

석사학위논문

공기 중 메탄올 농도를 측정하기 위한
실리카겔관, 확산식 시료채취기 및
가스검지관의 3가지 방법의 정확도
비교에 관한 연구

2017년

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
권 해 송

석사학위논문
지도교수 박두용

공기 중 메탄올 농도를 측정하기 위한
실리카겔관, 확산식 시료채취기 및
가스검지관의 3가지 방법의 정확도
비교에 관한 연구

A Comparative Study on Accuracy of Measurement Methods
using Silica Gel Tube, Passive Sampler and Colorimetric Gas
Detector Tube for Airborne Methanol

2016년 12월 일

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
권해송

석사학위논문
지도교수 박두용

공기 중 메탄올 농도를 측정하기 위한
실리카겔관, 확산식 시료채취기 및
가스검지관의 3가지 방법의 정확도
비교에 관한 연구

A Comparative Study on Accuracy of Measurement Methods using
Silica Gel Tube, Passive Sampler and Colorimetric Gas Detector
Tube for Airborne Methanol

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2016년 12월 일

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
권해송

권 해 송의 공학 석사학위 논문을 인준함

2 0 1 6 년 12 월 일

심 사 위 원 장 주 창 업 (인) 

심 사 위 원 우 윤 환 (인) 

심 사 위 원 박 두 용 (인) 

국 문 초 록

공기 중 메탄올 농도를 측정하기 위한 실리카겔관, 확산식
시료채취기 및 가스검지관의 3가지 방법의 정확도 비교에 관한 연구

한성대학교 대학원
기계시스템공학과
산업위생공학전공
권 해 송

최근 우리나라에서 휴대폰의 부품을 가공하는 CNC 공정에서 사용되던 메탄올 중독으로 5명의 근로자가 실명 등 심각한 건강장해를 입는 사고가 발생한 바 있다. 메탄올로부터 근로자를 보호하기 위해서는 작업환경 중 메탄올 농도를 파악하는 것이 매우 중요하다. 이에 본 연구는 현재 공기 중 메탄올을 측정하는 능동식 시료채취법과 확산식 시료채취방법 그리고 가스검지관을 이용한 방법 등 3가지의 측정 정확도에 대한 실험적 연구를 실시하였다. 농도수준이 일정하게 유지되는 챔버에서 3가지 방법으로 6시간 동안 메탄올을 측정한 결과는 다음과 같이 나타났다.

노출기준의 1/2수준인 100 ppm 수준에서 실리카겔관법으로 측정한 결과는 91.8 ± 8.0 ppm, 확산식 시료채취기는 78.9 ± 10.8 ppm, 가스검지관으로 6시간 동안 13회에 걸쳐 측정한 결과는 96.9 ± 10.8 ppm이었다. 노출기준인 200 ppm 수준에서는 실리카겔관법은 182.3 ± 5.6 ppm, 확산식 시료채취방법은 188.8 ± 7.1 ppm, 가스검지관은 200 ppm이었다. 노출기준 2배인 400 ppm 수준에서는 실리카겔관법은 401.0 ± 5.3 ppm, 확산식 시료채취기법은 395.6 ± 17.4 ppm, 가스검지관법은 407.3 ± 21.1 ppm이었다.

위와 같은 결과로 볼 때, 현장에서 메탄올 농도를 파악하는 데는 3가지 방법 모두 큰 문제없이 사용할 수 있는 것으로 나타났다. 특히 가스검지관은 측정방법이 간단하고 현장에서 즉시 측정결과를 알 수 있기 때문에 사업장의 자체 측정방법으로 가장 적절할 것으로 판단된다.

메탄올 작업환경측정의 표준방법으로 간주되는 NIOSH method #2000을 적용할 때 사용하는 실리카겔관(150/75 mg)의 메탄올 최대 흡착용량은 실리카겔 1 mg 당 30 μ g으로 파악되었으며, 뒷 층으로 파과가 되기 전까지의 흡착용량은 실리카겔 1 mg 당 17 μ g인 것으로 나타났다. 따라서 시판되는 실리카겔관(150/75 mg)을 사용할 경우, 뒷 층으로 파과 되지 않을 최대 포집용량은 2.2 mg이다. 이 조건에 따르면 공기 중 농도가 200 ppm인 경우 채취할 공기량은 최대 8.4 L이다.

【주요어】 메탄올, 메틸알코올, 검지관, 실리카겔튜브, 확산식시료채취기

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 필요성	1
제 2 장 연구 방법	5
제 1 절 시료채취 방법	5
제 2 절 알고 있는 공기시료 제조	5
제 3 절 측정 및 분석	7
1) 측정 시간	7
2) 시료채취 및 분석	7
가) 실리카겔관과 펌프	7
나) 확산식 시료채취기	8
다) 확산식 시료채취기의 농도 계산	8
3) 검지관을 이용한 측정	9
제 3 장 연구 결과	10
제 1 절 메탄을 측정법간 비교	10
1) 실리카겔관법과 가스검지관법의 비교	10
2) 실리카겔관법, 확산식 시료채취기법 및 가스검지관법 간 비교	13
가) 100 ppm 수준에서의 비교	13
나) 200 ppm 수준에서의 비교	16

다) 400 ppm 수준에서의 비교	18
제 2 절 실리카겔관의 흡착 용량	20
가) NIOSH method # 2000	20
나) 200 ppm 수준에서 상용 실리카겔의 흡착용량	20
 제 4 장 결 론	 23
 참 고 문 헌	 24
 ABSTRACT	 26

표 목 차

〈표 1〉 메탄올 분석을 위한 GC 분석조건	9
〈표 2〉 100 ppm 수준의 챔버에서 시간별 가스검지관 측정결과(ppm) ·	12
〈표 3〉 100 ppm 수준에서 실리카겔관과 가스검지관법 측정결과	13
〈표 4〉 100 ppm 수준에서 측정법간 메탄올 측정결과(ppm)	14
〈표 5〉 100 ppm 수준에서 시간대별 가스검지관 측정결과(ppm)	15
〈표 6〉 200 ppm 수준에서 시료채취매체별 메탄올 농도(ppm)	16
〈표 7〉 200 ppm 수준에서 시간대별 가스검지관 측정결과(ppm)	17
〈표 8〉 400 ppm 수준에서 시료채취매체별 메탄올 농도(ppm)	18
〈표 9〉 400 ppm 수준에서 시간대별 가스검지관 측정결과(ppm)	19
〈표 10〉 실리카겔관의 각 층별 메탄올 질량	22

그림 목 차

[그림 1] 일정한 농도 유지를 위한 실험용 장치	6
[그림 2] 100 ppm 수준의 챔버에서 시간별 가스검지관 측정결과	12
[그림 3] 100 ppm 수준의 챔버에서 시간별 가스검지관 측정결과	15
[그림 4] 200 ppm 수준의 챔버에서 시간별 가스검지관 측정결과	17
[그림 5] 400 ppm 수준의 챔버에서 시간별 가스검지관 측정결과	19
[그림 6] 실리카겔관의 파과정도 확인을 위한 연속 연결 방법	21
[그림 7] 5개 연속 연결된 실리카겔관의 총 별 흡착된 메탄올 양	22

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 필요성

2016년 1월 모 휴대폰 부품 제조업체에서 일하던 근로자 다수가 공기 중 메탄올에 노출되어 급성 중독을 일으켜 의식불명과 실명에 이르는 중대재해가 발생한 바 있다(고용노동부 2016a, 2016b). 사고가 발생한 공정은 알루미늄 재질의 휴대폰 부품을 가공하는 CNC(Computer numerical control, 이하 ‘CNC’라 함) 공정으로, 냉각제로 메탄올을 사용하였다(전국민주노동조합총연맹, 2016). 최근 알루미늄 휴대폰 부품을 가공하는 CNC 절삭기는 드릴의 회전속도가 최소 20,000 rpm을 훨씬 넘는다. 이러한 CNC 절삭기를 초고속절삭기(high speed running machine)라 한다. 이와 같은 초고속절삭기를 사용할 때 사용하는 냉각제(coolant)는 점성계수가 1 또는 1보다 작은 것이 좋다. 따라서 물이나 알코올을 사용할 수 있는데 보통 휘발성이 좋아 냉각효과가 크고, 냉각유로부터 CNC의 부품에 녹이 발생하는 것을 방지하기 위해 에탄올을 사용하도록 권고하고 있다(Datron Dynamics, Inc, 2010).

에탄올은 메탄올과 비슷하지만 가격이 약 3배 더 비싸다. 따라서 알루미늄 가공 시 CNC 고속 절삭기의 냉각유로 메탄올도 사용이 가능하지만 메탄올은 알코올에 비해 독성이 강하고 인체에 미치는 영향이 크므로 보통 CNC 제조업체에서는 냉각유로 에탄올을 사용하도록 하고 있다(Datron Dynamics, Inc, 2010).

그러나 국내 소규모 사업장에서 제조한 CNC 고속절삭기는 이러한 지침이나 매뉴얼을 제공하지 않고 있었으며, 홈페이지¹⁾에서 제공하고 있는 CNC 고속절삭기의 제품설명서나 카다로그에도 냉각유로 사용해야 할 화학물질을 명시하거나 화학물질에 대한 설명은 없었다.

고용노동부에서 조사한 바에 의하면 그 동안 알루미늄 휴대폰 부품을 가공하는 CNC 공정에서 사용한 절삭유로 메탄올이었다. 절삭기에 사용된 메탄올은 거의 100% 증발된다. 따라서 CNC 절삭기를 완전히 밀폐하고 국소배기장

1)지에스테크 <http://www.gstcnc.com/main/main.php> (2016.11.30. 최종방문)

치를 설치하지 않으면 그곳에서 일하는 근로자는 메탄올 증기에 노출될 가능성이 매우 높다. 사고가 발생한 사업장은 국소배기장치가 설치되어 있지 않았거나 설치된 국소배기장치의 성능도 매우 낮았다고 한다. 사고 발생이후 고용노동부와 안전보건공단에서 조사한 바에 의하면, 2016년 1월 22일 실명된 근로자가 일하던 작업장의 메탄올 농도는 1,103-2,220 ppm으로 노출기준의 10배를 초과하였다(전국민주노동조합총연맹, 2016).

메탄올의 우리나라 고용노동부의 직업적 노출기준은 TWA 200 ppm, STEL 250 ppm이다. 미국산업위생전문가협회(American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH)의 기준인 Threshold Limit Values, TLVs와 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)의 메탄올 기준도 TWA는 200 ppm, STEL은 250 ppm으로 정하고 있다.

메탄올은 무색의 액체로, 알코올의 냄새를 가지며 Wood alcohol이라고도 불린다. 유리 세정액, 기화기 세정제 및 여러 소비재에서 사용되고 있으며, 폼알데하이드나 메틸 테르트 부틸 에테르 제조에 사용된다(Curtis D. Klaassen, & John B. Watkins, 2015). 메탄올은 만성 보다는 급성 중독이 많이 알려져 있다. 메탄올은 12-24시간에서 길면 2일 이상의 잠복기를 거치며 잠복기를 거쳐 시각장애와 비가역 대사성산증을 일으킨다. 신체적 증상은 두통과 현기증, 메스꺼움 및 구토를 일으키며 복통과 호흡곤란을 일으키고, 극단적인 경우 혼수상태나 사망에 이를 수 있다. 증상과 함께 시야가 흐려지거나 심한 경우는 실명을 일으킨다(Robert Kavet, & Kathleen M. Nauss, 1990).

따라서 메탄올을 사용하는 사업장에서는 공기 중 메탄올 농도를 기준으로 관리할 필요가 있다. 이를 위해서는 작업환경 중 메탄올 농도수준이 얼마나 되는지 필요할 때마다 확인 할 필요가 있다.

산업보건분야에서 공기 중 메탄올을 측정하는 방법에는 여러 가지가 있다. 일반적으로 시료채취기구(sampling media)를 이용하여 공기 중 메탄올을 채취한 후 실험실에서 분석하는 방법이 널리 사용되고 있다. 이 방법은 작업시간 동안 연속하여 근로자에게 노출되는 양을 측정한다는 점에서 장점이 있지만 공기를 채취하기 위해 공기채취 펌프를 사용해야하기 때문에 근로자에게

착용해야 하며 펌프유량보정, 배터리 충전 등의 번거로움이 있다.

한편 확산식 시료채취법은 활성탄관이나 실리카겔 관처럼 공기채취 펌프를 사용하지 않고도 자연확산에 의해 화학물질을 포집할 수 있다. 펌프를 사용하지 않으므로 취급이 간편하고 편리하다. 반면 시료포집을 자연확산에만 의존하므로 시료포집속도가 낮아 측정 가능한 작업장의 공기 중 농도범위가 높고, 상대적으로 정확도가 떨어진다는 단점이 있으며, 단시간노출(STEL)을 평가하기 어렵다는 단점이 있다(OSHA, 1990).

메탄올은 분자량이 32.04 g/mol로 작고 증기압이 높으며 물에 잘 녹는 극성물질이므로, 활성탄에 잘 흡착되지 않는다. 따라서 활성탄관이나 활성탄 소재로 제작된 일반 유기용제용 확산식 시료채취기로는 시료가 어렵다. 실제로 활성탄 소재로 제작된 확산식 시료채취기로 널리 사용되고 있는 3M의 OVM 3500 등의 매뉴얼에 메탄올은 사용하기에 부적절한 물질로 구분되어 있다.

활성탄관 소재의 확산식 시료채취기를 이용하여 공기 중 메탄올 채취를 시도한 사례가 있다. 1990년 Pro-Tek Formaldehyde Badge(Series II, Type C-60; from Du Pont)를 사용하여 제한된 조건에서 메탄올 채취가 가능함을 증명한 사례가 있다(Toshio Kawai 등, 1990). 그러나 여러 가지 제한점으로 활성탄 소재의 확산식 시료채취기는 상용화되지 않았다.

현재 시중에서 구입이 가능한 상용화된 메탄올용 확산식 시료채취기는 실리카겔 소재로 된 것은 없고, Anasorb 소재로 제작된 SKC사의 Passive sampler for methanol이 있다. 이 제품의 단점은 포집속도가 매우 낮으며 가격이 비싸다는 점이다.

한편 공기 중 메탄올은 가스 검지관으로도 측정이 가능하다. 다만 검지관은 1-2분 정도의 순간농도만 측정하므로 근로자 1일 시간가중평균의 개인노출을 측정하기엔 적절하지 않다. 따라서 우리나라 법적인 작업환경측정시에는 검지관은 예비조사가 목적인 경우, 검지관 방식 외에 다른 측정방법이 없는 경우, 발생하는 가스상 물질이 단일물질인 경우(다만, 자격자가 측정하는 사업장에 한정) 중 하나에 해당하는 경우에만 사용하도록 하고 있다.

그러나 현장에서 공기 중 메탄올 노출로부터 근로자를 보호하기 위해서는 법적인 측정도 중요하지만 당사자들이 필요할 때마다 간단하게 농도수준을

파악하는 것이 훨씬 더 중요할 것이다. 현장에서 필요한 공기 중 메탄을 농도 정보를 얻기 위해서는 매우 정밀한 정확도보다는 정확도는 다소 떨어지더라도 대략적인 농도범위를 곧바로 알 수 있다면 그것이 더 유용한 측정법이 될 것이다. 사업장의 입장에서 자체적으로 측정을 하고자 할 때 검지관법이 아닌 시료채취기를 사용한다면 확산식 시료채취기를 선호할 것이다. 펌프가 필요 없기 때문에 자기들이 필요한 시점에 자체적으로 시료채취가 가능하기 때문이다.

그 동안 국내에서 여러 가지 공기 중 메탄을 측정법에 대한 정확도를 연구한 바는 거의 없다. 메탄올에 대하여 확산식 시료채취기와 검지관법의 정확도를 평가한 연구도 거의 없다. 그러나 2016년 1월에 발견된 메탄올 중독사고를 계기로 메탄올을 사용하는 작업장에서 공기 중 메탄올 농도 체크의 중요성이 크게 부각되었다. 이에 본 연구에서는 공기 중 메탄올 농도를 측정하기 위한 능동식 시료채취방법(실리카겔관)과 확산식 시료채취방법 그리고 검지관을 이용한 농도측정 방법 등 3가지 방법의 정확도에 대한 실험적 연구를 실시하였다.

제 2 장 연 구 방 법

제 1 절 시료채취 방법

본 연구에서 비교 실험한 3가지 방법은 다음과 같다.

첫째는 실리카겔관과 펌프를 이용하여 시료를 채취하고 가스크로마토그래피를 이용하여 분석하는 방법이었고, 둘째는 메탄올용 확산식 시료채취기를 사용하여 시료를 채취한 다음, 앞과 동일한 방법으로 분석하는 방법이고, 셋째는 메탄올용 검지관(111L, Gastec)을 이용하여 공기 중 메탄올 농도를 직접 측정하는 것이었다.

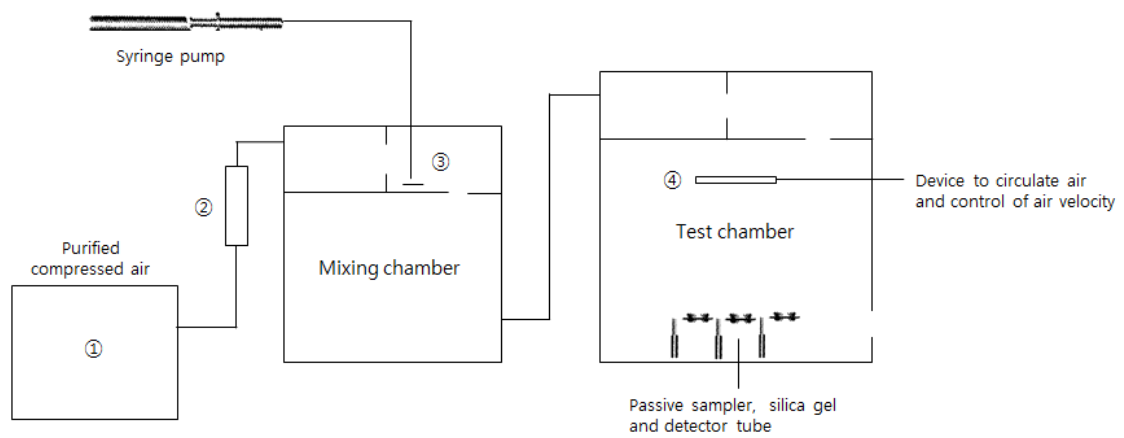
제 2 절 알고 있는 공기시료 제조

실험을 위해 알고 있는 공기 중 메탄올 시료를 제조하기 위해 [그림 1]과 같은 장치를 설치하였다.

공기정화장치와 건조기가 부착된 Air compressor로부터 공급되는 공기는 유량조절기(RMC-No. 22, Dwyer)를 통해 유량을 23 ± 3 L/min로 일정하게 유지하였다. 시험용 공기의 온도는 $21^{\circ}\text{C} \pm 5\%$, 습도는 20%를 유지하였다.

혼합용 챔버에 일정량의 메탄올을 주입하기 위해 실린지 펌프를 사용하였다. 주입된 메탄올은 가열판에서 기화되도록 하였다. 혼합용 챔버에서 메탄올과 혼합된 공기시료는 시료채취를 위한 시료채취용 챔버로 흘러가도록 하였다. 각 챔버의 크기는 $50\text{cm} \times 40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 였다.

시료채취용 챔버에는 메탄올이 공기와 완전히 혼합되도록 하고, 확산식 시료채취기에 일정이상의 기류가 형성되도록 DC 12V의 소형 팬(Fan)을 설치하였다. 이 팬은 전압조절기(Laboratory DC power supply UP-3003T, Unicorn-TMI)를 이용해 전압을 조절하여 기류가 0.3-0.4 m/s가 되도록 조절하였다. 기류속도는 열선풍속계(TPI-565 Hot-wire Anemometer, Kirin Corporation)로 측정하였다.



- ① 공기정화장치와 건조기가 부착된 컴프레샤 ② 유량계
③ 가열판 ④ 유량 조절을 위한 팬

[그림 1] 일정한 농도 유지를 위한 실험용 장치.

제 3 절 측정 및 분석

1) 측정 시간

측정시간은 고용노동부 고시(작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시)에서 1일 작업시간동안 6시간 이상 연속 측정하도록 규정한 것을 감안하였고, 실리카겔관의 포집용량을 등을 고려하여 6시간 정도 시료를 채취하였다.

2) 시료채취 및 분석

가) 실리카겔관과 펌프

실리카겔을 이용한 측정 및 분석은 NIOSH Method #2000의 방법을 준하였다. 실리카겔관은 SKC사 제품(Silica gel Tube No. 226-10, SKC 150/75 mg)이었다. NIOSH Method는 100/50 mg 용량의 실리카겔관을 기준으로 0.02-0.2 L/min의 유량의 범위에서 공기부피의 양을 최대 5 L로 정하고 있다. 그러나 6시간동안 측정할 경우 실리카겔관의 포집용량을 초과하여 파과될 것이 우려되었다. 따라서 150/75 mg 용량의 실리카겔관 2개를 연속 연결하였고, 공기채취 유량은 0.05 L/min으로 낮게 설정했다. 공기채취펌프(LFS-113 Low flow personal air sampling pump, Gilian)는 시료 채취 전과 후에 비누거품 유량계(Gilian challenger, Gilian)로 유량을 보정하였다. 시료의 분석은 실리카겔관의 각 층을 분리한 후 2 ml 바이알에 옮겨 Water(HPLC Grade, Fisher)와 Isopropyl Alcohol(GR Grade, Merck)을 95:5로 섞은 탈착용매 1 ml로 30분간 탈착하였다. 분석은 불꽃이온화 검출기가 부착된 가스크로마토그래피로 분석하였다. 분석 조건은 <표 1>과 같다.

나) 확산식 시료채취기

확산식 시료채취기로는 SKC사의 메탄올 전용 확산식 시료채취기(VOC Check 575, SKC)를 사용하였다. 시료채취기의 흡착제 소재는 Anasorb 747 이었다.

시료채취나 분석방법은 SKC사에서 제공한 매뉴얼(SKC 575-007 Passive sampler for Methanol Operation Instructions)에 따라 수행하였다. 시료채취기의 흡착제(Anasorb747)를 4 ml 바이알에 옮긴 후 Carbon disulfide(HPLC Grade, Sigma Aldrich)와 Dimethylformamide(HPLC Grade, Sigma Aldrich)를 50:50 비율로 섞은 탈착용매를 2 ml를 넣어 15분간 탈착하였다.

분석은 실리카겔과 동일하게 불꽃이온화 검출기가 부착된 가스크로마토그래피를 이용하였다. 분석 조건은 <표 1>과 같다. 확산식 시료채취기의 경우 시료채취 유량은 1.2 ml/min으로, 실리카겔관으로 채취시의 유량 50 ml/min에 비하여 크게 낮았다. 따라서 채취되는 메탄올의 양이 매우 적었다. 따라서 GC로 분석할 때 검출기로 들어가는 메탄올 양을 늘리기 위해 GC의 Split mode를 25:1로 재설정하였다.

다) 확산식 시료채취기의 농도 계산

확산식 시료채취기로 포집한 시료의 농도는 아래의 식(1)을 이용하여 계산하였으며 탈착효율은 SKC에서 제공하는 98 %를 적용했다.

$$C = \frac{(SW)(24.25 \times 10^6)}{(DE)(MW)(SR)(MIN)(T_1/T_2)^{1.5}(P_2/P_1)} \dots \text{식 (1)}$$

C = Concentration of chemical (ppm)

SW = Sample weight by analysis (mg)

T₁ = Sampling site temperature (Kelvin)

$T_2 = 298 \text{ K}$

$P_1 = \text{Sampling site pressure (mm Hg)}$

$P_2 = 760 \text{ mm Hg}$

DE = Desorption efficiency

MW = Molecular weight of chemical

SR = Sampling rate (ml/min)

MIN = Sampling time (min)

〈표 1〉 메탄을 분석을 위한 GC 분석조건

Parameter	Conditions	
	Active sampler	Passive sampler
GC	Agilent 6890	
Detector	FID(Flame Ionization Detector)	
Column	DB-WAX(20.0 m x 180 μm x 0.18 μm)	
Injector temp.	200°C	
Detector temp.	300 °C	
Injection volume	1 μl	
Split ratio	150:1	25:1
Temp status	Initial temp: 50°C hold initial temp 5min	Initial temp: 50°C hold 2.4min, ramp 15°C/min to 240°C 1 min

3) 검지관을 이용한 측정

검지관을 이용한 측정은 가스텍 사의 메틸알코올용 검지관(111L, Gastec)을 검지펌프(GV-100S, Gastec)에 연결하여 100 ml의 공기를 흡인시켜 2분후 측정하였다. 검지관 측정은 최소한 1시간에 한번씩 3회 반복 측정하였다.

제 3 장 연 구 결 과

제 1 절 메탄올 측정법간 비교

1) 실리카겔관법과 가스검지관법의 비교

본 연구의 목적 중의 하나는 가스검지관과 같은 방법으로 메탄올을 사용하는 사업장에서 간편하게 공기 중 메탄올 농도 확인이 가능한가, 그럴 경우 가스검지관을 사용할 때 측정의 정확도는 얼마나 되는가 하는 것이었다. 따라서 일단 산업보건 분야 표준측정방법으로 받아들여지고 있는 실리카겔 방법(NIOSH method #2000)과 가스검지관에 의한 측정법간 측정결과를 비교해 보았다.

이를 위해 시험용 챔버에 메탄올 농도가 일정하게 유지되도록 한 후, 가스검지관으로 매시간 마다 최소 3번 이상 농도를 측정하였고, 같은 조건에서 실리카겔관을 이용하여 시험용 챔버의 공기시료를 채취하고 분석하였다. 실리카겔관으로 공기를 채취할 때 유량은 0.05 L/min이었고 채취시간은 6시간이었다.

가스검지관으로 시험용 챔버의 메탄올을 측정한 결과는 <표 2> 및 [그림 2]와 같다. 어느 한 시점에 가스검지관을 3번 반복해서 측정한 결과는 3개가 거의 똑 같아 육안으로 차이를 구별할 수 없었다. 따라서 가스검지관은 검지관 마다의 변이는 실용적인 차원에서 볼 때 거의 없는 것으로 나타났다. 시험용 챔버의 메탄올 농도는 104.6 ± 13.3 ppm 수준으로 시간별 변이는 약 12.7%였다. 같은 시점에서 가스검지관의 차이가 거의 없는 점으로 미루어보아 시간대별 농도차이는 시험용 챔버에서의 실제 농도변이인 것으로 보인다.

한편 이 조건에서 실리카겔관으로 시료를 채취하여 측정한 결과는 <표 3>과 같다. 실리카겔관법으로 측정했을 때의 메탄올 농도는 122.7 ± 3.2 ppm이었다. 이는 가스검지관법의 측정결과인 104.6 ± 13.3 ppm와 비교할 때 평균은 약간 높았지만, 실무적으로 볼 때 현장의 농도수준을 평가하기에는 큰 문제가 있는 정도는 아니었다. 실리카겔관으로 측정한 결과가 가스검지관으로 측정한 결과보다 평균 약 10 % 높게 나타났다. <표 2>에서 본 바와 같이 가스검지

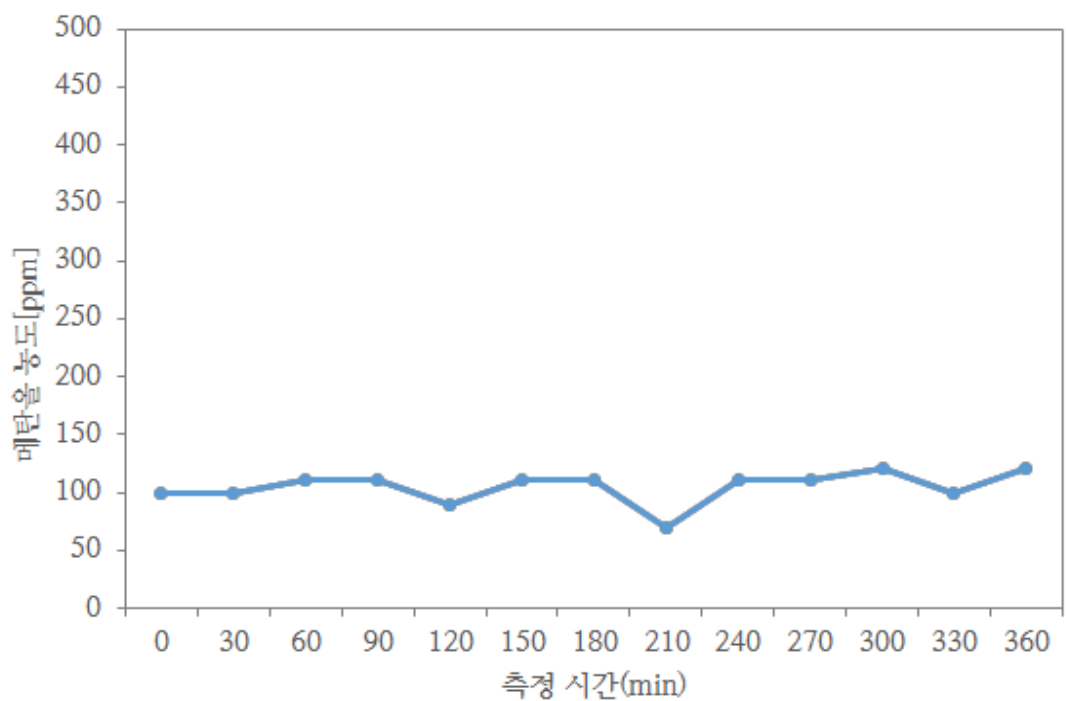
관으로 측정할 때는 시간대별로 약 12%정도의 변이가 있으므로, 이러한 오차 범위를 감안하면 가스검지관의 측정결과도 상당히 정확한 수준이라고 할 수 있을 것이다.

다만, 여기에서는 시험용 챔버의 공기 중 농도가 일정한 상태였으므로 가스검지관으로 어느 시점에서 측정해도 문제가 없지만, 시간대별 농도변이가 큰 사업장에서는 가스검지관으로 측정할 때에 시간대별로 여러 번 측정하여 농도수준을 평가하거나 확인하는 것이 필요할 것이다.

가스검지관 제조사인 가스텍에서 제공하는 메탄올용 가스검지관 사용 매뉴얼에 의하면 메탄올의 농도 40~200 ppm 수준에서 오차는 10 %라고 한다. 따라서 실무적으로 가스검지관으로 측정할 때는 이러한 오차범위를 안전율(safety margin)로 감안하여, 가스검지관 변색범위의 상한쪽을 읽는 것이 안전할 것으로 보인다.

〈표 2〉 100 ppm 수준의 챔버에서 시간별 가스검지관 측정결과(ppm)

시간 (min)	반복			평균	SD
	1	2	3		
0	100	100	100	100	0
30	100	—	—	100	0
60	110	110	110	110	0
90	110	—	—	110	0
120	90	90	90	90	0
150	110	—	—	110	0
180	110	110	110	110	0
210	70	—	—	70	0
240	110	110	110	110	0
270	110	—	—	110	0
300	120	120	120	120	0
330	100	—	—	100	0
360	120	120	120	120	0
AM	104.6	108.6	108.6	104.6	
SD	13.3	10.7	10.7	13.3	



[그림 2] 100 ppm 수준의 챔버에서 시간별 가스검지관 측정결과.

〈표 3〉 100 ppm 수준에서 실리카겔관법과 가스검지관법 측정결과(ppm)

실리카겔관법		가스검지관법	
N	농도	N	농도
3	124	13회 (42개 시료)	평균 104.6
	125		
	119		
AM	122.7	AM	104.6
SD	3.2	SD	13.3
RSD(%)	2.6	RSD(%)	12.7

2) 실리카겔관법, 확산식 시료채취기법 및 가스검지관법 간 비교

1차 실험에서 NIOSH method #2000과 가스검지관을 비교하여 두 방법 간 유사한 결과가 나오는 것을 확인하였고, 가스검지관간에는 오차가 거의 없이 일관성 있는 결과가 나오는 것도 확인할 수 있었다.

동적인 상태에서 시험용 챔버의 농도를 정확하게 맞추는 것은 매우 어렵다. 따라서 목표농도 수준에 근접하게 맞추되, 중요한 것은 농도가 일정하게 유지되는가 여부이다. 본 연구에서는 6시간 동안 시료를 채취하는 동안 매 30분마다 가스검지관으로 시험용 챔버의 농도수준을 확인하였다.

가) 100 ppm 수준에서의 비교

메탄을 노출기준의 50% 수준인 약 100 ppm 수준에서 실리카겔관법, 확산식 시료채취기법 및 가스검지관법의 3가지 방법으로 동시에 공기 중 메탄을 측정하는 결과는 〈표 4〉와 같다.

시험용 챔버에서 일정한 농도가 유지되는지 가스검지관으로 확인한 결과는 〈표 5〉 및 [그림 3]과 같다. 6시간 동안 측정을 하는 동안 4시간 이후 약간 변동이 있기는 했지만 시험용 챔버의 메탄 농도는 비교적 일정하게 유지되

었다. 메탄올 농도가 약간 변동이 있어도 실제 3가지 방법 간 측정의 정확도를 비교하는 데는 전혀 문제가 없다. 왜냐하면 같은 조건에서 동시에 측정을 했기 때문이다.

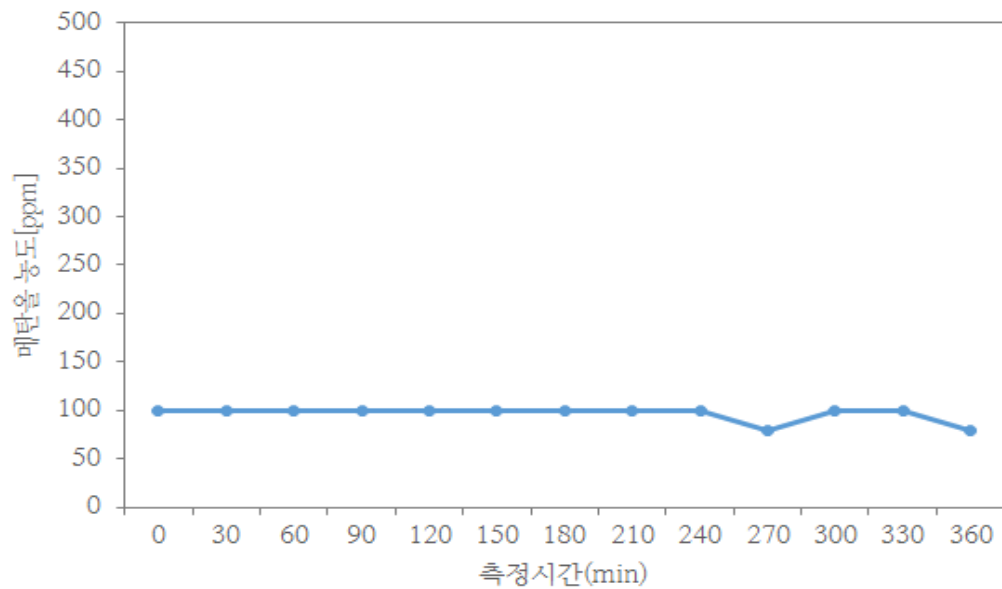
3가지 방법으로 6시간 동안 메탄올을 측정한 결과, 실리카겔관법으로 측정한 결과는 91.8 ± 8.0 ppm, 확산식 시료채취기의 방법은 78.9 ± 10.8 ppm이었고 가스검지관으로 6시간 동안 13회에 걸쳐 측정한 결과는 96.9 ± 10.8 ppm이었다.

〈표 4〉 100 ppm 수준에서 측정법간 메탄올 측정결과(ppm)

실리카겔관법		확산식 시료채취법		가스검지관법	
N	농도	N	농도	N	농도
3	94.3	3	90.7	13회 (42개 시료)	평균 96.9
	82.9		69.5		
	98.4		76.4		
Mean	91.8	Mean	78.9	Mean	96.9
SD	8.0	SD	10.8	SD	10.8
RSD(%)	8.7	RSD(%)	13.7	RSD(%)	13.7

〈표 5〉 100 ppm 수준에서 시간대별 가스검지관 측정결과(ppm)

측정시간 (min)	반복			평균	SD
	1	2	3		
0	100	100	100	100	0
30	100	—	—	100	0
60	100	100	100	100	0
90	100	—	—	100	0
120	100	100	100	100	0
150	100	—	—	100	0
180	100	100	100	100	0
210	100	—	—	100	0
240	100	100	100	100	0
270	80	—	—	80	0
300	100	100	100	100	0
330	100	—	—	100	0
360	80	80	80	80	0
AM	96.9	97.1	97.1	96.9	
SD	7.5	7.6	7.6	7.5	



[그림 3] 100 ppm 수준의 챔버에서 시간별 가스검지관 측정결과.

나) 200 ppm 수준에서의 비교

메탄을 노출기준인 200 ppm 수준에서 3가지 방법으로 측정한 결과는 <표 6>과 같다. 측정을 6시간 동안 매 30분마다 가스검지관으로 메탄을 농도를 측정한 결과는 <표 7> 및 [그림 4]와 같다.

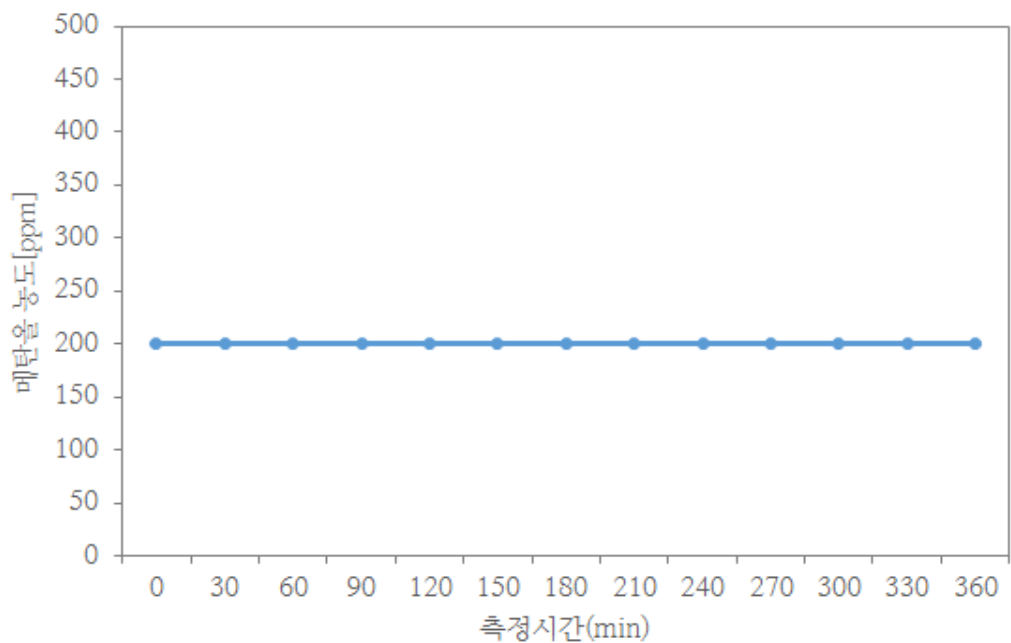
실리카겔관법으로 측정한 결과는 182.3 ± 5.6 ppm, 확산식 시료채취방법은 188.8 ± 7.1 ppm, 가스검지관을 이용해 측정한 결과는 일정하게 200 ppm이었다. 메탄을 200 ppm 수준에서 각 방법 간 차이는 ± 20 ppm 이내로 최대 10% 정도의 차이가 있지만 현장에서 변이를 고려할 때 실무적으로 현장에 적용하는 데에는 문제가 없을 것으로 보인다. 특히 가스검지관의 결과는 200 ppm으로 측정결과가 매우 일정하고, 약간 과대평가되는 것으로 보이지만 과소평가는 하지 않으므로 사업장에서 근로자를 보호하기 위한 작업환경 점검(체크)용으로 사용하는 데에는 매우 유용할 것으로 판단된다.

<표 6> 200 ppm 수준에서 시료채취매체별 메탄을 농도(ppm)

실리카겔관법		확산식 시료채취법		가스검지관법	
N	농도	N	농도	N	농도
3	188.2	3	192.4	13회 (42개시료)	평균 200.0
	177.1		192.2		
	181.7		180.0		
Mean	182.3	Mean	188.8	Mean	200.0
SD	5.6	SD	7.1	SD	0.0
RSD(%)	3.0	RSD(%)	3.8	RSD(%)	0.0

〈표 7〉 200 ppm 수준에서 시간대별 가스검지관 측정결과(ppm)

측정시간 (min)	반복			평균	SD
	1	2	3		
0	200	200	200	200	0
30	200	—	—	200	0
60	200	200	200	200	0
90	200	—	—	200	0
120	200	200	200	200	0
150	200	—	—	200	0
180	200	200	200	200	0
210	200	—	—	200	0
240	200	200	200	200	0
270	200	—	—	200	0
300	200	200	200	200	0
330	200	—	—	200	0
360	200	200	200	200	0
AM	200.0	200.0	200.0	200.0	
SD	0.0	0.0	0.0	0.0	



[그림 4] 200 ppm 수준의 챔버에서 시간별 가스검지관 측정결과.

다) 400 ppm 수준에서의 비교

시험용 챔버 내의 농도를 메탄올 노출기준의 2배인 400 ppm 수준으로 하여 3가지 측정법으로 동시에 측정한 결과는 <표 8>과 같다. 가스검지관으로 매 30분마다 메탄올 농도를 측정한 결과는 <표 9> 및 [그림 5]와 같다.

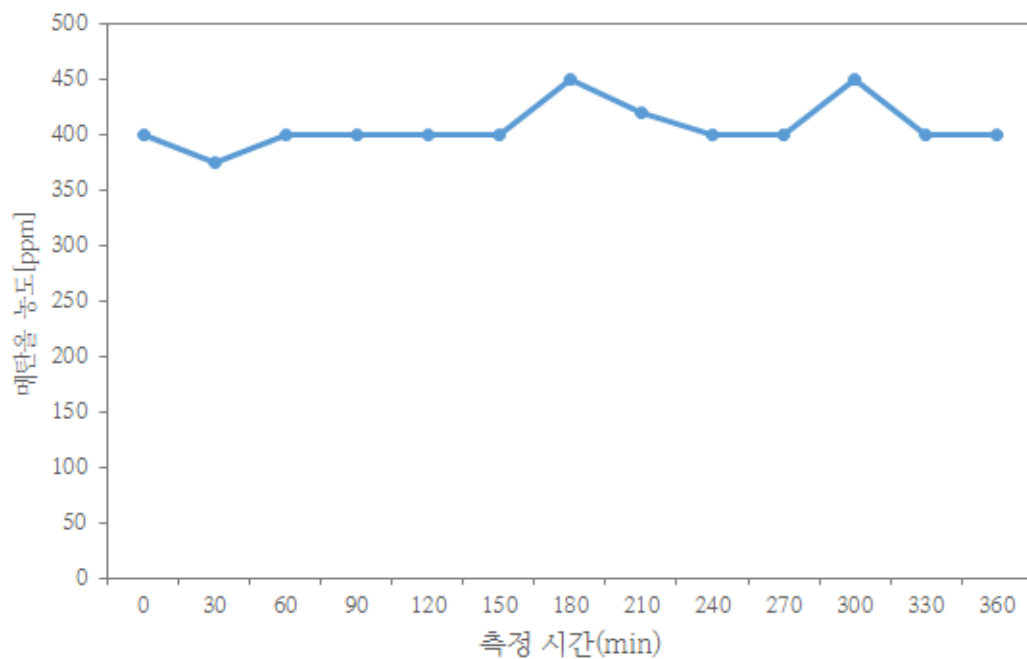
실리카겔관 방법으로 측정한 결과는 401.0 ± 5.3 ppm, 확산식 시료채취기법은 395.6 ± 17.4 ppm, 가스검지관을 이용해 측정한 결과는 407.3 ± 21.1 ppm 이었다. 메탄올 400 ppm 수준에서 각 방법간 차이는 ± 7 ppm 이내로 현장에서 변이를 고려할 때 실무적으로 현장에 적용하는데에는 거의 차이가 없을 것으로 보인다.

<표 8> 400 ppm 수준에서 시료채취매체별 메탄올 농도(ppm)

실리카겔관법		확산식 시료채취법		가스검지관법	
N	농도	N	농도	N	농도
	394.8		410.4		
3	404.6	3	376.4	13회	평균
	402.5		399.9	(42개시료)	407.3
Mean	401.0	Mean	395.6	Mean	407.3
SD	5.3	SD	17.4	SD	21.1
RSD(%)	1.3	RSD(%)	4.4	RSD(%)	5.2

〈표 9〉 400 ppm 수준에서 시간대별 가스검지관 측정결과(ppm)

측정시간 (min)	반복			평균	SD
	1	2	3		
0	400	400	400	400	0
30	375	—	—	375	0
60	400	400	400	400	0
90	400	—	—	400	0
120	400	400	400	400	0
150	400	—	—	400	0
180	450	450	450	450	0
210	420	—	—	420	0
240	400	400	400	400	0
270	400	—	—	400	0
300	450	450	450	450	0
330	400	—	—	400	0
360	400	400	400	400	0
AM	407.3	414.3	414.3	407.3	
SD	21.1	24.4	24.4	21.1	



[그림 5] 400 ppm 수준의 챔버에서 시간별 가스검지관 측정결과.

제 2 절 실리카겔관의 흡착 용량

실리카겔관으로 공기 중 메탄올을 측정할 때 오차가 발생하기 쉽기 때문에 가장 주의해야 할 사항 중의 하나가 실리카겔의 포집용량을 초과하여 메탄올이 더 이상 포집되지 않고 파과(breakthrough)되는 것이다.

가) NIOSH method # 2000

NIOSH method #2000에는 100/50 mg의 표준 실리카겔관을 사용할 경우 메탄올 200 ppm에서 채취하는 공기의 최대량은 5 L로 권고하고 있다. 공기량 5 L를 채취한다면 유량을 0.2 L/min으로 할 경우 최대 시료채취시간은 25분이며, 0.05 L/min으로 하면 100분, 0.02 L/min으로 하면 250분이다. 만약 농도가 이를 초과하면 시료채취시간은 점점 짧아질 것이다.

한편 200 ppm에서 5 L의 공기를 채취하면 메탄올 양은 1.31 mg이 된다. NIOSH method #2000에서는 100/50 mg의 표준 실리카겔관을 사용하도록 하고 있다. 따라서 파과가 되지 않기 위한 메탄올 최대 포집량은 계산상으로 실리카겔 100 mg 당 1.31 mg이 된다.

나) 200 ppm 수준에서 상용 실리카겔의 흡착용량

우리나라에서 시판되고 있어 널리 사용되고 있는 실리카겔인 SKC사 제품 (Silica gel Tube No. 226-10, SKC 150/75 mg)의 메탄올 포집용량을 알아보기 위해 다음과 같이 실험을 하였다.

실리카겔 앞 층의 150 mg을 제거하고, 뒷 층의 75 mg층만 남긴 실리카겔 5개를 일렬로 연결하여 공기 시료를 채취하였다([그림 6] 참조). 이와 같이 5개의 75 mg의 실리카층으로 구성된 실리카겔관에 0.1 L/min의 유량으로 시료를 채취하였다. 이렇게 하면 시간이 지남에 따라 맨 앞 층부터 포화되기 시작하므로 적절한 시간동안 시료를 채취하면 실리카겔 75 mg당 메탄올 몇 mg을 넘어서면 파과가 일어나는지 알 수 있고, 이를 통해 실리카겔의 메탄올

포집용량을 알 수 있기 때문이다. 메탄을 시험공기의 농도는 200 ppm 수준이었다.



[그림 6] 실리카겔관의 파과정도 확인을 위한 연속 연결 방법.

실험결과는 <표 10> 및 [그림 7]과 같이 나타났다. 거의 포화된 것으로 보이는 첫 번째 층(75 mg)에 흡착된 메탄올은 2.23 mg이었다. 따라서 실리카겔 1 mg당 메탄올 최대 흡착량은 30 μg 정도임을 알 수 있다.

첫 번째 층에 포집된 메탄올 양과 세 번째와 네 번째 층에 포집된 메탄올 양을 비교하면 거의 같다. 따라서 세 번째 층을 기준으로 네 번째 층에 포집된 메탄올의 양을 계산해 보면 3번의 실험에서 각각 26.9 %, 36.3 %, 34.0 %임을 알 수 있다. 만약 앞 층의 실리카겔 양을 뒷 층의 2배로 하면 뒷 층으로 파과 되는 비율은 위의 절반인 13%, 18% 및 17% 수준이 될 것이다. 실험간 변이가 다소 커 보이는 것은 실리카겔의 양이 정확하게 75 mg이 아니기 때문일 것으로 보인다.

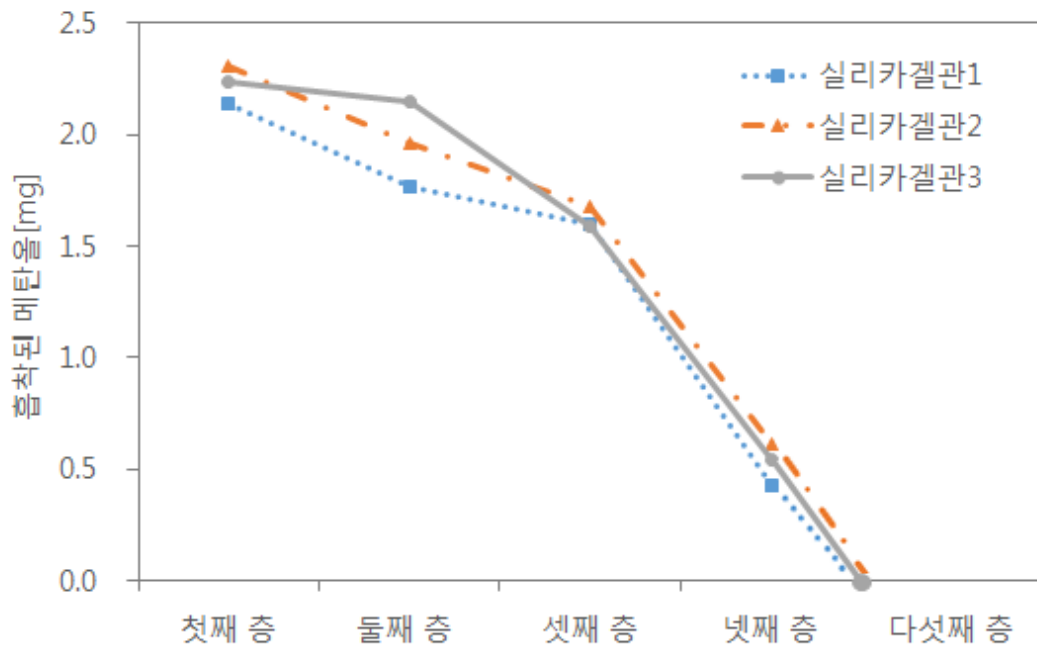
이와 같이 75/75 mg의 실리카겔관으로 뒷 층으로의 파과가 전혀 없도록 하여 100% 앞 층에만 포집되도록 하려면 세 번째 층에 포집된 양에서 네 번째 포집된 양을 뺀 값이 될 것이다. 즉 $1.62 \text{ mg} - 0.53 \text{ mg} = 1.1 \text{ mg}$ 이 될 것이다. 따라서 파과가 일어나지 않을 조건이라면 실리카겔 75 mg당 메탄올 양은 1.1 mg, 즉 실리카겔 1 mg 당, 메탄올 양은 17 μg 이 될 것이다.

따라서 150/75 mg의 실리카겔관을 사용하여 뒷층으로 파과가 전혀 일어나지 않도록 하는 메탄올 포집용량은 2.2 mg이다. 200 ppm에서 공기시료를 채취한다면 최대 공기량은 8.4 L가 된다. 따라서 유량을 0.2 L/min으로 할 경우 최대시료 채취시간은 약 42분, 0.05 L/min이라면 168분, 0.02 L/min이면 420분 동안 측정해도 파과가 일어나지 않을 것이다.

〈표 10〉 실리카겔관의 각 층별 메탄올 질량

	5층의 실리카겔(75 mg)에 포집된 메탄올(mg)					농도 [ppm]
	첫째 층 (%)*	둘째 층 (%)*	셋째 층 (%)*	넷째 층 (%)*	다섯째 층 (%)*	
1	2.14 (100)	1.77 (82.71)	1.60 (74.77)	0.43 (20.09)	ND (0.00)	204.6
2	2.31 (100)	1.96 (84.85)	1.68 (72.73)	0.61 (26.41)	ND (0.00)	212.0
3	2.24 (100)	2.15 (95.98)	1.59 (70.98)	0.54 (24.11)	ND (0.00)	215.2
Mean	2.23 (100)	1.96 (87.89)	1.62 (72.65)	0.53 (23.77)	ND (0.00)	210.7
SD	0.09	0.19	0.05	0.09	—	5.13
RSD(%)	4.0	9.7	3.1	17.0	—	2.4

*첫째 층에 흡착된 메탄올 양을 100%라고 할 때의 각 층 메탄올 흡착비.



[그림 7] 5개 연속 연결된 실리카겔관의 층 별 흡착된 메탄올 양.

제 4 장 결 론

이에 본 연구에서는 공기 중 메탄올 농도를 측정하기 위한 능동식 시료채취 방법과 확산식 시료채취방법 그리고 검지관을 이용한 농도측정 방법 등 3가지 방법의 정확도에 대한 실험적 연구를 실시하였다. 연구 결과는 아래와 같다.

1. 실험용 챔버 내의 메탄올 농도 100 ppm 수준에서 3가지 방법으로 6시간 동안 메탄올을 측정한 결과, 실리카겔관법으로 측정한 결과는 91.8 ± 8.0 ppm, 확산식 시료채취기의 방법으로 측정한 결과는 78.9 ± 10.8 ppm이었고 가스검지관으로 6시간 동안 13회에 걸쳐 측정한 결과는 96.9 ± 10.8 ppm이었다.

2. 실험용 챔버 내의 메탄올 농도 200 ppm 수준에서 실리카겔관법으로 측정한 결과는 182.3 ± 5.6 ppm, 확산식 시료채취방법은 188.8 ± 7.1 ppm, 가스검지관을 이용해 측정한 결과는 일정하게 200 ppm이었다. 메탄올 200 ppm 수준에서 각 방법 간 차이는 ± 20 ppm 이내로 최대 10% 정도의 차이가 있지만 현장에서 변이를 고려할 때 실무적으로 현장에 적용하는 데에는 문제가 없을 것으로 보인다.

3. 실험용 챔버 내의 메탄올 농도 400 ppm 수준에서는 실리카겔관 방법으로 측정한 결과는 401.0 ± 5.3 ppm, 확산식 시료채취기법은 395.6 ± 17.4 ppm, 가스검지관을 이용해 측정한 결과는 407.3 ± 21.1 ppm이었다. 메탄올 400 ppm 수준에서 각 방법 간 차이는 ± 7 ppm 이내로 현장에서 변이를 고려할 때 실무적으로 현장에 적용하는데에는 거의 차이가 없을 것으로 보인다.

4. 150/75 mg 실리카겔관으로 공기 중 메탄올을 측정할 때 오차가 될 수 있는 포집용량 초과가 발생되지 않기 위해 뒷 층이 전혀 파과 되지 않도록 하는 메탄올 포집용량은 2.2 mg이었다. 따라서 200 ppm에서 시료채취를 할 때 파과 되지 않도록 하는 공기량은 최대 8.4 L임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

고용노동부. (2013). 『작업환경측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시 (고용노동부고시 제2013-39호)』. 경기: 고용노동부.

고용노동부. (2016a). 고용부, 메틸알코올 중독 사업장 전면작업중지 및 집중 감독 실시. 『고용노동부 보도자료』. 검색일자: 2016. 12. 15.

<http://news.molab.go.kr/newshome/mtnmain.php?mtnkey=articleview&mkey=scatelist&mkey2=26&aid=6395>

고용노동부. (2016b). 핸드폰 부품업체에서 메틸알코올 중독 환자 추가(1명) 발생. 『고용노동부 보도자료』 검색일자: 2016.12.15.

<http://news.molab.go.kr/newshome/mtnmain.php?mtnkey=articleview&mkey=scatelist&mkey2=26&aid=6446>

오도석, 신경애, 이지아, 임종호, 신미선. (2010). GC에서 검출한계 결정을 위한 새로운 접근 방법에 대한 연구. 『한국산업위생학회지』, 20(4), 217-224.

이광용, 박두용, 정지연. (2004). 확산식 시료채취기에서 기류제어 막 공극 크기에 따른 시료채취율의 변화특성에 관한 연구. 『한국산업위생학회지』, 14(2), 125-133.

전국민주노동조합총연맹. (2016). 『불법파견 노동자 메탄올 급성 중독 실명 방지 박근혜 정부. 삼성, LG 규탄 기자회견 보도자료』. 서울: 전국민주노동조합총연맹.

전홍진, 이병규. (2006). 『증기발생챔버로 조제된 수동식 시료채취기구의 정도 관리시료 적합성 평가』. 울산: 한국산업안전공단 산업안전보건연구원.

2. 국외문헌

ACGIH. (2016). *TLV & BEL*. Cincinnati: ACGIH.

ACGIH. (2016). *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants*. Cincinnati: ACGIH.

Bernard E. Saltzman. (1973). Preparation of Known Concentrations of Air Contaminants. *The Industrial Environment-its Evaluation and Control*. Retrieved November, 11, 2016, from chn-guangzhou.mofa.go.kr/

Curtis D. Klaassen, & John B. Watkins. (2015). *Essentials of Toxicity 3rd edition*. Columbus: Mc Graw Hill Education.

Datron Dynamics, Inc. (2010a). *Safety requirements when operating the machine 06-10-10-V1.0*. Milford: Datron Dynamic, Inc.

Datron Dynamics, Inc. (2010b). *Machining with micro-tooling, High-Speed Machining Technology*. Jul/Aug 2010, 53-54.

Occupational Safety and Health Administration. (1999). *OSHA Technical Manual TED 01-00-015*. Retrieved November 12, 2016. from https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_ii/otm_ii_1.html

Robert Kavet, Kathleen M. Nauss. (1990). The Toxicity of Inhaled Methanol Vapors. *Critical Reviews in Toxicology*, 21(1), 21-50.

Toshio Kawai, Tomojiro Yasugi, Yoko Uchida & Masayuki Ikeda. (1990). Personal Diffusive Sampler for Methanol, a Hydrophilic Solvent. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 44(4), 514-520.

U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Physical Sciences and Engineering. (1976). *Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to methyl alcohol*. Atlanta: NIOSH.

ABSTRACT

A Comparative Study on Accuracy of Measurement Methods using Silica Gel Tube, Passive Sampler and Colorimetric Gas Detector Tube for Airborne Methanol

Kwon, Hae-Song
Major in Industrial Hygiene Engineering
Dept. of Mechanical Systems Engineering
The Graduate School
Hansung University

This study was conducted to evaluate accuracy and validity for 3 measurement methods for airborne methanol concentration; silica gel tube, passive sampler and colorimetric gas detector tube.

Known air samples were generated from a dynamic mixing chamber using a syringe pump and air supply systems. Samples were collected in the chamber for 6 hours with the standardized silica gel tubes and passive samplers(VOC Check 575, SKC). Measurements were also made using gas detector tubes every 30 minutes.

At the concentration level of the 1/2 Occupational Exposure Limit (OEL), measurements results were shown as 91.8 ± 8.0 ppm(silica gel tube), 78.9 ± 10.8 ppm(passive sampler) and 96.9 ± 10.8 ppm(detector tubes) respectively. At the OEL level, they were 182.3 ± 5.6 ppm(silica gel tube), 188.8 ± 7.1 ppm(passive sampler), 200 ppm(detector tubes). At the 2 x OEL level, they were 401.0 ± 5.3 ppm(silica gel tube), 395.6 ± 17.4

ppm(passive sampler) and 407.3 ± 21.1 ppm(detector tubes).

Based upon the above experimental results, it was concluded that any of 3 methods can be applied to estimate airborne methanol concentrations. It is believed that the colorimetric gas detector tubes can be used for self-checking airborne methanol concentrations in the field by both employer and workers because of real time measurement, convenience and easiness.

Maximum adsorption capacity of commercially available silica gel tube(No. 226-10, SKC 150/75 mg) was experimentally estimated as 30 $\mu\text{g}/\text{mg}$ Silica gel. However, it was estimated 17 $\mu\text{g}/\text{mg}$ Silica gel the adsorption capacity for no-breakthrough to back-section at 200 ppm. Thus, maximum air volume for sampling without breakthrough was estimated to 8.4 L for the silica gel tube.

【Keywords】 Methanol, Methyl alcohol, Silica gel tube, Passive sampler.
Gas detector tube