

작업환경 중 MWF 미스트와 증기에 대한 측정방법의 개발 - PVC필터에 채취된 비수용성 MWF손실에 대한 보정 -

한국방송대학교, 서울대학교 보건대학원*

박동욱 · 김신범* · 신철임*

— Abstract —

The Recommendation of Sampling Method for Airborne MWF in Workplace - Correction for MWF Lost on PVC Filter -

Dong-Wook Park, Shin-Bum Kim*, and Chull-Im Shin*

*Korea National Open University, Department of Environmental
Health, 169 Dongsung-Dong, Chongro-Ku, Seoul, Korea 110-791*

*Seoul National University, Department of Public Health,
28 Yunkeun-Dong, Chongro-Ku, Seoul, Korea 110-799**

The objective of this study was to determine if MWF(metalworking fluids) mass sampled on PVC filter lose during flowing airstream and desiccating and to present direction to correct the underestimated MWF mass. Flowing airstream caused MWF sampled on PVC filter to be breakthrough and lost. Loss of MWF on PVC filter increased in proportion to time of flowing airstream. Meanwhile, loss of MWF was observed during desiccating without flowing airstream. Vapor pressure of MWF is so low that it would not normally be thought to evaporate. However, MWF mist sampled on PVC filter has so great a surface area that loss by flowing airstream and evaporation can be appreciable. Loss between fresh and used MWF was also different. Those study results mean that NIOSH method(#0500 method) to take airborne MWF mist with PVC filter is not valid. Media to sample airborne MWF accurately still have not been introduced. It seems to be needed to estimate how much MWF on PVC filter may be lost during sampling. Regression model between sampling time including 1 day desiccating and total loss of MWF was "Total loss(%) = 18.4% + 0.06 sampling time(p=0.000, r²=49.6%)". This model help correct MWF lost when one measures airborne MWF using NIOSH # 0500 method

Key Words : MWF, Breakthrough, NIOSH #0500 method, Flowing airstream.

I. 서론

근로자가 MWF(Metal Working Fluids, MWF)에 노출되면 나타날 수 있는 건강상의 장해는 피부암과 호흡기계질환 그리고 피부질환 등으로 알려져 있다(Tolbert et al, 1992; Eisen et al, 1994; Park et al, 1988; Ameille et al, 1995; AAMA, 1996). 최근에 일부 역학조사는 MWF 노출이 위, 췌장, 후두 그리고 결장에 암을 일으킬 수 있다고 주장하고 있다(NIOSH, 1996). MWF의 유해성에 비추어볼 때 작업환경에서 공기 중 MWF에 대한 노출정도를 정확히 평가하고 이에 따라 적절한 대책을 수립하는 것이 무엇보다 중요하다. 그러나 현재 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)나 OSHA(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서 제시하고 있는 MWF에 대한 공인된 측정방법은 문제점을 가지고 있다. 즉, PVC(polyvinyl chloride)나 MCE(mixed cellulose ester membrane)필터에 채취된 MWF미스트는 공기와의 계속적인 접촉으로 파과(break-through)되어 손실된다는 것이다(McAneny et al, 1995; 백남원 등, 1998; 박동욱 등, 1999). McAneny 등(1995)은 챔버에서 MWF를 공기 중으로 분산시켜 PVC필터로 미스트를 채취한 다음 공기를 4시간 통과시켜 그 손실을 평가한 결과, 사용한 MWF(used)에서는 12%, 사용하지 않은 것은(fresh) 35%라고 보고하였다. 이 연구는 맨 처음으로 필터에 채취된 MWF가 손실될 수 있다는 가설을 제시한 연구이다. 그러나 단지 1가지의 MWF만을 대상으로 공기통과를 단지 4시간으로 한정된 점과 모든 손실이 공기통과에 의한 것으로 설명한 점으로 인해 실제 공기 중 MWF를 채취했을 때 그 손실을 보정 하는데는 활용할 수가 없었다. 이 후 Leith 등(1996)은 챔버에서 MWF를 공기중으로 분산시킨 다음 PVC, MCE, ESP(electrostatic precipitator)로 각각 채취하고 그 손실된 양을 비교하였다. 가장 적게 손실된 매체(media)는 ESP라고 하고 공기중 MWF를 채취하는데 이용할 것을 제안하였다. 그러나 ESP는 아직 실용화되지 못하고 있고 실용화된다고 하더라도 역시 손실이 일어

나기 때문에 공기 중 MWF를 채취하는데 활용하기에는 한계점을 가지고 있다.

박동욱 등(1999)은 PVC필터에 비수용성 MWF를 떨어뜨리고 나서 공기를 통과 시켜본 결과 시간별로 손실된 양이 다르고 건조과정에서도 손실이 일어날 수 있다는 사실을 확인하였다. 그러나 이러한 연구결과는 필터에 MWF를 떨어뜨렸기 때문에 작업장의 공기 중에 발생하는 MWF형태보다 표면적이 훨씬 작다. 작업환경에서 필터에 채취된 MWF형태는 미스트로서 표면적이 훨씬 크다. 단지 MWF의 표면적만을 고려한다면 작업환경에서 필터에 채취된 MWF의 손실은 보다 크리라고 생각할 수 있다.

지금까지 공기 중의 MWF를 정확하게 채취할 수 있는 매체는 개발되지 않고 있고 과소평가에 대한 보정(correction factor)지침도 없는 상태이다. 이러한 이유로 공기 중 MWF에 대한 측정은 과소평가 되고 있다. 그래서 공기 중에 MWF를 정확히 채취할 수 있는 매체를 개발하고자 연구를 실시하였다. 1단계에서 필터를 이용하여 MWF를 채취하는데 야기될 수 있는 문제점을 고찰한 바 있다(박동욱 등, 1999). 이 연구결과를 바탕으로 본 연구에서는 비수용성 MWF를 챔버에서 공기 중으로 분산시켜 MWF종류 및 시료채취특성별로 MWF의 손실된 양을 평가하였다. 보다 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

첫째, 공기통과시간 및 채취과정별로 비수용성 MWF의 손실경향과 그 양을 평가한다.

둘째, 비수용성 MWF 종류별로 손실된 양을 비교한다.

셋째, 공기중의 비수용성 MWF를 측정할 때 손실된 양을 보정하는 모델을 제시한다.

본 연구결과는 공기 중의 비수용성 MWF를 채취할 때 가능하면 정확한 노출농도를 추정하는데 보정자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 연구재료 및 방법

1. 재료

실험재료는 박동욱 등(1999)의 연구에서 사용한 것을 그대로 이용하였다. 비수용성 MWF는 우리나라에서 제조한 2종류(제품명 CINDOL 3401VN

과 CUTMAX 570L)로서 사용한 것(used)과 사용하지 않은 것(fresh)으로 각각 구분하여 이용하였다. 이 두가지 제품을 선택한 이유는 3401VN의 경우 mineral oil이 90 %, 570L은 약 50 %의 mineral oil에 40 %의 chlorinated paraffin이 함유되어 있어 성분상의 차이가 있을 때 증기화에도 차이가 발생하는지를 보기 위함이다. 채취, 운반 및 저장과정에서 금속가공유가 변할 가능성을 막기 위하여 갈색 유리병에 채취하였고, 사용한 후에는 냉

장고에 보관하였다.

2. 공기 중 MWF 미스트 형성 및 채취

공기 중 MWF미스트를 형성하기 위하여 그림 1과 같은 챔버(chamber)를 제작하였다. 비이커에 있는 비수용성 MWF를 공기압축기(20 psi로 설정)를 이용해서 챔버안에서 공기중으로 분사시켰다. 챔버안에 미스트가 포화되기를 기다려 공기압축기를 끄고, MWF 미스트를 PVC필터(직경 37 mm, 구멍 크기 5 μ m, SKC제품)로 약 5초간 채취하였다.

필터가 장착된 카세트는 챔버 안에 설치하고 호스로 챔버 밖의 펌프(model : Gillian)와 연결하였다. 펌프의 공기채취 유량은 2 l/분(± 5 %)으로 하였으며 채취전과 후에 각각 비누거품미터로 보정하였다.

3. PVC필터에 채취된 비수용성 MWF의 손실 평가

PVC필터에 채취된 MWF의 손실에 대한 평가과정은 그림 2와 같다. 이러한 과정은 공기중 MWF를 중량법에 의해 측정하는 과정(NIOSH # 0500 method)과

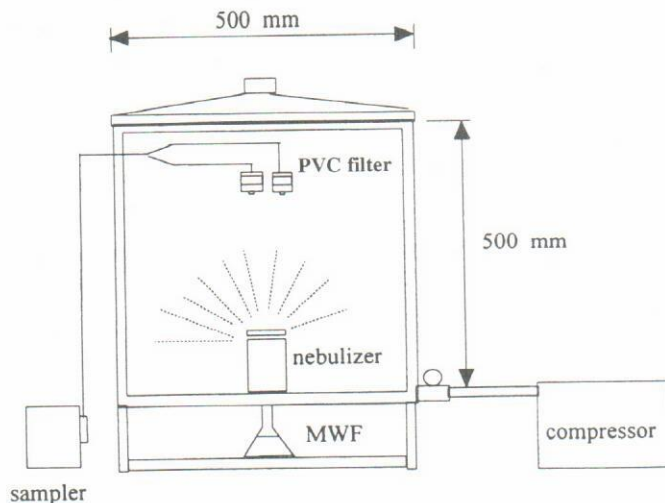


Fig. 1. MWF Loading Apparatus.

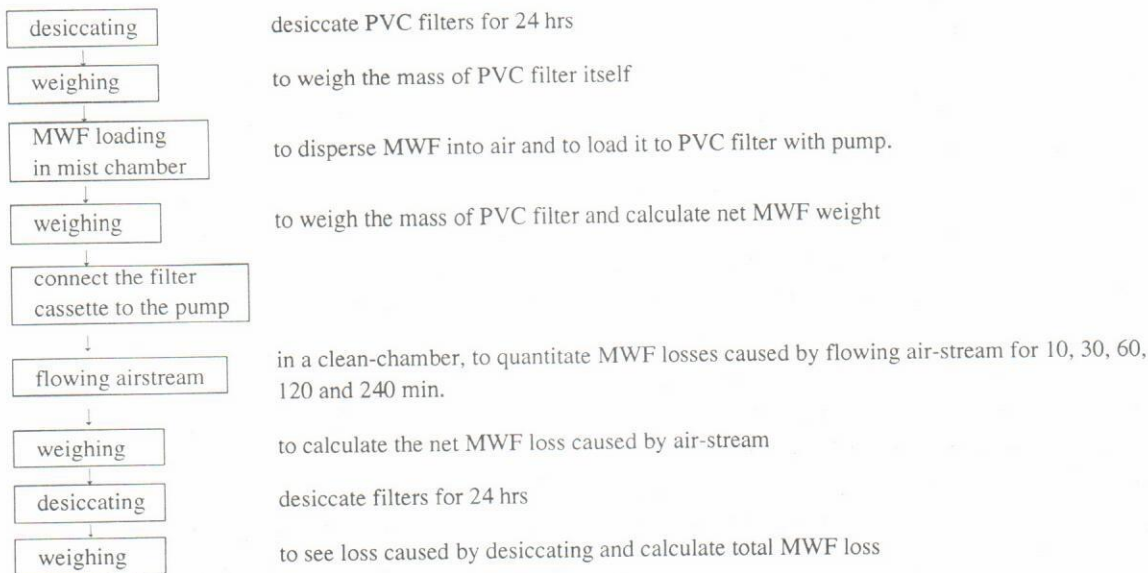


Fig. 2. Experimental Procedure

동일하며, 각각의 과정(공기통과 및 건조과정)에서 손실된 양을 구하였다. 각각의 과정에서 수분이나 입자상물질 등에 의한 오염을 보정하기 위해 시료 3개당 1개의 공시료를 포함시켜 진행하였다.

1) 챔버에서 PVC필터에 채취된(loaded) 비수용성 MWF양

1일 동안 건조된 PVC필터의 무게를 micro balance(ANALYTICAL Plus, accuracy : 10^{-5} g)로 잰 다음 카세트에 장착하였다. 이것을 챔버의 공간에 설치하고 펌프를 이용하여 공기 중의 MWF미스트를 채취하였다(그림 1 참조). 채취 후에는 펌프를 끄고 카세트를 분리한 다음 곧바로 필터의 무게를 잰다. 이 무게와 건조된 필터무게와의 차이를 필터에 채취된 무게로 하였다.

2) 공기통과에 의해 손실된 비수용성 MWF양(A)

MWF가 채취된 필터를 다시 카세트에 장착한 후 펌프에 연결하여 clean bench(DVB 912, DaeIL engineering, 활성탄과 고성능 HEPA필터 장착)에서 시간(10 분, 30 분, 60 분, 120 분, 240 분)별로 펌프를 가동하여 공기를 통과시킨 후 곧바로 필터의 무게를 잰다. 이 무게를 PVC필터에 채취된 MWF양에서 빼주면 공기통과에 의해 손실된 MWF양(A)이 된다

3) 공기통과 후 건조과정에서 손실된 비수용성 MWF양(B)

시간별(10 분, 30 분, 60 분, 120 분, 240 분)로 공기통과에 의해 손실된 MWF양(A)을 구한 필터를 1일 동안 건조기에서 건조하였다. 건조 후 필터의 무게와 공기통과 후 필터무게(2)항에서 구한 양)와의 차이가 건조과정에서 손실된 양(B)이다. NIOSH의 #0500 방법에서 정한 최대공기채취량 500 l를 기준으로 설정하였다(NIOSH, 1994).

4) 채취과정 동안에 손실된 총 비수용성 MWF양(C)

공기를 채취하는 동안에 손실된 총 MWF양(C)은 공기통과에 의해 손실된 양(A)과 채취 후 1일 동안 건조과정에서 손실된 양(B)을 합한 것이다.

Table 1. MWF Mass Loading on PVC Filter by Insoluble MWF Type

MWF type	Sample no.	Loading range(mg)
340I fresh	15	1.23 - 2.56
340I used	15	1.15 - 2.26
570L fresh	15	1.03 - 3.13
570L used	15	0.5 - 1.08
Total	60	0.5 - 3.13

III. 결과 및 고찰

1. 챔버에서 필터에 채취된 비수용성 MWF양

챔버에서 PVC필터로 채취한 비수용성 MWF종류별 MWF양은 표 1과 같다. 챔버에서 채취된 MWF양의 범위는 0.5 - 3.13 mg이었다. 비수용성 MWF종류별로 비교해 보면 570L used가 0.5 - 1.08 mg으로서 다른 종류에 비해 낮은 양이 채취되었다. 공기 중에 MWF가 허용기준(5 mg/m^3) 수준으로 존재한다고 했을 때 NIOSH에서 권장하고 있는 공기채취량은 20 l에서 500 l이다(NIOSH, 1994). 이러한 공기채취량을 기준으로 하여 시료당 PVC필터에 채취된 MWF양을 계산하면 0.1 mg에서 2.5 mg이 된다. 그리고 MWF(oil mist)를 측정하는 시험방법 #5000의 농도범위(working range)는 1 - 20 mg/m^3 로서 100 l을 채취하는 기준이었다. 이 공기채취량을 기준으로 시료당 필터에 채취된 양으로 환산하면 0.1 mg - 2 mg이 된다(NIOSH, 1994).

본 연구에서 필터에 채취된 MWF양의 범위(0.5 - 3.13 mg)는 허용기준에서 480 l의 공기를 채취한다고 했을 때 0.2배에서 1.3배 정도 된다. 따라서 NIOSH에서 권고한 양(0.1 mg - 2.5 mg)의 범위를 크게 벗어나지 않는 수준이다. McAneny 등(1996)의 연구에 의하면 필터에 채취된 MWF의 손실에 MWF양은 유의하게 영향을 미치지 않는 것으로 보고되었다. 따라서 본 연구에서 비수용성 MWF종류별로 PVC필터에 채취된 양이 서로 약간 차이가 있으나 MWF의 손실을 평가하는데 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 챔버에서 MWF종류와 시간별로 묶음당 실험에서 비슷한 양이 필터에 채취되도록 주의하였다.

Table 2. Comparison of Average Loss(%) during Sampling by Straight MWF Type and Flowing Airstream

Flowing stream(min)	3401 fresh			3401 used			570L fresh			570L used		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
10	9.2	3.2	12.4	13.9	3.9	17.8	14.4	7.4	21.8	7.6	8.1	15.7
30	21.2	3.7	24.9	15.7	2.4	18.1	19.9	5.7	25.6	11.2	2.7	13.9
60	23.4	3.2	26.6	17.8	3.5	21.3	20.3	5.8	26.1	12.6	4.5	17.1
120	26.8	1.3	28.1	23.9	2.1	26.0	27.3	5.1	32.4	23.9	2.0	25.9
240	29.7	0.7	30.4	24.1	3.6	27.7	33.9	3.6	37.5	26.0	4.9	30.9

Notice

- A : average loss caused by airstream during sampling
- B : average loss caused by 1 day desiccating after sampling
- C : total loss caused by flowing airstream and desiccating

2. 시료채취특성별 손실된 양

표 2는 공기통과시간과 MWF종류별로 시료채취 동안에 손실된 MWF양을 비교한 것이다. 공기통과 시간은 10 분, 30 분, 60 분, 120 분, 240 분으로 구분하였다. 시료채취과정도 챔버에서 필터에 채취된 MWF를 대상으로 순수하게 공기를 통과시킨 과정(flowing airstream)과 건조과정(desiccating)으로 구분하였다.

이렇게 구분된 2가지 과정은 실제 작업환경에서 공기중 MWF를 채취하는 과정과 동일하다. 즉, 공기 중의 MWF를 채취하고 운반한 다음 1일 건조한 후 무게를 재서 건조된 필터와의 무게차이를 채취된 MWF양으로 하는 것이 공인된 방법이다.

박동욱 등(1999)은 필터에 일정 양을 떨어뜨린 후 상기에서 언급한 두 과정에서 모두 손실이 일어난다고 하였다. 이러한 주장에 근거하여 본 연구에서도 시료채취과정을 2개 과정으로 구분하여 손실된 양을 비교한 것이다. McAneny 등(1996)등의 연구와 박동욱 등(1999)의 연구에 의하면 필터에 채취된 MWF는 MWF종류와 사용특성에 따라서 손실된 양이 서로 차이가 난다고 주장하였다. PVC필터에 채취된 MWF에 대한 손실경향을 공기통과시간, 시료채취과정 그리고 MWF의 종류 및 사용특성에 따라 분석하였다.

1) 공기통과시간별 비교

그림 3은 공기통과시간과 MWF종류별로 손실된 총양을 비교한 것이다. 4종류의 MWF에서 공기통과시간이 길수록 손실되는 양도 증가하는 것으로 나

타났다. PVC필터에 채취된 MWF에 10분 동안 공기를 통과시킨 후 총 손실량은 570L fresh가 21.8 %로 가장 높았고 570L used가 15.7 %, 3401 used가 17.8 %, 그리고 3401 fresh가 12 %의 순으로 나타났다. 총손실은 공기가 통과되는 시간이 길어질 수록 증가하여 240 분에서는 570L fresh가 37.5 %로 가장 높고 570L used가 30.9 %, 3401 fresh가 30.4 %, 그리고 3401 used가 27.7 %였다(표 2참조). 박동욱 등(1999)이 동일한 MWF를 대상으로 MWF를 필터에 떨어뜨리고 공기통과시간별로 총 손실량을 평가한 결과 3401 fresh, 3401 used, 570L fresh, 570L used 순으로 크게 나타나 본 연구결과(570L fresh > 3401 fresh > 570L used > 3401used)와 다른 손실경향을 보였다. 이것은 필터에 부하(채취)된 MWF의 특성이 서로 다르기 때문으로 판단된다. 박동욱 등(1999)은 필터에 주사기로 MWF를 떨어뜨렸기 때문에 표면적이 작은 상태였고 본 연구는 필터에 채취된 MWF형태가 미스트로서 표면적이 훨씬 큰 상태였기 때문이다.

따라서 공기 중으로 분산된 MWF가 손실되는 특성은 공기 중으로 발생(분산)되는 MWF의 형태(입자크기)가 중요하게 영향을 미치는 것으로 판단된다. 즉, 상온에서는 증발이 어려운 것이라 하더라도 공기중에 표면적이 큰 미스트로 발생되면 쉽게 증발이 될 수 있다(Raynor et al, 1996). 따라서 필터에 채취된 비수용성 MWF가 손실되는 특성은 MWF의 종류보다는 다른 특성(입자크기 등)이 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

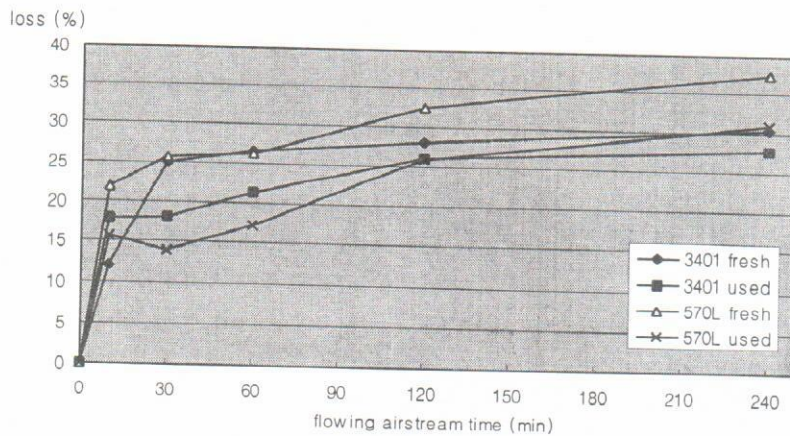


Fig. 3. Variation of Total Loss by Flowing Airstream Time and MWF Type.

2) 채취과정별 비교

그림 4는 시료채취과정별로 손실된 MWF의 총량을 비교한 것이다. 필터에 채취된 비수용성 MWF가 공기가 통과하는 과정은 물론이고 건조과정에서도 손실이 일어난 것을 확인하였다. 전체 손실 중에서 비수용성 MWF가 손실이 많이 일어나는 과정은 공기가 통과하는 시간동안이었다(표 2의 A참조). 이것은 표면적이 큰 미스트상태에서 필터에 채취된 MWF에 공기가 계속 통과되므로 파과되어 손실이 일어난 것이라고 생각할 수 있다. 필터에 채취된 MWF가 공기가 통과함에 따라 손실이 된다는 주장은 몇몇 연구에서 이미 확인된 바 있다(McAneny et al, 1996; Leith et al, 1996; 백남원 등, 1997; 박동욱 등, 1999). 특히 Kenyon(1993)은 공기가 필터위를 스쳐서 지나갈 때보다 필터를 통과하여 지나갈 때 증발에 의한 손실이 더 크다는 것을 입증한 바 있다.

또한 본 연구에서는 필터에 채취된 비수용성 MWF가 공기가 전혀 통과되지 않는 건조과정에서도 손실이 일어나는 것을 확인하였다(표 2의 B참조). 건조과정에서 일어난 손실의 범위는 3401 fresh가 0.7 % - 3.7 %, 3401 used가 2.1 % - 3.9 %, 570L fresh가 3.6 % - 7.4 % 그리고 570 L used가 2.0 % - 8.1 %로서 공기통과에 의한 손실보다는 적다. 보다 주의 깊게 볼 수 있는 점은 공기통과시간이 적을수록 증발에 의한 손실이 큰 경향을 보인다는 것이다. 570L used가 10분 공기 통과 후 건조과정에서 손실된 양은 총손실 중 51.6 %로서 공기통과에 의한 손실보다 높았다(표 2의 B

참조). 이것은 공기통과시간이 짧을수록 필터에 증발이 쉬운 성분이 아직 남아있어 건조과정에서 손실되고, 공기통과시간이 길어지면 지속적인 공기통과로 인해 증발이 쉬운 것은 물론이고 어려운 성분도 직접 파과가 되거나 손실이 쉬운 상태로 변형이 되어 건조과정에서 손실되기 때문으로 판단된다.

필터에 채취된 MWF를 공기가 통과하지 않는 운반과정이나 건조과정에서 증발하여 손실될 것이라는 주장은 아직까지 제기된 적이 없다. 왜냐하면 비수용성 MWF는 상온에서 증발이 어려운 물질로 알려져 있기 때문이다. 박동욱 등(1999)은 필터에 비수용성 MWF를 떨어뜨린 후 건조과정에서 증발하여 손실된다는 사실을 확인하고 미스트로 필터에 채취된 비수용성 MWF도 건조과정에서 손실이 일어날 가능성이 있다는 가설을 제시하였다. 본 연구결과 필터에 채취된 비수용성 MWF가 건조과정에서 분명한 손실이 있었고, 이것으로 보아 운반과정에서도 증발이 일어날 가능성이 있을 것으로 판단된다.

3) 비수용성 MWF의 사용특성별 손실된 양의 비교

그림 5는 MWF를 공정에서 사용한 특성(여부)에 따라 손실된 MWF의 총량을 비교한 것이다. 이것은 MWF에 대한 사용기간이(여부가) 손실에 영향을 미칠 수 있다는 가설에 의한 것이다(McAneny et al, 1996; 박동욱 등, 1999). 2종류의 비수용성 MWF 모두에서 공정에서 사용한 적이 없는 MWF(fresh)가 사용한 적이 있는 MWF(used)보다 손실이 더 많은 것으로 나타났다. fresh의 총손실의 범위는 570L이 21.8 % - 37.5 %, 3401이 12.0 % - 30.4 %로서 used(570L : 15.7 % - 30.9 %, 3401 : 17.8

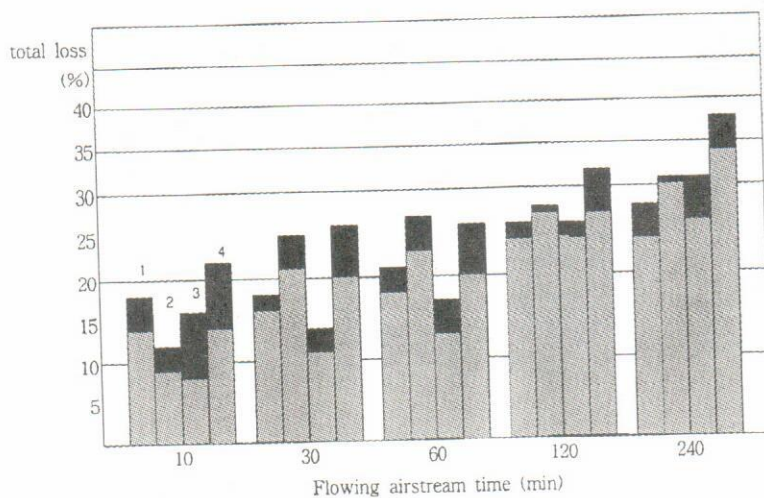


Fig. 4. Comparison of total loss(%) caused by flowing airstream and desiccating during sampling.

(1. 3401 used, 2. 3401 fresh, 3. 570L used, 4. 570L fresh ; ■ average loss caused by airstream during sampling, ■ average loss caused by 1 day desiccating after sampling)

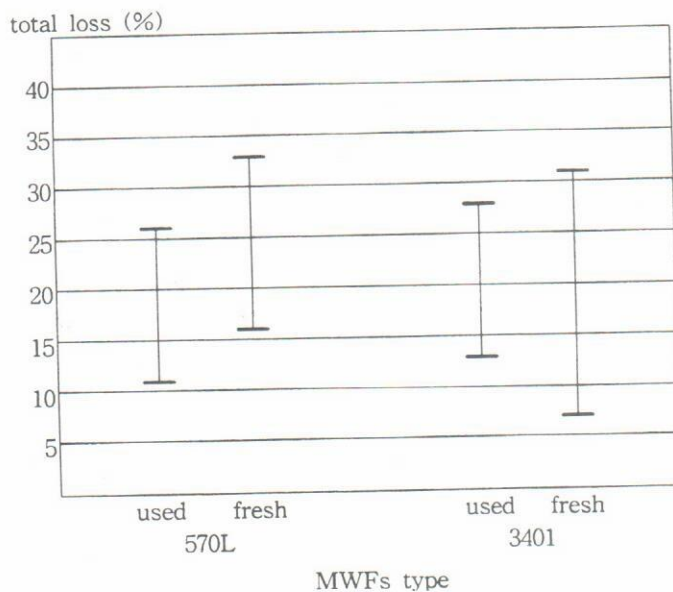


Fig. 5. Comparison of total MWF loss(%) Between Used and Fresh MWF

% - 27.7 %)보다 높았다. McAneny 등(1996)은 챔버에 MWF를 미스트 형태로 발생시켜 4 시간 동안 공기를 통과시키는 동안에 손실된 양을 평가한 결과 사용하지 않은 MWF(fresh)를 PVC필터로 채웠을때는 40 %, 유리섬유필터는 30 %였다. 이러한 결과는 본 연구결과(3401 fresh : 30.4 %, 570L fresh : 37.5 %)와 큰 차이가 없었다. 공정에서 사용한 바 있는 비수용성 MWF에 대한 손실을 비교해보면 본 연구는 3401 used가 27.7 %, 570L used

가 30.9 %로서 McAneny 등(1996)의 연구결과인 12 %보다 훨씬 높았다. 이것은 실제 공정에서 사용한 시간 등의 차이 때문인 것으로 판단된다. 이러한 연구결과를 볼 때 작업장에서 공기중 MWF의 농도는 MWF의 사용기간도 영향을 미칠 것으로 판단된다. 즉, MWF를 처음 사용할때는 증발되는 것은 많아지고 공정이 진행되면서 증발이 어려운 성분들은 공기중에 미스트로 존재할 것으로 판단된다. 따라서 MWF가 취급되는 공정에서는 MWF미스트 뿐만 아니라 MWF에서 증발된 성분들을 측정해야 한다.

3. 공기 중 MWF미스트 측정시 농도 보정

표 3은 MWF사용 특성에 따라 공기 통과시간별로 손실된 총량을 나타낸 것이다. 2종류(3401과 570L)의 MWF를

구분하지 않고 단지 사용특성만 구분한 것은 작업장에서의 MWF의 사용상황을 고려한 것이다. 즉, 작업장에서 사용하는 MWF는 동일 작업장내에서 여러 종류를 동시에 사용하는 경우가 많다. 그래서 근로자들은 여러 종류의 MWF미스트에 복합적으로 노출된다고 볼 수 있다. 그리고 MWF는 사용하는 과정에서 공정에 필요한 성분은 필요에 따라 수시로 첨가하기 때문에 노출특성을 사용한 것(used)과 사용하지 않는 것(fresh)으로 명확히 구분하는 것은

Table 4. Correction Factor and Comparison of Average Total Loss(%) by MWF Type and Flowing Airstream

Flowing stream(min)	fresh MWF			used MWF			Total		
	n	average	range	n	average	range	n	average	range
10	6	16.9±6.2	7.8-23.8	6	16.7±2.8	12.2-20.1	12	16.8±4.6	7.8-23.8
30	6	25.3±1.7	22.7-27.4	6	16.0±3.2	13.6-20.1	12	20.6±5.4	14.0-27.4
60	6	26.4±1.9	23.8-29.6	6	19.2±4.1	11.6-22.1	12	22.8±4.8	11.6-29.6
120	6	30.3±3.5	27.4-36.5	6	25.9±2.5	21.6-29.0	12	28.1±3.7	21.6-32.2
240	6	33.9±5.0	30.4-41.8	6	28.0±4.8	19.9-34.4	12	31.0±5.6	19.9-41.8

어렵다. 근로자들은 MWF의 사용기간에 상관없이 혼합적으로 노출된다고 볼 수 있다. 따라서 공기 중의 MWF를 측정할 때 채취되는 MWF의 형태와 사용기간에 대한 명확한 구분은 어렵다. 물론 1종류의 MWF만을 사용할 경우에는 그 종류에 따른 손실을 명확히 평가할 수는 있다.

따라서 본 연구에서는 비수용성 MWF를 사용특성이나 종류에 따라 구분함이 없이 전체 자료를 통합하여 손실된 MWF의 총량에 대한 경향을 분석했다. 평균 총손실은 공기통과시간이 10 분일 때 16.8%, 30 분에서는 20.6%, 60 분에서는 22.8%, 120 분일 때는 28.1% 그리고 240 분일 때는 31.0%로 나타났다. 필터에 채취된 비수용성 MWF의 손실은 공기통과시간과 비례하여 증가하였다. 작업장에서도 채취시간을 오래할수록 비수용성 MWF의 손실량은 커질 것으로 생각된다. 물론 공정의 특성에 따라 공기 중에 형성되는 미스트의 특성(입자크기 등)이 달라지고 이러한 것들이 손실에 복합적으로 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그 동안 국제적으로 인정된 NIOSH # 0500방법에 따라 측정한 MWF 노출농도가 현재의 허용기준(5 mg/m³)을 설정하는 근거자료로 이용되었다. 동일하게 NIOSH도 이 방법에 따라 측정된 MWF에 대한 근로자노출량을 기준으로 하여 현재 허용기준(5 mg/m³)을 0.5 mg/m³으로 낮출 것을 제안하였다(NIOSH, 1996). 한편 NIOSH가 미국에서 연도별 공기 중 MWF농도를 비교한 것을 보면 0.5 mg/m³이하가 1980년대 이전에는 36.7%였고, 1980년과 1984년 사이에는 42.5%, 1985년과 1990년 사이에는 64% 그리고 1960년 이후에는 73%로 증가한 것으로 나타났다(NIOSH, 1996). 공기 중 MWF농도가 공정시설의 개선, MWF제거를 위한 공학적인 시설의 개선 등의 요인으로 계속 낮아지고 있다고 강조하였다

(NIOSH, 1996). 그러나 중요하게 고려할 사항은 MWF의 성분변화에 따른 측정의 정확성에 대한 언급이 없다는 점이다. 즉, 측정치가 과소평가된 것이기 때문에 연도별 MWF에 대한 측정농도를 단순히 0.5 mg/m³과 절대적으로 비교하여 낮아졌다고 주장할 수는 없다고 판단된다. 국내에서는 백남원과 박동욱 등(1997)이 모 자동차회사에서 MWF에 대한 근로자 노출농도를 NIOSH # 5000방법으로 측정한 결과 수용성 MWF(108개 시료)의 기하평균이 0.35 mg/m³ 그리고 비수용성(143개 시료)은 0.40 mg/m³으로 모두 0.5 mg/m³ 미만으로 나타났다. 이 사업장의 공학적인 시설이 미흡하고 사업장내에 배기시설이 설치되었던 문제점이 있었음에도 불구하고 이처럼 공기중 MWF의 농도는 낮았다. 이렇게 낮았던 것은 필터에 채취된 MWF가 파과되었기 때문으로 판단할 수 있다. 현재 우리나라에서는 거의 대부분의 작업환경측정기관이 NIOSH # 0500과 # 5026방법을 이용하여 공기 중의 MWF를 측정하고 있다. 이 방법에 의한 측정결과는 허용기준(5 mg/m³)을 초과하는 경우가 매우 드물 것으로 판단된다. 더욱이 시료채취시간을 장시간(4 시간 등) 동안 할 경우에는 과소평가가 더욱 크리라 생각된다. 이것은 MWF를 취급하는 사업장에서 개선할 점이 많은 데도 불구하고 허용기준을 초과하지 않아 개선이 되지 않는 경우가 생길 수 있다. 따라서 MWF를 취급하는 사업장에서는 측정결과와는 상관없이 개선할 내용이 있다면 철저히 개선해야 한다.

NIOSH는 #0500방법에 의해 측정된 근로자노출농도와 역학조사에 의한 근거로 허용기준을 0.5 mg/m³을 제안하고 있다(NIOSH, 1996). 그러나 본 실험의 결과를 고려할 때 과소평가된 근로자노출농도를 기준으로 허용기준을 제안하는 것은 잘못된 결과를 초래할 가능성이 있다고 판단한다. 향후 국내의

MWF 미스트에 대한 기준을 조정할 때 반드시 이 부분이 고려되어야 할 것이다. PVC필터를 이용하여 MWF미스트를 채취할 때 과소평가되는 정도를 정확히 예측한다는 것은 매우 어렵다. 필터에 채취된 MWF의 손실은 본 연구에서 고찰한 바와 같이 MWF종류 및 사용특성, 공정의 특성에 따른 미스트의 크기분포 및 표면적, 시료채취시간 등이 복합적으로 영향을 미치기 때문이다. 현재 공기중의 MWF를 정확히 채취할 수 있는 매체가 없는 상태에서 필터에서는 손실된 MWF를 추정하여 보정하는 방안이 필요한 과정이라고 생각된다. 이에 따라 MWF의 종류와 사용특성에 상관없이 채취시간과 손실된 MWF양과의 관계를 분석하였다. 그 관계는 총손실양(%) = $18.4\% + 0.06 \times \text{채취시간}$ ($p=0.0000$)이다. 총손실양과 채취시간과의 설명력은 49.6 %였다. 이모형을 이용하여 PVC필터에 채취된 비수용성 MWF의 손실을 시료채취시간에 따라 보정할 수 있다. 공기중의 MWF를 정확히 채취할 수 있는 매체가 개발되기 전까지는 이러한 보정방안을 이용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

저자는 본 연구를 바탕으로 공기 중 비수용성 MWF를 정확히 채취할 수 있는 매체를 개발하고자 한다. 또한 수분의 함량이 많은 수용성 MWF의 증기화에 의한 손실수준을 추정할 수 있는 실험을 진행하여 비수용성 및 수용성, 합성 MWF 모두에 적용할 수 있는 방법을 찾아내도록 할 것이다.

IV 결 론

본 연구는 MWF 2종류를 챔버에서 분사시켜 PVC필터로 채취한 다음 공기통과와 건조과정에서 손실된 MWF양을 평가하고, 이를 근거로 손실된 MWF양을 시료채취특성 및 MWF종류별로 비교하여 실제 공기 중의 MWF를 측정할 때 손실된 양을 보정하는 방안을 제시하였다. 필터에 채취된 MWF는 공기가 통과함에 따라 파파가 일어나서 손실이 되었고 공기통과시간과 손실된 총 MWF양은 비례하여 증가하였다. 이것은 PVC필터에 채취된 MWF가 상온에서 증발이 어렵더라도 공기와 계속 접촉함에 따라 파파(breakthrough)되기 때문이다. 한편 공기를 전혀 통과시키지 않은 채취 후 1일 건조과정에서도 손실이 일어났다. 이것은 MWF가 분사, 공기통

과 등으로 인해 증발될 수 있는 성분이나 특성이 생겼기 때문으로 판단된다. 그리고 MWF의 사용특성에 따라서도 손실된 양이 차이가 있었다. 따라서 현재 공기 중 MWF를 PVC필터로 채취하는 공인된 방법(#5000)은 과소평가하는 방법이라고 할 수 있다. 현재 공기 중의 MWF를 정확히 채취할 수 있는 매체가 없는 상태에서 필터에서 손실된 MWF를 추정하여 보정하는 방안이 필요하다. 이에 따라 MWF의 종류와 사용특성에 상관없이 채취시간과 손실된 MWF양과의 관계를 분석해 본 결과 총손실양(%) = $18.4\% + 0.06 \times \text{채취시간}$ ($p=0.0000$, $r^2=49.6\%$)으로 나타났다. 이러한 모델을 이용하여 PVC필터에 채취된 MWF의 손실을 시료채취시간에 따라 보정할 수 있다. 공기 중의 MWF를 정확히 채취할 수 있는 매체가 개발되기 전에 이러한 보정방안을 이용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단 공모과제(신진교수)연구비에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- 박동욱, 김신범, 신철임 : 금속가공 공정에서 사용하는 MWF에 대한 측정방법의 문제점 고찰 - 필터에 부하된 MWF의 증기화에 대한 연구 - 한국환경위생학회지, 1999년 3월 게재 승인
- 백남원, 박동욱, 윤충식, 김신범, 김승원 : 우리나라에서 사용하는 광물유의 유해특성과 관리대책에 관한 연구. 한국산업위생학회지 7(2):171-180(1997)
- AAMA ; The Metalworking Environment Assessment and Control. Symposium Proceedings, Dearborn, Michigan, March(1996)
- Acquavella, J. F., and T. L. Leet : A Cohort Study Among Workers at a Metal Components Manufacturing Facility. J. Occup. Med. 33(8):896-900(1991).
- Ameille, J., P. Wild, D. Choudat, G. Ohl, J. F. Vaucouleur, J. C. Chaunut, and P. Brochard : Respiratory Symptoms, Ventilatory Impairment, and Bronchial Reactivity in Oil Mist-Exposed Automobile Workers. Am. J. Ind. Med. 27:247-256(1995).
- Eisen, E. A., P. E. Tolbert, M. F. Hallock, R. R. Monson, T. J. Smith, and S. R. Woskie : Mortality Studies of Machining Fluid Exposure in the Automobile Industry

III: A Case-control Study of Larynx Cancer. *Am. J. Ind. Med.* 26:185-202(1994).

Kenyon, E. M., S. K. Hammond, J. Shatkin, S. R. Woskie, M. F. Hallock, and T. J. Smith : Ethanolamine Exposures of Workers Using Machining Fluids in the Automotive Parts Manufacturing Industry. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 8(7):655-661(1993)

Leith, D., F. A. Leith, and M. G. Boundy : Laboratory Measurement of Oil Mist Concentrations Using Filters and an Electrostatic Precipitator. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 57:1137-1141(1996).

McAneny, J. J., D. Leith, and M. G. Boundy : Volatilization of Mineral Oil Mist Collected on Sampling Filters. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 10:1204-1211(1996).

NIOSH : Method 5026 Issue 2. In NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed.(NIOSH pub. no. 94-113). Cincinnati, OH : Department of Health and Services,

(1994).

NIOSH : Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposures to Metalworking Fluids. U.S. Dep. of Health and Human Services, CDC, NIOSH. February (1996)

Park, R., M., D. H. Wegman, M. A. Silverstein, N. A. Maizlish, and F. E. Mirer : Causes of Death among Workers in a Bearing Manufacturing Plant. *Am. J. Ind. Med.* 13:560-580(1988).

Raynor, P.C., S. Cooper, and D. Leith : Evaporation of Polydisperse Multicomponent Oil Droplets. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 57:1128-1136(1996).

Tolbert, P.E., E. A. Eisen, L. J. Pothier, R. R. Monson, M. F. Hallock, and T. J. Smith : Mortality Studies of Machining-Fluid Exposure in the Automobile Industry II: Risks Associated With Specific Fluid Types. *Scand. J. Work. Environ. Health* 18:351-360(1992).