하기 위해 산출식을 적용한 결과 종합평가지표가 0.8이상으로 양호한 경우가 전체의 29.0%로 나타나 국소배기장치의 설치와 관리 상태가 30%이하로 매우 저조하다고 할 수 있겠다.

본 연구에서는 단지 정상적으로 국소배기장치를 설계(계산)하고 이것을 근거로 하는 풍량 및 정압을 내는 송풍기를 설치하여야 한다는 입장에서 설치된 국소배기장치를 이 지표를 이용하여 평가하였으며, 그 결과 이 값이 1 이상인 시스템은 41.0%로 나머지 59.0%는 적절한 설계 및 설치가 되지 않은 상태라고 할 수 있다. 또한, 만약 폴리 사이즈를 조절해 회전수를 20%가량 높게 조정하였다 할 경우에도(이때 송풍기 상사법칙에 의해 배풍량은 20%, 송풍기정압은 44%, 축동력은 73% 높아질 것으로 예상) 이 값이 1 이상인 시스템은 53.0%에 불과하여 중소규모 사업장에 국소배기장치가 설계 및 설치 단계에서부터 불량한 경우가 대부분임을 확인할 수 있었다. 또한 법적 제어풍속의 만족여부를 직, 간접적으로 확인할 수 있는 값들(후드부 제어풍속 만족 비율, 후드부 필요 환기량 만족비율, 국소배기장치 전체의 필요환기량 만족 비율)이 각각 26.3%, 29.3%, 26.0%로 매우 낮은 수준임을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

1. 후드의 발연관 검사와 제어풍속을 측정하여 연기의 형태와 산업안전보건법의 법적 기준 이상인 경우를 ‘양호’, 그 이하인 것은 ‘불량’으로 평가한 결과 발연관 검사에서는 67.8%가 양호하였고, 제어풍속 측정에서는 26.3%만이 양호하였다.

2. Q_{ah} 와 Q_{ih} 의 비가 1 이상으로 양호한 후드는 29.3%이었다.

3. Q_{fan} 과 Q_{ih} 의 비가 1 이상인 경우는 41.0%이었다.

4. Q_{ast} 와 Q_{ih} 의 비가 1 이상인 경우는 29.0%이었다.

5. Q_{ast} 와 Q_{fan} 의 비가 1 이상인 시스템은 5개로 전체 시스템의 5%며, 0.8~1.0미만이 26.0%이었다.

6. Qast와 Qath의 비가 0.8~1.0 미만인 경우가 74.0%이었다.
7. Qath와 Qfan의 비가 0.8 이상인 것은 19.0%이었다.
8. Qath와 Qith의 비가 1이상인 경우는 26.0%이었다.
9. 국소배기장치의 성능을 종합적으로 평가하기 위하여 본 연구에서 사용한 종합지표에서 0.8이상으로 양호한 경우가 29.0%이었다.

본 연구가 육안검사를 병행하지 못한 점과 국소배기장치에 걸리는 에너지 관계(정압)를 평가하지 못하여 종합적인 평가를 하지 못한 문제는 있으나, 국소배기장치의 실태에 대한 연구가 매우 부족한 상황에서 중소규모 사업장에 설치된 국소배기장치 중에 양호한 것으로 판단되는 것이 매우 적었다는 점과 특히, 설계 및 설치 단계에서도 불량한 것이 많다는 점을 정량적으로 확인하였다는 데에 의의가 있다.

따라서, 향후 국소배기장치가 필요한 사업장에 대해서는 관련 분야에 전문적인 능력을 갖춘 업체로 하여금 설치할 수 있도록 제도를 마련하여야 할 필요가 있으며, 자체검사를 통하여 불량한 국소배기장치로 판단되는 경우에 개선할 수 있는 기술지도가 필요하겠다.

REFERENCES

- 김태형, 하현철. 사업장 국소배기장치 관리 및 성능향상을 위한 제도개선 연구. 한국산업안전공단 산업안전보건연구원. 2005.
- 노동부. 산업보건기준에 관한 규칙. 2006.
- 박선근. 사업장내 국소배기설비의 점검과 개선방안에 관한 연구. 인천대학교. 2005.
- 박성기, 정경동, 김두희. 국소배기장치 유무에 따른 용접흡폭로량. 대한산업의학회지 1993; 5(1); p.163-169.
- 서은홍. 자체검사 항목, 검사방법 및 평가기준의 개선 연구. 한국산업안전공단 안전공학연구실. 2005.
- 윤영노, 이경용. 사업장의 국소배기 설비와 관련된 정보수집연락망에 대한 연구. 한국산업위생학회지 2000; 10(2); p.1-17.
- 이필용. 울산지역 소규모 사업장에 대한 공정별 국소배기장치의 점검과 개선방안. 인제대학교. 2001.
- 최우호. 국소배기장치의 제어속도 측정시 오차. 2000.
- 한국산업안전공단. 국소배기장치 실태조사 보고서; 1991.
- 한돈희. 산업환기공학. 신광출판사; 2001.
- ACGIH. INDUSTRIAL VENTILATION A Manual of Recommended Practice 25th Edition; 2004