
고정밀 실시간 실외형 미세먼지
모니터링 시스템 개발

허 정 속

시흥녹색환경지원센터

[별지 제26호서식]

연구결과보고서

2017년도 연구개발사업에 따라 완료한 “고정밀 실시간 실외형 미세먼지 모니터링 시스템 개발”에 관한 연구의 최종 보고서를 붙임과 같이 제출 합니다.

붙임 : 최종 보고서 1부, 끝.

연구기관 : (주)네오센텍

연구책임자 : 허 정 숙 

연구기관장 : 강 두 수 

시흥녹색환경지원센터장 귀하

제 출 문

시흥녹색환경지원센터장 귀하

본 보고서를 “고정밀 실시간 실외형 미세먼지 모니터링 시스템 개발”에 관한 최종보고서로 제출합니다.

연구기관명 : (주)네오센텍

연구책임자 : 허 정 숙 연구소장

연 구 원 : 이상열, 오정은, 김경은

공동연구기관명 : 해당없음

고정밀 실시간 실외형 미세먼지
모니터링 시스템 개발

허 정 속

시흥녹색환경지원센터

요 약 문

I. 연구개요

매년 서울시의 미세먼지 경보 발생횟수는 지속적으로 증가하고 있으며, 수도권을 포함한 부산, 울산 등 주요 대도시에서도 미세먼지 농도는 증가하고 있다. 미세먼지에 대한 국민적 불안감 증대로 내 주변의 미세먼지 농도에 대한 정보 및 대책을 요구하고 있다.

미세먼지 측정기술은 현행 대기환경공정시험 기준에 따라 베타선을 이용한 측정법과 필터에 미세먼지를 포집한 후 무게차를 칭량하여 농도를 환산하는 중량농도법을 사용 중이다. 그러나, 이들 측정기기는 매우 고가이며, 유지·관리의 어려움뿐만 아니라 실시간으로 농도 확인이 불가능한 단점으로 현 대기의 미세먼지 농도를 알고자하는 수요자의 측면에서는 활용이 바람직하지 않은 경우가 많다. 이에 본 연구에서는 대기오염공정시험 기준인 중량농도법 및 베타선법의 대체 기술로 실시간 연속 모니터링이 가능한 광산란법을 이용, 미세먼지의 실시간 모니터링이 가능한 고정밀 국산화 기술을 개발하고자 하였다.

II. 연구의 필요성 및 목적

○ 고정밀 미세먼지 모니터링 국산화 기술개발 필요

현재까지 미세먼지를 입경별로 분류하여 실시간으로 미세먼지 농도를 측정하는 국내 기술은 미비하며, 대부분 해외 제품의 수입에 의존하고 있는 실정이다. 비교적 신뢰도가 높은 측정기기의 경우 미국과 독일 등에서 생산되는 고가형 제품이 대부분이며, 일반 대기환경에서 참고용으로 사용하고 있는 초저가형 측정센서의 경우, 중국제품이 대부분이다. 따라서, 국내 환경시장에서 외국산 제품을 대체할 수 있는 순수 국산기술의 광산란방식 측정기 개발은 매우 중요하다.

○ 미세먼지 측정 정확도 향상을 위한 전처리 기술 필요

현재 상용화되어 있는 미세먼지 측정기술 중 레이저를 이용한 광산란법은 반도체 클린룸에서 미세먼지의 개수농도를 측정하는 매우 고정밀 기술임에도 불구하고, 미세먼지 측정시 대기 중 수분 및 온도 등에 의해 농도에 영향을 받는 문제점이 있다. 따라서 대기환경 조건이 측정의 정확성에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 전처리 기술을 개발하여 측정의 신뢰성을 확보할 필요가 있다.

III. 연구의 내용 및 범위

연구 목표	연구개발 내용	연구 방법
실외용 광산란방식 미세먼지 측정 센서 검토 및 보완	<ul style="list-style-type: none"> 국내·외 광산란방식 미세먼지 측정기 기술조사 	<ul style="list-style-type: none"> 관련 기술 및 현황조사
	<ul style="list-style-type: none"> 레이저 광산란 모듈 보완 	<ul style="list-style-type: none"> 레이저 광산란방식 측정기의 광학부 등 검토 보완 광학장치의 최적화를 위한 시뮬레이션 및 보완 노이즈 최소화를 위한 암실 검토 및 보완
	<ul style="list-style-type: none"> 대기환경 특성에 적합한 다채널 입경분리 제어로직 보완 	<ul style="list-style-type: none"> 다채널 먼지 입경분리를 통한 해상도 향상 표준입자에 의한 광학 계측장치 성능평가 및 교정 보완
	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 처리 및 관리 제어모듈 보완 	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 처리 및 관리제어 로직 검토 및 보완
실외용 레이저 광산란 미세먼지 측정 센서 성능 극대화를 위한 전처리기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 실외에서 미세먼지 측정의 정확도 향상을 위한 전처리기술의 국내외 기술 자료조사 	<ul style="list-style-type: none"> 국내 및 미국, 독일 등 국외에서 연구된 전처리기술 자료 조사
	<ul style="list-style-type: none"> 온도와 습도를 제어하는 전처리 장비 설계 및 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 가온식 및 희석방식 등에 의한 온습도 조절 전처리 장비의 설계·제작
	<ul style="list-style-type: none"> 전처리기술 전·후 측정값 비교를 통한 성능평가 	<ul style="list-style-type: none"> 전처리장치를 장착한 측정기와 장착하지 않은 측정기의 측정값 비교실험
	<ul style="list-style-type: none"> 기상상태를 변수로 고려하여 중량농도법, β-ray 방식과의 측정값 비교 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 고온시, 안개가 짙을 때, 비가 올 때 등 기상조건 별로 중량농도법과 β-ray 방식 측정기와 비교실험
미세먼지 측정도 향상을 위한 온도·습도 보정식 및 중량농도 환산 로직 개발	<ul style="list-style-type: none"> 대기 중 온도와 습도의 실시간 측정값을 적용한 보정식 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 실측되는 온습도 값을 적용하여 측정값들에 대한 온습도 보정식 연구
	<ul style="list-style-type: none"> 광산란 미세먼지 측정기 실시간 중량농도 환산 및 보정로직 검토 및 보완 	<ul style="list-style-type: none"> 중량농도 환산 로직 및 데이터 관리 보정로직 검토 보완
전처리기술을 포함한 실외용 미세먼지 모니터링시스템의 현장적용 평가	<ul style="list-style-type: none"> 서울시 대기 측정망 자료와 비교 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 서울시 대기측정소에 본 연구의 미세먼지 측정기 설치하여 동일한 기간동안의 측정값 비교분석
IoT용 송수신 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> 송수신 모듈 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 송수신 모듈 제작

IV. 연구결과

실외환경에서 광산란방식을 이용하여 실시간으로 미세먼지 측정 시, 환경변화로 발생하는 측정값의 오차 발생을 최소화할 수 있도록 기존 실내용 미세먼지 센서의 안정성을 확보하고 측정값의 정확도를 향상시키고자 하였다.

첫 번째 실외용 레이저 광산란 미세먼지 측정센서를 보완하였다.

노즐 위치를 조정하여 다양한 노즐 위치를 대상으로 시뮬레이션 등을 진행하고 성능을 향상시킬 수 있도록 노즐 위치를 변경하여 적용하였으며 노이즈 최소화를 위해 암실 광제거부의 형태를 변형, 기존 원뿔형으로 되어 있는 광제거부를 원기둥을 비스듬히 자른 형태로 레이저가 어느 위치에서도 튕기지 않고 광제거부를 통해 소멸될 수 있도록 보완하여 적용하였다. 또한 장치의 연속 측정시 발광부 온도 상승의 영향으로 레이저 감도가 떨어져 농도가 저평가 되는 것을 방지하기 위해 PID 제어방식을 이용하여 레이저 빛 보정을 통해 일정 광량을 유지함에 따라 기존장치보다 농도가 높게 측정되는 것을 확인하였다. 기존 8채널로 입경분리되어 측정되던 것을 16채널로 세분화하여 입경분리 해상도를 향상시키고자 하였으며 최종 보완된 장치를 대상으로 Grimm社 장비를 기준으로 성능평가를 진행한 결과 질량농도의 측정오차는 10% 이내, 입경별 입자계수 농도의 측정오차는 5% 이내로 나타났다.

두 번째 센서 성능 극대화를 위한 전처리기술을 개발하였다. 광산란방식 미세먼지의 측정 오차의 원인은 고온, 다습환경으로 확인되었으며 측정 안정 온도 및 상대습도 범위는 40℃이하, 75%이하인 것으로 확인되었다. 해당 범위를 유지할 수 있는 안정적인고 효율적인 전처리 장치를 개발하고자 하였으며 시료의 가온에 의해 상대습도를 낮추어 수분의 영향을 최소화 하는 가온식과 희석에 의해 상대습도를 낮추는 희석식 장치를 개발하여 제작하고 성능테스트를 진행하였다.

그 결과, 최악의 온도 및 상대습도 조건(온도 30℃, 상대습도 82%/온도 24℃, 상대습도 100%)에서 가온식 및 희석식 전처리장치 모두 측정 안정 온도 및 상대습도 범위를 유지하는 것으로 확인되었다.

그러나 고습도의 상황을 구성하고 미세먼지를 주입한 상태에서 성능평가를 진행한 결과 희석식 전처리 장치는 측정농도가 떨어져 정확한 데이터를 표출하지 못하였으나 가온식 전처리장치는 안정적으로 측정하는 것으로 확인되어 이를 활용하여 이후 테스트를 진행하였다.

가온식 전처리 장치를 이용하여 시료의 상대습도를 전처리할 경우 별도의 보정식을 적용하지 않아도 비교적 신뢰도가 높은 것으로 확인되어 온습도 보정식은 적용하지 않는 것으로 하였으며, 현장 특성에 따른 입자별 밀도 분석 등을 통해 중량농도 환산로직을 추가 적용하여 신뢰도 높은 측정값이 도출될 수 있도록 하였다. 중량농도 환산로직을 추가 적용하였을 때 일평균 오차는 PM10의 경우는 적용 전 12.10%에서 3.34%로, PM2.5의 경우 14.38%에서 4.40%로 감소하였으며, 시간평균 오차는 PM10의 경우는 적용 전 33.28%에서 11.82%로, PM2.5의 경우 41.62%에서 16.20%로 감소하였다.

최종 개발 완료된 전처리 장치를 적용하여 광산란방식 미세먼지 모니터링장치를 구성하고 해당 장치를 서울시 종로구에 위치한 일반대기측정소에 설치하여 대기오염공정시험 기준인 중량농도법 또는 베타산흡수법과 비교 분석하여 그 성능에 대한 현장적용성 평가를 진행하였다. 약 6일간의 측정 데이터를 비교한 결과, 기존 측정망 자료와 본사의 광산란측정기의 측

정결과가 유사한 것으로 나타났으며, 평균 오차율은 기존 중량농도법 대비 PM10의 경우 3.34%, PM2.5의 경우 4.40%로 나타났다.

또한, 현재 급상승하고 있는 IoT 기술에 손쉽게 접근할 수 있도록 최적의 통신 기술을 적용하고자 하였다. 일반적으로 사용하는 UART의 경우 보통 TTL 신호레벨을 갖기 때문에 노이즈에 약하고 통신거리에 제약이 있어 이를 보완하기 위해 Line Driver/Receiver를 적용하였으며 이중 대표적인 것이 RS232 422, 423, 485 등이 있다. 본 연구에서는 RS485의 장점인 데이터의 유실이 적은 것과 다른 유선통신방식에 비해 비교적 통신거리가 긴 점을 활용하여 측정값 송수신 시 RS485를 적용하여 구성하였다.

V. 연구결과의 활용계획

- 실외환경의 미세먼지 특성 및 현황조사를 통한 데이터베이스 구축에 활용
- 현 정부에서 추진 중인 학교 등의 실시간 미세먼지 측정에 활용
- 지자체에서의 고해상도 미세먼지 정보제공을 위한 시스템 구축에 활용
- 미세먼지 발생 및 배출 우려가 있는 일반 건설현장 및 터널 공사장 등에 활용
- 현 대기오염공정시험 기준인 중량농도법, 베타선 흡수법 측정기의 등가기술로 검증 받음으로서 대기 측정망 모니터링 기술의 확보 및 확대
- 환경부에서 추진하고 있는 IoT 기반 지능형 환경오염 정보시스템에서의 미세먼지 측정 기술로 활용

<본문목차>

제 1 장 서론	1
1. 연구의 필요성	3
2. 연구목표 및 내용	4
2.1 최종 목표	4
2.2 연구 내용 및 방법	5
2.3 연구 추진 체계	6
2.4 연구 추진 전략	6
제 2 장 관련 기술 및 현황 분석	7
1. 광산란방식 미세먼지 측정기술	9
1.1 광산란방식	9
1.1.1 스펙트로메타식 (Spectrometer)	9
1.1.2 네펠로미터식	10
1.1.3 스펙트로미터식과 네펠로미터식의 특징 비교	11
1.2 국내외 광산란방식 미세먼지 측정기	12
1.2.1 국내 광산란방식 미세먼지 측정기 현황	12
1.2.2 국외 광산란방식 미세먼지 측정기 현황	13
2. 시료 전처리 기술	16
2.1 광산란방식 미세먼지 측정기 오차 원인	16
2.2 시료 전처리 기술	17
제 3 장 연구 방법 및 결과	21
1. 실외용 광산란방식 미세먼지 센서 보완	24
1.1 레이저 광산란 모듈 보완	24
1.1.1 센서 내 노즐 위치 보완	25
1.1.2 광학부 보완	27
1.1.3 노이즈 최소화 방안 마련	29
1.1.4 미세먼지 센서 보완 전/후 성능비교 평가	30
1.2 다채널 입경분리 제어로직 보완	33
1.2.1 입경분리 해상도 향상	33
1.2.2 교정 및 성능평가	37

<본문목차>

1.3 데이터 처리 및 관리 제어모듈 보완	54
2. 성능 극대화를 위한 전처리기술 개발	55
2.1 광산란방식 미세먼지 측정기 신뢰도 향상 방안	55
2.1.1 광산란방식 미세먼지 측정오차 발생원인	55
2.1.2 최악의 시료 조건 설정 및 전처리장치 목표값 설정	56
2.2 기존 미세먼지 측정장치 전처리설비 조사	60
2.3 온습도 전처리 장치 설계 및 제작	62
2.3.1 전처리 방식	62
2.3.2 전처리 장치 설계 및 제작	63
2.4 전처리장치 성능평가	67
2.4.1 사전 시뮬레이션	67
2.4.2 전처리장치 성능평가 방법	68
2.4.3 전처리장치 성능평가 결과	71
2.4.4 기상상태를 변수로 한 전처리장치 적용성 평가	73
3. 온습도 보정식 및 중량농도 환산 로직 개발	78
3.1 입경별 개수농도 값의 중량농도 환산 변수	78
3.2 광산란방식 측정기 중량농도 편차 원인	78
3.3 보정계수 및 교정 프로그램 로직	79
3.4 환산로직 적용성 평가	80
4. 미세먼지 모니터링시스템 현장 적용성 평가	82
4.1 대기측정망 자료와의 비교 분석	82
제 4 장 결론 및 활용계획	93
1. 결론	95
2. 활용계획	96
부 록	99
1. 현장 적용성 평가 Raw-Data	101

<표목차>

<표 1> 스펙트로미터 방식과 네펠로미터 방식의 광산란 측정장비 비교	12
<표 2> 광산란방식 미세먼지 측정기술 현황 및 최종 기술개발 목표	23
<표 3> 채널별 입경분리 구간	33
<표 4> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_1차	38
<표 5> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_2차	47
<표 6> 최악의 온도 및 상대습도 조건 설정	57
<표 7> 온도별 포화수증기량표	58
<표 8> 가온 및 희석에 의한 전처리 방식 특징	62
<표 9> 가온식 전처리장치 내부 유속 시뮬레이션 결과	67
<표 10> 온습도 전처리장치 히터 사양	70
<표 11> 다양한 보정계수 (DustTrack (미국 TSI) 측정기 기준)	80
<표 12> 대기 측정망 자료와 비교분석 결과_시간평균	83
<표 13> 대기 측정망 자료와 비교분석 결과_일평균	89
<표 14> 인터페이스 방식의 특성	90
<표 15> 경제성 검토	97
<표 16> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 1일	102
<표 17> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 2일	106
<표 18> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 3일	110
<표 19> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 4일	114
<표 20> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 5일	118
<표 21> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 6일	122
<표 22> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 7일	126
<표 23> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 8일	130
<표 24> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 9일	134
<표 25> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 10일	138
<표 26> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 11일	142

<그림목차>

<그림 1> 미세먼지 측정 장비	3
<그림 2> 고정밀 실시간 실외용 미세먼지 모니터링시스템 구성도	4
<그림 3> 레이저 광산란방식 미세먼지 측정 원리	9
<그림 4> 스펙트로미터 방식의 광산란측정장치의 측정원리	10
<그림 5> 스펙트로미터 방식의 광산란측정장비 (Dust Spectrometer, OPS)	10
<그림 6> 네펠로미터 방식의 광산란 측정원리 (Opacimeter)	11
<그림 7> 네펠로미터 방식의 광산란 측정장비 (Dustmate, LD-3B, Dust Track)	11
<그림 8> 랩코 사의 광산란 방식 미세먼지 측정장비 (옥외용)	12
<그림 9> SPTC 사의 P-5C Particulate Monitor	13
<그림 10> Grimm 사의 광산란 방식의 먼지자동측정기(Grimm-1108)	14
<그림 11> DustTrak DRX 에어로졸 모니터 8533	14
<그림 12> 일본의 Kanomax사 먼지측정기	15
<그림 13> 중국 Honri Air Clean Tech.사의 particl counter 제품	15
<그림 14> 미세먼지의 다양한 형태	16
<그림 15> 확산 제습장치(실리카겔) 예시	17
<그림 16> TSI사의 Heated Inlet Sample Conditioner	18
<그림 17> 희석 혼합튜브(Mixing tube) 예시	18
<그림 18> 일반적인 Nafion Dryer 예시	19
<그림 19> 광산란방식 계측기의 개요도	24
<그림 20> 미세먼지 검출 스펙트럼	25
<그림 21> 노출위치에 따른 내부 유속 비교	26
<그림 22> 노출위치 보완 전후 비교	27
<그림 23> PID 제어 개요	27
<그림 24> 광학부 보완 전/후 측정값 비교	28
<그림 25> 광제거부 보완 전후 비교	29
<그림 26> 암실 보완 전후 비교	30
<그림 27> 미세먼지 센서 물리적 보완 전/후	30
<그림 28> 미세입자 분리장치 성능평가 실험 장면	31
<그림 29> 미세먼지 센서 보완 전/후 성능비교 평가 결과	32
<그림 30> 8채널(기존) 회로도 및 PCB 설계도	34
<그림 31> 16채널(보완) 회로도 및 PCB 설계도	35
<그림 32> 8채널(기존) 측정 데이터	36
<그림 33> 16채널(보완) 측정 데이터	36
<그림 34> 미세입자 분리장치 성능평가 실험 장면	37

<그림목차>

<그림 35> 보완 측정기(16채널)와 Grimm社 측정값 비교 (1차)	44
<그림 36> 표준입자 입경분포	45
<그림 37> 보완 측정기(16채널)와 Grimm社 측정값 비교 (2차)	46
<그림 38> 보완 측정기(16채널)와 Grimm社 측정값 비교 (2차)_저농도	52
<그림 39> 보완 측정기(16채널)와 Grimm社 측정값 비교 (2차)_고농도	53
<그림 40> 다채널 입경분리 제어로직 제작	54
<그림 41> 상대습도에 따른 에어로졸 산란계수	55
<그림 42> 다채널 입경분리 제어로직 제작	56
<그림 43> 습공기선도를 이용한 전처리장치 목표온도 설정	60
<그림 44> Grimm社 실외형 미세먼지 측정장치용 전처리	61
<그림 45> TSI사의 Heated Inlet Sample Conditioner	61
<그림 46> 희석식 전처리장치 설계 및 제작도	63
<그림 47> 가온식 전처리장치 A(1hole) 설계 및 제작도	64
<그림 48> 가온식 전처리장치 B(3hole) 설계 및 제작도	65
<그림 49> 가온식 전처리장치 C(7hole) 설계 및 제작도	66
<그림 50> 가온식 전처리장치 비교	67
<그림 51> 가온식 전처리장치 종류별 내부 유속 _0.5 LPM	68
<그림 52> 가온식 전처리장치 종류별 내부 유속 _1 LPM	68
<그림 53> 희석식 전처리장치 성능평가 테스트 장치 개요	69
<그림 54> 전처리장치 전.후단 유량 확인	70
<그림 55> 가온식 전처리장치 성능평가 테스트 장치 개요	71
<그림 56> 희석식 전처리장치 성능평가 결과	72
<그림 57> 가온식 전처리장치 성능평가 결과	73
<그림 58> 가온식 전처리장치 미세먼지 주입 기초테스트 개요	74
<그림 59> 가온식 전처리장치 미세먼지 주입 기초테스트 결과	75
<그림 60> 희석식 전처리장치 미세먼지 주입 기초테스트 개요	76
<그림 61> 희석식 전처리장치 미세먼지 주입 기초테스트 결과	77
<그림 62> 개발된 중량농도 환산로직 적용 전/후 측정값 비교	81
<그림 63> 광산란측정기 설치모습	82
<그림 64> 대기 측정망 자료와 비교 결과_시간평균	88
<그림 65> 대기 측정망 자료와 비교 결과_일평균	89
<그림 66> RS485통신	91
<그림 67> 향후 추진계획	96
<그림 68> 본사 측정기 Raw-Data 범례	101

제 1 장 서 론

1. 연구의 필요성	3
2. 연구목표 및 내용	4

제 1 장 서 론

1. 연구의 필요성

○ 고정밀 미세먼지 모니터링 국산화 기술개발 필요

현재 국내에서 사용하는 미세먼지 측정법은 대기오염공정시험 기준에 따라 최소 1시간 단위로 측정하는 베타선을 이용한 측정법과 필터에 미세먼지를 포집한 후 무게차를 칭량하여 하루 평균 농도를 측정하는 중량농도법을 사용하고 있다.

이러한 측정법은 측정기술이 복잡하고 측정기기가 매우 고가이며, 관리의 어려움뿐만 아니라 실시간으로 농도를 확인하는 것이 거의 불가능한 실정이다. 따라서 정보 수요자의 측면에서는 활용도가 떨어질 수밖에 없으며, 이에 따라 측정결과에 대한 신뢰도 또한 낮아질 수 있다.



<그림 12> 미세먼지 측정 장비

현재까지 미세먼지를 입경별로 분류하여 실시간 농도를 측정하는 국내기술은 본사 외에는 없으며, 대부분 해외 제품의 수입에 의존하고 있다. 성능이 좋은 측정기의 경우, 미국, 독일 등에서 생산되는 제품이 대부분이고, 일반 대기 환경에서 참고용으로 사용하고 있는 초저가형 센서의 경우, 중국에서 생산되는 경우가 많아 국내 미세먼지 측정기의 수요에 부응하는 수준의 국산화 기술 개발이 시급한 실정이다.

○ 미세먼지 측정 정확도 향상을 위한 전처리 기술 필요

현재 상용화되어 있는 미세먼지 측정기술 중 레이저 광산란법은 반도체 클린룸에서 미세먼지의 개수농도를 측정하는 매우 고정밀 기술임에도 불구하고, 미세먼지 측정시, 대기 중 수분 및 온도 등에 의해 측정농도에 영향을 받는 문제점이 있다.

이러한 대기환경 조건이 측정의 정확성에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 기술을 개발하여 측정의 신뢰성을 확보할 필요가 있다.

2. 연구목표 및 내용

2.1 최종 목표



<그림 13> 고정밀 실시간 실외용 미세먼지 모니터링시스템 구성도

- 실외용에 적합한 레이저 광산란 미세먼지 측정 센서의 검토 및 보완
 - 광산란방식 미세먼지 측정기의 국내외 기술 조사
 - 레이저 광산란 모듈 보완
 - 대기환경 특성에 적합한 다채널 입경분리 제어로직 보완
 - 데이터 처리 및 관리 제어모듈 보완

- 실외용 레이저 광산란 미세먼지 측정 센서 성능 극대화를 위한 전처리기술 개발
 - 실외에서 미세먼지 측정의 정확도 향상을 전처리기술의 국내외 기술 자료조사
 - 온도와 습도를 제어하는 전처리 장비 설계 및 제작
 - 전처리기술 전·후 측정값 비교를 통한 성능평가
 - 기상상태를 변수로 고려한 중량농도법, β -ray 방식 측정기와 측정값 비교분석

- 미세먼지 측정도 향상을 위한 온도·습도 보정식 및 중량농도 환산 로직 개발
 - 대기 중 온도와 습도의 실시간 측정값을 적용한 보정식 개발
 - 광산란 미세먼지 측정기 실시간 중량농도 환산 및 보정로직 개발

○ 전처리기술을 포함한 실외용 미세먼지 모니터링시스템의 현장적용 평가

- 서울시 대기 측정망 자료와 비교 분석

○ IoT용 송수신 시스템 개발

- 송수신 모듈 개발

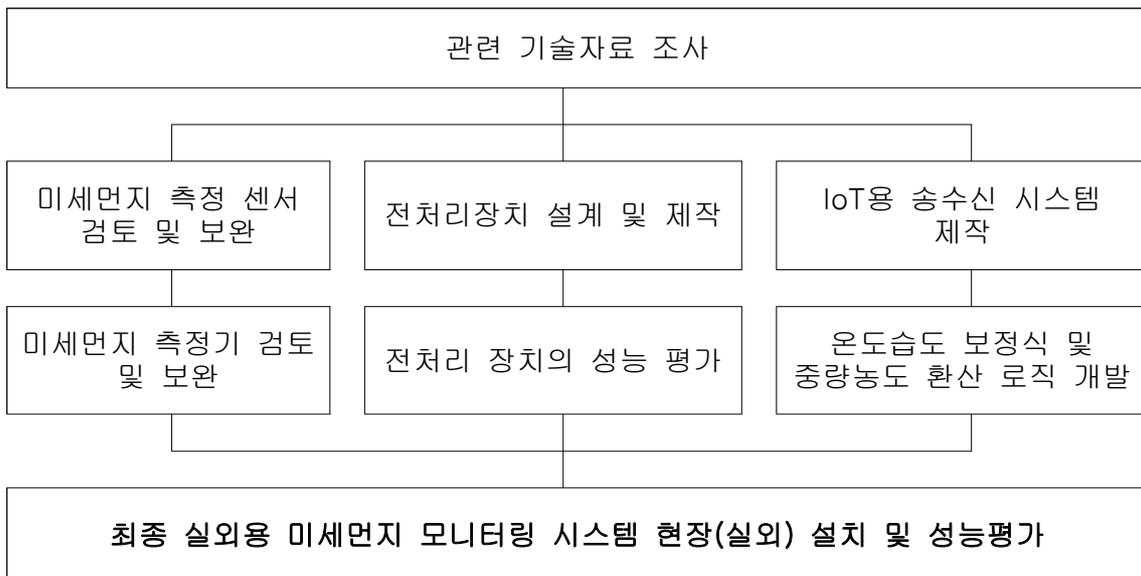
2.2 연구 내용 및 방법

연구 목표	연구개발 내용	연구 방법
실외용 광산란방식 미세먼지 측정 센서 검토 및 보완	<ul style="list-style-type: none"> • 국내·외 광산란방식 미세먼지 측정기 기술조사 	<ul style="list-style-type: none"> • 관련 기술 및 현황조사
	<ul style="list-style-type: none"> • 레이저 광산란 모듈 보완 	<ul style="list-style-type: none"> • 레이저 광산란방식 측정기의 광학부 등 검토 보완 • 광학장치의 최적화를 위한 시뮬레이션 및 보완 • 노이즈 최소화를 위한 암실 검토 및 보완
	<ul style="list-style-type: none"> • 대기환경 특성에 적합한 다채널 입경분리 제어로직 보완 	<ul style="list-style-type: none"> • 다채널 먼지 입경분리를 통한 해상도 향상 • 표준입자에 의한 광학 계측장치 성능평가 및 교정 보완
	<ul style="list-style-type: none"> • 데이터 처리 및 관리 제어 모듈 보완 	<ul style="list-style-type: none"> • 데이터 처리 및 관리제어 로직 검토 및 보완
실외용 레이저 광산란 미세먼지 측정 센서 성능 극대화를 위한 전처리기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 실외에서 미세먼지 측정의 정확도 향상을 위한 전처리 기술의 국내외 기술 자료조사 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 및 미국, 독일 등 국외에서 연구된 전처리기술 자료 조사
	<ul style="list-style-type: none"> • 온도와 습도를 제어하는 전처리 장비 설계 및 제작 	<ul style="list-style-type: none"> • 가온식 및 희석방식 등에 의한 온습도 조절 전처리 장비의 설계·제작
	<ul style="list-style-type: none"> • 전처리기술 전·후 측정값 비교를 통한 성능평가 	<ul style="list-style-type: none"> • 전처리장치를 장착한 측정기와 장착하지 않은 측정기의 측정값 비교실험
	<ul style="list-style-type: none"> • 기상상태를 변수로 고려하여 중량농도법, β-ray 방식과의 측정값 비교 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 고온시, 안개가 짙을 때, 비가 올 때 등 기상조건 별로 중량농도법과 β-ray 방식 측정기와 비교실험
미세먼지 측정도 향상을 위한 온도·습도 보정식 및 중량농도 환산 로직 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 대기 중 온도와 습도의 실시간 측정값을 적용한 보정식 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 실측되는 온습도 값을 적용하여 측정값들에 대한 온습도 보정식 연구
	<ul style="list-style-type: none"> • 광산란 미세먼지 측정기 실시간 중량농도 환산 및 보정로직 검토 및 보완 	<ul style="list-style-type: none"> • 중량농도 환산 로직 및 데이터 관리 보정 로직 검토 보완
전처리기술을 포함한 실외용 미세먼지 모니터링시스템의 현장적용 평가	<ul style="list-style-type: none"> • 서울시 대기 측정망 자료와 비교 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 서울시 대기측정소에 본연구의 미세먼지 측정기 설치하여 동일한 기간동안의 측정값 비교분석
IoT용 송수신 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 송수신 모듈 제작 	<ul style="list-style-type: none"> • 송수신 모듈 제작

2.3 연구 추진 체계

총괄	<ul style="list-style-type: none"> - 연구 수행 관리
기술 분석·평가	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 기술 자료 조사 - 전처리 장치 성능평가 - 표준측정법과 광산란 측정기 비교 분석 - 서울시 대기 측정소에 현장 적용 평가 - 보정식 연구, 중량농도 환산 및 보정 로직 개발
개발	<ul style="list-style-type: none"> - 측정 센서 검토 및 보완 - 전처리 장치 설계 및 제작 - 자료 관리프로그램 개발 - 송수신 모듈 제작

2.4 연구 추진 전략



제 2 장 관련 기술 및 현황 분석

1. 광산란방식 미세먼지 측정기술	9
2. 시료 전처리 기술	16

제 2 장 관련 기술 및 현황 분석

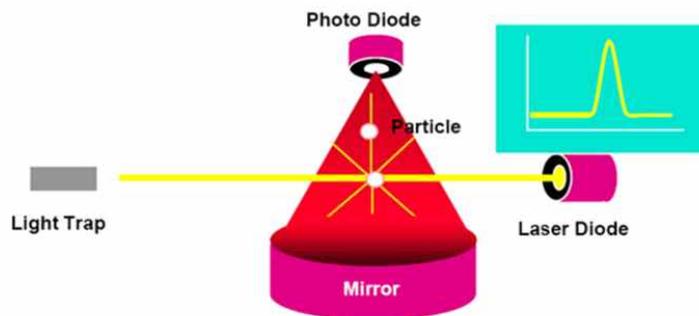
1. 광산란방식 미세먼지 측정기술

1.1 광산란방식

일반적으로 대기 중 미세먼지 측정에 사용되고 있는 광산란법 장비는 크게 스펙트로미터(spectrometer) 방식과 네펠로미터(nephelometer) 방식으로 구분되며¹⁾ <그림 3>은 광산란방식 미세먼지 측정원리를 나타낸 것이다.

스펙트로미터 방식은 입자에 부딪히는 레이저의 산란광을 이용하여 입자의 개수 및 중량농도를 측정하는 방식으로, 개수농도를 바탕으로 중량농도를 환산한다.

반면, 네펠로미터 방식의 장비는 개개의 입자를 측정하기 보다는 측정구역 내에 군집하는 입자군의 광산란도를 측정하는 방식으로써 입자의 개수농도보다는 일반적으로 중량농도를 측정한다.

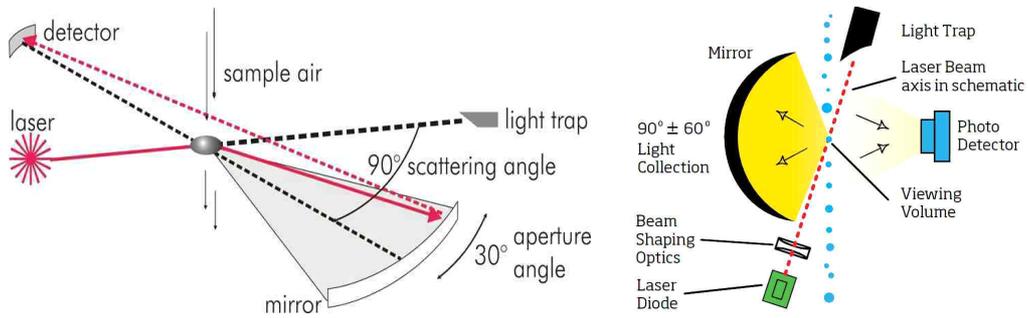


<그림 16> 레이저 광산란방식 미세먼지 측정 원리

1.1.1 스펙트로메타식 (Spectrometer)

스펙트로미터 방식의 광산란장비는 유입되는 PM10를 정렬시켜 측정챔버에 개별 입자가 유입되도록 하여 개별 PM10의 광산란 특성을 측정함으로써, 개별 입자의 크기를 측정하여 전체 입자의 크기분포를 획득하는 방식으로, 초 단위의 실시간으로 미세먼지의 농도를 측정할 수 있을 뿐만 아니라 미세먼지의 크기도 구분하여 파악이 가능하며 대부분 0.3 μm 이상의 미세먼지 측정이 가능하다. <그림 4>는 스펙트로미터 방식의 광산란 장치의 측정원리를 나타내고 있다.

1) '대중교통수단 실내공기질 기준 및 측정방법 개선 연구', 2013, 국립환경과학원



<그림 17> 스펙트로미터 방식의 광산란측정장치의 측정원리

현재 국내외에 널리 사용되고 있는 스펙트로미터 방식의 광산란측정장비는 <그림 5>와 같이 Grimm사의 Dust Spectrometer와 TSI 사의 Optical Particle Sizer (OPS) 가 대표적이다.

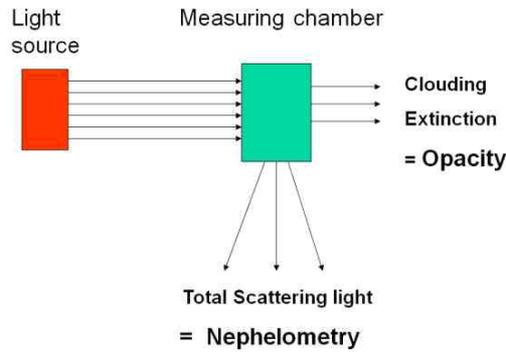


<그림 18> 스펙트로미터 방식의 광산란측정장비 (Dust Spectrometer, OPS)

1.1.2 네펠로미터식

네펠로미터 방식의 장비는 측정기로 유입되는 모든 입자(total dust)의 광산란량을 측정(통상 90°light scattering 적용)하여 총 부유입자의 농도를 결정하는 방식으로 측정 가능한 에어로졸 농도 범위는 0.001~150 mg/m³ 이다.

이와 같은 네펠로미터 방식의 광산란 측정장비로는 오퍼서미터(opacimeter)가 있으며, 주로 디젤자동차의 배기가스 중 분진측정에 사용된다. 오퍼서미터(opacimeter)는 <그림 6>과 같이 측정챔버에 유입된 총 부유먼지에 의해 소실되는 빛의 양을 측정하여 먼지농도를 산출하는 방식이며, <그림 7>과 같이 Dustmate, LD-3B, Dust Track등과 같은 측정 장비가 있다.



<그림 19> 네펠로미터 방식의 광산란 측정원리 (Opacimeter)



<그림 20> 네펠로미터 방식의 광산란 측정장비 (Dustmate, LD-3B, Dust Track)

1.1.3 스펙트로미터식과 네펠로미터식의 특징 비교

스펙트로미터식과 네펠로미터식의 특징을 비교하면 <표 1>과 같으며, 광학챔버 내에서 개별입자의 광산란 특성을 측정하느냐, 혹은 총 부유입자의 전체 광산란을 측정하느냐에 따라 두 가지 방식을 구별할 수 있다. 또한, 통상 스펙트로미터 방식의 측정장비는 8채널 이상의 입경분포 정보를 제공할 수 있다.

두 장비 모두 PM10의 중량을 직접 측정하는 방식이 아니기 때문에 표준입자(통상밀도가 1g/cc인 Polystyrene Latex 구형 입자)를 사용하여 중량농도로 환산할 수 있는 값을 입력하도록 하고 있다. 일부 스펙트로미터 방식의 광산란장비는 미국과 유럽에서 approval test를 통과해 대기 중 미세먼지(PM10) 측정장비로 활용되고 있다.

※ USA, EU-EPA의 PM10 측정장비 승인시험(approval test)

- 기준장비와 비교시험을 통한 승인
- 기준장비 2대와 승인시험 대상 장비 2대의 동시평가
- 12개월 테스트: 6개월 겨울철(도심 1곳, 교외 1곳 각 3개월) 비교
- 6개월 여름철(도심 2곳, 교외 2곳 각 3개월) 비교

<표 1> 스펙트로미터 방식과 네펠로미터 방식의 광산란 측정장비 비교

구 분	스펙트로미터 방식	네펠로미터 방식
광학챔버 내 측정 원리	개별입자의 광산란	총 부유입자의 광산란
입경분포 측정	8채널 이상	1~4 채널
PM10 농도 환산	입자밀도 보정을 통한 중량농도 환산	
장비 종류	2종	10종 이상
측정장비 시장가격	1,500~2,500만원	400~600만원

1.2 국내외 광산란방식 미세먼지 측정기

1.2.1 국내 광산란방식 미세먼지 측정기 현황

랩코 사는 자체 개발한 임팩터를 이용하여 광산란 방식의 실시간 미세먼지 측정 장비를 개발, 판매 중이다. 해당 측정 장비는 임팩터로 미세먼지 입자를 정확히 분류해서 측정하고, 전용 소프트웨어(SW)로 데이터를 관리한다. 크린룸용, 옥내용, 옥외용 3종으로 개발했다. 설치 장소와 수요자의 요구 조건에 따라 별도 제작, 공급 한다.

크린룸용 측정장비 'LPC-R203PLUS'는 미세먼지 크기와 개수를 산출, 모니터나 전광판 화면에 출력하거나 전용 SW로 원격지에서 멀티 모니터링 할 수 있으며, 온·습도와 알림 기능을 추가, 복합 환경 측정기 장비로도 사용할 수 있다. 옥내용인 'LDU-100 시리즈'는 1분 동안 누적한 값을 10초마다 업로드 할 수 있는 실시간 미세먼지 측정에 최적화된 제품으로 1분 누적 값 외에도 10분, 30분, 60분 평균값을 디스플레이할 수 있다. 현장용으로도 사용할 수 있으며 스마트폰으로 간편하게 미세먼지 농도를 확인할 수 있다.

<그림 8>은 랩코의 옥외용 'LYS-125'는 24시간 모니터링 전용 측정기로 전국 초·중·고교에 간이 미세먼지 측정기로 보급할 계획을 가지고 있다.



<그림 21> 랩코 사의 광산란 방식 미세먼지 측정장비 (옥외용)

SPTC 사는 <그림 9>와 같이 공장지역에서 발생하는 폐가스 및 환경 오염물질을 측정하기 위한 먼지 측정기 ‘P-5C’를 개발하였다. ‘P-5C’ 측정기는 가스를 연돌 밖으로 추출하지 않고 연속적으로 연돌 내의 분진 농도를 간편하고도 신빙성있게 측정할 수 있다.

광투과 방식보다 측정값이 정확한 광산란법을 이용해 측정하는 ‘P-5C’는 연소 또는 세정과정에서 발생하는 먼지를 측정할 수 있는 기기로 펄프 및 제지산업, 시멘트산업, 철강산업, 화학산업 등 다양한 분야에 사용된다.



<그림 22> SPTC 사의 P-5C Particulate Monitor

1.2.2 국외 광산란방식 미세먼지 측정기 현황

독일 Grimm사는 광학장치를 이용한 대기중 입자의 크기 분포 및 이 값을 근거로 한 질량 측정 장치를 개발하여 판매중이며, 현재 광산란법을 이용한 질량 측정 장비로는 가장 잘 알려져 있으며, 유럽에서 형식승인을 받은 제품이다. <그림 10>

본 기기는 광산란 측정법을 이용하여 Indoor 또는 Outdoor에서 공기 중에 떠다니는 분진을 측정하는 장비로, 각각의 입경별로 분진의 개수를 측정하는 Particle Counter로서의 기능과 PM10, PM2.5 등을 측정할 수 있는 농도 측정 장치로서의 기능을 수행한다.

또한, 47mm PTFE 필터를 사용하여 중량측정법에 의한 분진의 농도를 동시에 측정 가능하다. 메모리카드를 사용하여 1개월 이상의 데이터를 연속적으로 저장하며, RS-232를 통한 PC와의 연결 및 실시간 측정이 가능하다.



<그림 23> Grimm 사의 광산란 방식의 먼지자동측정기(Grimm-1108)

미국 TSI사는 대기환경 분야와 산업현장에 사용할 수 있는 다양한 제품을 출시하여 판매중이며, 제품 수준은 독일 Grimm사 제품에 준한 수준으로 알려져 있다.

<그림 11>과 같이 TSI사의 DustTrak DRX 에어로졸 모니터 8533은 실시간 에어로졸 질량 측정값을 제공 운영하는 배터리, 데이터 로깅, 광산란 레이저 광도계 등으로 구성되어 질량과 크기의 분수를 동시에 측정할 수 있다. 향상된 신뢰성과 낮은 유지보수, 깨끗한 광학유지, 광학 챔버 내에서 PM에 해당하는 사이즈 분리 질량분율 농도를 동시에 측정 가능하다.

주요 특징으로는 STEL 경보 설정치, 선택제로모듈 기능으로써 자동 영점 제로 드리프트의 영향을 최소화, 지정 기준 교정을 위해 인라인 중량 분석을 수행, 수동 및 프로그램이 가능한 데이터 로깅 기능이 있으며 에어로졸 농도 범위는 0.001~150 mg/m³이다.



<그림 24> DustTrak DRX 에어로졸 모니터 8533

<그림 12>는 일본 KANOMAX사의 분진 모니터링 장치로 광산란 측정방식으로 공기중의 DUST, FUMES, MIST, SMOKE등의 에어로졸 입자들을 실시간으로 연속 측정하여 LCD 디스플레이로 구현하여 나타내어주는 장치이다.

지하철 역사, 터널, 사무실, 극장, 자동화빌딩, 공장, 다중이용시설 등의 일상 생

활에서 접할 수 있는 모든 곳에서 측정이 가능하며, 분진 외에는 CO, CO₂, 온도, 습도 등 다양한 조건으로 폭넓은 활용이 가능하다.



<그림 25> 일본의 Kanomax사 먼지측정기

중국의 Honri Air Clean Tech사는 저가 제품으로 정밀한 값이 필요치 않은 곳에서 사용된다. 8채널 이내에서 입자 크기를 측정할 수 있으며, LCD 및 터치스크린 기능으로 구성되어 사용이 편리하다.<그림 13>



<그림 26> 중국 Honri Air Clean Tech.사의 particl counter 제품

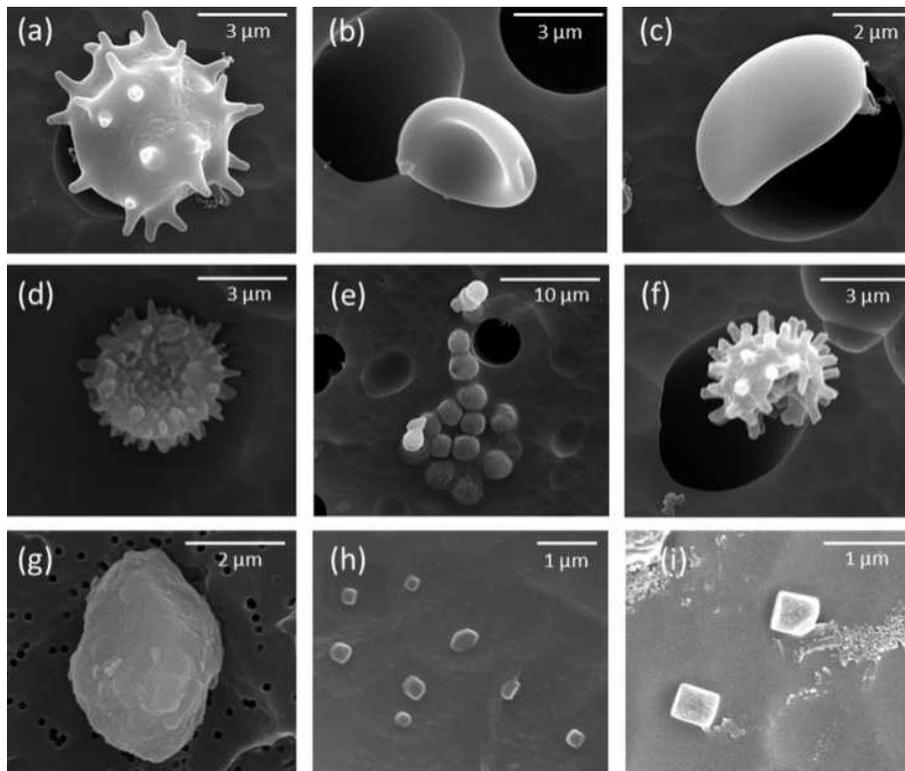
2. 시료 전처리 기술

2.1 광산란방식 미세먼지 측정기 오차 원인

광산란법으로 측정된 수치는 미세먼지의 중량을 이용한 농도 값이 아닌, 미세먼지의 개수 및 산란 양을 이용하여 보정계수(factor)를 구하여 계산한 상대적인 값이다.

보정계수란, 미세먼지 농도의 절대값이 측정되는 것이 아니라 미세먼지 입자 개수를 측정하는 광산란법의 한계를 극복하기 위한 숫자로, 해당 환경에서의 미세먼지 입자밀도에 해당한다. 이에 측정된 값은 절대값이 아니며, 미세먼지의 입자밀도에 따라 상대적으로 많은 차이를 나타낸다. 또한, 미세먼지의 형태는 <그림 14>와 같이 매우 다양하여 그 모양에 따라 레이저 빛의 산란이 달라지기도 한다.

광산란법은 다양한 간섭 요인으로 인하여 지역, 장소, 계절에 따라 상이한 차이를 나타낸다.



<그림 27> 미세먼지의 다양한 형태

이러한 간접측정 방식은 중량농도법에 비해 과대측정되는 경향이 있으며, 여기에는 먼지의 밀도와 습도 조건이 크게 작용한다. 광산란 측정기에서 먼지농도가 과대 측정되는 이유는 측정되는 에어로졸의 밀도, 굴절률, 형태, 크기 및 크기분포에 대한 복잡한 미 산란 특성에 기인한다.

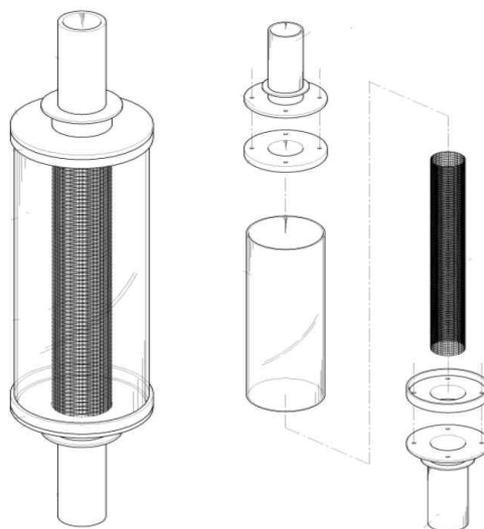
특히 광산란 측정기 중의 하나인 Dusttrak은 출시 전에 레이저 산란 값을 표준입자를 이용하여 보정하는 과정을 거치게 되며 여기에는 0.1~10 um 사이에 분포하며 그 밀도가 약 2.65 g/cm³ 인 Arizona Test Dust(ISO 12103-1, A1 test dust)가 사용된다. 그러므로 목적하는 장소에서 Dusttrak 장비를 이용하여 미세먼지의 농도를 측정하는 경우 실외 및 실내에 존재하는 양한 발생원으로부터 배출된 먼지가 가지는 밀도 값이 동일하지 않기 때문에 측정 농도에 음 또는 양의 편차를 가져올 수 있다.

2.2 시료 전처리 기술

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며 여름에는 고온다습하고 강수가 많은 뿐만 아니라 안개나 해무가 잦아 미세먼지 측정기에 흡입되는 시료에 많은 양의 수분이 포함되어 있을 가능성이 많다. 수분은 에어로졸 광학특성 및 물리특성을 측정하는 다양한 장비에 장애의 원인이 될 뿐만 아니라 측정값에 영향을 주기 때문에 측정 전 적절한 전처리 기술이 필요하다.

수분제거기술은 원리에 따라 확산제습, 가열제습, 삼투압제습(ex. 나피온), 희석제습 등으로 구분되며 관측환경에 따라 조합하여 기술을 채택할 수 있다. 제습장치들은 장비로의 수분유입을 방지하고 측정값에 수분에 의한 노이즈를 줄여준다.

확산 제습장치는 흡습제로 활용되는 실리카겔의 수분 흡수 성질을 활용한 제습장치로 <그림 15>와 같이 흡입된 공기를 실리카겔 튜브에 통과시켜 공기 내 수분이 실리카겔에 흡착되면서 물리적으로 제거되는 방식이다.



<그림 28> 확산 제습장치(실리카겔) 예시

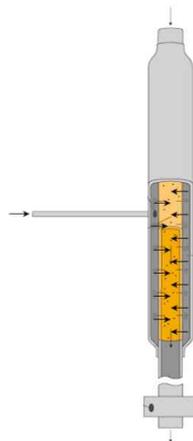
가열 제습장치는 흡입된 공기의 온도를 높여서 포화수증기압을 높여 상대습도를 낮추는 방식의 제습장치이다. 흡입된 공기의 온도를 10℃ 이상 급격한 온도차이로 가열하거나 승온되지 않도록 해야 휘발성 에어로졸의 질량손실을 막을 수 있다.

미국 TSI사는 <그림 16>과 같이 시료도입부를 가열시킴 (Heated Inlet Sample Conditioner)으로서 광산란에 의한 수분의 영향을 감소시키기 위한 장치를 개발하였다. 이 장치는 시료가 TSI DustTrack 측정 센서에 유입되기 전 시료의 습도를 일정하게 유지시켜 주는 역할을 하는데, 시료의 상대습도 30 ~ 50%로 조절할 수 있다.



<그림 29> TSI사의 Heated Inlet Sample Conditioner

희석 제습장치는 흡입된 공기에 특정 비율로 깨끗한 건조공기와 혼합하여 상대습도를 낮추는 기술로 혼합된 희석비율에 따라 에어로졸 측정값의 보정이 필요하다. <그림 17>은 희석 제습장치 혼합튜브(Mixing tube)를 나타낸 것으로 본 장치 등을 활용하여 유체 충돌에 의한 난류 형성을 최소화할 필요가 있다.



<그림 30> 희석 혼합튜브(Mixing tube) 예시

나피온 튜브의 수증기 투과 원리는 Flemion (중공 사 막)의 내부에 상대적으로 고압인 샘플링 가스가 지나가면 이온 교환막의 술폰기(-SO₃H)가 수분을 흡수해서 저압인 중공 사 막 외부로 퍼지에어와 함께 배출되고, 건조된 가스는 Flemion 내부 관을 통해 이동한다. 독일 Grimm사는 추가적인 가열없이 나피온 건조기 (Nafion Dryer)를 이용하여 시료의 수분을 조절하기 때문에 반휘발성 물질의 손실은 없다고 한다. <그림 18>은 일반적인 Nafion Dryer를 나타낸 것이다.



<그림 31> 일반적인 Nafion Dryer 예시

제 3 장 연구 방법 및 결과

1. 실외용 광산란방식 미세먼지 센서 보완	24
2. 성능 극대화를 위한 전처리기술 개발	55
3. 온습도 보정식 및 중량농도 환산 로직 개발	78
4. 미세먼지 모니터링시스템 현장 적용성 평가	82
5. IoT용 송수신 시스템 개발	90

제 3 장 연구 방법 및 결과

본 연구에서는 실외환경에서 광산란방식을 이용하여 실시간으로 미세먼지를 측정 시, 환경변화로 발생하는 측정값의 오차 발생을 최소화할 수 있도록 기존 실내용 미세먼지 센서가 실외에서도 안정적인 센싱이 가능하도록 안정성을 확보하고, 입경분리 채널수를 증가시켜 입경분리 해상도를 높임으로 측정기의 정확도를 향상하고자 하였다. 또한, 대기 중 수분의 영향으로 인한 오차 발생을 줄이기 위해 전처리 장치를 개발하여 그 성능을 평가하고, 최적의 전처리 장치를 선정, 적용하고자 하였다. 또한, 선정된 전처리 장치 부착 전후의 측정기를 서울시에 위치한 대기측정소에 설치하여 대기오염공정시험 기준인 중량농도법 또는 베타선흡수법과 비교 분석하고자 하였다.

또한, 분석 데이터를 바탕으로 다양한 통계방식을 이용, 최종적으로 보정식을 개발하고 미세먼지 측정장치의 정확도를 향상시키고자 한다. 다음 <표 2>는 독일 Grimm사와 미국 TSI사의 기술 수준, 현재 본 기관이 보유하고 있는 광산란방식 미세먼지 측정장치의 기술 수준을 비교하고 본 연구의 최종 개발 목표를 제시하였다.

<표 2> 광산란방식 미세먼지 측정기술 현황 및 최종 기술개발 목표

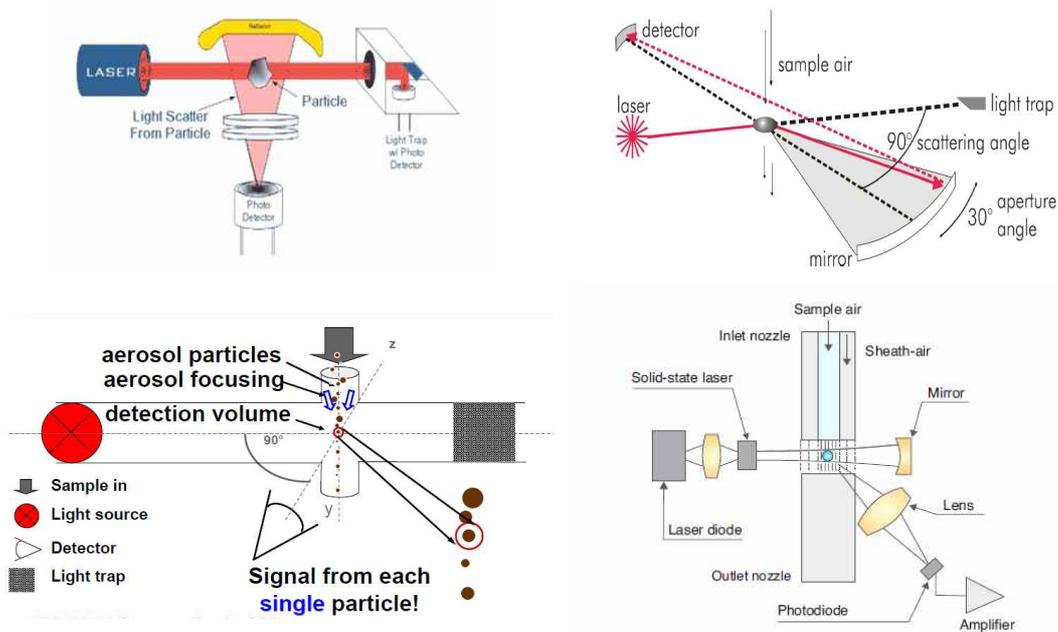
광산란방식 미세먼지 측정기술 개발		
기존 해외기술 (독일 GRIMM사와 미국 TSI)	본사 보유 기술 수준	최종 연구 개발 기술 수준
·시료도입부: 습도제거 → 미세먼지성분 중 Semi-volatile 화합물의 손실 없음.	· 현재 기술 없음	· 대기환경의 온도 습도 영향을 최소화하여 측정센서 안정화하는 전처리 장치 · 미세먼지 성분의 손실 없음
· 풍속, 풍향, 온도, 습도 등 기상 측정 센서	· 온도, 습도 기상 측정 센서	· 온도, 습도 등 기상 측정 센서
· 대기 중 습도에 대한 보정식 없음	· 현재 기술 없음	· 대기 중 습도에 대한 보정식 개발
· PM1, PM2.5, PM10 실시간 측정	· PM10 실시간 측정	· PM2.5, PM10 실시간 측정
· 6초 간격 실시간 측정 (초고속 감지)	· 6초 간격 실시간 측정	· 6초 간격 실시간 측정 (초고속 감지)
· 기기 사양 - 채널수: 16 또는 31채널 - 입경: 0.3~32 μm - 개수농도: 0~300만 #/l - 질량농도: 0.1~15 mg/m^3 - 재현성: $\pm 3\%$ - 동작 온도 : -20~50 $^{\circ}\text{C}$ - 동작 습도 : 0 ~ 95%	· 기기 사양 - 채널수: 8채널 - 입경: 0.3~10 μm - 개수농도: 0~100만 #/l - 질량농도: 0.1~10 mg/m^3 - 재현성: $\pm 10\%$ - 동작 온도 : 0 ~ 40 $^{\circ}\text{C}$ - 동작 습도 : 20 ~ 80%	· 기기 사양 - 채널수: 16 채널 - 입경: 0.3~25 μm - 개수농도: 0~200만 #/l - 질량농도: 0.1~15 mg/m^3 - 재현성: $\pm 5\%$ - 동작 온도 : -20~50 $^{\circ}\text{C}$ - 동작 습도 : 0 ~ 95%

1. 실외용 광산란방식 미세먼지 센서 보완

1.1 레이저 광산란 모듈 보완

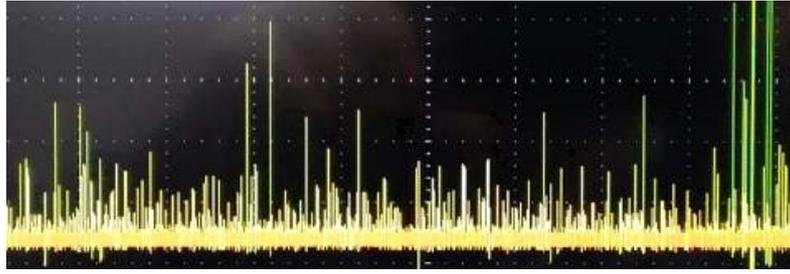
레이저광산란 측정기의 핵심 구조는 빛을 발생시키는 광원부 (Laser), 입자에 의해 산란된 빛을 측정하는 센서부 (Photo detector), 산란된 빛을 모아 센서부로 전달해 주는 거울 (Mirror), 입자의 광산란에 이용되지 못한 잔여 빛을 제거하는 광제거부(Light trap)로 이루어져 있다. 광학측정기의 원리는 부유 분진에 빛을 조사해 이때 산란되는 빛을 이용하여 입자의 농도를 측정하는 방식으로 산란된 빛은 직접 혹은 Mirror에 의해 수광부로 집속되며, 집속된 광량을 전기적 신호를 이용해 측정함으로써 입자의 개수농도와 크기를 측정할 수 있다 <그림 19>.

광학계측기의 기본 원리, 구조적 특성과 반사각 등의 특성을 고려하여 측정입자의 크기와 농도 등 특성을 고려하여 기존 측정센서를 검토하여 실외용으로 적합한 지 검토하고자 하였다.



<그림 35> 광산란방식 계측기의 개요도

레이저 광이 미세먼지에 닿을 때 산란하는 광은 포토다이오드에 의해 검출되는 데 미세입자의 크기는 검출되는 광의 세기 (밝기 또는 크기) 등에 비례한다. 또한 검출되는 산란광은 센서 내로 도입된 모든 입자로부터 발생하며 산란광의 세기를 센서 내로 도입되는 순서별로 분석하면 다음 <그림 20>과 같은 스펙트럼을 나타내며 시간별로 나타나는 스펙트럼의 크기를 분석하여 입자의 크기를 결정한다.



<그림 36> 미세먼지 검출 스펙트럼

본 연구에서는 도입되어 감지할 수 있는 입자의 개수를 극대화하기 위해 포토다이오드의 성능을 극대화하기 위한 설계를 적용하여 기존 미세먼지 센서를 보완하고자 한다.

1.1.1 센서 내 노즐 위치 보완

(1) 광학장치 최적화를 위한 시뮬레이션 및 노즐위치 선정

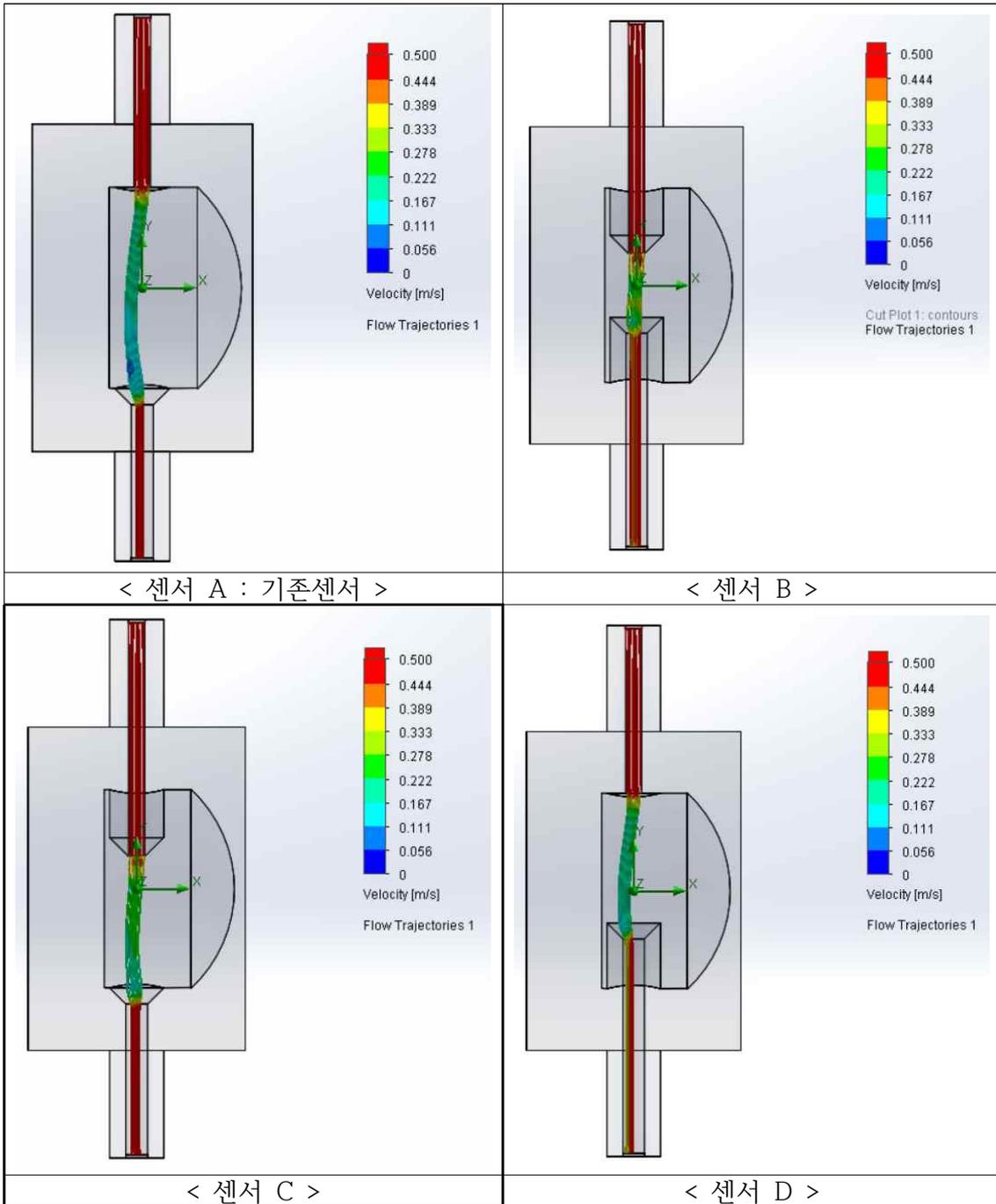
본 연구에서는 광산란방식 미세먼지 센서의 성능향상을 위해 노즐위치를 조절하고자 하였으며 <그림 21>은 노즐 위치 등에 따른 유속 및 유로에 관한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

시뮬레이션 결과 기존센서와 동일한 센서 A는 유입부와 유출부 노즐이 챔버 내부까지 위치하지 않는 특징을 가지며 이로 인해 유로가 휘는 현상이 생기는 것으로 확인되었다. 또한 입자가 챔버 내부에 유입된 후 퍼지는 현상이 발생하여 입자가 효율적으로 센싱되지 못할 수 있다.

센서 B는 유입과 유출부의 노즐이 챔버 내부에 까지 위치하는 특징을 가지며 본 센서는 입자를 센싱부까지 전달하는데 효율적이지만 입자 개수에 영향이 있는 것으로 판단되었다. 이는 미러에 의한 반사되는 레이저 빛이 노즐에 의해 보다 적게 반사되어 나타나는 현상이라고 판단된다.

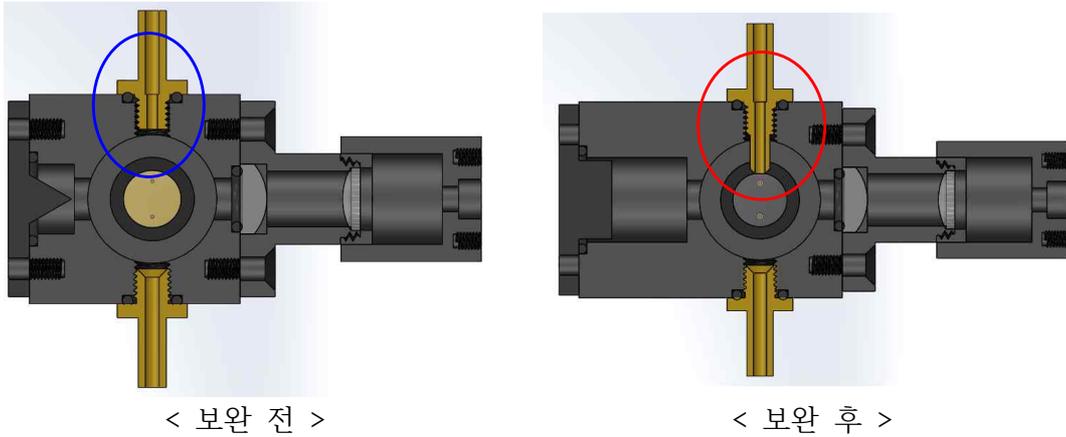
센서 C는 유입부 노즐은 챔버 내부에 위치하고 유출부 노즐은 챔버 내부까지 위치하지 않는 특징을 가지며 본 센서는 입자를 센싱부까지 효과적으로 전달하고 센싱후 효율적으로 시료가 유출될 수 있어 타 센서보다 비교적 안정적인 입자개수 농도를 나타내었다.

센서 D는 유입부 노즐은 챔버 내부에 위치하지 않고 유출부 노즐은 챔버 내부까지 위치하는 특징을 가지며 입자가 센싱부까지 전달되는데 어려움이 있고 효율적으로 시료의 유출이 이루어지지 않는 것으로 확인되었다.



<그림 37> 노즐위치에 따른 내부 유속 비교

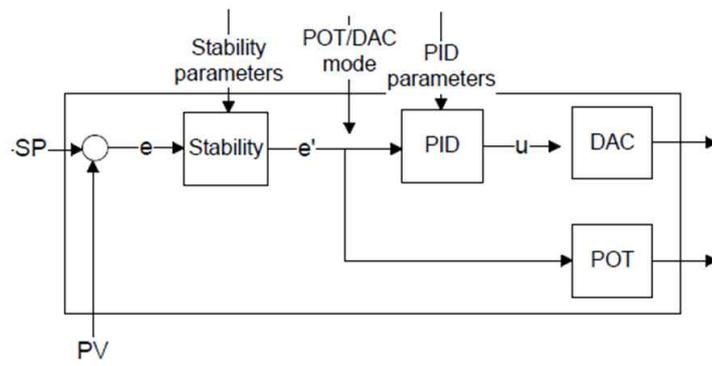
따라서, 본 시뮬레이션 결과 노즐위치는 센서 B와 C의 유로가 비교적 안정적인 것으로 나타났으나 C의 경우 하단 공간에 의한 손실이 발생할 것이 예상되어 <그림 22>와 같이 기존 센서 A를 센서 C로 보완/변경하여 적용하는 것으로 하였다.



<그림 38> 노즐위치 보완 전후 비교

1.1.2 광학부 보완

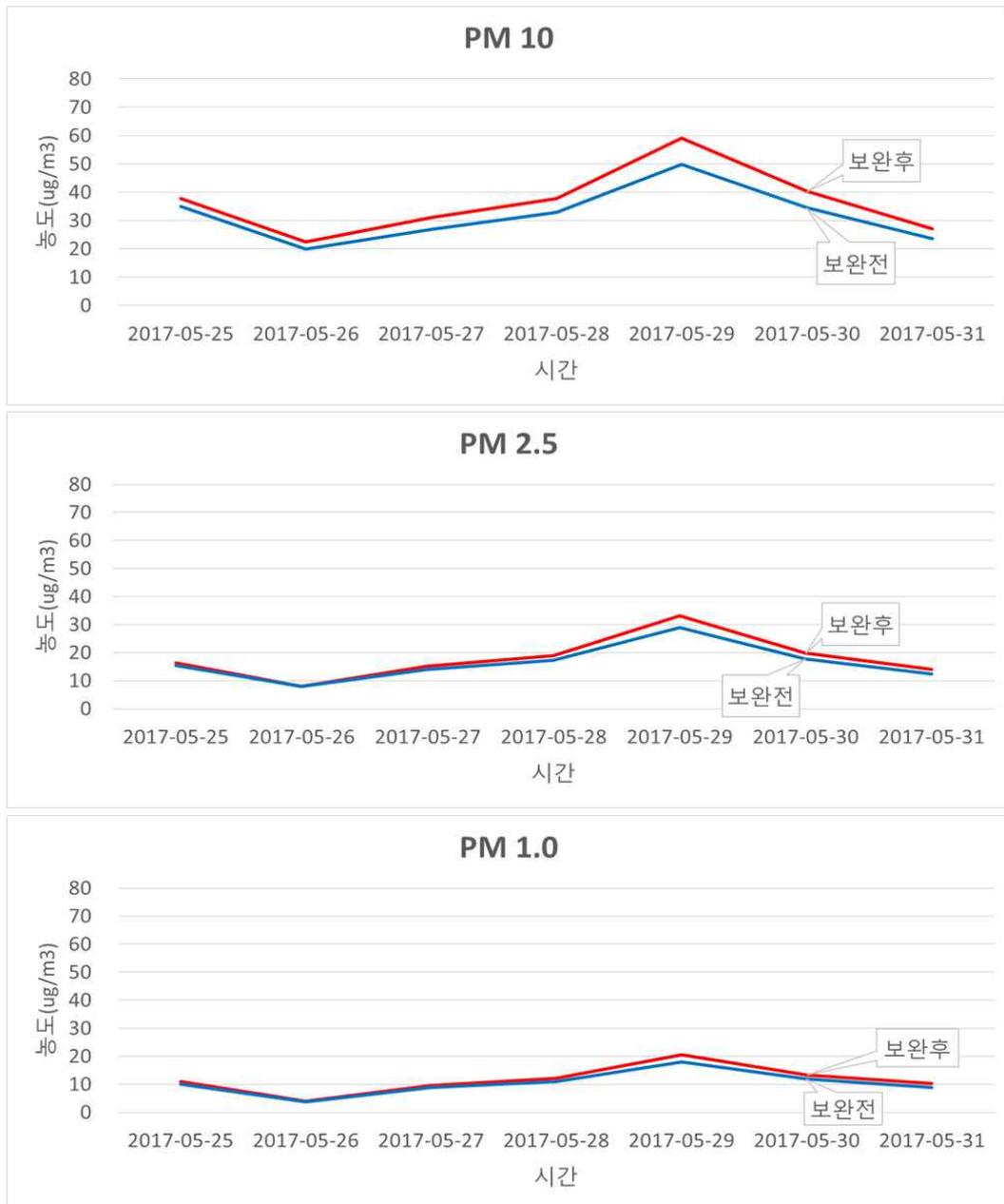
기존 센서의 경우, 레이저의 온도가 변화함에 따라 레이저 강도가 저하되는 현상이 발생되어 이로인해 농도 및 개수가 저평가 되어 측정오차가 발생되었다. 이에 본 연구에서는 레이저 광량을 일정하게 유지하여 해당문제를 해결하고 측정오차를 최소화하였다. 일정한 레이저 광량 유지를 위해 PID 제어를 이용하였으며 레이저 빛을 감지하여 그 값을 토대로 레이저의 빛을 보정하도록 보완하였다.



- SP : 지정값 (input 또는 output)
- PV : feedback
- e : $SP - PV$
- Stability : 다음 PID, POT 최대 input
- POT/DAC mode switch : DAC or 접점출력 지정
- PID : PID 제어 알고리즘
- u : 다음 input
- DAC : analogy output
- POT : digital increase/decrease output

<그림 39> PID 제어 개요

<그림 23>은 PID 제어의 개요를 나타낸 것으로 SP는 지정값(INPUT 또는 OUTPUT), PV는 프로세스에서 오는 피드백, e는 지정값과 피드백값의 편차, Stability는 다음 번에 PID나 POT로 가야하는 최대 input 계산으로이 stability에 의해 기울기가 정해져서 출력값의 lamp로 나타나게 된다. POT/DAC mode switch는 출력값이 analogy output (DAC)인지 점점출력인지 지정하는 것이며 PID는 PID제어 알고리즘, u는 다음 번DAC output을 발생하게 하는 input을 말한다. 또한, DAC는 analogy output, POT는 digital increase/decrease output을 나타낸다.



<그림 40> 광학부 보완 전/후 측정값 비교

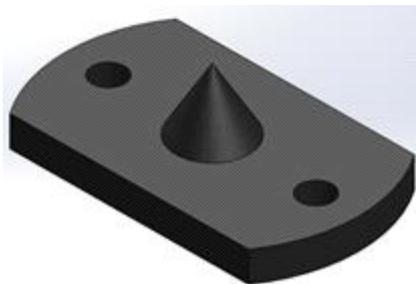
<그림 24>와 같이 광학부 보완 전 장치의 연속측정시 발광부에 따른 온도 상승의 영향으로 레이저 감도가 떨어져 농도가 저평가 되는 모습을 보였으나 개선 후 레이저 빛의 보정을 통해 일정 광량을 유지함에 따라 기존장치보다 농도가 높게 측정되는 것으로 나타났다.

1.1.3 노이즈 최소화 방안 마련

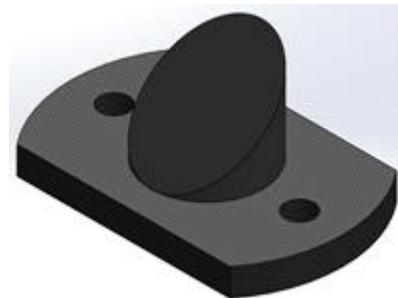
광학계측기의 핵심 부품 중의 하나인 광학챔버에서는 유입되는 입자의 산란광 측정이 이루어지는데, 광학 챔버의 암실 수준이 측정효율에 큰 영향을 준다. 그러므로 의도하지 않은 빛의 산란을 제거하고, 외부의 빛을 얼마나 잘 차단하느냐에 따라 잡음 제거효과와 성능이 결정되므로, 광학 챔버의 암실이 어떻게 만들어지고, 유지되느냐에 따라 측정 성능에 큰 영향을 준다.

기존 센서에서는 반광, 유광, 무광 등 다양한 아노다이징의 종류와 다양한 색에 의한 노이즈 측정을 통해 노이즈를 최소화할 수 있는 암실 제조기술 방안을 연구하였으며, 제품개발에 반영한 바 있다.

본 연구에서는 입자에 의해 산란된 빛 이외의 잔여 빛을 모두 광제거부 (Light Trap)에서 소거 할 수 있도록 하여 노이즈를 제거할 수 있는 방안을 검토하고자 하였다. 기존 센서에 적용된 광제거부는 원뿔형으로 레이저가 원뿔 꼭지점에 도달할 경우, 잔여 빛이 전부 사라지지 않고 센서부 방향으로 다시 돌아갈 수 있어 오차를 유발할 가능성을 배제할 수 없었다. 따라서 레이저가 어느 위치에서도 튕기지 않고 광제거부를 통해 소멸될 수 있도록 <그림 25~26>과 같이 광제거부를 기존 원뿔형에서 원기둥을 비스듬히 자른 사선형 구조로 변형하고 이에 맞게 암실을 변형하여 적용하였다.

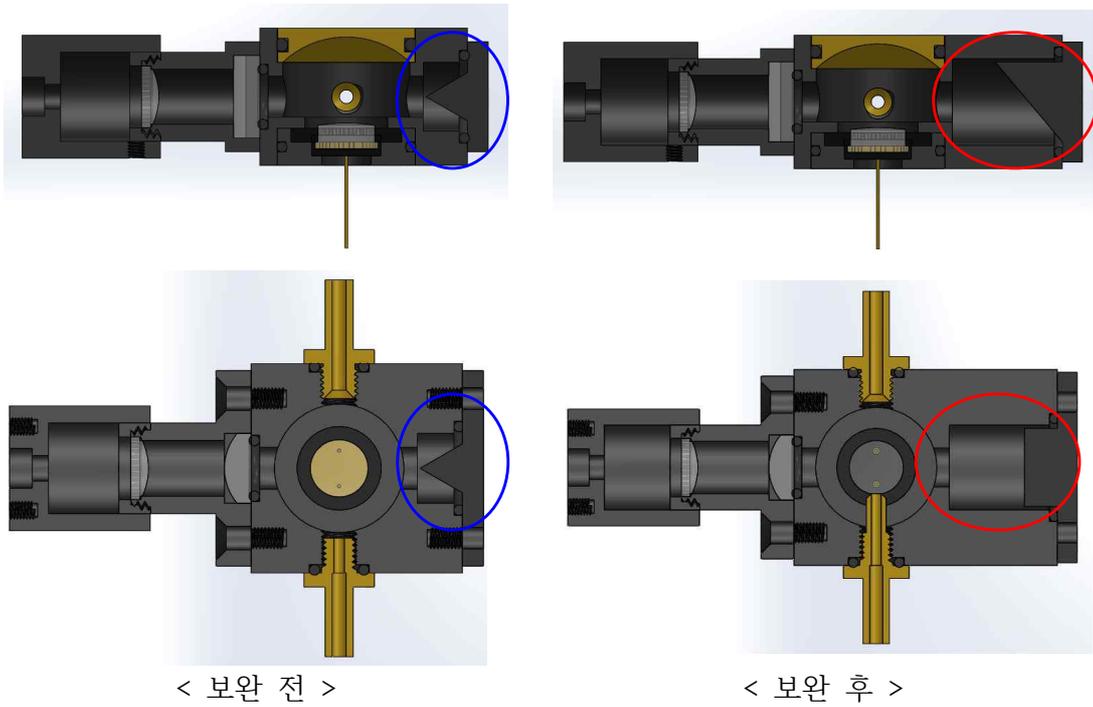


< 보완 전 >



< 보완 후 >

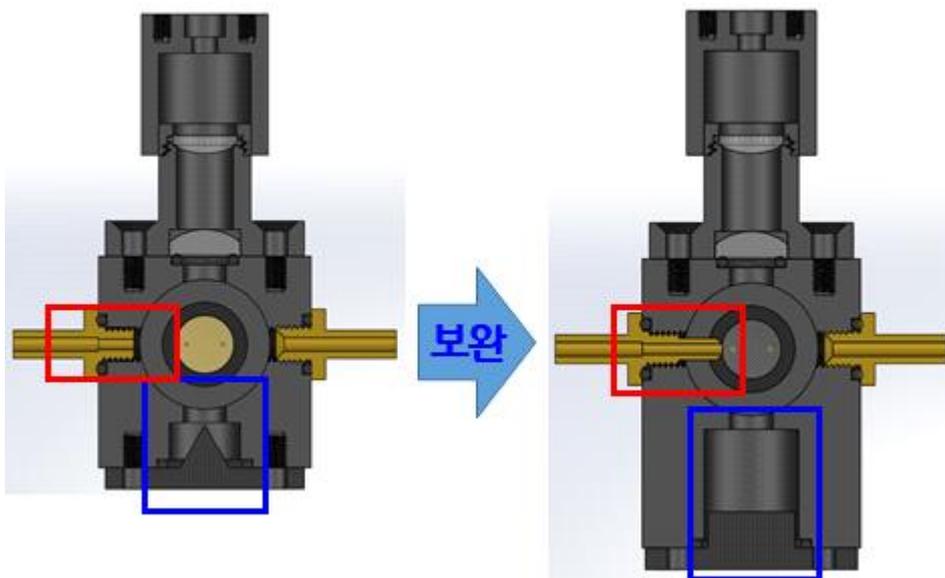
<그림 41> 광제거부 보완 전후 비교



<그림 42> 암실 보완 전후 비교

1.1.4 미세먼지 센서 보완 전/후 성능비교 평가

본 테스트는 <그림 27>과 같이 노즐위치 변경, PID제어를 통한 광학부 보완, 노이즈 최소화를 위한 광제거부 보완 등을 선행하여 개발된 미세먼지 측정기의 성능을 평가하기 위해 진행되었다.



<그림 43> 미세먼지 센서 물리적 보완 전/후

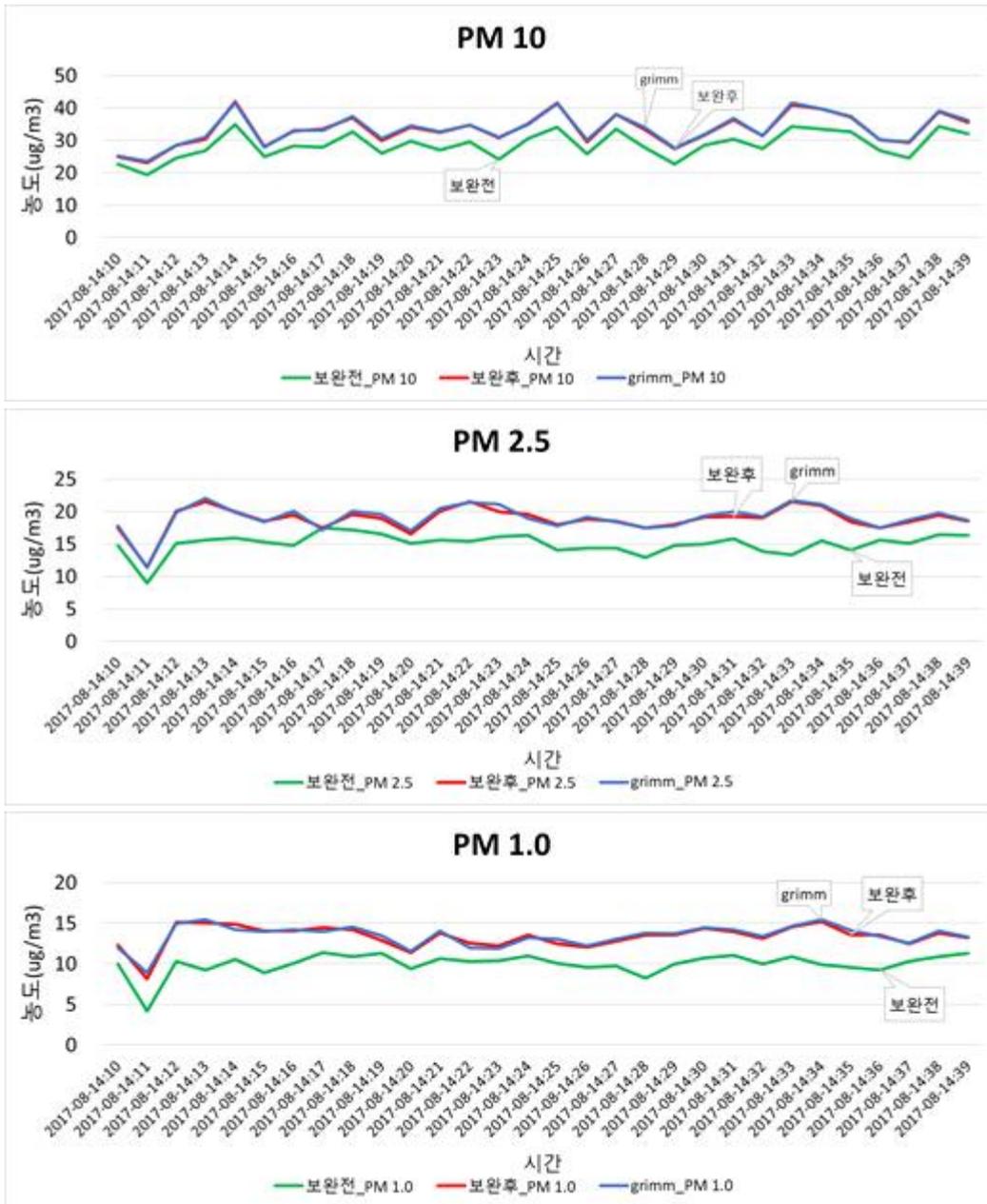
<그림 28>과 같이 본사 사무실내 미세먼지 테스트 챔버를 이용하여 Grimm社 측정기와 상기 보관을 완료한 본사 측정기, 그리고 보관 전의 측정기를 동시 측정하고 해당 데이터를 비교, 분석하였다. 테스트에는 Arizona Road Dust를 이용하여 미세먼지를 발생시켰으며 세부 평가 방법은 다음과 같다.

- ① 보관 전/후 본사 측정기와 비교대상 계측기(GRIMM社)를 각각 시험챔버와 연결된 튜브로 연결한다.
- ② 먼지가 제거된 청정공기를 챔버로 주입하고, 입자 농도 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 유지하는지 확인한다.
- ③ Arizona Road Dust를 시험 챔버에 주입하고 fan을 이용하여 1분간 혼합, 시험챔버 내부 입자 농도를 균일하게 유지시킨다.
- ④ 본 측정기와 비교대상 계측기 데이터 획득한다.
- ⑤ 위의 방법 2-3회 반복한다.



<그림 44> 미세입자 분리장치 성능평가 실험 장면

그 결과, <그림 29>와 같이 장치 등을 보관 후 Grimm社 측정기와의 질량농도 오차가 10% 이내로 나타나 온도 보정식 및 질량농도 환산 등의 추가연구를 통한 보관을 진행하면 그 신뢰도는 더 높아질 수 있을 것으로 사료된다.



<그림 45> 미세먼지 센서 보완 전/후 성능비교 평가 결과

1.2 다채널 입경분리 제어로직 보완

1.2.1 입경분리 해상도 향상

미세먼지 입자분리장치는 유량이나 유입노즐의 직경, 전압 등 다양한 변수에 의한 영향을 받으므로 이와 같은 변수를 충분히 고려하여 테스트를 진행하여야 한다.

또한 미세먼지 입자분리장치에 실제 입자를 주입하여 입경별 분리 가능여부를 확인하고 입경에 따른 분리성능 곡선을 그래프로 표현한 후, 채널별 입경을 구하여 각각의 입경에 따른 농도별 성능평가를 실시하고 농도 변화에 대한 성능 신뢰도를 확인하고자 하였다.

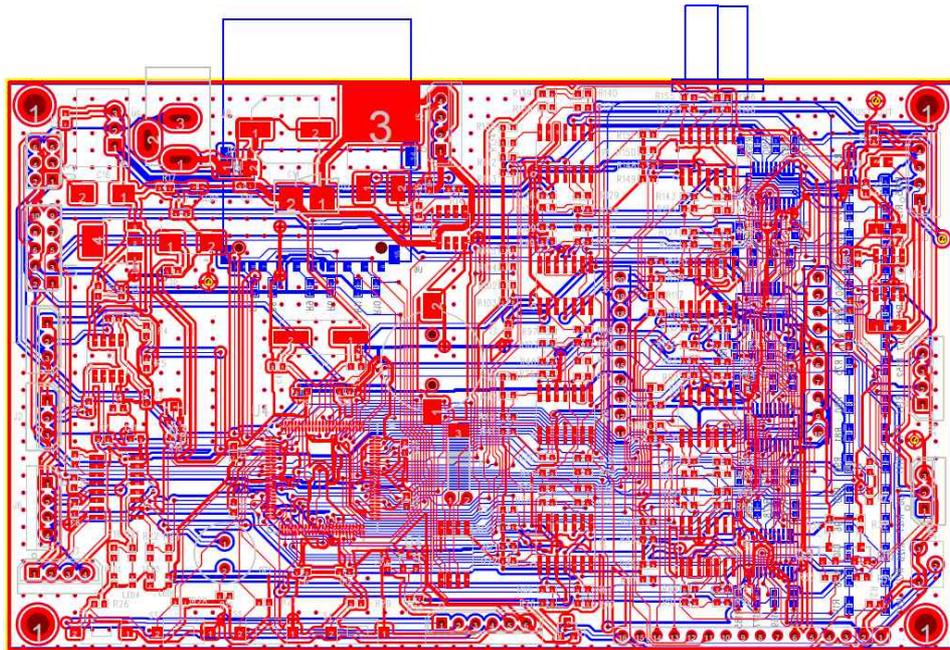
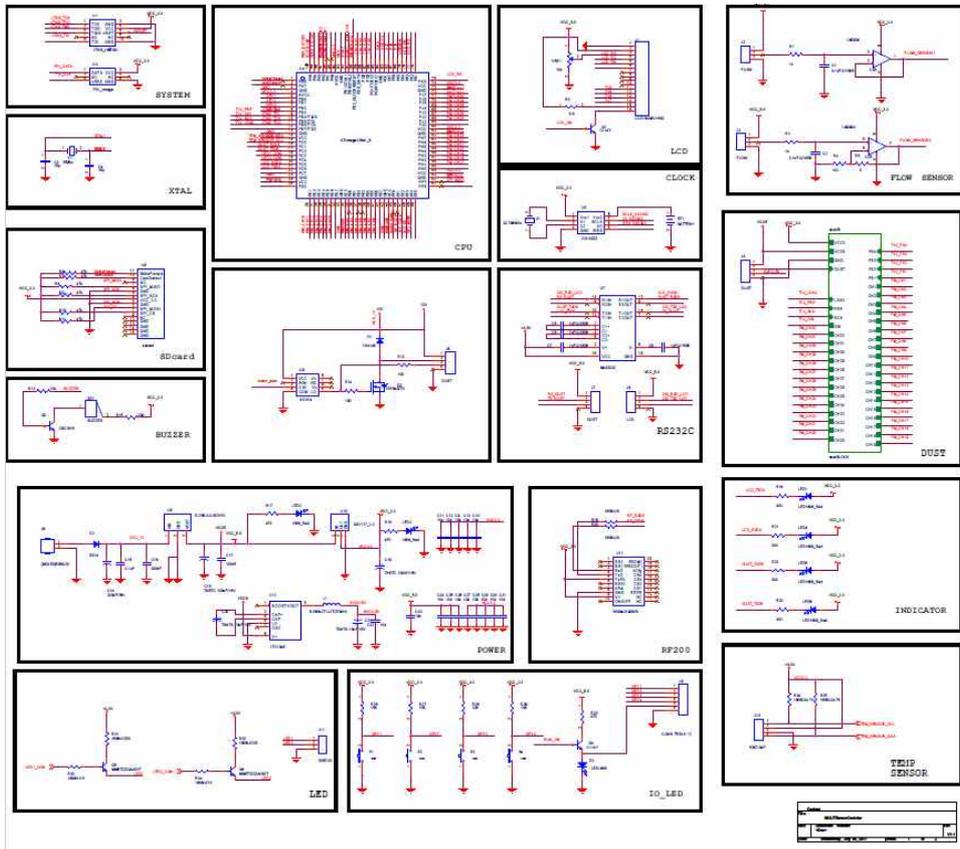
<표 3>은 보완전 8채널과 보완후 16채널의 입경분리 구간을 나타낸 것으로 기존 8채널의 분리구간을 세분화하여 16채널로 분리하였으며 이를 통해 입경을 세분화하여 계수하고 나아가 중량농도 환산시 오차를 줄일 수 있도록 하였다.

<표 3> 채널별 입경분리 구간

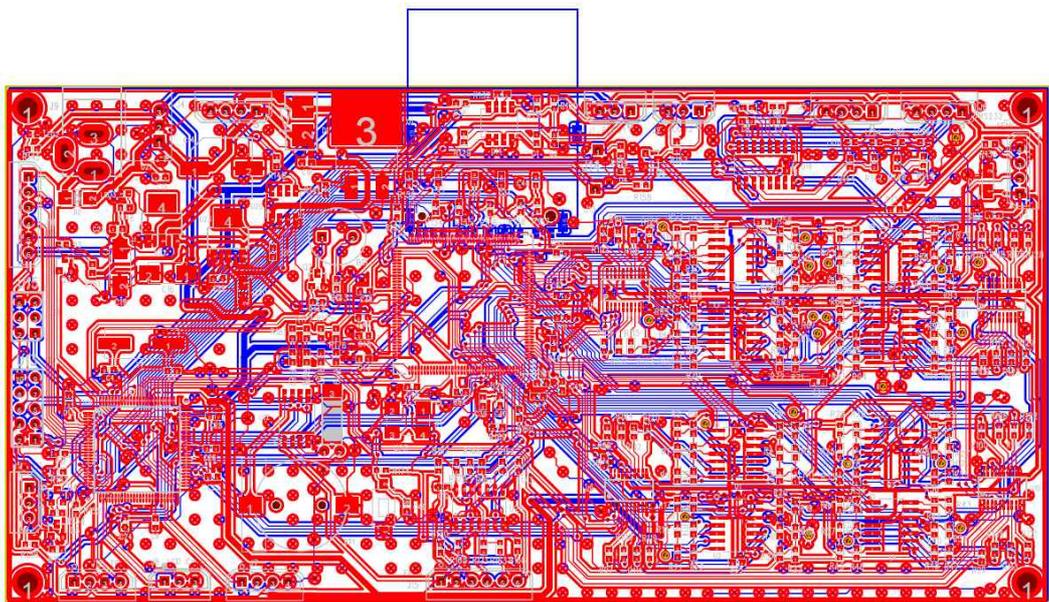
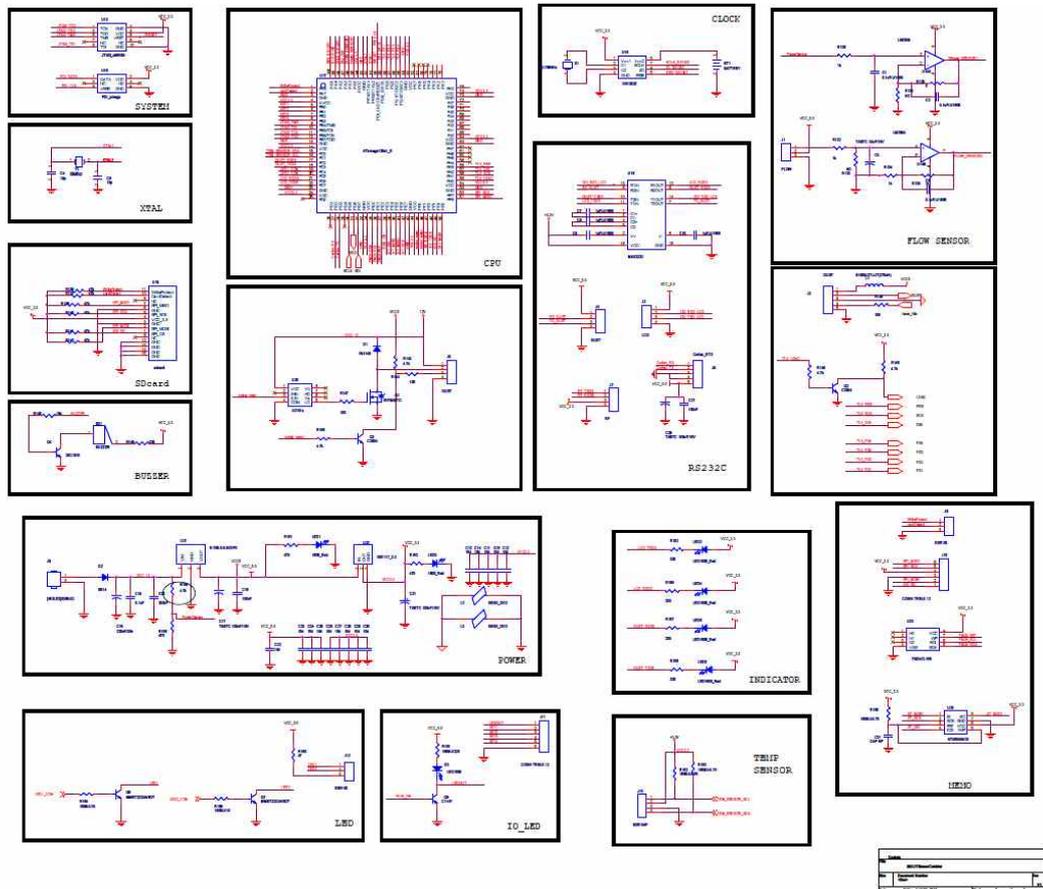
(단위 : μm)

8 채 널	0.3	-	0.5	-	-	1.0	-	-	3.0	-	5.0	-	10	-	20
16 채 널	0.3	0.4	0.5	0.65	0.8	1.0	1.6	2.0	3.0	4.0	5.0	7.5	10	15	20

<그림 30~31>은 8채널과 16채널의 회로도 및 PCB 설계도를 제시한 것으로 기존 8채널에서 16채널로 분리구간을 세분화하여 적용하였다.



<그림 46> 8채널(기존) 회로도 및 PCB 설계도



<그림 47> 16채널(보완) 회로도 및 PCB 설계도

<그림 32~33>은 8채널과 16채널의 실제 측정데이터를 표현한 것으로 입경구분이 세분화되어 입자가 계수됨에 따라 중량농도 환산 등에 좀더 정확한 값을 표현할

수 있을 것으로 기대된다.

채널수(8ch)							질량		
0.30 um	0.50 um	1.00 um	3.00 um	5.00 um	10.00 um	20.00 um	PM 10	PM 2.5	PM 1.0
57510	10145	305	3	1	0	0	22	21.4	20.3
58740	10455	250	1	1	0	0	21.1	20.5	19.3
55870	9905	230	2	0	0	0	22.5	21.8	20.7
59695	10730	320	5	1	0	0	22.1	21.6	20.4
58250	10450	320	3	1	0	0	22.5	22.3	21.1
60125	10870	310	3	0	0	0	23.6	22.6	21.6
62380	11465	300	6	0	0	0	22.5	21.9	20.7
60535	10820	305	1	0	0	0	25	22.9	21.5
60925	11455	270	6	3	0	0	23.2	22.9	22
63175	11920	310	2	0	0	0	22.9	22.8	21.7
62460	11445	310	2	0	0	0	23.1	23	22.1
62250	11845	300	0	0	0	0	24.7	23.5	22.2
63325	11645	320	1	1	1	0	25.1	23.8	22.4
64135	11600	255	2	1	1	0	23.8	23.5	22.3
64325	11610	315	5	0	0	0	23.8	23.3	22.1
64825	11730	335	3	0	0	0	25.6	24.3	22.9
65605	11955	240	7	0	0	0	23.7	23.6	22.6
64950	12590	295	1	0	0	0	24.9	24.7	23.5
66765	12980	270	2	0	0	0	25.6	24.6	23.3
67550	13070	400	3	1	0	0	26.1	25.1	23.9
69265	12920	335	4	2	0	0	25.6	24.5	23.1
66275	12855	320	5	2	0	1	28.2	24.9	23.7
68285	13150	285	3	1	1	0	26.2	25.3	24.1
68855	13090	350	2	0	0	0	25.9	25	23.7
68000	12525	320	3	2	0	0	26.8	25	23.9
68965	12855	405	1	2	0	0	26.7	25.6	24.4
70425	13820	350	0	0	0	0	27.3	25.6	24.5
71075	13465	335	2	3	0	0	26.9	25.8	24.5
70465	13170	300	2	0	0	0	26.9	25.7	24.7
71720	13475	410	2	1	0	0	30.1	26.9	23.7

<그림 48> 8채널(기존) 측정 데이터

채널수(16ch)														질량			
0.30 um	0.40 um	0.50 um	0.65 um	0.80 um	1.00 um	1.60 um	2.00 um	3.00 um	4.00 um	5.00 um	7.50 um	10.00 um	15.00 um	20.00 um	PM 10	PM 2.5	PM 1.0
75790	33669	11975	1545	385	350	74	36	5	0	0	0	0	0	0	22	21.5	18.6
77299	34569	12922	1535	380	275	31	22	4	2	1	0	0	0	0	22.3	21.4	19.1
75971	34532	12130	1580	310	280	41	25	6	2	1	0	0	0	0	22.1	21.1	18.7
78985	36464	12952	1625	385	245	52	32	5	2	2	1	1	0	0	25.1	22.1	19.6
82721	36847	13223	1750	440	360	31	31	4	1	1	1	1	0	0	25.5	23	20.4
80270	35934	12752	1675	415	360	84	34	6	0	0	1	0	0	0	24	22.8	19.8
80834	36796	12647	1795	415	275	67	24	8	1	0	0	0	0	0	23.3	22.6	19.9
84023	38442	13618	1780	380	265	46	33	4	2	0	0	0	0	0	24.1	23.4	20.8
81467	37089	12556	1745	420	285	36	28	3	1	1	0	1	0	0	24.3	22.5	20
82625	36688	13613	1720	385	250	51	32	5	1	1	0	0	0	0	23.8	22.9	20.3
82935	38070	13678	1770	450	315	71	38	6	5	4	1	0	0	0	26.5	23.7	20.7
82812	37568	13658	1760	355	275	72	15	10	2	0	1	0	0	0	24.6	23.1	20.5
84940	39232	13693	1810	395	300	56	22	7	3	1	1	0	0	0	25.5	23.7	21.1
87651	39700	13909	1750	470	360	70	23	7	2	2	0	1	0	0	26.9	24.5	21.6
87248	39403	13583	1760	400	330	28	20	7	1	4	0	0	0	0	25.5	23.8	21.3
85262	38628	13844	1825	455	425	38	14	7	1	0	0	0	0	0	24.5	23.9	21.2
88171	39543	13899	1835	430	345	44	15	10	0	0	1	0	0	0	25.5	24.3	21.6
87966	40682	14314	1745	335	280	24	11	5	2	2	1	0	0	0	25.7	24	21.7
89571	40276	14796	1890	500	345	29	17	4	0	2	1	2	0	0	28.4	24.8	22.2
92123	42615	15803	2055	490	325	74	20	9	0	0	1	1	0	0	28.5	26.2	23.2
92293	41599	14871	1990	535	405	58	21	2	1	2	1	0	0	0	27.4	25.9	22.9
88951	41040	14841	1920	410	320	84	40	7	1	1	0	1	0	1	27.6	25.4	22.3
90908	42426	14770	1995	350	325	54	23	9	1	2	1	0	0	0	27.3	25.4	22.7
93521	42822	14691	2020	520	335	65	24	8	2	4	4	3	0	0	33.6	26.1	23.1
93359	42157	15226	1800	475	385	57	34	4	5	3	1	1	0	0	29.7	26.1	23.1
92208	41495	15196	1985	415	370	52	23	5	3	2	0	0	0	0	27	25.7	22.8
94221	42509	15066	2221	570	310	62	30	8	1	3	1	0	0	0	28.6	26.4	23.4
93031	42360	14836	1900	515	285	58	29	8	5	3	1	1	0	0	29.5	25.8	22.9
96240	43963	15452	2045	405	395	61	23	6	5	0	0	0	0	0	27.9	26.9	23.8
94937	43912	15352	2035	445	385	88	26	2	1	0	1	2	0	0	30.1	26.9	23.7

<그림 49> 16채널(보완) 측정 데이터

1.2.2 교정 및 성능평가

본 연구에서는 <그림 34>와 같이 본사 사무실내 미세먼지 테스트 챔버를 이용하여 본사의 16채널 측정기와 Grimm社과 측정기 비교 테스트를 실시하였다. 테스트에는 Arizona Road Dust를 이용하여 미세먼지를 발생시켰으며 세부 평가 방법은 다음과 같다.

- ① 본사 측정기(16ch)와 비교대상 계측기(GRIMM社)를 각각 시험챔버와 연결된 튜브로 연결한다.
- ② 먼지가 제거된 청정공기를 챔버로 주입하고, 입자 농도 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 유지하는지 확인한다.
- ③ Arizona Road Dust를 시험 챔버에 주입하고 fan을 이용하여 1분간 혼합, 시험챔버 내부 입자 농도를 균일하게 유지시킨다.
- ④ 본 측정기와 비교대상 계측기 데이터 획득한다.
- ⑤ 위의 방법 2-3회 반복한다.



<그림 50> 미세입자 분리장치 성능평가 실험 장면

테스트 결과 <표 4>, <그림 35>와 같이 입경이 약 $3.0\ \mu\text{m}$ 이하 구간에서 Grimm社 장비와 입자계수 오차가 약 5 %이하로 거의 유사한 값을 나타내는 것으로 확인되었다.

그러나 본 테스트에 이용한 Arizona Dust에는 입경 $3.0\ \mu\text{m}$ 이상의 입자가 거의 존재하지 않는 것으로 확인되어 해당 구간의 데이터는 거의 계수되지 않아 정확한 오차를 비교가 불가능함에 따라 입경분포가 다양한 표준입자를 이용하여 추가 성능평가를 진행하고자 하였다.

<표 4> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_1차

입경 (μm)	개수농도(개)		오차율 (%)
	Grimm社	보완 측정기(16채널)	
0.3	161,751	156,407	3.30%
	153,910	152,345	1.02%
	150,025	146,907	2.08%
	142,172	137,991	2.94%
	135,539	135,968	0.32%
	130,558	128,078	1.90%
	125,837	127,579	1.38%
	119,867	121,387	1.27%
	114,478	117,701	2.82%
	114,321	113,555	0.67%
	109,484	109,081	0.37%
	104,701	103,391	1.25%
	101,640	100,655	0.97%
	96,119	96,169	0.05%
	92,547	93,379	0.90%
	90,112	92,794	2.98%
	86,050	87,154	1.28%
	82,906	84,703	2.17%
78,506	81,206	3.44%	
77,423	77,876	0.59%	
0.4	116,863	117,931	0.91%
	112,307	113,127	0.73%
	108,928	106,350	2.37%
	103,189	103,260	0.07%
	99,407	97,861	1.56%
	95,831	96,577	0.78%
	89,572	86,613	3.30%
	86,099	88,280	2.53%
	80,653	80,514	0.17%
	79,680	77,392	2.87%
	75,758	74,403	1.79%
	72,235	71,590	0.89%
	68,177	65,732	3.59%
	64,894	62,632	3.49%
	62,220	63,371	1.85%
	60,205	61,352	1.91%
	56,926	56,648	0.49%
	55,982	56,128	0.26%
51,817	52,927	2.14%	
50,264	50,082	0.36%	

<표 계속> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_1차

입경 (μm)	개수농도(개)		오차율 (%)
	Grimm社	보완 측정기(16채널)	
0.5	66,525	65,349	1.77%
	64,486	64,513	0.04%
	60,782	59,318	2.41%
	58,281	57,084	2.05%
	54,528	53,119	2.58%
	51,854	50,547	2.52%
	49,522	48,572	1.92%
	47,862	47,266	1.25%
	45,287	44,321	2.13%
	42,926	42,669	0.60%
	40,961	39,793	2.85%
	39,337	39,717	0.97%
	37,652	37,173	1.27%
	36,000	35,153	2.35%
	33,528	34,839	3.91%
	31,789	31,340	1.41%
	30,516	29,869	2.12%
	29,519	29,014	1.71%
27,558	27,266	1.06%	
26,907	26,383	1.95%	
0.65	17,909	17,547	2.02%
	17,201	17,324	0.72%
	17,114	17,208	0.55%
	15,960	15,775	1.16%
	14,815	14,395	2.83%
	14,601	13,983	4.23%
	13,608	13,814	1.51%
	13,270	13,594	2.44%
	11,882	12,363	4.05%
	12,051	11,634	3.46%
	11,536	11,034	4.35%
	10,786	10,852	0.61%
	10,221	9,974	2.42%
	9,665	9,348	3.28%
	9,076	8,693	4.22%
	9,109	8,882	2.49%
	8,577	8,235	3.99%
	7,931	7,885	0.58%
7,461	7,537	1.02%	
7,378	7,403	0.34%	

<표 계속> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_1차

입경 (μm)	개수농도(개)		오차율 (%)
	Grimm社	보완 측정기(16채널)	
0.8	4,251	4,379	3.01%
	4,231	4,386	3.66%
	3,732	3,849	3.14%
	3,860	3,824	0.93%
	3,543	3,484	1.67%
	3,217	3,120	3.02%
	3,032	3,123	3.00%
	2,628	2,723	3.61%
	2,830	2,887	2.01%
	2,739	2,712	0.99%
	2,340	2,376	1.54%
	2,331	2,354	0.99%
	2,167	2,192	1.15%
	2,406	2,475	2.87%
	1,825	1,798	1.48%
	2,064	2,016	2.33%
	1,915	1,933	0.94%
	1,713	1,740	1.58%
1,639	1,670	1.89%	
1,606	1,672	4.11%	
1.0	1,038	1,002	3.47%
	1,104	1,125	1.90%
	972	967	0.51%
	922	926	0.43%
	844	830	1.66%
	848	823	2.95%
	737	768	4.21%
	840	880	4.76%
	646	657	1.70%
	646	642	0.62%
	638	622	2.51%
	700	714	2.00%
	642	641	0.16%
	568	591	4.05%
	477	457	4.19%
	519	509	1.93%
	482	476	1.24%
	403	408	1.24%
374	386	3.21%	
453	460	1.55%	

<표 계속> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_1차

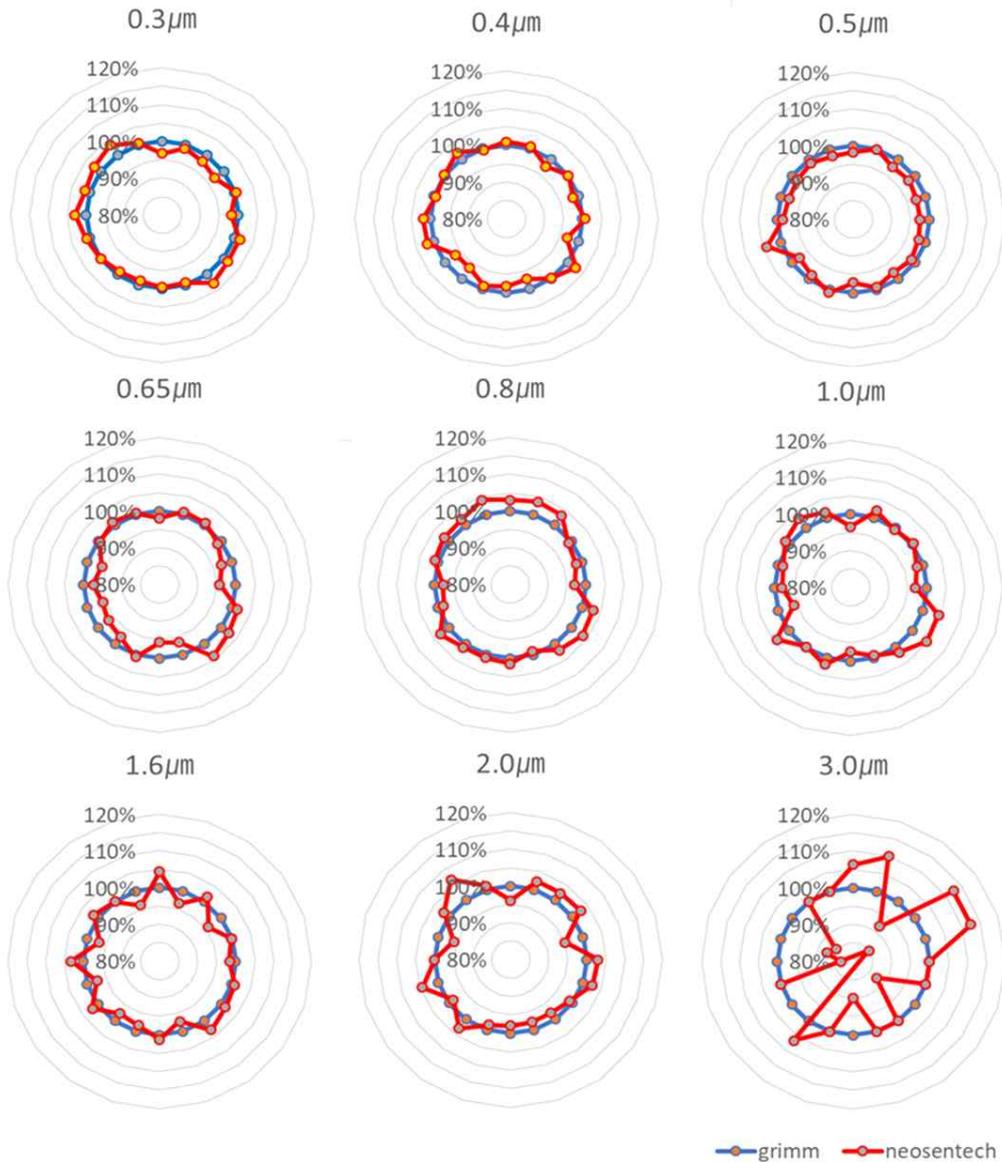
입경 (μm)	개수농도(개)		오차율 (%)
	Grimm社	보완 측정기(16채널)	
1.6	580	605	4.31%
	688	664	3.49%
	613	622	1.47%
	523	501	4.21%
	535	534	0.19%
	547	538	1.65%
	510	514	0.78%
	395	400	1.27%
	329	339	3.04%
	395	384	2.78%
	325	329	1.23%
	407	400	1.72%
	341	333	2.35%
	374	381	1.87%
	300	292	2.67%
	271	280	3.32%
	238	230	3.36%
	222	225	1.35%
	214	214	0.00%
	296	284	4.05%
2.0	432	415	3.94%
	341	349	2.35%
	317	324	2.21%
	263	270	2.66%
	325	309	4.92%
	238	245	2.94%
	267	274	2.62%
	222	220	0.90%
	230	225	2.17%
	267	261	2.25%
	148	145	2.03%
	148	146	1.35%
	160	165	3.13%
	218	215	1.38%
	111	116	4.50%
	152	152	0.00%
	119	114	4.20%
	115	117	1.74%
	103	110	6.80%
	103	104	0.97%

<표 계속> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_1차

입경 (μm)	개수농도(개)		오차율 (%)
	Grimm社	보완 측정기(16채널)	
3.0	16	17	6.25%
	10	11	10.00%
	12	11	8.33%
	8	9	12.50%
	8	9	12.50%
	6	6	0.00%
	6	6	0.00%
	8	7	12.50%
	6	6	0.00%
	6	6	0.00%
	10	9	10.00%
	6	6	0.00%
	15	16	6.67%
	4	3	25.00%
	2	2	0.00%
	6	5	16.67%
	8	7	12.50%
	7	6	14.29%
5	5	0.00%	
6	6	0.00%	
4.0	12	11	8.33%
	16	16	0.00%
	8	9	12.50%
	6	5	16.67%
	6	6	0.00%
	2	2	0.00%
	2	3	50.00%
	14	13	7.14%
	6	8	33.33%
	5	7	40.00%
	6	4	33.33%
	6	4	33.33%
	2	2	0.00%
	6	4	33.33%
	2	2	0.00%
	2	3	50.00%
	2	4	100.00%
	5	4	20.00%
9	10	11.11%	
2	3	50.00%	

<표 계속> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_1차

입경 (μm)	개수농도(개)		오차율 (%)
	Grimm社	보완 측정기(16채널)	
5.0	0	0	-
	6	4	33%
	4	4	0%
	0	0	-
	0	0	-
	0	0	-
	2	2	0%
	0	4	-
	0	0	-
	0	2	-
	0	0	-
	2	0	100%
	0	0	-
	2	0	100%
	0	0	-
	0	0	-
	0	0	-
	2	2	0%
	0	2	-
	7.5	0	0
0		0	-
0		0	-
0		0	-
2		0	100.00%
0		0	-
0		0	-
0		0	-
0		0	-
0		0	-
0		0	-
0		0	-
0		0	-
0		0	-
0		0	-
0		0	-
0		0	-
0		0	-
0		0	-



<그림 51> 보완 측정기(16채널)와 Grimm社 측정값 비교 (1차)

<그림 36>과 같이 20 μm 까지 미세먼지 입경이 다양하게 구성된 Arizona Dust를 이용하여 동일한 테스트를 추가로 진행하였으며, 해당 결과를 토대로 장치를 보정하는 과정을 반복하고 성능평가를 수행하였다. 그 결과는 <표 5>, <그림 37>과 같다.

Grimm社 대비 오차율 확인 결과 평균 4.43 %로 확인되었다. 오차율이 비교적 높은 것처럼 보이는 일부 지점의 경우는 입자수 5개 이하인 경우로 입자 5개 이하인 경우를 제외하고 평균오차율을 산정한 결과 약 2.56%로 상관도가 높은 것으로 나타났다.

Certificate of Conformance
Standard Test Dust To
ISO 12103 Pt1 A1 Ultra Fine– Arizona Simulant

BATCH NUMBER 9160

DATE : 16th November 2016

Chemical Analysis (Typical) Mineral silica with other oxides present. (Typical)

Specific Gravity Between 2.6 and 2.7 g/cm³

Moisture Content <1.0% by weight

Particle Size Distribution	
PARTICLE SIZE MICRONS	PERCENT BY WEIGHT SPECIFICATION
1	1.0 - 3.0
2	9.0 - 13.0
3	21.0 - 27.0
4	36.0 - 44.0
5	56.0 - 64.0
7	83.0 - 88.0
10	97.0 - 100
20	100

The particle size distribution has been determined as follows:

A sample for analysis is obtained from each batch of material by an approved method as laid down in BS 3406 'Methods for Determination of Particle Size of Powders' and particle size analysis is carried out by Coulter Multisizer technique.

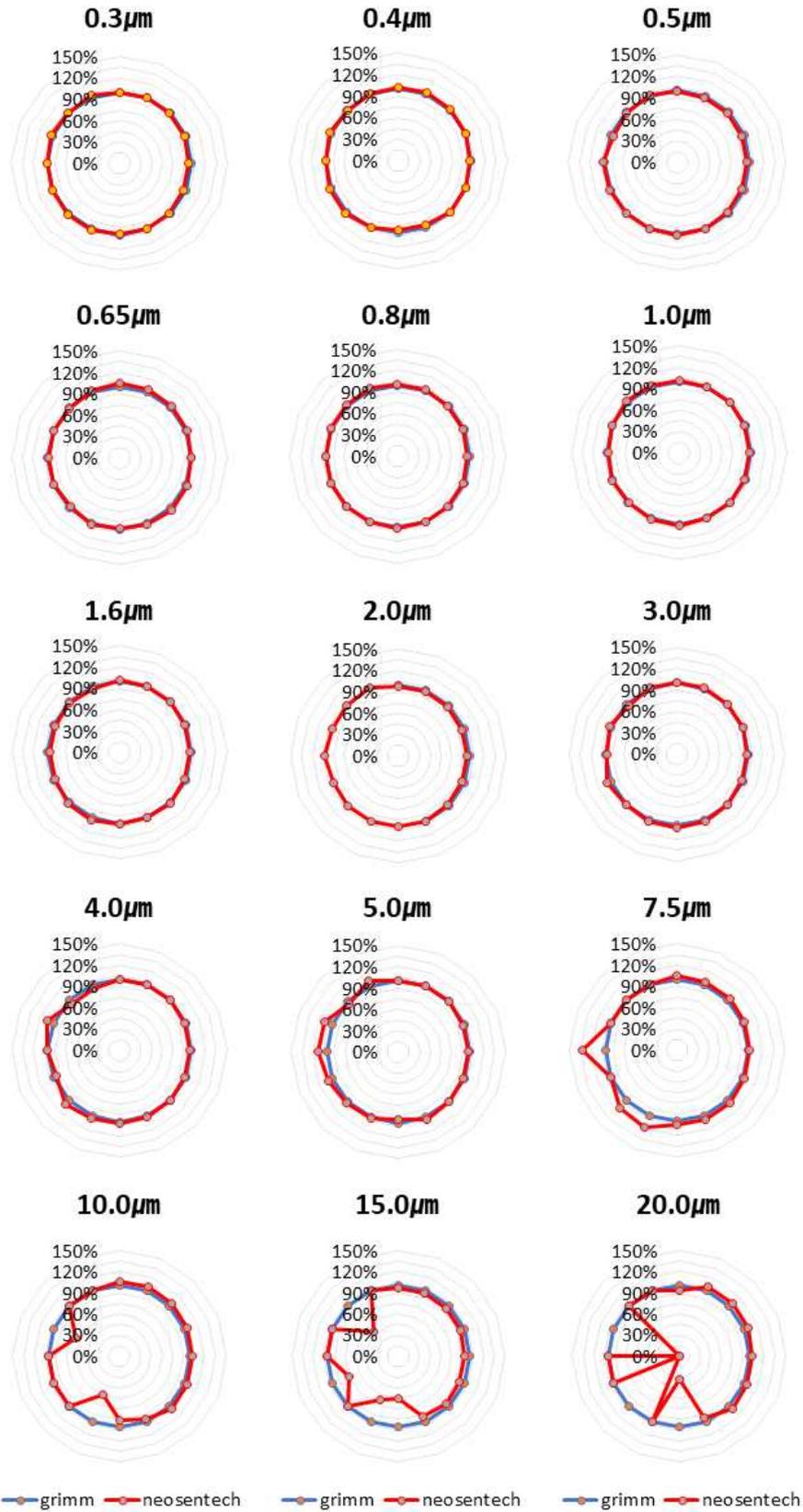
The particle size distribution of Batch No 9160 of standard test dust **ISO 12103 Pt1 A1 Ultra Fine – Arizona Simulant** has been tested and meets the requirements of that specification.

Powders containing wide ranges of particle size are prone to segregate on handling and during storage due to vibration. Because of this it is recommended that if smaller quantities than a full pack are required these should be removed by a recommend technique.

Signed:.....
T Jackson
Quality Manager
Date: 16th November 2016



<그림 52> 표준입자 입경분포



<그림 53> 보완 측정기(16채널)와 Grimm社 측정값 비교 (2차)

<표 5> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_2차

입경 (μm)	개수농도(개)		오차율 (%)
	Grimm社	보완 측정기(16채널)	
0.3	109,607	108,995	0.56%
	117,279	116,625	0.56%
	125,489	123,622	1.49%
	134,273	130,792	2.59%
	143,672	138,378	3.68%
	153,729	149,172	2.96%
	164,491	162,150	1.42%
	176,005	176,257	0.14%
	258,312	255,414	1.12%
	196,931	198,245	0.67%
	164,378	165,424	0.64%
	142,405	143,242	0.59%
	127,793	128,420	0.49%
	114,271	116,427	1.89%
	104,722	105,434	0.68%
97,545	100,214	2.74%	
0.4	269,271	275,513	2.32%
	288,120	294,799	2.32%
	308,288	312,487	1.36%
	329,869	330,611	0.23%
	352,959	349,787	0.90%
	377,667	377,070	0.16%
	404,103	409,875	1.43%
	513,454	499,451	2.73%
	400,746	387,415	3.33%
	329,677	330,479	0.24%
	275,639	284,651	3.27%
	238,501	246,515	3.36%
	207,284	206,845	0.21%
	184,552	188,424	2.10%
	165,923	163,945	1.19%
146,938	148,642	1.16%	
0.5	294,342	289,421	1.67%
	314,946	309,680	1.67%
	336,992	328,261	2.59%
	360,582	347,300	3.68%
	385,822	369,875	4.13%
	412,830	398,725	3.42%
	441,728	433,414	1.88%
	492,917	493,451	0.11%
	416,300	420,845	1.09%
	357,763	355,467	0.64%
	310,401	310,001	0.13%
	270,576	273,145	0.95%
	239,698	245,614	2.47%
	213,907	202,988	5.10%
	191,602	188,354	1.70%
171,240	172,108	0.51%	

<표 계속> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_2차

입경 (μm)	개수농도(개)		오차율 (%)
	Grimm社	보완 측정기(16채널)	
0.65	181,392	192,219	5.97%
	194,089	201,830	3.99%
	207,676	213,940	3.02%
	222,213	226,348	1.86%
	237,768	239,476	0.72%
	254,412	258,156	1.47%
	272,220	280,615	3.08%
	293,632	297,541	1.33%
	248,400	245,724	1.08%
	210,196	211,484	0.61%
	180,478	173,971	3.61%
	157,091	155,424	1.06%
	134,761	133,145	1.20%
	119,438	117,453	1.66%
	105,355	104,030	1.26%
92,098	94,277	2.37%	
0.8	93,763	94,242	0.51%
	100,326	100,839	0.51%
	107,349	106,889	0.43%
	114,864	113,089	1.55%
	122,904	119,648	2.65%
	131,507	128,981	1.92%
	140,713	140,202	0.36%
	153,756	154,214	0.30%
	123,524	124,345	0.66%
	101,741	102,434	0.68%
	85,787	86,124	0.39%
	71,219	72,141	1.29%
	60,919	61,234	0.52%
	53,115	53,745	1.19%
	44,798	45,145	0.77%
39,270	40,214	2.40%	
1.0	103,440	104,354	0.88%
	110,681	111,659	0.88%
	118,428	118,358	0.06%
	126,718	125,223	1.18%
	135,589	132,486	2.29%
	145,080	142,820	1.56%
	155,236	155,245	0.01%
	162,905	162,435	0.29%
	137,165	140,124	2.16%
	115,195	116,749	1.35%
	95,255	94,254	1.05%
	80,800	81,245	0.55%
	66,355	65,434	1.39%
	56,345	57,124	1.38%
	48,120	49,754	3.40%
41,040	42,104	2.59%	

<표 계속> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_2차

입경 (μm)	개수농도(개)		오차율 (%)
	Grimm社	보완 측정기(16채널)	
1.6	67,596	68,451	1.26%
	72,328	73,243	1.26%
	77,391	77,637	0.32%
	82,808	82,140	0.81%
	88,605	86,904	1.92%
	94,807	93,683	1.19%
	101,443	101,833	0.38%
	97,683	97,546	0.14%
	71,872	72,145	0.38%
	55,233	56,424	2.16%
	42,920	43,214	0.68%
	33,612	32,954	1.96%
	27,773	26,954	2.95%
	22,699	22,124	2.53%
	18,005	17,845	0.89%
15,606	14,989	3.95%	
2.0	80,938	79,546	1.72%
	86,604	85,114	1.72%
	92,666	90,221	2.64%
	99,153	95,454	3.73%
	106,093	100,990	4.81%
	113,520	108,867	4.10%
	121,466	118,339	2.57%
	125,083	124,578	0.40%
	87,636	87,142	0.56%
	61,843	61,424	0.68%
	45,316	44,979	0.74%
	33,358	32,457	2.70%
	25,338	26,124	3.10%
	19,278	19,414	0.71%
	14,896	15,042	0.98%
12,192	12,546	2.90%	
3.0	32,896	33,124	0.69%
	35,199	35,443	0.69%
	37,663	37,569	0.25%
	40,299	39,748	1.37%
	43,120	42,054	2.47%
	46,138	45,334	1.74%
	49,368	49,278	0.18%
	49,435	50,142	1.43%
	28,654	29,472	2.85%
	17,000	17,542	3.19%
	10,633	10,754	1.14%
	7,067	7,414	4.91%
	4,768	4,651	2.45%
	3,142	3,214	2.29%
	2,232	2,145	3.90%
1,626	1,648	1.35%	

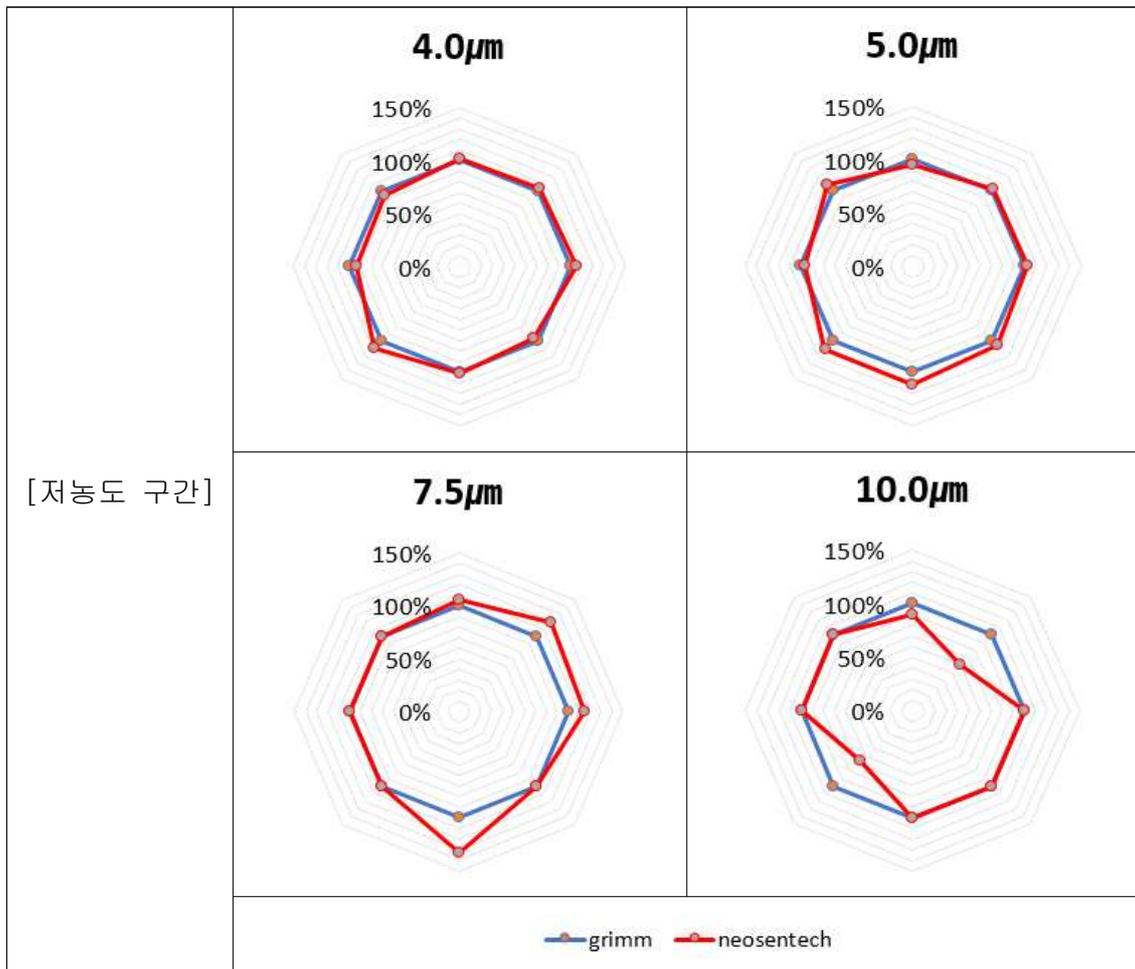
<표 계속> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_2차

입경 (μm)	개수농도(개)		오차율 (%)
	Grimm社	보완 측정기(16채널)	
4.0	11,089	11,145	0.51%
	11,865	11,925	0.51%
	12,696	12,641	0.43%
	13,585	13,374	1.55%
	14,535	14,149	2.66%
	15,553	15,253	1.93%
	16,642	16,580	0.37%
	14,014	14,324	2.21%
	6,301	6,412	1.76%
	3,022	3,124	3.38%
	1,511	1,601	5.96%
	888	845	4.84%
	490	495	1.02%
	299	324	8.36%
	197	184	6.60%
152	145	4.61%	
5.0	3,514	3,541	0.77%
	3,760	3,789	0.77%
	4,023	4,016	0.17%
	4,305	4,249	1.29%
	4,606	4,496	2.40%
	4,929	4,846	1.67%
	5,274	5,268	0.11%
	3,433	3,511	2.27%
	1,109	1,054	4.96%
	422	428	1.42%
	161	164	1.86%
	85	90	5.88%
	43	48	11.63%
	27	30	11.11%
	28	27	3.57%
12	13	8.33%	
7.5	230	241	4.78%
	246	258	4.78%
	263	273	3.80%
	282	289	2.64%
	301	306	1.49%
	323	330	2.25%
	345	359	3.87%
	171	180	5.26%
	34	36	5.88%
	11	13	18.18%
	3	8	166.67%
	0	2	-
	2	4	100.00%
	0	2	-
	0	1	-
2	2	0.00%	

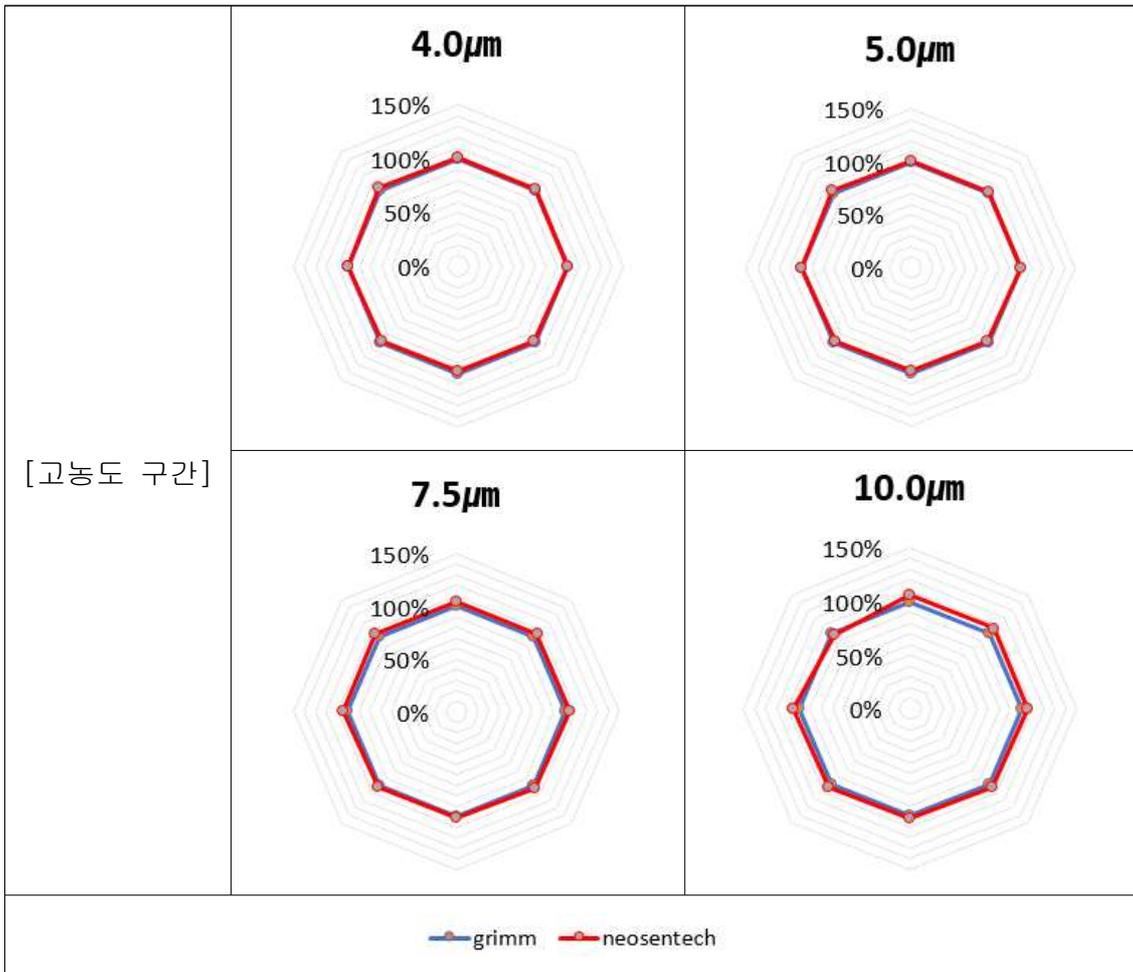
<표 계속> 표준입자를 이용한 성능평가 결과_2차

입경 (μm)	개수농도(개)		오차율 (%)
	Grimm社	보완 측정기(16채널)	
10.0	117	124	5.98%
	125	133	5.98%
	134	141	4.99%
	143	149	3.81%
	153	157	2.65%
	164	170	3.42%
	176	184	5.06%
	133	129	3.01%
	21	19	9.52%
	5	3	40.00%
	1	1	0.00%
	1	1	0.00%
	1	0	100.00%
	3	2	33.33%
	0	0	-
0	0	-	
15.0	26	25	3.85%
	28	27	3.85%
	30	28	4.74%
	32	30	5.81%
	34	32	6.87%
	36	34	6.17%
	39	37	4.68%
	14	13	7.14%
	5	3	40.00%
	3	2	33.33%
	1	1	0.00%
	4	3	25.00%
	1	1	0.00%
	1	1	0.00%
	2	1	50.00%
1	1	0.00%	
20.0	14	13	7.14%
	15	16	6.81%
	16	17	5.81%
	17	18	4.62%
	18	19	3.45%
	20	20	4.22%
	21	22	5.88%
	19	18	5.26%
	3	1	66.67%
	1	1	0.00%
	1	0	100.00%
	1	1	0.00%
	1	1	0.00%
	1	0	100.00%
	1	1	0.00%
1	1	0.00%	

<그림 38, 39>는 성능평가 결과를 고농도/저농도로 구분하여 표현한 것으로 4.0 μm 이상 입경의 경우, 입자의 크기가 상대적으로 크기 때문에 시간이 흐를수록 중력에 의해 챔버 하단으로 더 빠르게 가라앉아 작은 입자에 비해 거의 계수가 되지 않는 것으로 나타났다. 저농도 구간의 경우 오차율이 약 33~40%로 비교적 높은 것으로 나타났으나 이는 입자개수 자체가 10개 이하로 낮아 오차율이 높게 산정된 것으로 확인되었다. 이에 입경별 입자개수가 20개 이상으로 구성된 경우를 고농도로 구분하여 오차율을 확인한 결과 오차율이 약 3~4%로 확인되었다.



<그림 54> 보완 측정기(16채널)와 Grimm社 측정값 비교 (2차)_저농도



<그림 55> 보완 측정기(16채널)와 Grimm社 측정값 비교 (2차)_고농도

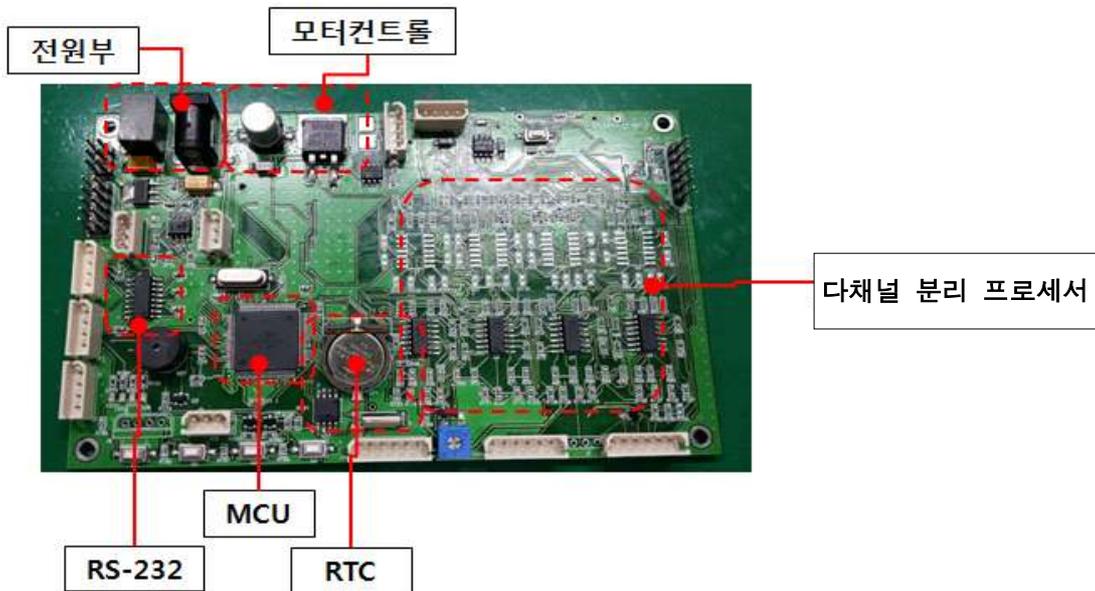
표준입자를 발생시켜 테스트를 진행하고 입경에 따른 성능곡선을 그래프로 나타내 채널별 Cutoff diameter를 재확인하고, 각각의 입경에 따른 농도별 성능평가를 실시하여 농도 변화에 대한 성능의 저하가 없는지를 확인하였다. 또한 광학 계측장치에 대한 기본 성능평가를 마친 뒤, Cutoff diameter를 측정하고자 하는 입자의 크기에 맞추기 위하여 광학 계측장치의 성능을 교정 보완하였다.

본 연구에서는 다양한 환경에서 미세먼지 농도를 정확하게 측정하기 위해 표준입자를 이용하여 다양한 조건에서 테스트를 진행하고 해당 결과값을 토대로 보정값을 적용하였다.

1.3 데이터 처리 및 관리 제어모듈 보완

광산란방식의 입자측정을 위한 주요 장치는 전원부, 모터컨트롤부, MCU부, 다 채널 분리 로직부, 통신부(RS232), 입자분리채널 카운터부, 데이터 저장부, 채널설정부 등으로 구성되어 있다.

컨트롤 보드는 미세입자 측정분석 장치를 구성하고 있는 각각의 부품과 시스템 전체의 구동을 제어하고, 센서 보드에서 보내진 신호를 이용해 입자 크기에 따른 채널을 분리하는 기능도 함께 한다. 즉 컨트롤 보드는 측정 장치의 Calibration 값 저장 및 LCD 화면의 그래픽 조절, 각 부분품의 전원 제어 등 측정 장치 전체의 전원 제어를 담당하는 것 뿐만 아니라 다채널 입자의 크기별 분리를 하는 기능도 포함하고 있다. 데이터 처리 및 컨트롤 보드는 다채널의 입자 분리 및 시스템 전반의 처리로직을 포함하는 기능을 완벽하게 지원해 주어야 하며, 메인보드에서 처리속도를 향상시키고, 데이터저장 기능을 추가로 고려하여 설계 제작하여야 한다. RTC(Real time clock) 기능 및 RTC 전용 배터리를 적용하여 설계하고, 시간과 C-Factor 등을 고려한 조절기능을 반영하여 측정값의 오차를 감소시킴으로써 개발 제품의 정확성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있도록 개발하였으며 본 연구에서는 이들 로직을 재검토하여 측정기의 성능이 향상되도록 보완하고자 하였다.



<그림 56> 다채널 입경분리 제어로직 제작

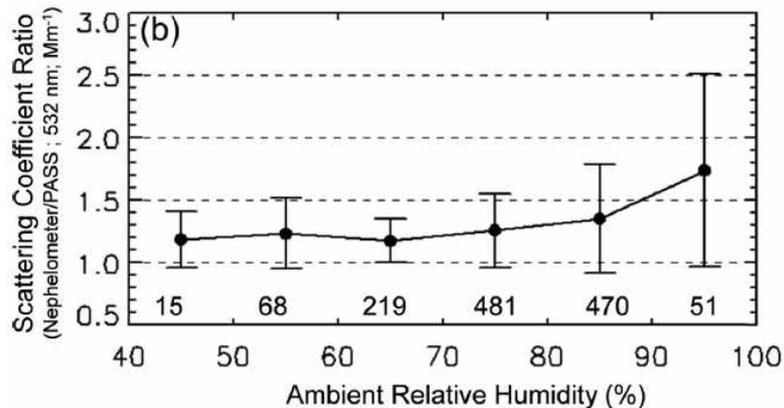
2. 성능 극대화를 위한 전처리기술 개발

2.1 광산란방식 미세먼지 측정기 신뢰도 향상 방안

2.1.1 광산란방식 미세먼지 측정오차 발생원인

대기 중 상대습도가 높을 경우, 광산란방식 미세먼지 측정은 다른 표준 측정법에 비해 중량농도가 비교적 높게 측정되는 것은 여러 문헌을 통해 확인할 수 있다. 이는 입자가 수분을 흡수하여 입자의 흡습 성장(Hygroscopic growth)을 초래하여 입자 크기의 증가로 더 많은 빛을 산란시키기 때문에 실제보다 높은 중량농도로 측정되기 때문이다.²⁾³⁾

선행연구에 따르면 <그림 41>과 같이 상대습도 75% 이상의 조건에서는 광산란 계수가 크게 증가하는 것으로 나타났다.⁴⁾



<그림 57> 상대습도에 따른 에어로졸 산란계수

그러나 상대습도를 낮추기 위해 실제 시료를 가온하는 경우 온도가 40℃ 이상이면 대기 중에서는 대기화학반응에 의해 생성된 염이나 Semi-volatile 물질의 손실 우려가 있다는 연구 결과들이 있다.⁵⁾⁶⁾

2) Branis(2006) The concentration of ambient sources to particulate pollution in spaces and trains of the Prague underground transport system, Atmospheric Environment, 40, 348-356p.

3) Derek E. Day et al. (2011) Aerosol Light Scattering Measurements as a Function of Relative Humidity, Journal

4) 광음향 및 네펠로미터 방식을 이용한 에어로졸 흡수 및 산란계수 측정, 2015, 서울대학교 지구환경과학부, 기상청 기후변화감시센터

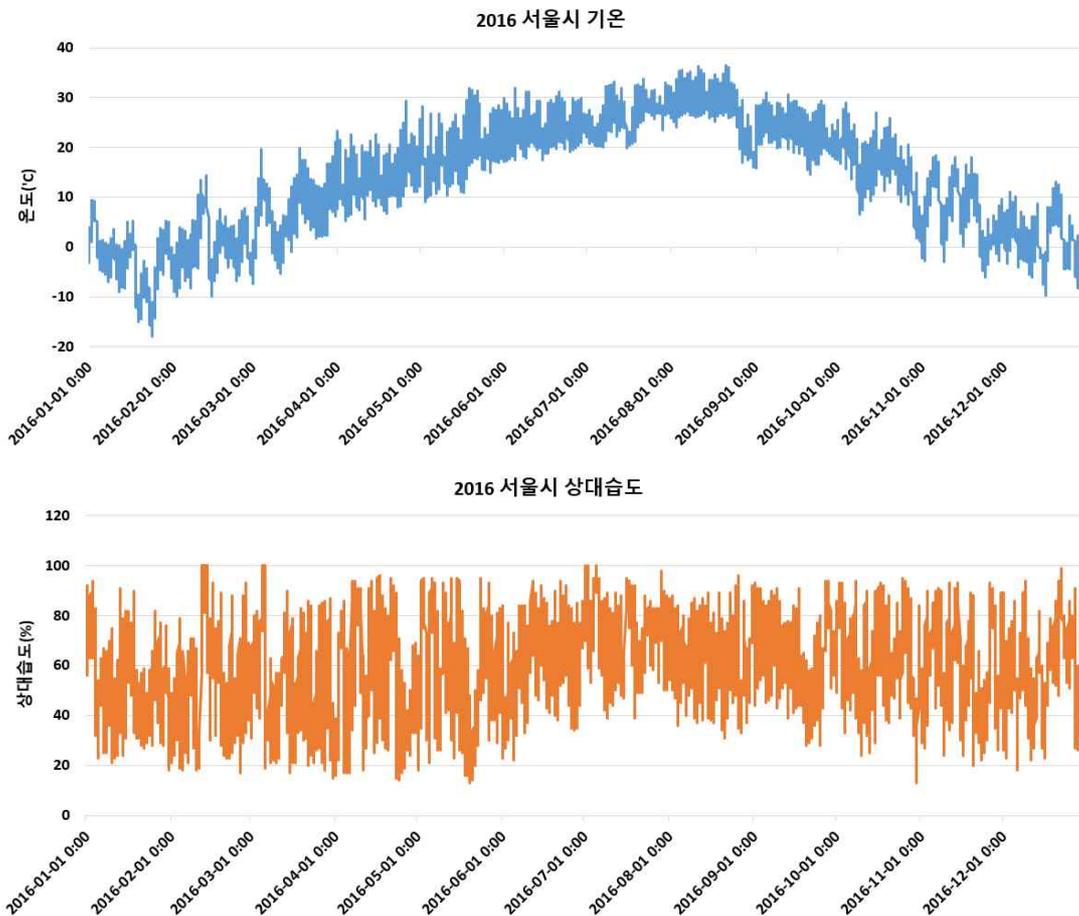
5) Peter H. McMurry, Mark R, Stolzenburg (1989) On the sensitivity of particle size to relative humidity for Los Angeles aerosols, Atmospheric Environment, 23 (2), 497-507p.

6) William C. Malm, Derek E, Day, Sonia M. Kreidenweis (2011) Light Scattering Characteristics of Aerosols as a Function of Relative Humidity: Part II - A Comparison of

따라서 미세먼지 성분의 유실없이 수분의 영향을 최소화할 수 있도록 시료를 온도 40℃ 이하, 상대습도 75% 이하로 전처리하여 측정할 수 있도록 한다.

2.1.2 최악의 시료 조건 설정 및 전처리장치 목표값 설정

<그림 42>의 기상청의 2016년 서울시 일별 온도 및 상대습도 현황을 토대로 최악의 온도 및 상대습도 조건을 가정하고자 하였다. 수분이 많으면 온도 및 상대습도를 조절하기가 쉽지 않다는 이론적 배경을 토대로 절대 증기량이 가장 많은 시점을 첫번째 최악의 조건으로 하였으며, 두 번째 최악의 조건은 상대습도가 최대로 높은 시점 중에서 온도가 가장 높은 시점으로 하였다.



<그림 58> 다채널 입경분리 제어로직 제작

<표 6>은 2016년도 기상청 자료를 활용하여 최악의 온도 및 상대습도 조건을 도출한 것으로 절대수증기량이 가장 많은 시점을 찾기 위해 각 시점의 기온 및 상

Measured Scattering and Aerosol Concentrations Using the Statistical Models, volume 27, 2000 - issue 5, Journal of the Air & Waste Management Association.

대습도를 토대로 <표 7>의 해당 기온에서의 포화수증기량을 찾아 현재 증기량을 산출한 결과 2016년 2월 20일 0시의 기온 29.9℃, 상대습도 82%에서의 증기량이 24.66g/m³로 가장 높아 해당시점의 온도 및 상대습도를 첫 번째 최악의 조건으로 선정하였다.

두 번째 최악의 조건은 상대습도가 가장 높은 100%에서 기온이 가장 높은 시점을 찾은 것으로 2016년 1월 2일 17시 기온 23.1℃, 상대습도 100%로 선정하였다.

본 자료를 토대로 최악의 조건은 온도 30℃, 상대습도 82%와 온도 24℃, 상대습도 100%로 설정하여 연구를 진행하였다.

<표 6> 최악의 온도 및 상대습도 조건 설정

일시	기온 (°C)	상대습도 (%)	포화수증기량 (g/m ³)	현재증기량 (g/m ³)	유출조건시 증기량(g/m ³)
2016-02-20 00:00	29.9	82	30.08	24.66	32.89
2016-02-19 09:00	28.5	82	28.49	23.36	31.15
2016-02-06 05:00	27.5	85	26.97	22.92	30.57
2016-02-10 16:00	27.5	84	26.97	22.65	30.21
2016-02-10 18:00	27.7	84	26.97	22.65	30.21
2016-02-10 19:00	27.5	84	26.97	22.65	30.21
2016-03-28 02:00	29.9	75	30.08	22.56	30.08
2016-03-05 21:00	28.8	79	28.49	22.51	30.01
2016-01-18 19:00	26.8	90	25.00	22.50	30.00
2016-01-18 20:00	26.6	90	25.00	22.50	30.00
2016-02-14 14:00	27.7	83	26.97	22.39	29.85
⋮					
2016-01-02 17:00	23.1	100	20.39	20.39	27.18
2016-01-02 11:00	22.7	100	20.39	20.39	27.18
2016-01-02 12:00	22	100	19.25	19.25	25.67
2016-01-02 13:00	21.7	100	19.25	19.25	25.67
2016-01-02 14:00	21.6	100	19.25	19.25	25.67
2016-01-02 15:00	21.4	100	18.19	18.19	24.25
2016-01-02 16:00	20.8	100	18.19	18.19	24.25
2016-01-01 18:00	13.2	100	11.28	11.28	15.03
2016-01-01 19:00	13.1	100	11.28	11.28	15.03
2016-01-02 0:00	11.9	100	10.60	10.60	14.13
2016-01-02 1:00	11.8	100	10.60	10.60	14.13

문헌조사 결과 온도 40℃ 이하, 상대습도 75%이하에서 광산란방식 미세먼지 측정값이 안정적인 것으로 확인되었으므로 본 연구에서는 광산란방식 미세먼지 측정기의 측정오차를 최소화하기 위해 해당 구간의 온도 및 상대습도를 유지할 수 있도록 전처리장치를 개발하고자 하였다.

<표 7>과 같이 온도별 포화증기량 확인결과, 30℃, 82% 조건에서 상대습도가 75%가 되기 위한 온도는 약 32℃로 산정되었고, 24℃, 100% 조건에서 상대습도가

75%가 되기 위한 온도는 약 30℃로 산정되었다.

<표 7> 온도별 포화수증기량표

이슬점(℃)	g/m ³						
100	588.208	75	239.351	50	82.257	25	22.830
99	569.071	74	230.142	49	78.491	24	21.578
98	550.375	73	221.212	48	74.871	23	20.386
97	532.125	72	212.648	47	71.395	22	19.252
96	514.401	71	204.286	46	68.056	21	18.191
95	497.209	70	196.213	45	64.848	20	17.148
94	480.394	69	188.429	44	61.772	19	16.172
93	464.119	68	180.855	43	58.820	18	15.246
92	448.308	67	173.575	42	55.989	17	14.367
91	432.885	66	166.507	41	53.274	16	16.531
90	417.935	65	159.645	40	50.672	15	12.739
89	403.380	64	153.103	39	48.181	14	11.987
88	389.225	63	146.771	38	45.593	13	11.276
87	375.471	62	140.650	37	43.508	12	10.600
86	362.124	61	134.684	36	41.322	11	9.961
85	340.186	60	129.020	35	39.286	10	9.356
84	336.660	59	123.495	34	37.229	9	8.784
83	324.469	58	118.199	33	35.317	8	8.243
82	311.616	57	113.130	32	33.490	7	7.732
81	301.186	56	108.200	31	31.744	6	7.246
80	290.017	55	103.453	30	30.078	5	6.790
79	279.278	54	98.883	29	28.488	4	6.359
78	268.806	53	94.483	28	26.970	3	5.953
77	258.827	52	90.247	27	25.524	2	5.570
76	248.840	51	86.173	26	24.143	1	5.209
이슬점(℃)	g/m ³						
0	4.868	-17	1.050	-34	0.220	-51	0.034
-1	4.487	-18	0.960	-35	0.198	-52	0.030
-2	4.135	-19	0.880	-36	0.178	-53	0.027
-3	3.889	-20	0.800	-37	0.160	-54	0.024
-4	3.313	-21	0.800	-38	0.144	-55	0.021
-5	3.238	-22	0.730	-39	0.130	-56	0.019
-6	2.984	-23	0.660	-40	0.117	-57	0.017
-7	2.751	-24	0.600	-41	0.104	-58	0.015
-8	2.537	-25	0.550	-42	0.093	-59	0.013
-9	2.339	-26	0.510	-43	0.083	-60	0.011
-10	2.156	-27	0.460	-44	0.075	-65	0.0064
-11	1.960	-28	0.410	-45	0.067	-70	0.0033
-12	1.800	-29	0.370	-46	0.060	-75	0.0013
-13	1.510	-30	0.330	-47	0.054	-80	0.0006
-14	1.380	-31	0.301	-48	0.048	-85	0.0003
-15	1.270	-32	0.271	-49	0.043	-90	0.0001
-16	1.150	-33	0.244	-50	0.038		

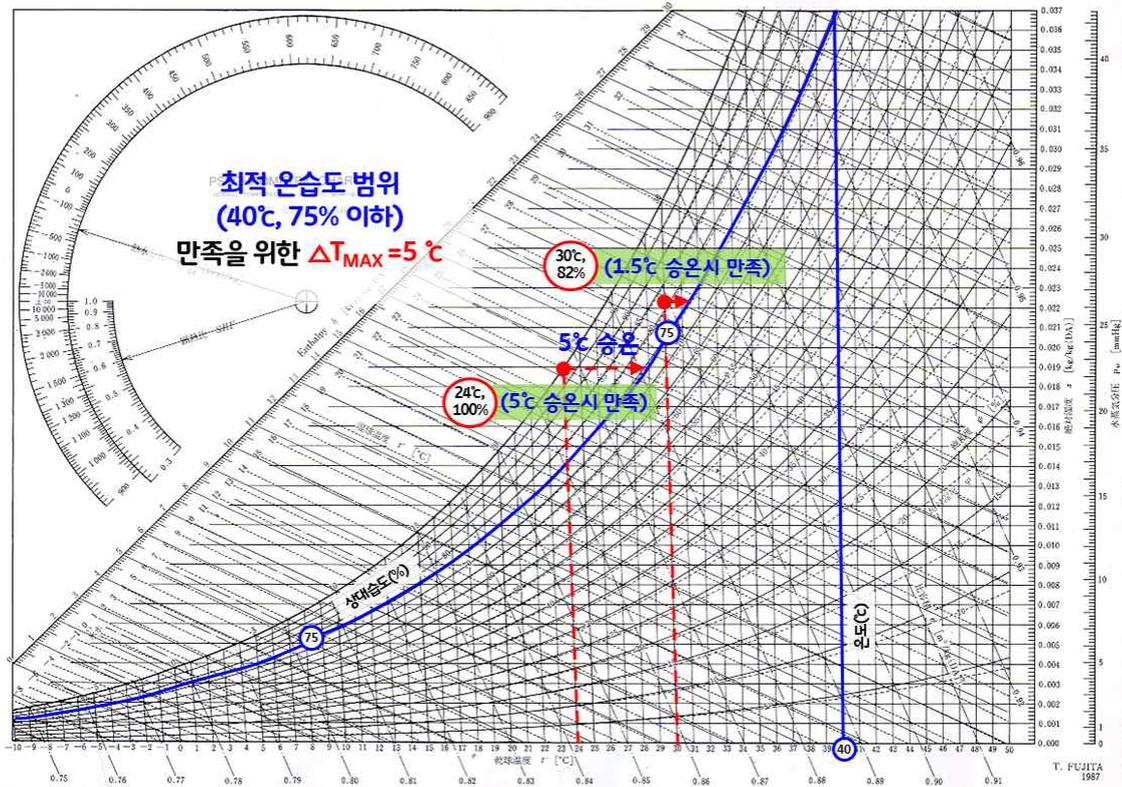
※ 자료 : 에이스(주) (<http://www.acetrap.com>), 2017.09

30℃ 에서의 포화증기량	30.078 g/m ³
30℃, 습도 82%에서의 증기량 계산	$\frac{X}{30.078} = 0.82 \quad \therefore X = 24.664 \text{ g/m}^3$
이 증기가 습도 75%가 되기 위한 온도계산	$\frac{24.664}{Y} = 0.75 \quad \therefore Y = 32.885 \text{ g/m}^3$
32.885 g/m ³ 가 포화증기량인 온도는 약 32℃	

24℃ 에서의 포화증기량	21.578 g/m ³
이 증기가 습도 75%가 되기 위한 온도계산	$\frac{21.578}{Y} = 0.75 \quad \therefore Y = 28.771 \text{ g/m}^3$
28.771 g/m ³ 가 포화증기량인 온도는 약 30℃	

△T기준으로 보면 온도 30℃, 상대습도 82% 조건의 △T=2℃, 온도 24℃, 상대습도 100% 조건의 △T는 약 5.2℃ 이다. <그림 43>의 습공기선도를 토대로 광산란방식 미세먼지 측정기의 안정적인 온도 및 상대습도 범위를 유지하기 위한 최대의 △T는 약 5~5.2℃ 로 나타났다.

포화수증기량을 대상으로 최대의 온도를 설정하는 방법은 모든 시료를 32℃로 만들 수 있는 온도 전처리 시스템만 갖추게 되면 계절과 관계없이 신뢰성 있는 측정자료 확보가 가능하나 모든 시료를 32℃로 만드는 것은 사실상 불가능 하므로 △T를 기준으로 접근하는 등 해당 조건들을 고려하여 최적의 전처리장치 세팅온도를 설정하고자 하였다.



<그림 59> 습공기선도를 이용한 전처리장치 목표온도 설정

2.2 기존 미세먼지 측정장치 전처리설비 조사

광산란방식의 실외형 미세먼지 모니터링장치의 경우 측정값이 상대습도의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 본사에서 개발하여 적용하고자 하는 온습도전처리장치의 개발 전, 기존 실시간 미세먼지 측정장치에 적용되어 있는 전처리장치를 조사하여 적용가능성을 파악하였다.

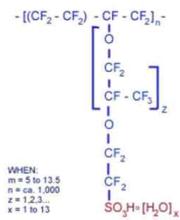
국내에서 미세먼지 측정장치로 가장 잘 알려진 Grimm社 측정기의 실외형 모델의 경우 <그림 44>와 같이 Sampling Pipe를 Nafion Tube를 이용하여 적용하여 수분을 제거하는 것으로 확인되었다.

나피온(Nafion)은 테프론과 마찬가지로 화학적으로 매우 안정하며 22%(중량%)의 물을 흡수한다. 상대적으로 느린 확산과정을 통해 물을 이동시키는 미세 다공성 멤브레인 투과와 달리 나피온(Nafion)은 수분흡수, 즉 물을 흡수하여 제거하는 원리이다. 이 흡수는 일차 반응으로 이루어지므로 평형에 매우 빨리 도달하며, 물과의 특정한 화학 반응이기 때문에 처리되는 가스는 일반적으로 전혀 영향을 받지 않는다.



Nafion is a copolymer of tetrafluoroethylene (Teflon®). Like Teflon, Nafion is highly resistant to chemical attack, but the presence of its exposed sulfonic acid groups confers unusual properties. Sulfonic acid has a very high water-of-hydration, absorbing 13 molecules of water for every sulfonic acid group in the polymer; consequently, Nafion absorbs 22% by weight of water.

Unlike micro-porous membrane permeation, which transfers water through a relatively slow diffusion process, Nafion removes water by absorption as water-of-hydration. This absorption occurs as a First Order Kinetic reaction, so equilibrium is reached very quickly (typically within milliseconds). Because this is a specific chemical reaction with water, gases being dried or processed are usually entirely unaffected.



<그림 60> Grimm社 실외형 미세먼지 측정장치용 전처리

미국 TSI사는 <그림 45>와 같이 시료도입부를 가열시킴 (Heated Inlet Sample Conditioner)으로서 광산란에 의한 수분의 영향을 감소시키기 위한 장치를 개발하였다. 이 장치는 시료가 TSI DustTrack 측정 센서에 유입되기 전 시료의 습도를 일정하게 유지시켜 주는 역할을 하는데, 시료의 상대습도 30 ~ 50%로 조절할 수 있다.



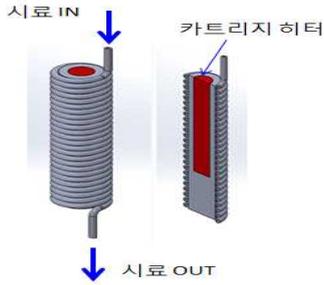
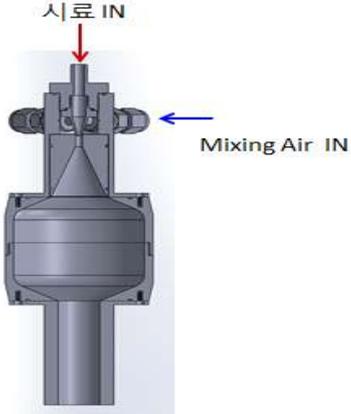
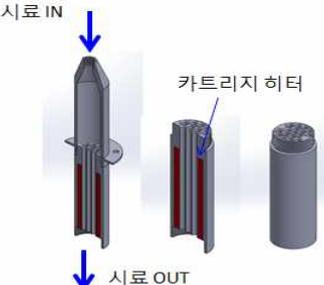
<그림 61> TSI사의 Heated Inlet Sample Conditioner

2.3 온습도 전처리 장치 설계 및 제작

2.3.1 전처리 방식

시료의 전처리 방식으로 가온식 및 희석식을 고려하여 전처리 장치를 설계 테스트를 진행하고자 하였으며 각 방식의 특징은 다음 <표 8>과 같다. 본 연구에서는 가온방식 중 멀티홀 타입과 희석방식의 전처리 장치를 설계/제작하여 성능을 평가하고자 하였다.

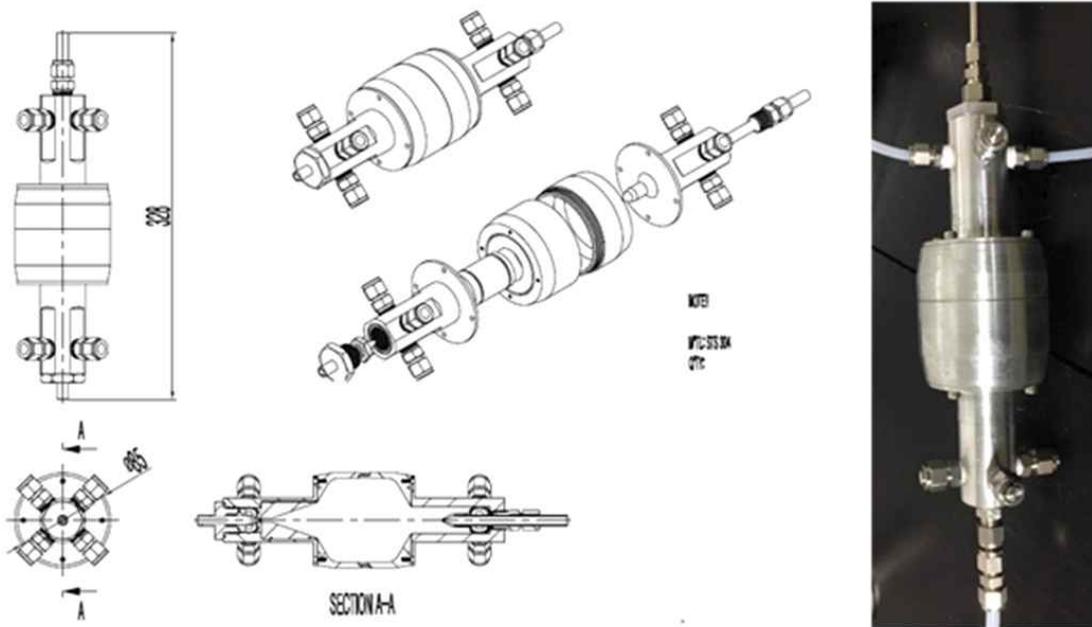
<표 8> 가온 및 희석에 의한 전처리 방식 특징

구분	가온 방식	희석 방식
원리	시료의 온도를 높여 상대습도를 낮추는 방식	시료의 희석을 통해 상대습도를 낮추는 방식
문제점	가온시 온도가 40℃이상으로 올라갈 경우 대기 중에서는 대기화학반응에 의해 생성된 염이나 Semi-volatile 물질의 손실로 인해 과소 평가 우려.	-희석을 통해 고농도 미세먼지의 농도를 1/2 ~1/5까지 낮추는 방법을 적용할 경우 입자상 물질의 농도가 낮게 되어 상대적으로 검출 정확도를 높일 수 있는 방법. -이 경우 상대습도를 적절하게 낮추는지와 미세먼지가 효율적으로 희석되는지에 대한 평가를 수행할 필요.
설계예시	 <p>(a) Spiral type</p> <p>(a) 카트리지 히터를 시료가 흐르는 유로 안에 설치하여 시료 가온하는 방식으로 유로가 회오리 형태로 히터를 감싸면서 가열되도록 설계.</p>	
	 <p>(b) Multi hole type</p> <p>(b) 카트리지 히터가 안쪽의 유로를 감싸면서 시료를 가열시키는 방식이며, 유로를 멀티홀로 제작하여 시료가 균등하게 가열될 수 있도록 설계.</p>	유입되는 시료와 강제로 주입되는 깨끗한 공기가 혼합챔버 안에서 고르게 혼합될 수 있도록 설계.

2.3.2 전처리 장치 설계 및 제작

(1) 희석식 전처리장치

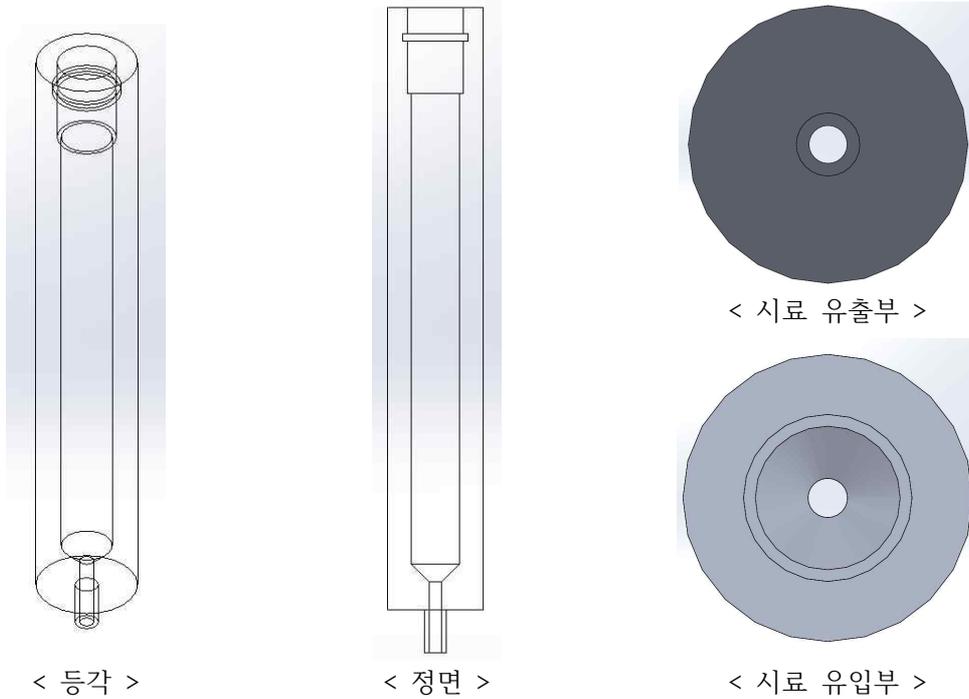
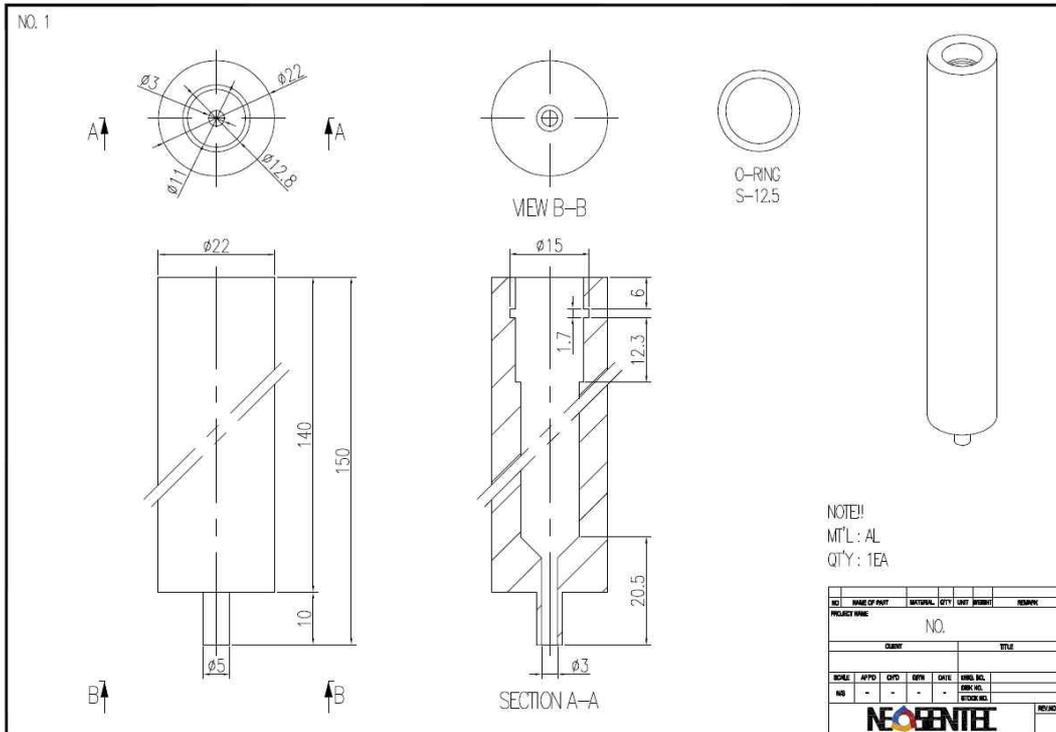
희석식 전처리장치는 대상시료와 습도가 낮은 청청 공기를 희석하여 전처리하는 방법으로 대상시료와 저습도의 청정시료의 온도조건 등을 충분히 고려하여 적용한 상태에서 최종 계수 및 중량농도의 보정이 이루어져야 하므로 조건의 설정 및 유지가 수월하지 않아 실시간 측정시스템에 적용하기에는 위험부담이 클 수 있다. <그림 46>은 본 연구를 통해 개발된 희석식 전처리장치 설계도 및 제작도로 해당 장치를 이용하여 성능평가를 진행하고자 하였다.



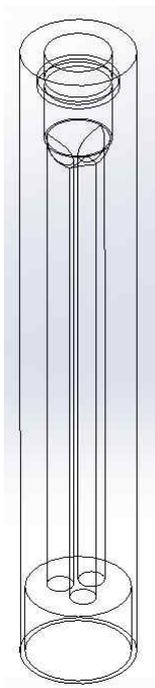
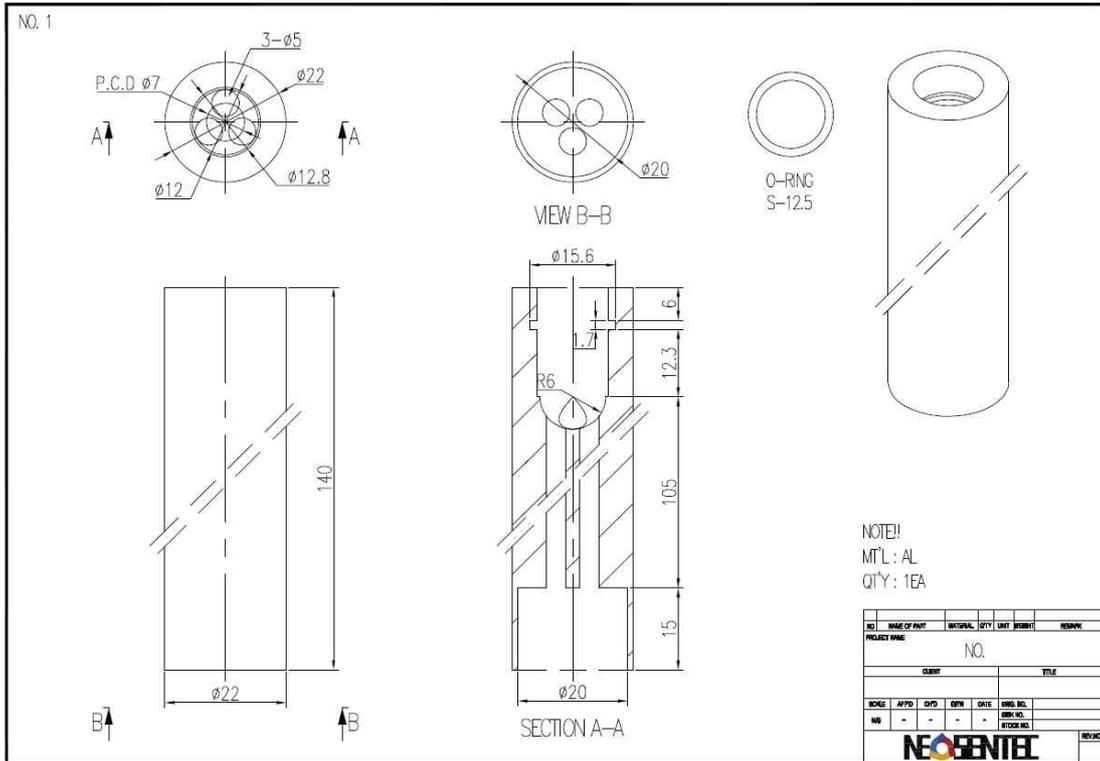
<그림 62> 희석식 전처리장치 설계 및 제작도

(2) 가온식 전처리장치

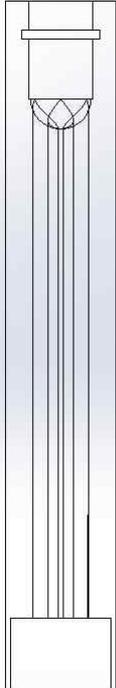
가온식 전처리장치는 시료 유로의 분할수에 따라 1홀, 3홀, 7홀 총 3가지로 제작하여 테스트를 진행하고자 하였으며, 장치의 설계 및 제작도는 다음 <그림 47 ~ 49>와 같고 1홀, 3홀, 7홀의 차이는 <그림 50>과 같이 유로의 개수이다.



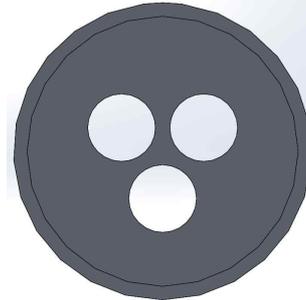
<그림 63> 가온식 전처리장치 A(1hole) 설계 및 제작도



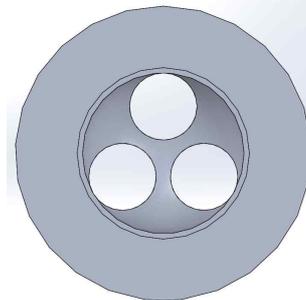
< 등각 >



< 정면 >

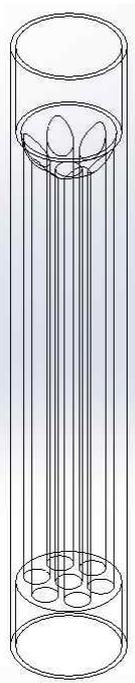
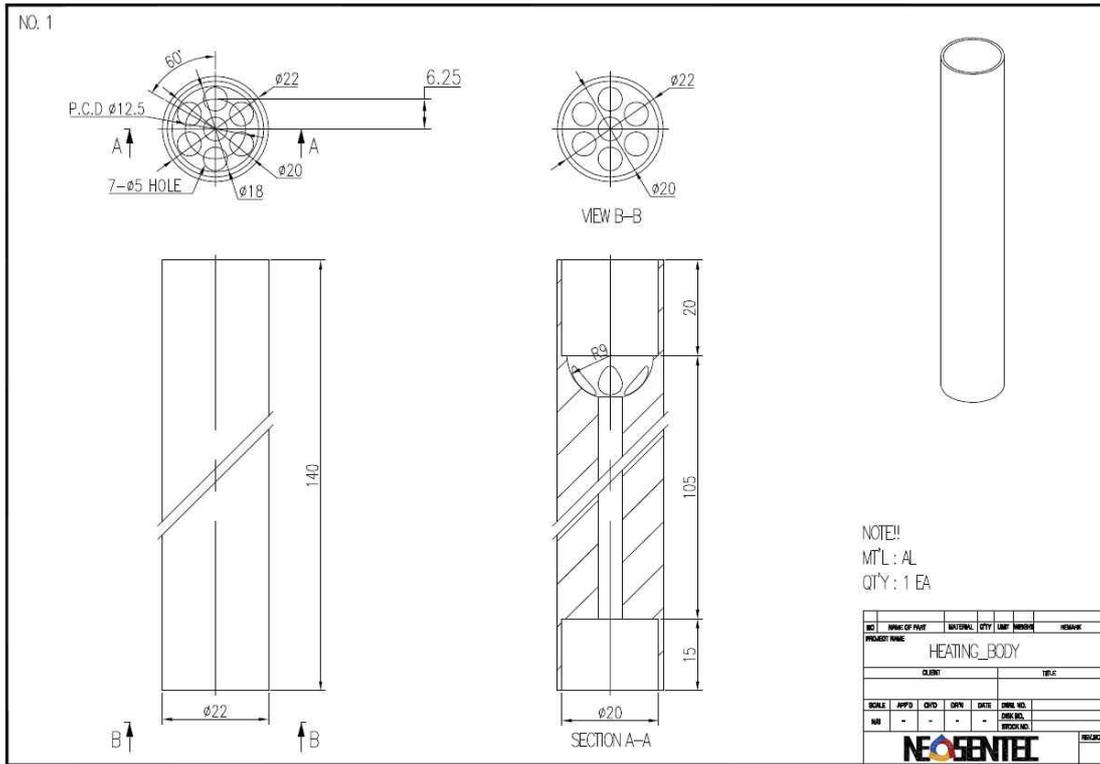


< 시료 유출부 >

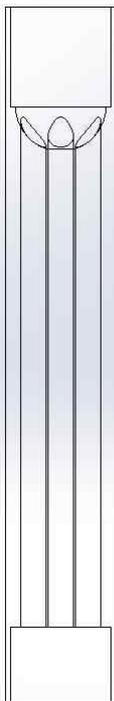


< 시료 유입부 >

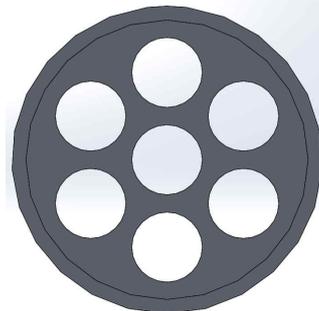
<그림 64> 가온식 전처리장치 B(3hole) 설계 및 제작도



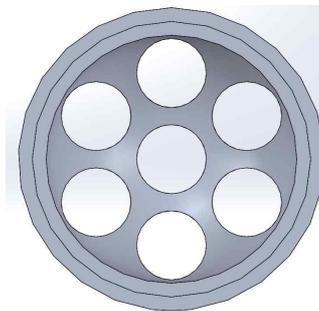
< 등각 >



< 정면 >



< 시료 유출부 >



< 시료 유입부 >

<그림 65> 가온식 전처리장치 C(7hole) 설계 및 제작도



가온 A(1hole)



가온 B(3hole)



가온 C(7hole)

<그림 66> 가온식 전처리장치 비교

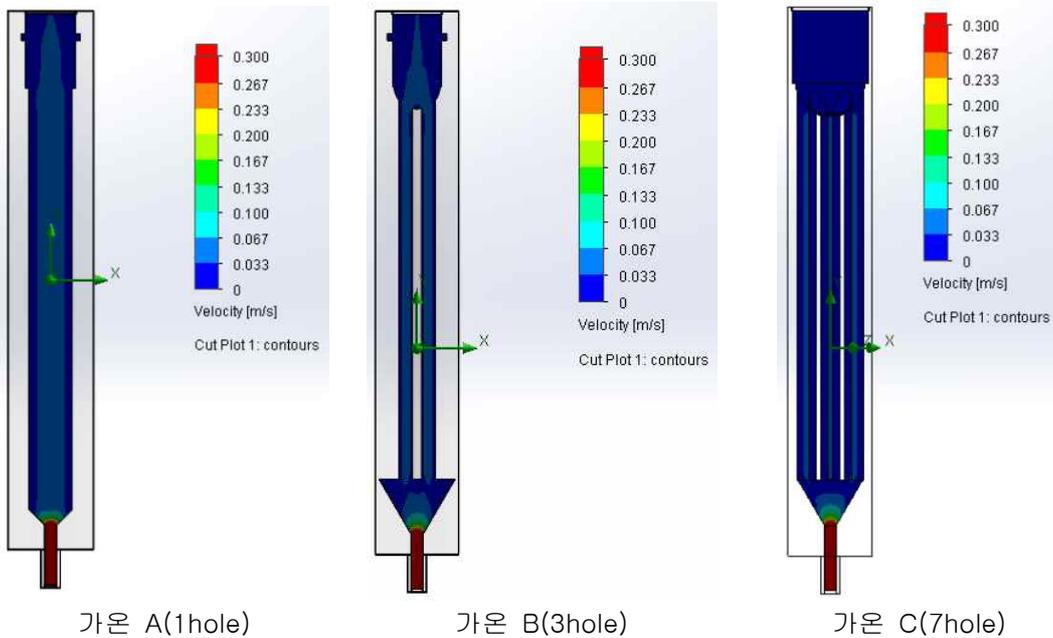
2.4 전처리장치 성능평가

2.4.1 사전 시뮬레이션

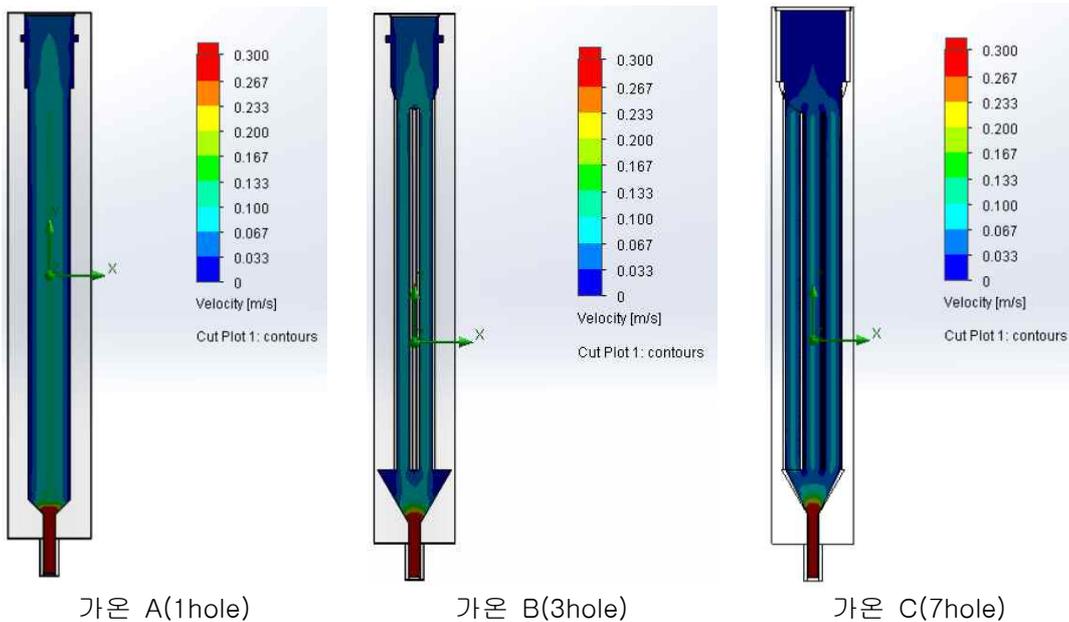
제작한 가온식(3종) 및 희석식(1종) 전처리 장치의 성능평가를 진행하기 전 유량에 따른 유속의 변화량에 대한 시뮬레이션을 진행하였으며 그 결과는 <표 9>, <그림 51~52>와 같이 3종류의 전처리장치 모두 각 유로에서의 유속은 비교적 유사한 것으로 확인되어 유속과 관련된 특별한 차이는 없는 것으로 확인되었다.

<표 9> 가온식 전처리장치 내부 유속 시뮬레이션 결과

구분	지점	유속 (m/sec)	
		0.5 LPM	1.0 LPM
가온 A	PG1	0.054	0.108
가온 B	PG1	0.087	0.175
	PG2	0.087	0.174
	PG3	0.087	0.174
가온 C	PG1	0.038	0.077
	PG2	0.037	0.074
	PG3	0.037	0.073
	PG4	0.037	0.073
	PG5	0.037	0.074
	PG6	0.037	0.073
	PG7	0.037	0.073



<그림 67> 가온식 전처리장치 종류별 내부 유속 _0.5 LPM



<그림 68> 가온식 전처리장치 종류별 내부 유속 _1 LPM

2.4.2 전처리장치 성능평가 방법

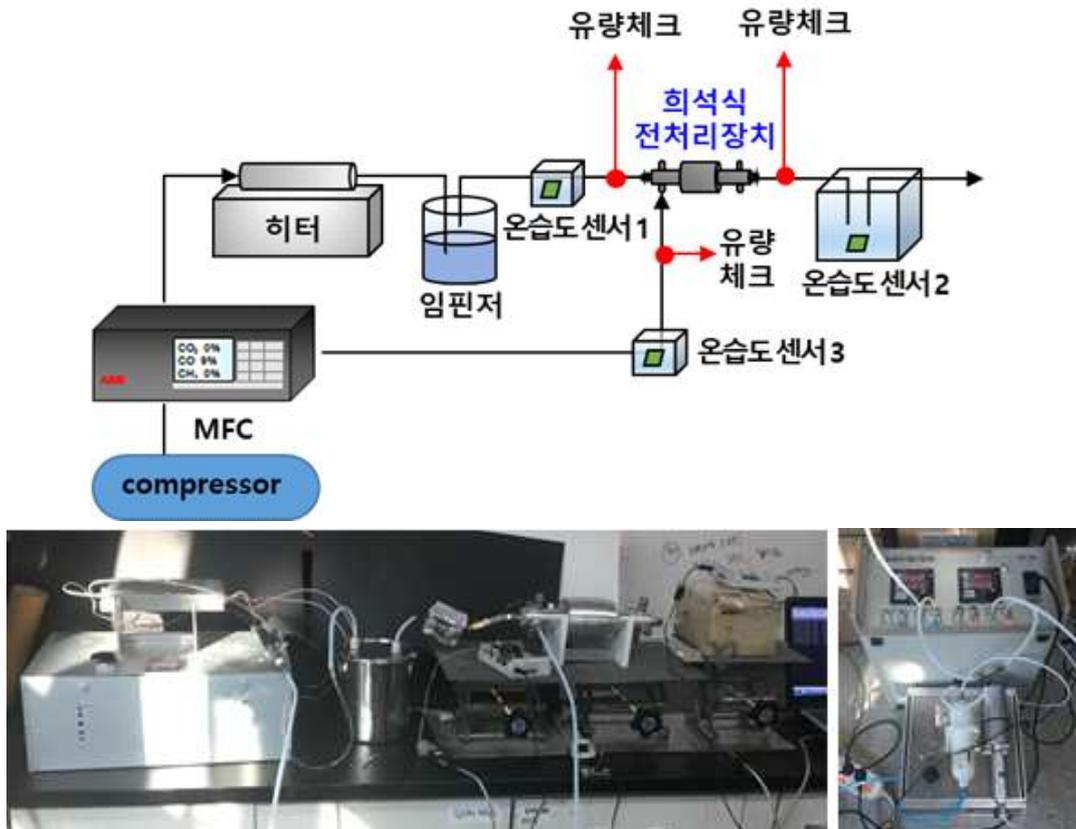
본 연구에서는 3가지의 가온식 전처리장치와 1가지의 희석식 전처리 장치를 제작하여 성능을 테스트하고자 하였다. 가온식 전처리장치를 테스트 하기 위한 시료는 항온항습챔버를 이용하여 온도 및 상대습도 조건을 유지하였으며 희석식 전처리

장치에 활용할 고습도 시료는 일정 압력이 필요할 가스로 인입되어야 함에 따라 임핀저를 이용하여 온도 및 상대습도 조건을 유지하였다. 또한 전처리장치 전후단의 온도 및 상대습도 실시간 데이터 확인을 위해 온습도 센서를 장착하여 이용하였다.

(1) 희석식 전처리장치

희석식 전처리장치 성능평가 테스트 장치 개요 및 구성도는 <그림 53>과 같으며 청정시료의 일정한 상대습도 및 청정도 유지를 확인하기 컴프레셔와 연계된 필터를 구성하였으며 별도의 온습도 센서를 장착하여 온도 및 상대습도 변호를 실시간으로 확인하였다. 테스트의 상세 조건은 다음과 같다.

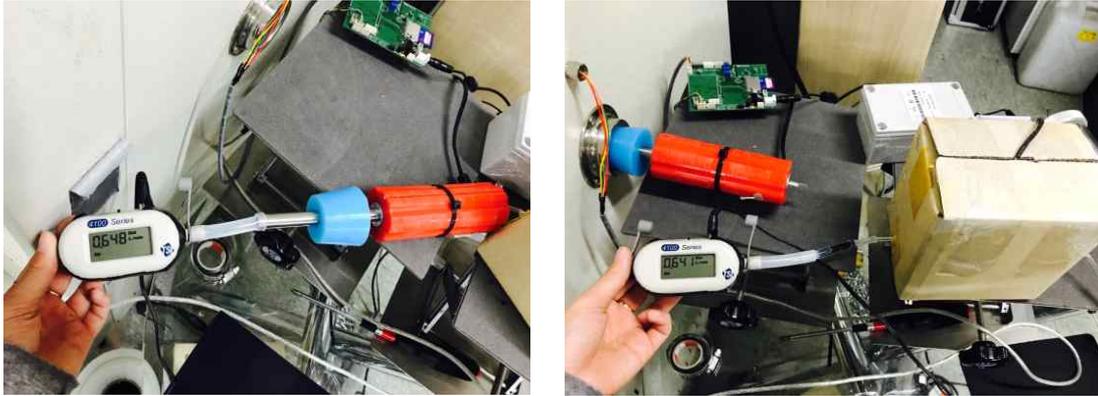
- 희석식 전처리장치 온도 : 60℃ 내외
- 희석식 전처리장치의 인입시료 조건 : 온도 23℃, 상대습도 99%내외, 0.5L/min
- 희석식 전처리장치의 청정시료 조건 : 온도 23℃, 상대습도 15%내외, 1.0L/min



<그림 69> 희석식 전처리장치 성능평가 테스트 장치 개요

(2) 가온식 전처리장치

성능평가에 앞서 시료가 전처리장치 전후 유량변화가 없어야 함에 따라 <그림 54>와 같이 전처리 장치 전·후단의 유량을 확인한 결과, 전·후단 모두 약 0.64ℓ/min으로 유지되어 전처리장치 통과 시 유량의 변화는 없는 것으로 확인되었다.



<그림 70> 전처리장치 전·후단 유량 확인

전처리장치에 적용한 히터의 사양 및 목표 상대습도는 <표 10>과 같다.

<표 10> 온습도 전처리장치 히터 사양

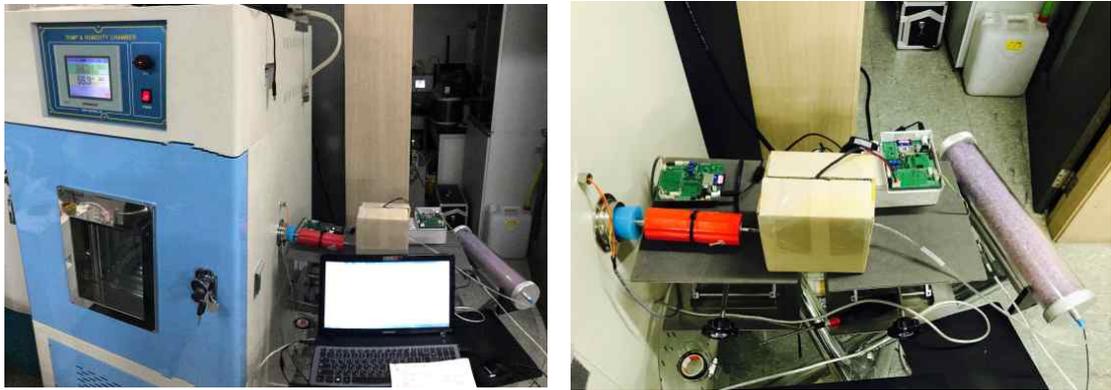
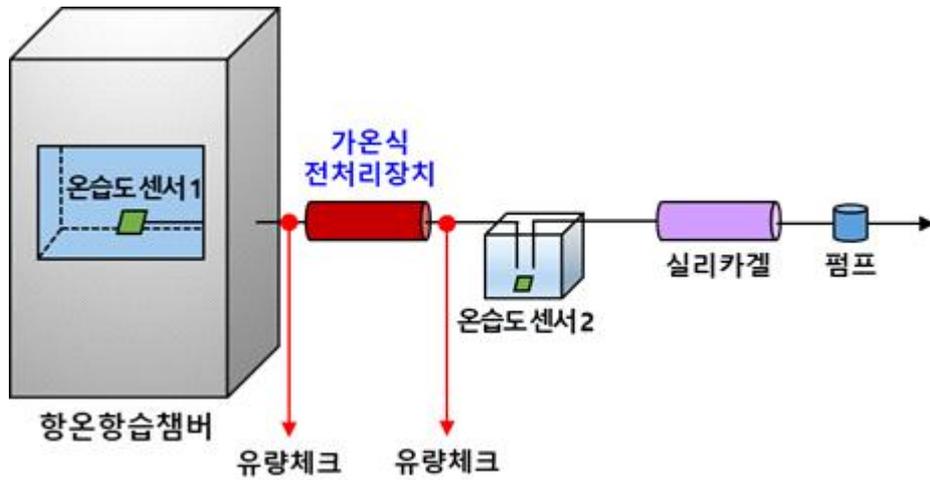
히터용량	처리가스용량	발열량(이론값)	목표 승온온도
7W	0.64 ℓ/min	6.02kcal/hr	6℃

※ 공기비열 : 0.173 kcal/kg,℃(Air, dry, 0-200℃ 기준)

※ 물 비열 : 1.0 kcal/kg,℃

가온식 전처리장치 성능평가 테스트 장치 개요 및 구성도는 <그림 55>와 같으며 본 테스트에서 펌프의 성능을 유지하기 위해 전단에 실리카겔을 장착하여 고장을 방지하였다. 테스트의 상세 조건은 다음과 같다.

- 가온식 전처리장치 온도 : 60℃ 내외
- 가온식 전처리장치의 인입시료 조건 : 온도 23℃, 상대습도 99%내외
: 온도 30℃, 상대습도 82%내외



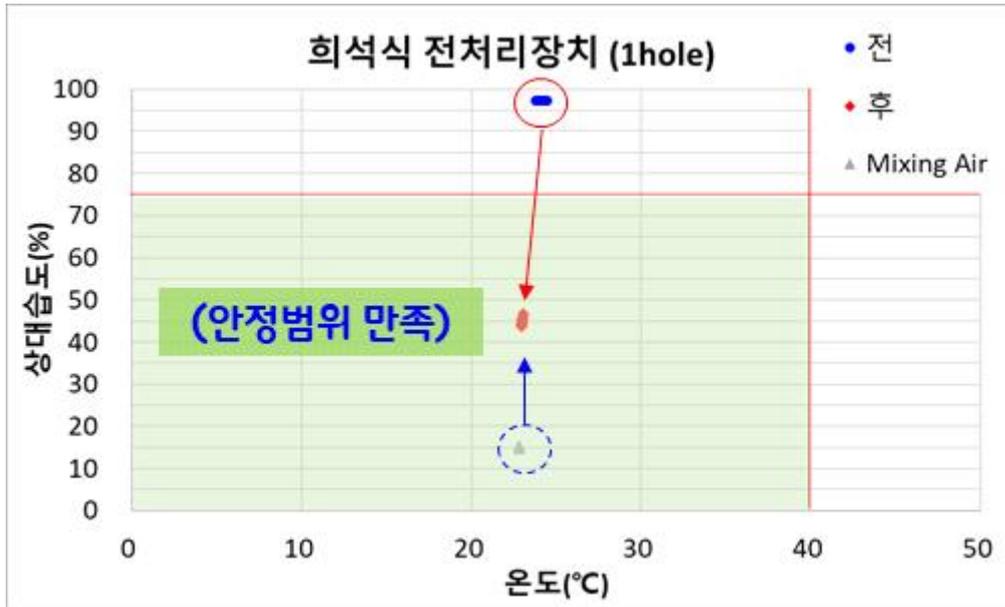
<그림 71> 가온식 전처리장치 성능평가 테스트 장치 개요

2.4.3 전처리장치 성능평가 결과

(1) 희석식 전처리장치

임핀저를 이용하여 고습도의 시료 조건을 설정하고 유지하였으며, 시료 및 청정 시료 모두 컴프레셔를 이용하여 주입하고 유량은 MFC를 이용하여 시료 : 청정시료를 1:2 비율로 전처리장치에 주입하고 테스트를 진행하였다. 두 시료 모두 컴프레셔와 연결된 필터로 수분 및 오염물질을 제거하는 과정을 선행하고 주입하였으며 전처리장치 통과 전의 시료 및 청정시료와 전처리장치 통과 후의 온도 및 상대습도를 측정하였다.

그 결과, <그림 56>과 같이 가온방식보다 더 안정적으로 안전구간에 쉽게 도달하는 것으로 확인되어 입자상물질의 안정적인 희석만 가능하다면 희석식 전처리장치는 매우 효과적으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.



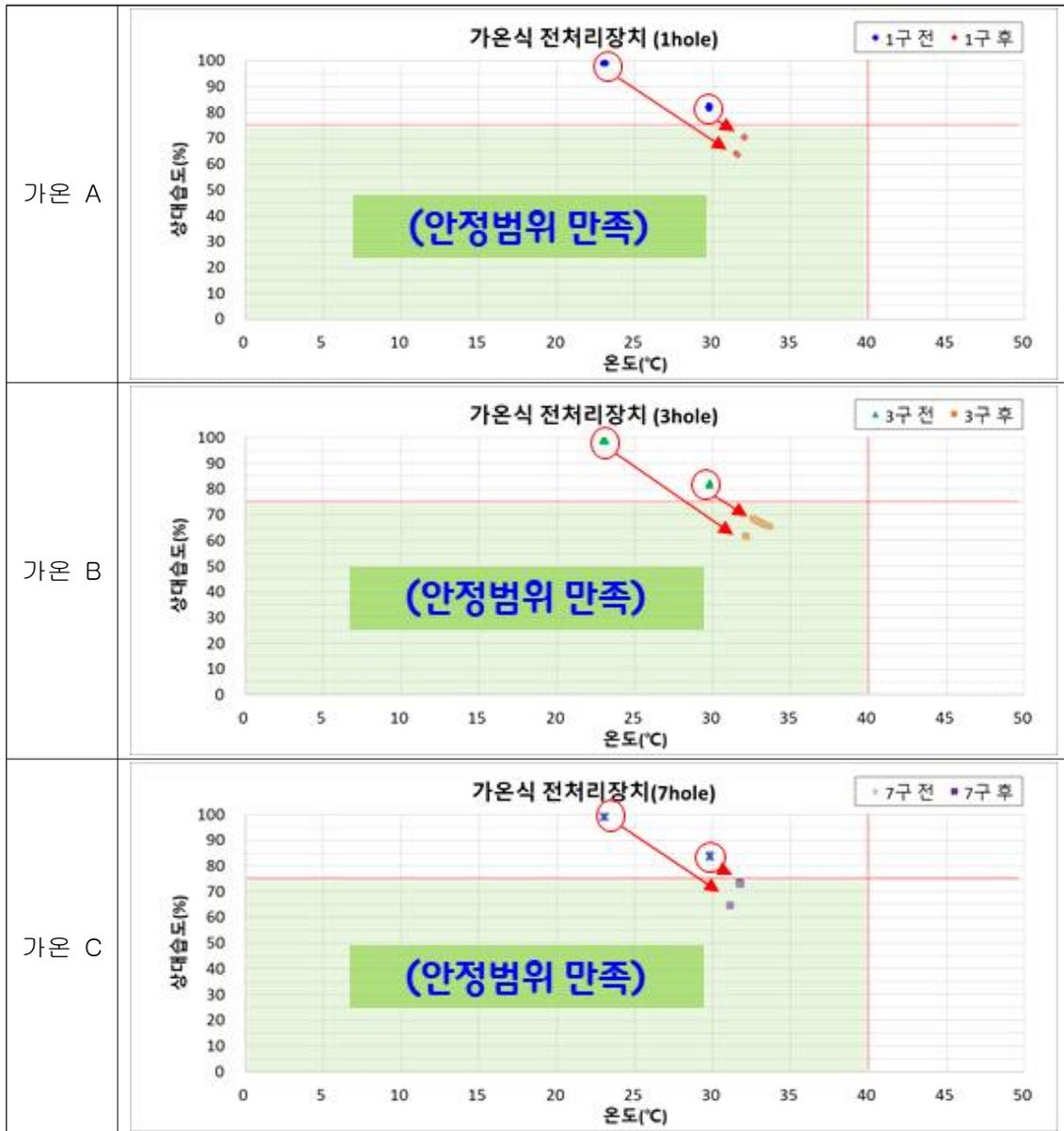
<그림 72> 희석식 전처리장치 성능평가 결과

(2) 가온식 전처리장치

전처리장치 온도를 60°C로 설정하고, 온습도 조절 챔버를 이용하여 시료를 두가지 조건으로 제조하여 가온식 전처리장치 3가지(가온A, B, C)에 각각 통과 전 후 시료의 온도 및 상대습도를 측정하였다.

그 결과, <그림 57>과 같이 안정구간 외에 있던 시료가 가온식 전처리장치 A, B, C 통과 후, 모두 안정구간인 온도 40°C 이하, 상대습도 75% 이하 범위를 유지하는 것으로 확인되었다.

사전 예상으로는 유로가 7개로 구성되어 있는 가온 C가 시료내 열전도율이 가장 효율적일 것으로 예상하였으나 세가지 장치의 결과가 거의 유사한 것으로 확인되었으며 반대로 유로가 7개로 구성되어 있는 가온 C가 3가지 중 가장 성능이 떨어지는 것으로 확인되었다.



<그림 73> 가온식 전처리장치 성능평가 결과

2.4.4 기상상태를 변수로 한 전처리장치 적용성 평가

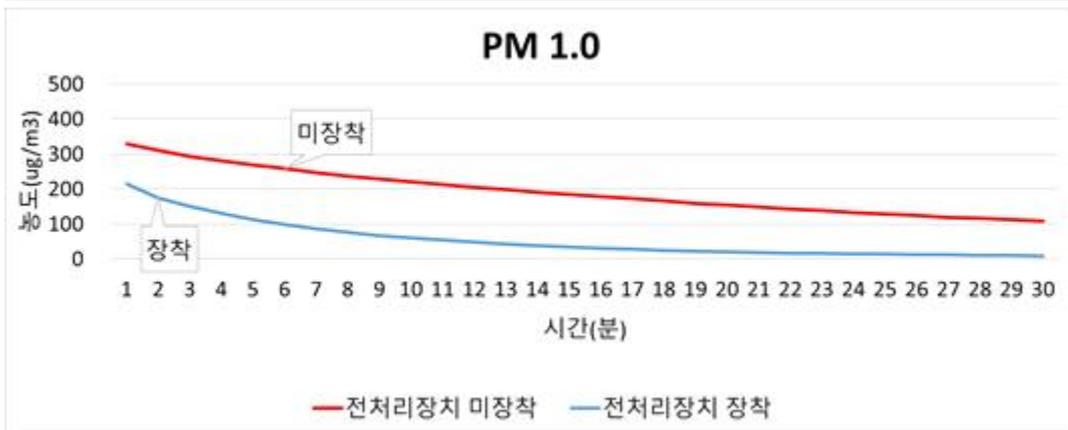
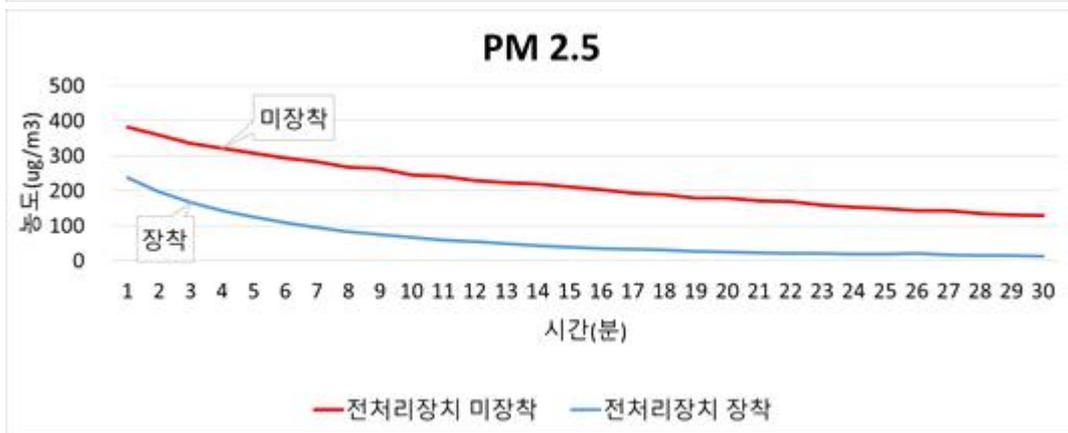
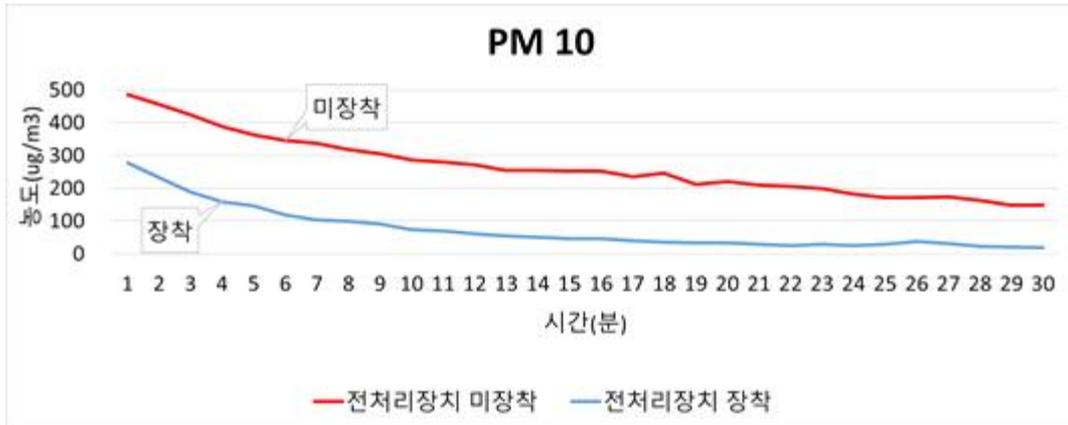
실제 다양한 기상조건에서의 미세먼지 측정값의 비교/분석을 진행할 계획이다. 해당 적용성 평가 진행 전 안개 등의 상황시 본 연구를 통해 개발된 전처리장치가 얼마나 효과적으로 적용될 수 있을지를 확인하기 위해 <그림 58, 60>과 같이 안개 등의 상황을 가정하여 미세먼지를 주입 하고 측정하는 기초테스트를 통해 가온식 및 희석식 전처리장치의 성능을 확인하고자 하였다.



<그림 74> 가온식 전처리장치 미세먼지 주입 기초테스트 개요

챔버 내에 표준입자를 주입하고 팬을 가동하여 미세먼지를 발생시켰고, 가습기에서 발생하는 수증기를 테스트 챔버 내에 주입하여 안개 발생 상황을 가정하였다. 해당 조건에서 본 연구를 통해 개발된 가온식 전처리장치(1hole)가 부착된 미세먼지 측정기와 전처리장치가 부착되지 않은 측정 장치 두 개를 동시에 설치하고 약 30분간 미세먼지 농도를 측정하였다.

그 결과 <그림 59>와 같이 안개등이 발생한 상황에서 가온식 전처리장치(1hole)를 통과한 미세먼지 측정농도는 PM10의 경우 그럴지 않은 장치의 측정농도의 12.1 ~ 57.1%, PM2.5는 10.2 ~ 62.5%, PM1.0은 8.6 ~ 65.2%로 나타났다. 따라서 안개 등의 발생빈도가 높은 경우 본 전처리장치를 거쳐 광산란방식으로 미세먼지 측정을 진행하게 되면 측정오차를 크게 줄일 수 있을 것으로 판단된다.



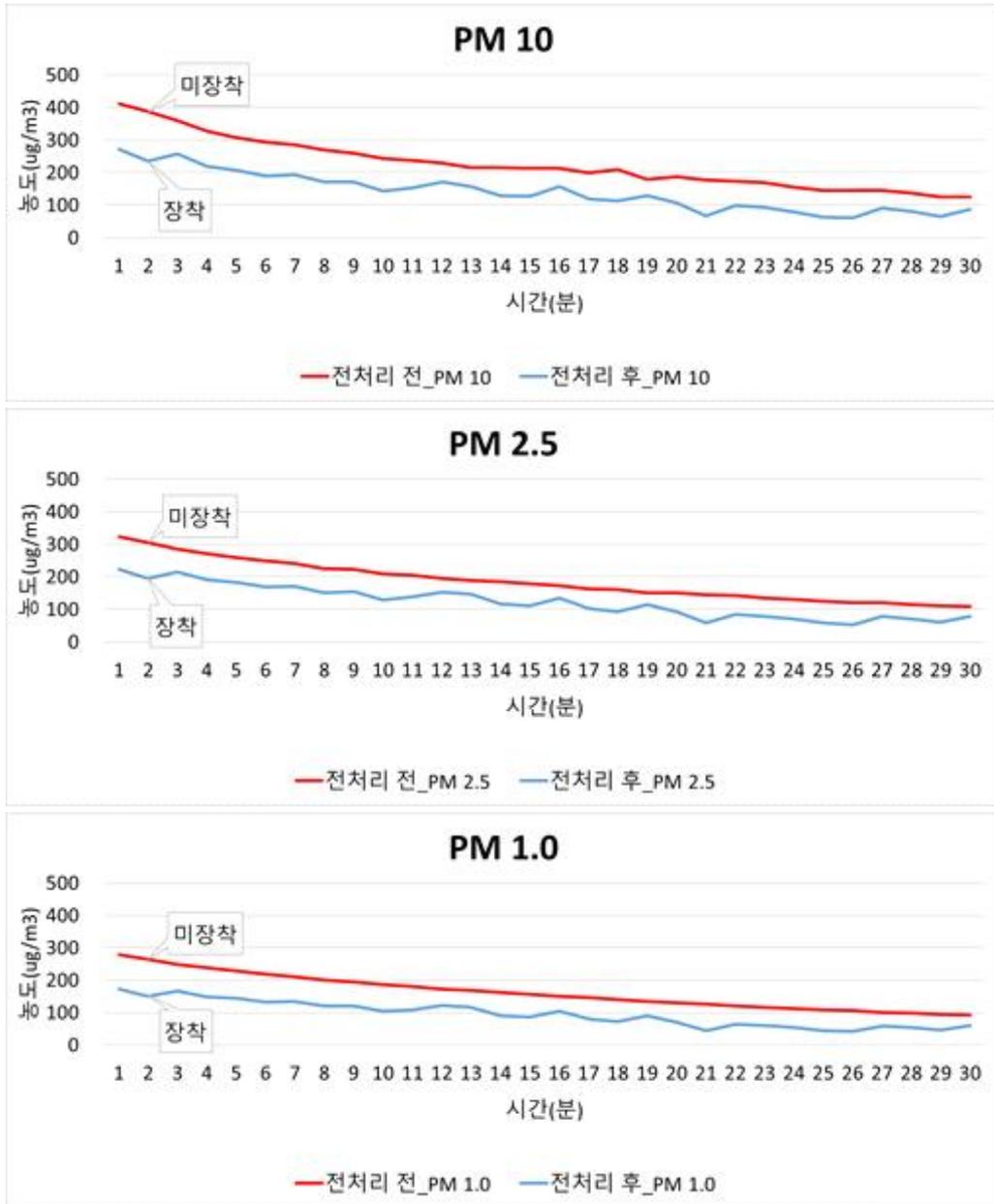
<그림 75> 가온식 전처리장치 미세먼지 주입 기초테스트 결과



<그림 76> 희석식 전처리장치 미세먼지 주입 기초테스트 개요

가온식 전처리장치 테스트와 동일하게 챔버내에 표준입자를 주입하고 팬을 가동하여 미세먼지를 발생시켰고, 가습기에서 발생하는 수증기를 테스트 챔버 내에 주입하여 안개 발생 상황을 가정하였다. 해당 조건에서 본 연구를 통해 개발된 희석식 전처리장치가 부착된 미세먼지 측정기와 전처리장치가 부착되지 않은 측정 장치 두 개를 동시에 설치하고 약 30분간 미세먼지 농도를 측정하였다.

그 결과 <그림 61>과 같이 안개등이 발생한 상황에서 희석식 전처리장치를 통과한 미세먼지 농도를 살펴보면 희석에 의해 전반적인 농도 자체가 낮아지기는 했지만 측정결과 값이 떨어져 정확도를 신뢰할 수가 없다. 따라서 희석식 전처리 장치는 미세먼지 측정용 전처리 장치로 활용하기는 어려울 것으로 사료된다.



<그림 77> 희석식 전처리장치 미세먼지 주입 기초테스트 결과

다양한 기상조건에서의 미세먼지 측정값의 비교/분석을 위한 기준장비는 서울시 일반대기측정소의 중량농도법 또는 β -ray 방식 측정기로 계획하였으며 기준 측정기와 본 연구를 통해 도출된 미세먼지 측정기를 동시에 운전하여 출력되는 결과값을 비교하여 성능을 평가하는 것으로 한다.

전처리장치 적용 여부에 따른 측정값의 비교를 통해 전처리 장치 적용을 통한 측정 정확도 향상에 관한 평가를 증명하고자 하며 본 연구를 통해 온습도 조건에 따른 측정방식별 측정 데이터의 특성을 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 온습도 보정식 및 중량농도 환산 로직 개발

연구 결과 가온식 전처리장치를 이용하여 시료의 상대습도를 전처리 할 경우 별도의 보정식을 적용하지 않아도 비교적 신뢰도가 높은 것으로 확인되어 온습도 보정식은 적용하지 않는 것으로 하였으며, 현장 특성에 따른 입자별 밀도 분석 등을 통해 중량농도 환산로직을 추가 적용하여 신뢰도 높은 측정값이 도출될 수 있도록 하였다.

3.1 입경별 개수농도 값의 중량농도 환산 변수

광학 측정 장치는 중량 측정 장치와는 측정원리가 서로 달라 직접적인 질량 값을 얻을 수 없으므로 일련의 과정을 통해 질량 값으로 환산을 하여 본 연구에서 궁극적으로 구하고자 하는 질량농도 값을 얻을 수 있다. 광학 측정 장치로 부터 얻은 결과 값을 부피농도(단위 체적 당 부유분진 입자의 총 부피)로 나타낸 뒤, 중량측정법으로 얻은 결과 값과 비교하여 선형성이 있는지를 파악하고, 선형성이 확보되면 알맞은 밀도 값을 적용하여 질량 값으로 환산하여 비교한다.

개수농도를 질량농도로 환산하기 위해 일반적으로 아래의 (식 1)을 사용하며, 환산에 사용되는 변수는 밀도값으로 중량농도법을 사용하여 변수를 조절하여 보정에 사용한다.

$$PM = \frac{NP \times V \times \rho}{F} \quad (\text{식. 1})$$

PM : Particle matter, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

NP : Number of particles, $\#/ \text{sec}$

V : Volume, $\text{m}^3/\#$

ρ : Density, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

F : Flow rate, m^3/sec

3.2 광산란방식 측정기 중량농도 편차 원인

광산란법으로 측정한 수치는 미세먼지의 중량을 이용한 농도 값이 아닌, 미세먼지의 개수 및 산란 양을 이용하여 보정계수(Calibration factor)를 구하여 계산한 상대적인 값이다. 보정계수란, 미세먼지 농도의 절대값이 측정되는 것이 아니라 미세먼지 입자 개수를 측정하는 광산란법의 한계를 극복하기 위한 숫자로, 해당 환경에서의 미세먼지 입자밀도에 해당한다. 이에 측정된 값은 절대값이 아니며, 미세먼지의 입자밀도에 따라 상대적으로 많은 차이를 나타낸다. 광산란법은 다양한 간섭 요인으로 인하여 지역, 장소, 계절에 따라 상이한 차이를 나타낸다.

광산란방식 측정기에서 먼지농도가 중량농도법에 비해 과대측정되는 경향이 있는데, 이는 측정되는 에어로졸의 밀도, 굴절률, 형태, 크기 및 크기분포에 대한 복잡한 미산란 특성(Mie-scattering optical properties)에 기인한다.⁷⁾

특히 광산란 측정기는 출시 전에 레이저 산란 값을 표준입자를 이용하여 보정하는 과정을 거치게 되고 해당 표준입자는 대부분 0.1~10 um 사이에 분포하며 그 밀도가 약 2.65 g/cm³ 인 Arizona Test Dust(ISO 12103-1, A1 test dust)가 사용된다. 그러므로 목적하는 장소에서 해당 장비를 이용하여 미세먼지의 농도를 측정하는 경우 실외 및 실내에 존재하는 다양한 발생원으로부터 배출된 먼지가 가지는 밀도 값이 동일하지 않기 때문에 측정 농도에 음 또는 양의 편차를 가져올 수 있다.

3.3 보정계수 및 교정 프로그램 로직

다음 <표 11>은 광산란방식 미세먼지 측정기 중 하나인 미국 TSI 사의 DustTrack에 대한 여러 연구자들의 보정계수 산정을 정리한 것으로 조사된 보정계수 연구는 PM2.5에 대한 것이 대부분이다. 조사된 보정계수를 살펴보면 DustTrack이 중량농도법에 비해 대기 중 미세먼지농도를 과대평가 하고 있음을 확인할 수 있다.

광학 계측기 교정의 순서는 다음과 같다. 각 채널별 교정을 하기 전에 우선 공기의 유량을 교정해야 하며, Admin → Status → Pump PWM에 적절한 값을 입력하여 유량을 교정한다. 공기 유입 유량의 교정이 완료되면 각 채널별 교정을 진행하며, 각 채널별 교정은 표준 장비와 교정 장비를 동일한 조건 하에 가동시킨 다음 각 장비에서 일정 간격으로 측정되는 수농도를 확인하면서 calibration → DAC Value → Voltage에 적절한 전압값을 입력하여 오차 범위 ±5% 이내의 수준으로 교정한다.

7) 김정호, 오준, 최진수, 안준영, 윤관훈, 박진수 (2014) 중량법에 의한 광산란법 PM2.5 보정계수에 관한 연구, 한국도시환경학회지, 14권 1호, 41-47p

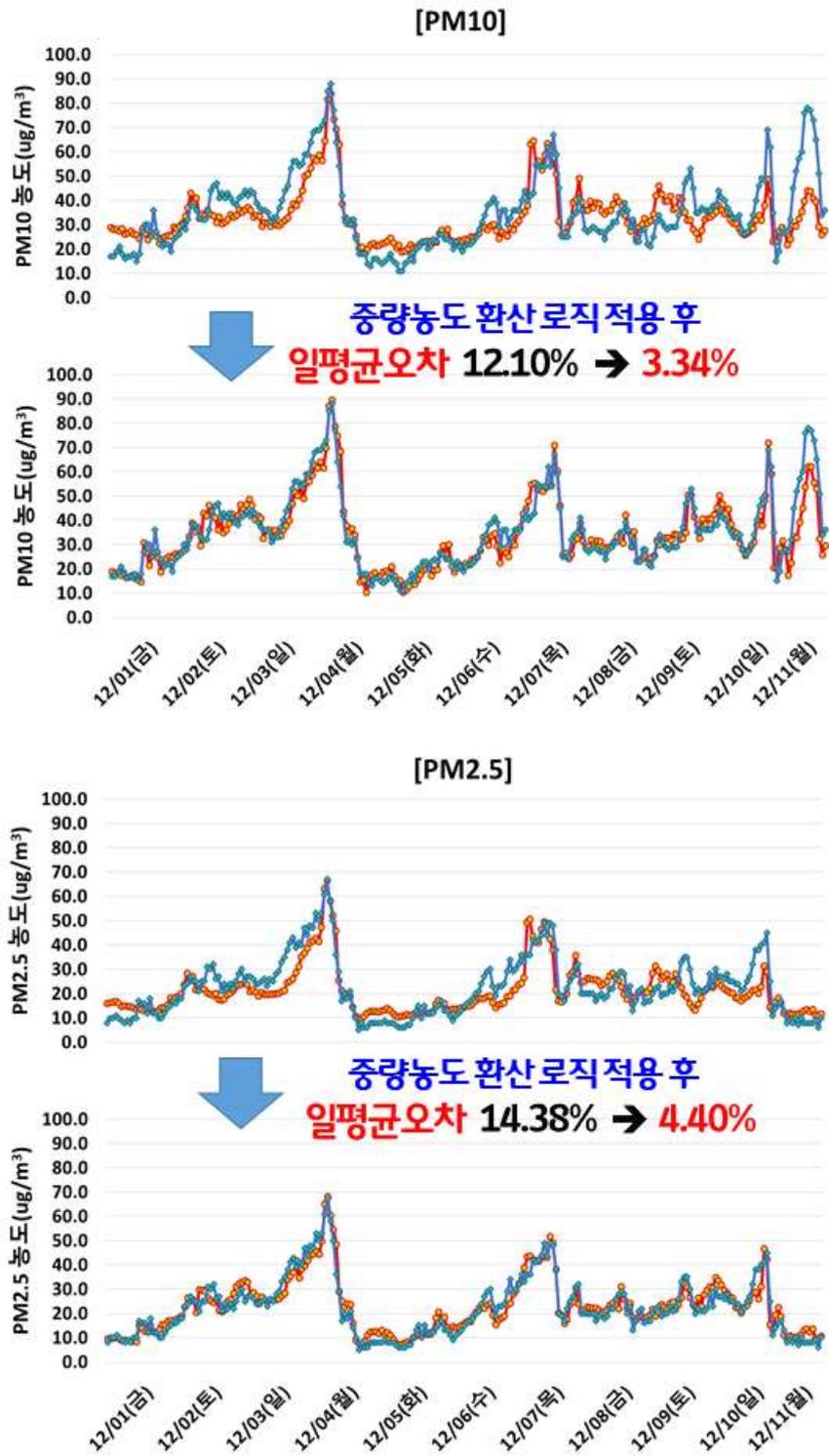
<표 11> 다양한 보정계수 (DustTrack (미국 TSI) 측정기 기준)

연구자	보정계수	대기환경	측정물질	비교 표준측정법
김정호 (2014)	0.57	일반대기환경	PM2.5	중량법
	0.61	일반대기환경	PM2.5	베타선흡수법
Chung et al. (2001)	0.33	일반대기환경	PM2.5	중량법
Heal et al. (2000)	0.45	일반대기환경	PM10	중량법
Kingham et al. (2006)	0.37	일반대기환경	PM2.5	TEOM
McNamara et al. (2011)	0.46	일반대기환경	PM2.5	베타선흡수법
	0.63	산불	PM2.5	중량법
	0.59	산불	PM2.5	중량법
	0.63	실내	PM2.5	중량법
	0.70	일반대기환경	PM2.5	베타선흡수법
Osman et al. (2007)	0.33	실내	PM2.5	중량법
Wallace et al. (2011)	0.38	일반대기환경	PM2.5	중량법
Yanosky et. al. (2002)	0.45	일반대기환경	PM2.5	중량법
	0.38	일반대기환경 (Wood Smoke)	PM10	중량법
Zhu et al. (2011)	0.49	일반대기환경	PM2.5	중량법
Heal et al. (2000)	0.45	일반대기환경	PM10	중량법
Osman et al. (2007)	0.33	실내	PM2.5	중량법

3.4 환산로직 적용성 평가

본 연구를 통해 운습도 보정로직의 경우 개발된 전처리장치를 이용하면 보정로직을 추가로 적용할 필요성이 없는 것으로 확인되어 적용치 않기로 하였으며, 중량농도 환산로직의 경우, 입경별 분석 및 부피농도 환산후 중량측정법으로 얻은 결과값과 비교하여 선형성 파악 및 밀도값을 적용하여 질량값을 환산하여 로직을 적용하였다. 중량농도 환산로직은 입경별 개수농도 결과를 기준으로 하며, 입경별 입자 개수 당 밀도값을 적용하였으며 현장 특성에 따라 밀도 값이 다르게 적용 될 수 있는 점을 감안하여 초기 보정후 질량농도 값이 유동적으로 변경될 수 있도록 적용하였다.

다음 <그림 62>는 본 연구를 통해 개발된 중량농도 환산로직 적용 전/후의 PM10, PM2.5농도를 나타낸 것으로 기존 로직을 적용하였을 경우, 일평균오차 PM10 12.10%, PM2.5 14.38%였던 것이 본 연구를 통해 개발된 환산로직을 적용한 결과 PM10 3.34%, PM2.5 4.40%로 나타나 평균오차율이 현저히 낮아져 정확도가 높아진 것으로 확인되었다.



<그림 78> 개발된 중량농도 환산로직 적용 전/후 측정값 비교

4. 미세먼지 모니터링시스템 현장 적용성 평가

4.1 대기측정망 자료와의 비교 분석

기존 도시대기 측정소에 설치된 측정기는 국가에서 관리하는 측정기기로 미세먼지 대기오염공정시험 기준인 중량농도법, 베타선법의 미세먼지 측정기가 설치되어 있다. 따라서 본 연구에서는 서울시에 위치한 종로구 대기 측정소에 개발한 전처리 장치가 부착된 미세먼지 측정기를 설치하고 일정기간 이상 데이터를 수집하여, 측정망 자료와 측정데이터를 비교/분석하여 성능을 검증하고자 하였다.<그림 63>



- ✓ 측정장소 : 서울시 대기 측정소 (종로구)
- ✓ 측정기간 : 약 12일 (2017.11.30 ~12.11)
- ✓ 측정망 자료와 측정기(전처리장치 포함) 측정 데이터 비교 및 분석
- ✓ 기존 측정망 자료는 시간별 측정자료이며, 본사의 측정기는 1분간격으로 데이터가 출력되므로 측정결과를 시간평균으로 환산하여 비교하였음. (Raw-Data는 부록 참고)

<그림 79> 광산란측정기 설치모습

<표 12> 대기 측정망 자료와 비교분석 결과_시간평균

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분 (일자-시)	PM10				PM2.5				기상정보*	
	측정소	본사 측정기	편차	오차율 (%)	측정소	본사 측정기	편차	오차율 (%)	기온 (°C)	상대습도 (%)
12/01-01	17	18.1	1.1	6.22	10	9.7	0.3	3.02	-5.5	38
12/01-02	19	18.1	0.9	4.88	10	9.9	0.1	1.27	-6	39
12/01-03	21	17.4	3.6	17.16	11	10.0	1.0	9.10	-6.2	40
12/01-04	18	18.3	0.3	1.81	10	9.6	0.4	3.57	-6	36
12/01-05	16	16.3	0.3	1.75	9	8.8	0.2	2.56	-6.4	37
12/01-06	17	16.7	0.3	1.83	8	9.0	1.0	12.23	-6.6	35
12/01-07	17	17.5	0.5	2.74	9	8.9	0.1	1.52	-7.4	38
12/01-08	18	16.1	1.9	10.37	8	8.9	0.9	11.34	-7.6	37
12/01-09	15	16.0	1.0	6.54	10	8.6	1.4	13.95	-6.5	27
12/01-10	18	14.6	3.4	18.83	10	8.2	1.8	17.95	-3.5	24
12/01-11	27	30.8	3.8	14.20	17	15.2	1.8	10.39	-0.5	21
12/01-12	30	26.6	3.4	11.33	16	14.0	2.0	12.81	1.7	23
12/01-13	30	21.4	8.6	28.61	16	12.7	3.3	20.73	2.4	25
12/01-14	25	25.4	0.4	1.40	12	12.4	0.4	3.47	3	26
12/01-15	36	27.1	8.9	24.81	18	15.1	2.9	16.20	2.1	36
12/01-16	27	24.5	2.5	9.26	12	12.4	0.4	3.33	1.2	54
12/01-17	24	18.7	5.3	22.15	12	12.1	0.1	0.56	0.8	58
12/01-18	21	23.0	2.0	9.52	10	13.5	3.5	34.83	0.6	66
12/01-19	22	24.2	2.2	9.92	10	15.3	5.3	53.00	0	77
12/01-20	22	25.2	3.2	14.55	12	15.4	3.4	28.19	-0.3	79
12/01-21	19	24.7	5.7	30.18	14	16.9	2.9	20.48	-0.8	81
12/01-22	24	26.3	2.3	9.39	15	17.2	2.2	14.91	-0.9	83
12/01-23	25	25.5	0.5	1.98	17	16.1	0.9	5.06	-1.3	84
12/01-24	26	26.6	0.6	2.21	16	17.6	1.6	9.73	-1.8	87
12/02-01	30	27.6	2.4	8.06	18	18.0	0.0	0.21	-2.2	86
12/02-02	28	30.1	2.1	7.54	18	18.9	0.9	4.98	-2.9	86
12/02-03	32	33.3	1.3	4.14	23	22.6	0.4	1.86	-3.5	81
12/02-04	38	38.9	0.9	2.31	24	26.6	2.6	10.77	-3.8	79
12/02-05	38	35.3	2.7	7.09	27	25.2	1.8	6.84	-4	79
12/02-06	36	37.0	1.0	2.74	25	25.5	0.5	2.02	-4.3	82
12/02-07	33	29.5	3.5	10.62	25	20.3	4.7	18.75	-4.4	81
12/02-08	32	42.9	10.9	33.96	21	29.8	8.8	41.90	-4.2	79
12/02-09	32	41.8	9.8	30.57	25	29.5	4.5	18.07	-2.9	68
12/02-10	36	46.1	10.1	27.92	25	29.0	4.0	16.13	-0.4	57
12/02-11	44	42.3	1.7	3.86	31	26.5	4.5	14.41	1.9	49
12/02-12	46	41.2	4.8	10.40	30	25.2	4.8	15.94	4.3	41
12/02-13	47	36.1	10.9	23.26	32	24.5	7.5	23.33	6	36
12/02-14	41	40.5	0.5	1.34	26	25.7	0.3	1.15	7.3	35
12/02-15	43	34.7	8.3	19.34	27	21.1	5.9	21.79	7.6	41
12/02-16	41	36.1	4.9	11.87	21	20.7	0.3	1.43	6.4	48
12/02-17	43	38.6	4.4	10.27	24	21.6	2.4	10.07	6	51
12/02-18	41	42.6	1.6	3.86	22	25.0	3.0	13.41	5.5	53
12/02-19	39	40.3	1.3	3.38	24	25.7	1.7	7.15	5	52
12/02-20	38	41.9	3.9	10.35	22	28.2	6.2	28.26	4.6	51
12/02-21	41	46.5	5.5	13.50	25	31.1	6.1	24.20	4.1	55
12/02-22	42	44.6	2.6	6.07	28	32.2	4.2	14.94	3.5	54
12/02-23	44	46.5	2.5	5.61	30	32.7	2.7	8.89	4	56
12/02-24	42	48.6	6.6	15.71	25	33.5	8.5	34.13	4	58

* 기상정보는 서울특별시 종로구 송월동에 위치한 서울(108) 지점의 온도, 상대습도 자료임.

<표 계속> 대기 측정망 자료와 비교분석 결과_시간평균

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분 (일자-시)	PM10				PM2.5				기상정보*	
	측정소	본사 측정기	편차	오차율 (%)	측정소	본사 측정기	편차	오차율 (%)	기온 (°C)	상대습도 (%)
12/03-01	44	46.3	2.3	5.15	27	32.8	5.8	21.60	3.9	69
12/03-02	43	40.3	2.7	6.32	27	27.4	0.4	1.42	3.3	79
12/03-03	39	41.9	2.9	7.44	26	28.5	2.5	9.62	3.4	71
12/03-04	37	40.8	3.8	10.32	24	27.0	3.0	12.29	3.5	73
12/03-05	36	32.7	3.3	9.31	24	23.8	0.2	0.69	3.9	75
12/03-06	36	35.9	0.1	0.37	25	26.7	1.7	6.87	3.4	86
12/03-07	35	36.1	1.1	3.05	26	25.4	0.6	2.50	3.1	91
12/03-08	31	33.0	2.0	6.56	23	24.9	1.9	8.33	3.2	92
12/03-09	33	35.9	2.9	8.69	26	25.4	0.6	2.50	3.5	91
12/03-10	33	34.1	1.1	3.18	25	25.4	0.4	1.47	4.4	89
12/03-11	37	33.5	3.5	9.59	28	25.7	2.3	8.33	5.1	87
12/03-12	40	36.0	4.0	10.13	29	25.9	3.1	10.75	5.8	85
12/03-13	44	37.8	6.2	14.13	33	27.2	5.8	17.63	6.8	81
12/03-14	46	40.0	6.0	13.15	35	28.4	6.6	18.95	7.6	76
12/03-15	53	46.7	6.3	11.82	38	34.0	4.0	10.44	8	73
12/03-16	56	51.6	4.4	7.86	41	35.3	5.7	14.02	7.6	77
12/03-17	56	50.1	5.9	10.57	43	36.9	6.1	14.11	6.7	82
12/03-18	54	55.0	1.0	1.79	39	41.8	2.8	7.09	6	84
12/03-19	55	49.0	6.0	10.84	41	34.5	6.5	15.93	5.7	85
12/03-20	59	55.4	3.6	6.18	40	38.4	1.6	4.05	5.2	87
12/03-21	59	55.9	3.1	5.19	47	39.7	7.3	15.54	4.7	87
12/03-22	64	58.5	5.5	8.53	44	41.8	2.2	5.10	4.3	89
12/03-23	68	62.7	5.3	7.80	48	43.8	4.2	8.81	3.9	90
12/03-24	69	61.5	7.5	10.85	47	44.5	2.5	5.28	4.2	88
12/04-01	69	64.0	5.0	7.24	53	45.6	7.4	13.98	4.3	87
12/04-02	71	61.6	9.4	13.30	50	44.4	5.6	11.17	4.4	87
12/04-03	73	69.8	3.2	4.41	53	49.8	3.2	6.13	3.6	85
12/04-04	85	87.0	2.0	2.37	61	65.1	4.1	6.71	2.8	89
12/04-05	88	89.5	1.5	1.72	67	68.1	1.1	1.63	2	83
12/04-06	77	78.8	1.8	2.30	58	60.3	2.3	3.96	1.2	76
12/04-07	64	74.6	10.6	16.53	50	54.5	4.5	8.91	0.2	68
12/04-08	54	68.3	14.3	26.50	36	48.4	12.4	34.33	-0.8	69
12/04-09	42	43.6	1.6	3.73	29	29.0	0.0	0.06	-1.5	47
12/04-10	31	37.9	6.9	22.15	17	25.0	8.0	46.91	-1.1	40
12/04-11	32	35.4	3.4	10.64	20	22.6	2.6	13.10	-0.5	41
12/04-12	30	36.6	6.6	22.02	18	23.8	5.8	32.35	-0.3	38
12/04-13	32	33.9	1.9	5.89	21	23.8	2.8	13.17	0	30
12/04-14	24	24.8	0.8	3.19	14	15.8	1.8	12.62	0.1	27
12/04-15	18	14.7	3.3	18.15	10	8.9	1.1	10.83	-0.1	25
12/04-16	18	15.3	2.7	14.91	5	7.4	2.4	48.67	-0.2	23
12/04-17	18	10.2	7.8	43.24	8	6.3	1.7	20.83	-1.3	26
12/04-18	14	14.1	0.1	0.83	6	8.6	2.6	42.78	-2.1	29
12/04-19	13	17.8	4.8	36.54	6	11.1	5.1	85.56	-2.9	32
12/04-20	16	18.5	2.5	15.52	8	12.4	4.4	55.00	-3.6	38
12/04-21	16	16.7	0.7	4.48	8	12.4	4.4	55.42	-4.6	43
12/04-22	15	16.8	1.8	12.22	8	12.6	4.6	57.92	-5.3	45
12/04-23	14	18.6	4.6	33.10	8	11.8	3.8	46.88	-5.8	44
12/04-24	15	19.2	4.2	28.11	8	13.1	5.1	63.13	-6.1	42

* 기상정보는 서울특별시 종로구 송월동에 위치한 서울(108) 지점의 온도, 상대습도 자료임.

<표 계속> 대기 측정망 자료와 비교분석 결과_시간평균

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분 (일자-시)	PM10				PM2.5				기상정보*	
	측정소	본사 측정기	편차	오차율 (%)	측정소	본사 측정기	편차	오차율 (%)	기온 (°C)	상대습도 (%)
12/05-01	16	18.2	2.2	14.03	9	11.3	2.3	25.31	-6.5	41
12/05-02	18	20.9	2.9	15.91	8	12.2	4.2	51.91	-6.8	41
12/05-03	15	16.9	1.9	12.80	8	11.1	3.1	39.06	-6.9	39
12/05-04	14	13.5	0.5	3.27	8	9.2	1.2	14.93	-7.2	34
12/05-05	11	15.2	4.2	37.85	7	7.8	0.8	12.10	-7.4	33
12/05-06	11	10.3	0.7	6.52	6	7.0	1.0	17.13	-7.4	34
12/05-07	14	11.3	2.7	19.54	6	7.3	1.3	21.30	-7.5	33
12/05-08	15	12.8	2.2	14.38	6	7.7	1.7	28.70	-8.1	36
12/05-09	18	15.8	2.2	12.45	7	8.3	1.3	19.05	-7.6	31
12/05-10	15	13.6	1.4	9.52	7	7.6	0.6	9.13	-5.5	26
12/05-11	20	15.3	4.7	23.67	10	10.2	0.2	1.67	-3.9	25
12/05-12	21	17.7	3.3	15.87	13	10.8	2.2	17.18	-2.3	25
12/05-13	23	19.5	3.5	15.43	15	11.5	3.5	23.33	-1.6	27
12/05-14	23	20.0	3.0	13.12	10	11.6	1.6	15.67	-1.1	28
12/05-15	20	20.6	0.6	2.92	15	11.8	3.2	21.33	-0.7	28
12/05-16	23	17.1	5.9	25.51	12	11.2	0.8	6.53	-0.5	30
12/05-17	24	19.5	4.5	18.89	12	11.3	0.7	6.11	-1.6	35
12/05-18	23	19.5	3.5	15.07	12	12.6	0.6	4.86	-2.6	40
12/05-19	26	26.7	0.7	2.69	14	18.2	4.2	30.00	-3.2	45
12/05-20	26	29.6	3.6	13.85	15	20.7	5.7	38.11	-3.5	46
12/05-21	24	25.9	1.9	7.99	17	17.7	0.7	4.22	-3.7	47
12/05-22	24	30.0	6.0	25.14	13	18.4	5.4	41.28	-2.8	49
12/05-23	23	21.2	1.8	7.90	13	14.0	1.0	7.95	-2.5	59
12/05-24	20	18.8	1.2	6.25	11	13.0	2.0	18.03	-2.8	77
12/06-01	23	20.3	2.7	11.74	9	14.5	5.5	60.93	-3	79
12/06-02	21	21.3	0.3	1.59	11	14.2	3.2	28.79	-3	79
12/06-03	19	20.8	1.8	9.39	12	14.5	2.5	20.56	-3.2	78
12/06-04	21	22.2	1.2	5.48	13	15.1	2.1	15.77	-3.4	75
12/06-05	22	21.7	0.3	1.21	15	15.8	0.8	5.56	-3.6	76
12/06-06	22	23.9	1.9	8.79	16	16.8	0.8	5.10	-3.7	76
12/06-07	23	23.8	0.8	3.26	17	16.6	0.4	2.16	-4.2	77
12/06-08	25	24.9	0.1	0.60	18	18.6	0.6	3.52	-4.2	78
12/06-09	28	27.5	0.5	1.96	20	20.4	0.4	2.08	-3.3	70
12/06-10	31	33.0	2.0	6.45	21	22.1	1.1	5.24	-0.9	64
12/06-11	34	32.0	2.0	6.03	24	22.3	1.7	7.08	1.6	57
12/06-12	38	29.9	8.1	21.45	27	22.2	4.8	17.78	2.4	52
12/06-13	39	33.5	5.5	14.02	29	23.7	5.3	18.28	4.2	47
12/06-14	41	34.5	6.5	15.77	30	24.2	5.8	19.28	5.5	34
12/06-15	39	29.1	9.9	25.30	23	19.1	3.9	17.10	5.5	31
12/06-16	29	22.5	6.5	22.59	19	15.3	3.7	19.74	5.3	37
12/06-17	36	28.2	7.8	21.57	23	17.3	5.7	24.64	4.1	60
12/06-18	36	26.4	9.6	26.62	23	18.2	4.8	21.09	1.7	90
12/06-19	30	24.8	5.2	17.22	24	18.8	5.2	21.53	1.2	92
12/06-20	33	31.0	2.0	6.16	29	23.6	5.4	18.51	1.2	94
12/06-21	36	29.7	6.3	17.55	34	24.1	9.9	29.07	1.1	92
12/06-22	36	35.0	1.0	2.69	29	28.1	0.9	3.22	1.3	92
12/06-23	36	37.2	1.2	3.33	30	29.3	0.7	2.44	1.3	92
12/06-24	40	42.6	2.6	6.37	32	32.2	0.2	0.68	1.4	92

* 기상정보는 서울특별시 종로구 송월동에 위치한 서울(108) 지점의 온도, 상대습도 자료임.

<표 계속> 대기 측정망 자료와 비교분석 결과_시간평균

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분 (일자-시)	PM10				PM2.5				기상정보*	
	측정소	본사 측정기	편차	오차율 (%)	측정소	본사 측정기	편차	오차율 (%)	기온 (°C)	상대습도 (%)
12/07-01	44	44.8	0.8	1.82	36	34.0	2.0	5.69	1.5	92
12/07-02	40	47.9	7.9	19.79	33	38.9	5.9	18.02	1.4	92
12/07-03	42	54.8	12.8	30.59	36	43.4	7.4	20.44	1.9	91
12/07-04	43	55.2	12.2	28.44	36	43.6	7.6	21.06	1.6	92
12/07-05	55	52.5	2.5	4.53	42	42.2	0.2	0.49	1.5	92
12/07-06	54	52.9	1.1	2.03	41	41.8	0.8	1.95	1	93
12/07-07	54	51.9	2.1	3.83	42	41.7	0.3	0.68	0.3	93
12/07-08	54	53.6	0.4	0.74	44	42.8	1.2	2.75	-0.2	96
12/07-09	62	54.9	7.1	11.42	49	43.4	5.6	11.47	0.1	91
12/07-10	54	54.2	0.2	0.34	44	43.1	0.9	2.12	1.1	83
12/07-11	67	70.8	3.8	5.67	49	51.8	2.8	5.67	2.3	69
12/07-12	59	60.2	1.2	2.03	48	49.0	1.0	2.03	3.7	65
12/07-13	45	46.1	1.1	2.45	38	38.0	0.0	0.05	4.1	37
12/07-14	25	25.7	0.7	2.80	20	20.2	0.2	1.00	4.4	36
12/07-15	25	26.5	1.5	6.00	19	19.4	0.4	2.28	4	35
12/07-16	25	24.3	0.7	2.92	17	16.0	1.0	5.95	3.2	38
12/07-17	32	25.6	6.4	19.85	22	17.4	4.6	21.01	2.1	50
12/07-18	34	31.7	2.3	6.76	25	23.7	1.3	5.30	0.7	46
12/07-19	35	32.5	2.5	7.04	27	24.7	2.3	8.56	-0.4	47
12/07-20	41	38.7	2.3	5.53	31	30.5	0.5	1.53	-1.4	47
12/07-21	36	31.5	4.5	12.37	32	24.0	8.0	24.94	-2.2	46
12/07-22	28	29.2	1.2	4.27	20	21.2	1.2	5.91	-2.7	48
12/07-23	27	29.2	2.2	8.17	20	21.5	1.5	7.52	-3.2	50
12/07-24	28	32.0	4.0	14.29	20	22.6	2.6	12.97	-3.5	49
12/08-01	29	30.0	1.0	3.47	20	22.5	2.5	12.43	-3.7	50
12/08-02	28	31.5	3.5	12.33	20	22.3	2.3	11.36	-4.3	53
12/08-03	27	31.3	4.3	16.00	17	22.1	5.1	29.97	-4.8	52
12/08-04	27	29.0	2.0	7.57	19	21.5	2.5	12.90	-5.3	53
12/08-05	24	28.2	4.2	17.56	20	20.0	0.0	0.23	-5.8	56
12/08-06	28	29.0	1.0	3.60	18	20.8	2.8	15.33	-6	56
12/08-07	29	29.2	0.2	0.73	19	21.6	2.6	13.54	-6.5	57
12/08-08	31	31.1	0.1	0.45	22	23.5	1.5	6.67	-7	59
12/08-09	31	33.3	2.3	7.44	22	24.3	2.3	10.47	-6.7	50
12/08-10	35	31.9	3.1	8.91	26	23.1	2.9	11.15	-5.3	44
12/08-11	35	30.5	4.5	12.80	28	21.9	6.1	21.83	-3.7	39
12/08-12	39	42.1	3.1	8.03	29	31.0	2.0	7.01	-2	30
12/08-13	36	35.3	0.7	1.94	28	25.6	2.4	8.51	-1.7	28
12/08-14	29	29.0	0.0	0.17	20	21.9	1.9	9.42	-1.3	27
12/08-15	32	35.2	3.2	10.00	23	24.3	1.3	5.58	-0.8	26
12/08-16	데이터 확인 및 저장장치 교체								-1.1	24
12/08-17	데이터 확인 및 저장장치 교체								-2.4	30
12/08-18	23	23.1	0.1	0.58	13	18.1	5.1	39.23	-3.1	33
12/08-19	23	23.6	0.6	2.74	17	17.1	0.1	0.84	-3.3	35
12/08-20	28	24.1	3.9	13.92	21	18.4	2.6	12.33	-3.3	34
12/08-21	28	24.9	3.1	11.02	22	18.7	3.3	14.82	-3.3	35
12/08-22	22	24.2	2.2	10.13	16	18.1	2.1	13.21	-3.4	39
12/08-23	21	24.6	3.6	17.09	17	18.3	1.3	7.68	-3.5	43
12/08-24	25	25.5	0.5	2.16	17	19.3	2.3	13.48	-3.5	48

* 기상정보는 서울특별시 종로구 송월동에 위치한 서울(108) 지점의 온도, 상대습도 자료임.

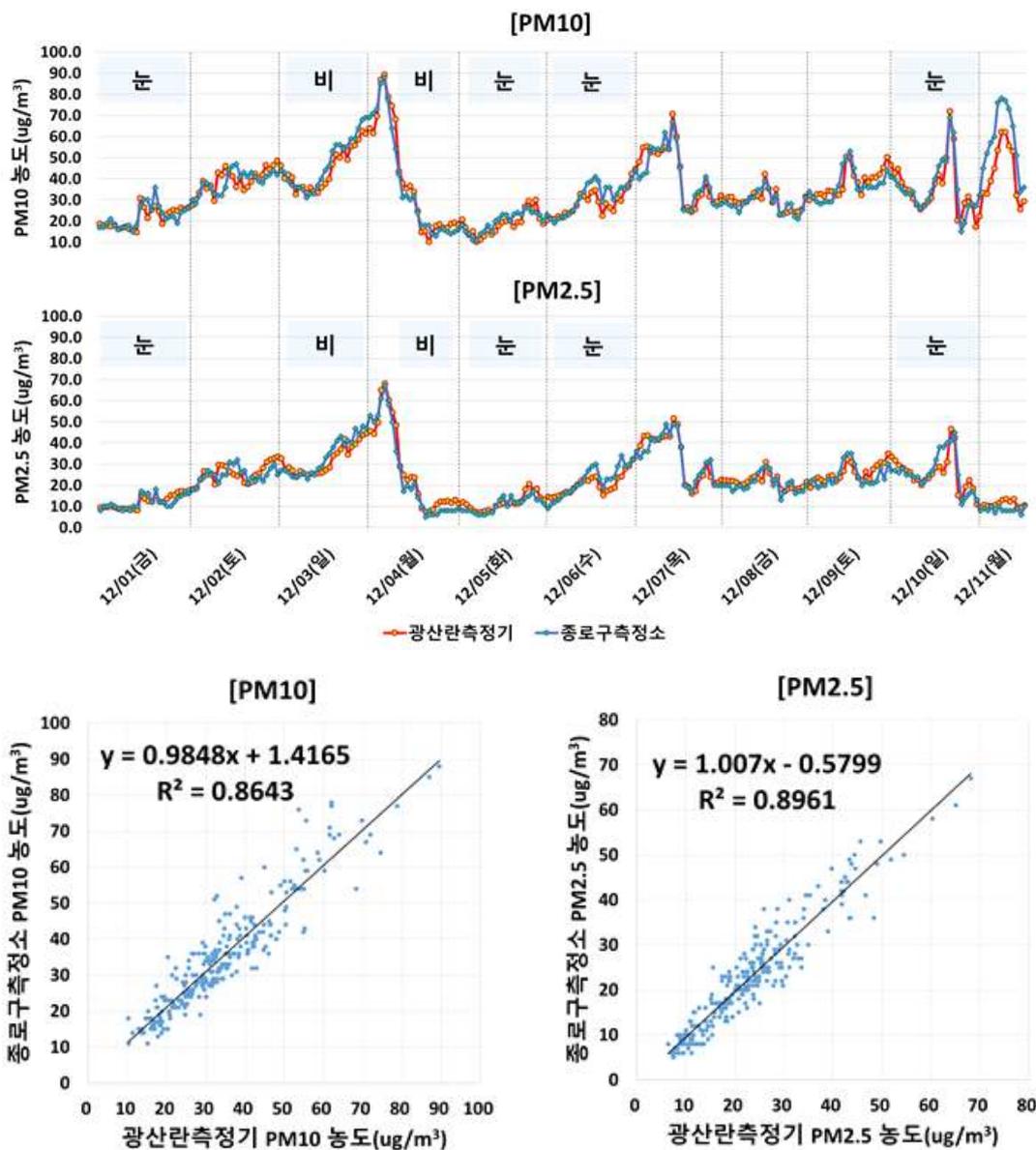
<표 계속> 대기 측정망 자료와 비교분석 결과_시간평균

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분 (일자-시)	PM10				PM2.5				기상정보*	
	측정소	본사 측정기	편차	오차율 (%)	측정소	본사 측정기	편차	오차율 (%)	기온 (°C)	상대습도 (%)
12/09-01	31	31.7	0.7	2.11	20	21.6	1.6	7.94	-4.1	49
12/09-02	34	29.9	4.1	12.10	22	19.0	3.0	13.81	-4.7	50
12/09-03	31	31.4	0.4	1.36	23	20.6	2.4	10.63	-4.3	47
12/09-04	29	32.7	3.7	12.88	19	23.7	4.7	24.76	-4.3	49
12/09-05	28	32.8	4.8	17.03	20	22.6	2.6	13.17	-4.7	49
12/09-06	29	31.8	2.8	9.64	20	21.7	1.7	8.69	-5.1	53
12/09-07	29	34.4	5.4	18.55	23	24.2	1.2	5.03	-5.5	56
12/09-08	29	34.0	5.0	17.37	21	24.6	3.6	17.07	-5.4	56
12/09-09	34	32.0	2.0	5.84	23	21.8	1.2	5.25	-4.7	48
12/09-10	37	32.4	4.6	12.38	26	23.7	2.3	8.77	-2.2	42
12/09-11	47	34.9	12.1	25.73	33	26.6	6.4	19.45	0	45
12/09-12	49	50.4	1.4	2.95	35	32.3	2.7	7.67	2.4	40
12/09-13	53	50.6	2.4	4.60	35	30.7	4.3	12.24	3.9	36
12/09-14	45	41.5	3.5	7.85	30	26.5	3.5	11.51	4.7	32
12/09-15	35	38.4	3.4	9.65	24	23.8	0.2	0.87	5.2	30
12/09-16	35	32.5	2.5	7.18	20	22.1	2.1	10.67	4.4	33
12/09-17	37	40.7	3.7	9.90	22	26.4	4.4	20.14	3.5	37
12/09-18	36	38.4	2.4	6.71	21	22.9	1.9	8.81	2.5	41
12/09-19	36	40.6	4.6	12.73	21	27.8	6.8	32.46	1.5	48
12/09-20	36	40.6	4.6	12.82	22	29.5	7.5	34.17	0.8	51
12/09-21	38	42.3	4.3	11.36	28	30.9	2.9	10.36	-0.1	55
12/09-22	38	45.2	7.2	18.90	23	30.5	7.5	32.39	-0.5	55
12/09-23	44	50.3	6.3	14.32	30	34.9	4.9	16.39	-0.1	54
12/09-24	41	46.6	5.6	13.66	27	33.6	6.6	24.26	-0.2	55
12/10-01	40	42.8	2.8	7.08	27	31.9	4.9	17.96	-0.2	54
12/10-02	37	44.7	7.7	20.72	26	29.4	3.4	13.01	0.2	52
12/10-03	35	38.4	3.4	9.57	28	28.1	0.1	0.48	0.3	53
12/10-04	33	35.3	2.3	6.87	25	26.9	1.9	7.47	0.4	52
12/10-05	33	34.7	1.7	5.05	25	26.2	1.2	4.87	0.3	74
12/10-06	34	30.6	3.4	10.00	24	22.4	1.6	6.53	-0.5	90
12/10-07	28	28.0	0.0	0.18	24	22.6	1.4	5.90	-0.4	92
12/10-08	26	25.5	0.5	1.79	21	20.2	0.8	3.65	-0.2	90
12/10-09	27	27.4	0.4	1.48	22	22.5	0.5	2.35	0.2	90
12/10-10	30	29.1	0.9	2.89	25	23.4	1.6	6.53	0.5	91
12/10-11	34	30.9	3.1	9.07	27	25.4	1.6	5.93	0.9	92
12/10-12	40	38.1	1.9	4.88	32	28.4	3.6	11.41	2.3	88
12/10-13	46	41.9	4.1	8.99	38	28.7	9.3	24.56	3.3	87
12/10-14	49	37.8	11.2	22.82	38	25.9	12.1	31.84	4.2	85
12/10-15	48	50.2	2.2	4.48	40	31.1	8.9	22.25	6.7	63
12/10-16	69	72.0	3.0	4.30	41	46.7	5.7	13.82	5.4	71
12/10-17	62	59.0	3.0	4.89	45	42.5	2.5	5.67	3.6	65
12/10-18	35	20.3	14.7	41.95	25	15.5	9.5	38.20	2	61
12/10-19	15	20.3	5.3	35.00	11	13.3	2.3	21.06	1.6	53
12/10-20	19	28.5	9.5	50.09	14	19.4	5.4	38.69	0.6	57
12/10-21	27	31.6	4.6	16.85	16	22.4	6.4	40.10	0	59
12/10-22	28	27.9	0.1	0.30	17	18.6	1.6	9.41	-1	56
12/10-23	27	17.4	9.6	35.74	13	11.0	2.0	15.77	-1.4	43
12/10-24	32	22.3	9.7	30.21	8	9.6	1.6	20.42	-2.5	39

* 기상정보는 서울특별시 종로구 송월동에 위치한 서울(108) 지점의 온도, 상대습도 자료임.

<표 12>와 같이 2017년 11월 30일부터 2017년 12월 11일까지 약 12일간 수집된 종로구 측정소의 데이터를 기준으로 동일 시간에 측정된 본사 측정기의 측정 데이터의 편차 및 오차를 산정하였다. 해당 데이터의 기준 값인 종로구 측정소의 시간별 측정값은 유동적이므로 각 시점의 편차는 표준편차와 동일하다. 종로구 측정소 및 본사 측정기기, 두 기기의 PM10, PM2.5 측정값을 비교한 결과 <그림 64>와 같이 기존 측정망 자료와 전처리 장치가 포함된 광산란측정기의 측정결과가 일반 대기상태, 눈이나 비가 오는 상황에 관계없이 일정하게 유사한 경향성 및 상관도가 높은 것으로 나타났다.

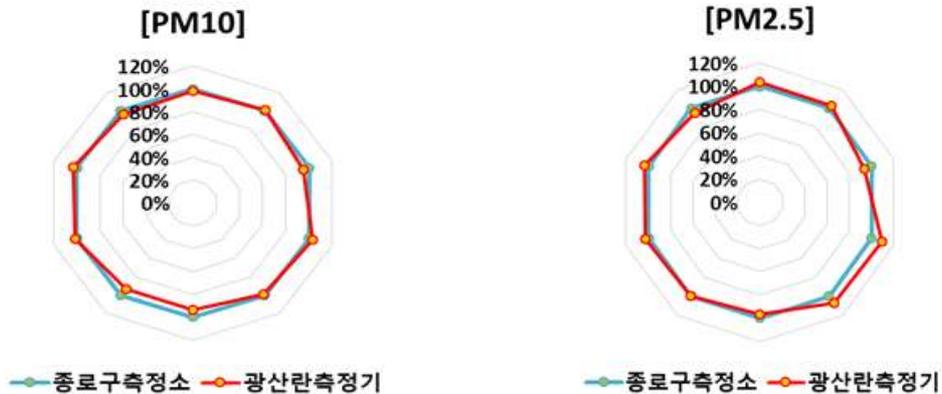
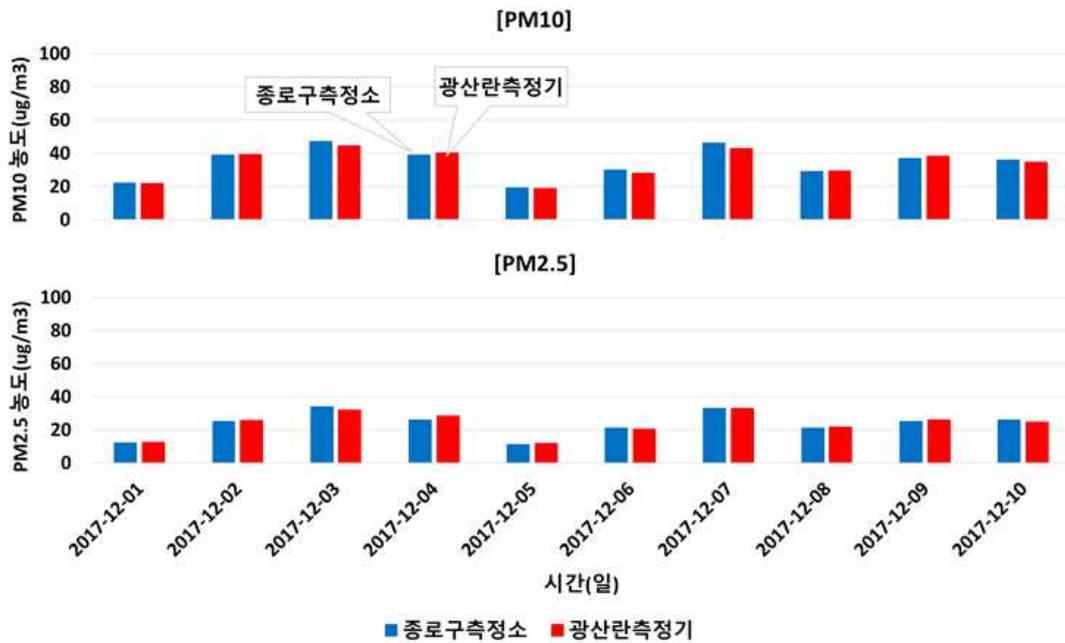


<그림 80> 대기 측정망 자료와 비교 결과_시간평균

<표 13> 대기 측정망 자료와 비교분석 결과_일평균

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분 (일자)	PM10			PM2.5			비고
	측정소	본사측정기	오차율(%)	측정소	본사측정기	오차율(%)	
12/01	22	21.6	1.72	12	12.4	3.24	
12/02	39	39.3	0.73	25	25.8	3.19	
12/03	47	44.6	5.11	34	31.9	6.27	
12/04	39	40.3	3.38	26	28.4	9.08	
12/05	19	18.7	1.38	11	11.8	7.00	
12/06	30	28.2	6.16	21	20.3	3.38	
12/07	46	42.8	6.98	33	33.1	0.34	
12/08	29	29.4	1.38	21	21.6	2.68	
12/09	37	38.2	3.16	25	25.9	3.66	
12/10	36	34.8	3.43	26	24.7	5.14	



<그림 81> 대기 측정망 자료와 비교 결과_일평균

또한 2017년 11월 30일부터 2017년 12월 11일까지 약 12일간 수집된 측정된 데이터를 일평균 측정망 자료와 비교한 결과, <표 13>, <그림 65>와 같이 기존 측정망 자료와 전처리 장치가 포함된 광산란측정기의 측정결과가 일반 대기상태, 눈이나 비가 오는 상황에 관계없이 안정적인 측정값을 나타내는 것으로 확인되었으며, 대기 측정망 일평균 질량농도와 비교한 결과 PM10 최대오차 6.98%, 평균오차 3.34%, 최소오차 0.73%, PM2.5 최대오차 9.08%, 평균오차 4.40%, 0.34% 로 나타났다.

5. IoT용 송수신 시스템 개발

본 연구에서는 현 IoT 기술에 손쉽게 접근할 수 있도록 최적의 통신기술을 적용하고자 하였다. UART에서 나오는 신호는 보통 TTL신호레벨을 갖기 때문에 노이즈에 약하고 통신거리에 제약이 있다. 이러한 TTL신호를 입력받아 노이즈에 강하고 멀리갈 수 있게 해주는 인터페이스 IC를 LINE DRIVER/RECEIVER라 부르며 이중 대표적인 것이 RS232, RS422, RS423 및 RS485가 있으며 각 방식의 특성은 다음 <표 14>와 같다.

<표 14> 인터페이스 방식의 특성

구분	RS232C	RS423	RS422	RS485
동작 모드	Single-Ended	Single-Ended	Differential	Differential
최대 Driver 수	1 Driver	1 Driver	1 Driver	32 Driver
최대 Receiver 수	1 Receiver	10 Receiver	10 Receiver	32 Receiver
최대 통달거리	약 15 m	약 1.2 km	약 1.2 km	약 1.2 km
최고 통신속도	20 Kb/s	100 Kb/s	10 Mb/s	10 Mb/s
지원 전송방식	Full Duplex	Full Duplex	Full Duplex	Half Duplex
최대 출력전압	±25V	±6V	-0.25V to +6V	-7V to +12V
최대 입력전압	±15V	±12V	-7V to +7V	-7V to +12V

RS-232과 RS-423(Single-Ended 통신방식) 통신방식은 RS422와 RS485에 비해서 통신속도가 낮고 통신거리가 짧은 단점이 있으나 동작모드에서 알 수 있듯 하나의 신호전송에 하나의 전송선로가 필요하기 때문에 비용절감의 장점이 있다.(RS422인 경우 하나의 신호 전송에 2개의 전송선로 필요) 현재의 RS422 또는 RS485칩의 경우 <표 14>에 나와있는 Driver와 Receiver의 수보다도 훨씬 많이 지원하고 있으며 RS485인 경우 최대 256의 노드를 갖는 칩도 있다.

RS485 통신은 데이터의 유실이 적고 다른 유선통신방식에 비해 비교적 통신거리가 긴 장점이 있어 다양한 분야에 사용되고 있으며, 현장의 상황에 따라 선택적으로 적용이 가능하다. 따라서 본 연구에서의 측정값 송수신은 <그림 66>과 같이 RS485를 적용하여 구성하였다.



<그림 82> RS485통신

제 4 장 결론 및 활용계획

1. 결론	95
2. 활용계획	96

제 4 장 결론 및 활용계획

1. 결론

현재 미세먼지 측정에 사용되고 있는 방식은 대기오염공정시험 기준에 따라 베타선 흡수법, 중량농도법을 사용하고 있으나, 이러한 측정기기는 매우 고가이며, 유지관리의 어려움 뿐만 아니라 실시간 농도 확인이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 실시간 연속 미세먼지 측정법은 레이저를 이용한 광산란식 측정법이 가장 대표적이다.

그러나 광산란식의 경우 현재 국내 기술은 미비하며, 대부분 해외 제품의 수입에 의존하고 있다. 성능이 우수한 측정기기는 미국, 독일 등에서 생산되는 고가형 제품이 대부분이며, 일반 대기환경에서 참고용으로 사용하고 있는 초저가형 측정센서의 경우, 중국산 제품이 대부분인 실정이다. 따라서 국내 환경시장에서 수입 제품을 대체할 수 있는 순수 국산기술의 광산란식 측정기 개발이 매우 필수적일 것으로 판단되었다.

본 연구를 통해 기존 실내용 미세먼지 센서의 안정성을 확보하여 실외환경에서도 적용 가능하도록 노즐 및 암실, 레이저 등을 보완하였으며 이를 적용한 장치의 오차가 Grimm社 장비 대비 질량농도 오차율 10% 이내, 입경별 입자계수농도 오차율 5% 이내로 나타나 신뢰도가 높은 것으로 확인되었다.

또한, 고정밀 기술임에도 불구하고 대기 중 수분 등에 의해 영향을 받는 문제점이 있는 광산란 방식 측정기의 센서 성능 극대화를 위해 가온 방식의 시료 전처리 장치를 개발/적용하였으며, 성능 테스트를 진행한 결과 안정적으로 온도 및 상대습도 범위를 유지하는 것으로 확인되었다.

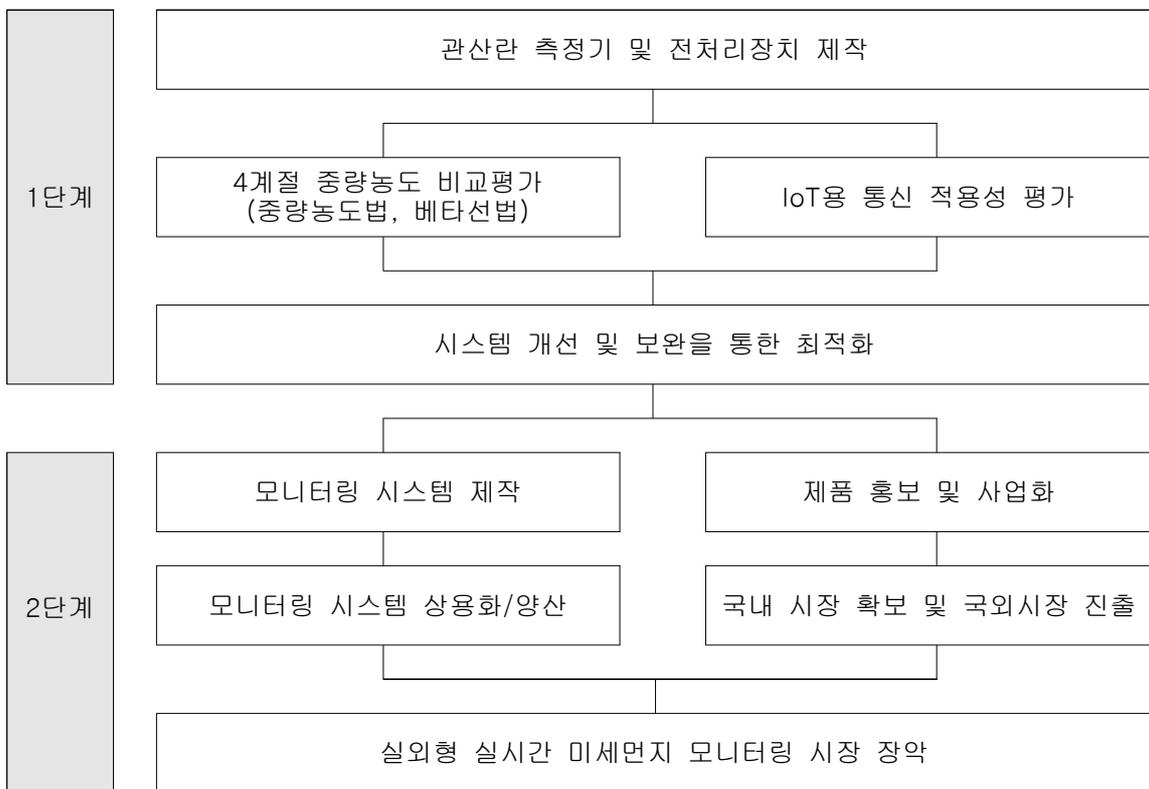
앞서 언급한 센서 보완 및 전처리 기술을 적용하여 개발한 광산란 측정기의 성능 평가를 위해 서울시 종로구에 위치한 일반 대기측정소에 설치하여 기존 자료와 측정결과(일평균)를 분석한 결과, 평균 오차율이 PM10의 경우 3.34%, PM2.5의 경우 4.40%로 5% 이내의 신뢰도 높은 측정 결과를 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.

본 연구를 통해 개발된 전처리 기술 등을 적용한 실외형 미세먼지 모니터링 시스템의 경우 기존 베타선 및 중량농도법 측정기보다 저비용으로 유사한 측정결과를 얻을 수 있으며, 기존 실시간으로 미세먼지 농도를 확인할 수 없었던 단점을 해결하고, 순수 국내 기술만을 적용하여 기존 수입제품을 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 시료 전처리장치를 적용하여 기존 광산란 방식 측정장치의 단점을 보완하였으며 베타선 법과 비교하여 신뢰도를 검증하고 실외형 실시간 미세먼지 모니터링 시스템을 구축하여 활용범위를 넓혔다. 이를 통해 국내환경시장에서의 광산란측

정기의 수익 창출이 증가할 것으로 예상되며, 나아가 해외 미세먼지 모니터링 시장을 장악 할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 활용계획

본 연구를 통해 개발된 광산란 측정기 및 전처리기술은 기본적인 성능평가 및 적용성 평가는 완료된 상태이나 향후 최종 시제품에 대해서는 사계절 동안 중량농도법, 베타선 법 등과 비교, 실증 테스트를 진행하여 오차 확인 및 오차원인을 분석하여 해결, 적용할 계획이며 중량농도 환산에 대한 추가적인 검증 보완을 통해 신뢰도 높은 미세먼지 모니터링시스템을 최종 완성하여 제품화 할 계획이다.



<그림 85> 향후 추진계획

광산란 측정기의 경제성 검토를 위해 기존 대기 측정소에 설치된 측정기(베타선 측정법)의 장치 및 유지관리비용을 확인한 결과, 측정기는 약 2,500만원, 유지관리비용은 연간 250만원 가량 소요되는 것으로 확인되었다. 그러나 본 연구를 통해 개발된 광산란방식의 측정기는 약 200만원의 장치비용과 연간 약 120만원의 유지관리비가 필요하여 초기 설치비용은 약 2,300만원, 유지관리비용의 경우 연간 130만원을 절약할 수 있다.

<표 15> 경제성 검토

구분	베타선 측정법(Beta-ray)	광산란방식
측정기 구입	• 2,500만원	• 200만원
유지관리비	• 250만원/년	• 120만원/년

따라서 지자체에서의 고해상도 미세먼지 정보제공을 위해 기존 측정방식보다 저렴하지만 신뢰성이 높은 광산란 측정기를 적용하여 보다 경제적으로 시스템 구축이 가능할 것으로 판단된다.

또한 광산란법은 현재 대기오염공정시험 기준인 중량농도법, 베타선 흡수법 측정기의 등가기술로 검증받음으로서 대기 측정망 모니터링 기술의 확보 및 확대가 가능하며 환경부에서 추진하고 있는 IoT 기반 지능형 환경오염 정보시스템에서의 미세먼지 측정 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 이에 본사에서는 추후 IoT 용 송수신 시스템과 통신 프로토콜을 통해 데이터 송수신에 대한 시범사업에 참여하는 등 적극적인 제품 검증, 홍보 및 사업화를 진행할 계획이다. 본 연구를 통해 개발된 미세먼지 모니터링 시스템은 전국 초·중·고등학교, 시외버스 터미널, 버스정류장, 유치원, 주거단지, 공사현장 등 다양한 곳에 적용 가능하며 특히 현 정부에서 추진중인 학교 미세먼지 모니터링 등에 활용할 수 있도록 사업화 할 계획이다.

본 연구를 통해 도출된 연구결과로 논문 1편을 추가로 투고할 예정이며 정책에 반영에 활용될 수 있도록 제안할 계획이다.

부 록

1. 현장 적용성 평가 Raw-Data	101
-----------------------------	-----

1. 현장 적용성 평가 Raw-Data

본 데이터는 서울시 종로구 일반대기 측정소에 설치한 본사 측정기의 데이터 원본으로 1분 간격으로 PM10 및 PM2.5 질량농도가 저장되었다. 데이터는 각 시각별로 60분으로 구성되었으며 데이터 순서는 다음 <그림 68>과 같다.

구분 (일자-시)	PM10						PM2.5					
	12/01-01	00분	10분	20분	30분	40분	50분	00분	10분	20분	30분	40분
01분		11분	21분	31분	41분	51분	01분	11분	21분	31분	41분	51분
02분		12분	22분	32분	42분	52분	02분	12분	22분	32분	42분	52분
03분		13분	23분	33분	43분	53분	03분	13분	23분	33분	43분	53분
04분		14분	24분	34분	44분	54분	04분	14분	24분	34분	44분	54분
05분		15분	25분	35분	45분	55분	05분	15분	25분	35분	45분	55분
06분		16분	26분	36분	46분	56분	06분	16분	26분	36분	46분	56분
07분		17분	27분	37분	47분	57분	07분	17분	27분	37분	47분	57분
08분		18분	28분	38분	48분	58분	08분	18분	28분	38분	48분	58분
09분		19분	29분	39분	49분	59분	09분	19분	29분	39분	49분	59분

<그림 88> 본사 측정기 Raw-Data 범례

<표 16> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 1일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/01-01	15	20	14	16	36	18	9	11	9	11	11	
	14	15	32	13	18	19	9	9	11	8	10	
	16	11	16	15	13	14	10	8	10	9	8	
	17	15	12	29	15	25	10	9	8	10	9	
	16	20	16	31	16	12	10	11	11	11	10	
	14	16	17	16	15	16	9	10	11	10	10	
	30	17	18	27	34	17	11	10	10	11	10	
	18	14	17	16	18	12	10	10	10	9	10	
12/01-02	33	24	12	23	13	12	9	9	8	9	9	
	14	14	14	26	13	14	9	9	9	10	8	
	14	30	18	33	35	15	9	9	10	10	10	
	11	13	17	17	19	18	8	9	9	10	10	
	16	22	38	24	15	14	10	9	9	10	9	
	15	14	16	29	16	19	10	9	10	10	12	
	17	16	14	17	17	16	11	10	9	10	10	
	19	16	15	13	17	30	11	11	9	8	10	
12/01-03	18	17	29	14	25	16	9	11	11	10	10	
	17	15	13	16	14	16	9	10	9	9	10	
	17	18	15	14	12	17	10	10	10	10	8	
	17	24	15	17	13	14	10	10	10	10	9	
	15	15	21	16	16	16	10	10	10	10	10	
	15	17	25	35	16	18	10	10	10	11	11	
	14	24	24	17	14	18	10	11	10	10	9	
	15	21	29	21	23	17	10	9	11	11	10	
12/01-04	17	27	13	18	19	12	10	10	9	10	11	
	15	15	16	16	12	12	10	10	10	10	9	
	14	15	15	14	14	15	10	10	10	10	9	
	14	17	25	17	12	15	9	10	11	10	8	
	15	16	11	15	13	16	10	10	8	10	9	
	14	29	16	17	27	16	9	11	10	10	10	
	24	17	25	23	15	18	10	10	9	12	9	
	16	18	15	16	16	14	10	11	9	9	10	
12/01-05	18	21	15	12	17	33	10	8	10	8	10	
	13	18	24	17	27	14	9	10	10	9	9	
	16	16	15	21	19	26	10	10	9	9	9	
	16	23	14	17	12	15	10	9	9	10	8	
	15	24	19	17	18	13	11	10	10	10	9	
	25	15	17	12	15	12	10	9	9	9	8	
	17	15	15	17	36	13	9	10	9	9	10	
	18	25	16	25	32	12	10	10	10	10	11	
12/01-06	14	25	23	23	12	16	9	10	9	9	8	
	11	13	15	14	16	24	7	8	10	9	9	
	12	17	33	14	11	11	8	9	9	8	8	
	16	18	24	24	12	12	10	10	9	9	8	
	12	15	24	10	13	13	8	8	9	7	8	
	24	11	13	12	14	13	9	8	9	9	9	
	16	19	12	12	16	24	10	8	8	8	9	
	12	11	13	16	24	15	8	8	9	8	10	
12/01-06	13	24	36	12	15	22	9	8	9	8	9	
	12	16	12	12	12	17	9	9	8	8	9	
	28	15	12	13	14	16	10	9	8	9	8	
	15	12	19	17	24	13	9	8	10	9	9	
	37	15	14	13	14	16	11	9	8	8	9	
	18	12	14	24	26	13	10	8	9	9	10	
	16	12	22	15	24	19	9	9	8	9	9	
	15	32	17	13	23	13	9	10	9	8	9	
12/01-06	12	16	17	12	23	16	8	9	9	8	11	
	12	12	16	15	14	15	8	8	9	8	8	
	12	13	18	25	18	13	8	8	9	10	9	
	13	12	17	14	16	12	9	8	9	8	10	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 1일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/01-07	17	16	10	35	23	13	9	9	7	9	9	8
	14	13	14	16	19	23	8	8	9	9	10	9
	27	13	13	15	15	14	10	8	8	9	10	9
	16	12	14	13	14	13	9	8	9	9	9	8
	21	13	32	13	17	34	8	8	9	9	9	9
	15	15	24	24	13	14	9	8	9	9	8	9
	24	23	37	14	14	23	9	8	9	9	9	9
	14	14	16	15	17	10	9	9	9	8	9	7
	14	15	14	13	20	22	9	9	9	8	11	8
12/01-08	13	14	29	12	24	12	8	9	10	8	10	7
	11	15	12	12	15	19	8	9	8	8	9	10
	25	16	15	12	18	12	9	10	9	8	10	8
	13	17	14	23	12	12	8	10	8	9	7	9
	15	14	14	26	13	25	9	8	9	10	8	10
	14	12	37	15	23	20	9	8	9	9	10	11
	23	14	12	13	14	15	9	9	8	9	9	8
	12	15	24	11	13	10	8	9	10	8	9	7
	12	24	13	22	16	21	8	9	9	8	9	9
12/01-09	11	14	12	15	15	16	7	9	9	9	9	9
	18	13	14	25	16	13	8	8	10	9	10	8
	16	14	23	10	13	13	9	9	9	7	8	8
	17	11	16	12	11	24	9	8	9	8	7	9
	16	28	11	16	10	13	9	10	8	9	7	8
	11	30	15	15	25	11	8	9	9	9	9	8
	22	14	14	27	14	22	9	8	9	9	8	8
	14	14	14	13	13	15	9	10	10	8	8	8
	16	11	14	16	13	12	9	8	9	9	7	7
12/01-10	12	14	16	22	24	14	8	8	9	8	9	8
	14	16	15	13	16	14	9	9	9	8	9	8
	34	24	12	12	16	13	8	9	8	8	10	8
	9	14	13	15	13	14	7	8	8	9	8	8
	13	10	13	15	14	11	8	7	8	8	9	8
	30	12	14	30	15	11	8	8	9	9	8	8
	15	15	14	10	14	12	9	9	9	7	9	9
	13	12	22	11	12	12	8	8	8	8	8	7
	21	13	15	12	38	10	8	8	8	8	7	7
12/01-11	11	13	24	12	10	13	8	8	8	8	7	8
	11	30	12	13	10	13	8	10	8	8	7	8
	12	13	15	12	12	10	8	8	10	7	8	7
	22	12	13	11	23	12	8	9	9	8	8	8
	25	32	44	46	25	23	16	15	16	16	13	11
	27	35	27	26	37	25	15	16	14	15	14	13
	38	27	28	37	28	29	15	19	17	17	17	16
	26	37	26	28	39	36	15	16	15	11	19	14
	28	24	34	36	46	47	15	13	15	15	15	20
12/01-12	25	27	28	38	26	27	14	17	18	18	14	16
	23	27	26	27	34	28	12	15	15	15	14	15
	24	28	35	26	34	43	14	18	16	13	14	13
	33	31	38	25	26	29	13	16	17	15	14	16
	23	28	26	46	28	27	12	16	15	18	17	16
	20	37	24	23	23	26	11	19	17	14	14	16
	28	23	31	22	24	23	15	12	14	13	13	13
	24	26	21	35	23	22	15	18	13	17	13	13
	21	24	23	22	21	24	11	13	14	12	12	13
	21	26	20	25	43	22	11	15	11	14	15	14
	23	42	33	24	21	24	13	18	16	13	10	14
	24	35	19	25	45	25	14	15	9	15	17	15
	23	26	33	39	23	24	15	12	14	13	13	15
	24	25	30	24	22	33	14	16	13	13	13	17
	33	24	23	31	26	44	14	13	13	13	14	18

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 1일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/01-13	40	19	22	18	23	18	16	12	13	12	17	11
	19	23	21	20	19	19	11	16	14	13	12	11
	21	19	20	29	18	19	15	13	13	14	13	12
	19	20	20	18	19	16	13	12	13	12	12	9
	20	34	19	18	20	16	12	18	12	12	13	9
	20	20	21	27	27	17	12	14	14	13	15	9
	21	24	18	20	20	19	14	15	12	13	13	11
	23	20	19	29	18	41	13	11	13	15	11	7
	22	18	20	21	31	16	15	12	14	14	16	9
	29	22	21	20	17	17	9	15	15	13	9	10
12/01-14	20	20	22	35	24	36	10	9	11	12	14	18
	33	31	24	20	19	24	11	14	12	9	10	15
	30	29	22	22	23	24	10	9	13	13	13	12
	27	20	21	20	25	28	13	12	9	11	15	17
	21	19	23	25	21	28	9	8	11	14	11	18
	19	22	21	21	31	29	9	11	11	12	13	18
	19	19	26	21	35	22	9	9	15	11	17	15
	21	24	22	31	26	24	11	12	10	11	15	16
	20	22	23	21	35	45	12	8	12	12	17	18
	42	20	35	31	30	27	11	10	13	13	14	17
12/01-15	27	26	23	23	33	23	21	17	16	13	13	12
	29	23	24	29	21	22	21	14	14	18	9	12
	25	35	26	23	22	22	16	18	18	15	12	13
	33	32	24	24	23	26	16	15	16	15	12	17
	23	44	29	26	30	24	15	18	15	14	14	14
	34	41	25	35	21	21	14	15	13	15	11	11
	34	31	22	25	25	20	27	21	12	15	15	10
	30	26	24	25	22	25	20	17	15	15	12	11
	28	24	26	26	31	22	19	15	15	13	11	12
	30	26	27	33	38	33	23	20	16	13	14	12
12/01-16	20	30	29	22	23	23	10	12	13	13	12	14
	20	20	19	20	37	23	10	10	11	11	11	14
	21	19	19	22	21	26	11	10	10	10	12	16
	22	19	31	26	19	21	13	10	13	15	11	13
	37	22	20	21	41	42	12	12	12	13	16	17
	19	34	30	30	30	43	11	14	13	10	13	18
	19	20	23	33	19	21	10	13	13	17	11	11
	19	20	24	21	22	21	10	12	11	12	15	13
	33	33	22	31	22	26	14	12	12	14	13	15
	21	20	19	19	23	21	12	11	9	10	16	12
12/01-17	17	17	20	30	24	19	13	11	16	14	14	15
	27	15	20	17	15	16	13	9	13	10	10	10
	27	15	15	27	20	19	11	10	10	13	16	13
	15	16	20	20	17	21	9	9	13	15	12	16
	18	17	21	17	16	17	14	10	14	13	11	13
	18	19	20	17	18	17	12	14	13	9	14	11
	15	17	19	19	19	18	9	12	14	14	14	13
	17	15	18	17	16	16	11	10	11	12	11	9
	18	16	18	20	18	15	12	10	12	13	14	10
	27	16	20	17	29	16	15	9	13	11	11	11
12/01-18	20	18	19	19	21	22	13	11	13	13	13	15
	22	30	23	22	23	36	15	12	16	12	15	12
	39	19	18	19	19	23	14	11	12	12	13	16
	21	20	21	31	21	36	13	11	12	13	15	14
	39	18	26	21	21	20	15	11	18	13	15	15
	19	21	22	18	21	33	12	12	15	11	14	16
	39	19	19	23	23	19	17	14	11	15	14	14
	22	19	20	23	24	18	16	12	11	16	18	11
	19	21	36	20	23	22	12	13	12	14	11	12
	31	20	18	21	22	18	15	12	11	16	17	12

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 1일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/01-19	20	20	21	23	31	24	11	13	12	19	15	19
	20	20	26	25	20	25	12	13	16	19	13	18
	18	25	29	25	36	23	11	17	14	18	18	18
	20	22	23	25	22	20	12	16	15	19	17	14
	23	20	20	24	32	27	12	11	15	13	15	21
	34	32	24	25	21	21	18	16	15	18	14	17
	22	25	21	31	19	22	15	16	17	19	12	17
	18	22	24	29	22	25	10	14	14	12	15	18
	20	32	24	20	25	24	13	16	18	13	16	20
12/01-20	30	36	20	21	23	27	13	15	13	14	15	19
	33	22	23	26	21	26	16	16	17	18	12	13
	24	39	25	25	22	23	16	13	17	20	13	16
	43	33	22	31	20	27	22	15	12	15	11	18
	23	27	23	29	21	23	14	16	15	22	15	16
	19	32	23	27	20	24	10	15	16	17	12	16
	26	22	25	22	22	22	18	14	18	16	13	13
	22	22	22	26	21	24	14	14	13	17	14	16
	26	26	23	22	30	22	18	18	15	16	14	14
12/01-21	26	24	28	23	22	30	17	16	23	16	14	13
	26	19	33	38	21	21	14	10	18	15	13	15
	23	29	23	23	23	34	17	20	18	16	15	20
	23	21	23	21	21	26	15	14	16	13	15	18
	34	28	20	23	34	22	19	19	14	15	18	16
	43	21	24	23	24	27	17	15	15	15	17	20
	22	27	25	19	23	23	13	21	18	11	17	21
	20	22	25	22	26	41	14	16	17	16	17	25
	30	21	20	21	28	34	19	16	13	16	19	21
12/01-22	24	23	22	21	28	28	17	16	14	15	20	22
	22	21	22	23	22	23	15	16	15	20	15	18
	26	23	23	22	23	24	21	14	16	18	15	18
	24	25	24	32	23	30	15	18	16	21	16	22
	22	23	35	25	22	27	14	16	18	18	16	19
	21	23	26	26	32	28	15	17	17	17	17	20
	24	23	25	28	23	25	15	16	16	18	16	19
	46	28	25	23	31	25	18	20	17	16	18	18
	22	36	33	24	22	30	15	17	16	18	15	21
12/01-23	20	31	22	28	28	24	13	15	15	19	18	18
	25	23	24	22	27	26	16	15	18	15	18	17
	21	27	33	24	28	34	16	19	22	17	19	17
	25	28	23	23	26	23	16	20	18	16	20	16
	25	22	24	22	27	25	17	14	15	15	17	16
	26	23	22	22	28	21	18	16	15	15	18	14
	26	26	34	23	24	24	17	17	16	16	18	18
	22	20	24	36	24	26	15	14	16	16	16	18
	22	23	25	31	29	22	15	15	16	16	18	16
12/01-24	22	33	25	25	26	24	14	15	16	15	18	16
	22	39	24	21	23	22	16	18	18	14	15	15
	28	23	31	20	35	23	18	16	15	14	15	15
	23	21	21	23	28	23	16	14	15	15	18	15
	21	23	25	35	24	46	15	16	16	16	17	20
	22	25	43	23	30	27	17	18	22	16	19	19
	26	25	41	24	25	28	15	18	23	18	18	18
	26	24	33	25	23	23	18	18	22	16	18	17
	31	32	29	24	41	27	16	17	20	16	20	18
12/01-24	24	27	26	21	28	25	17	16	19	16	18	18
	25	30	26	23	26	31	17	15	18	16	18	22
	21	23	27	23	24	23	15	16	18	16	16	16
	22	24	23	25	24	22	16	16	17	17	16	15
	23	26	30	28	27	28	16	18	21	18	19	19
25	25	32	25	26	27	18	16	17	17	16	19	

<표 17> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 2일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/02-01	40	25	23	25	36	25	21	18	16	17	18	18
	28	30	29	26	25	26	19	20	21	19	18	19
	23	26	38	25	32	33	16	19	20	18	18	18
	46	26	27	25	23	22	20	18	20	18	16	15
	25	28	27	25	25	31	19	18	18	18	18	20
	25	21	23	33	36	30	18	15	16	16	18	21
	33	26	22	24	26	26	19	19	16	18	19	19
	27	26	22	28	25	25	18	18	17	18	19	18
	28	26	24	40	34	23	19	17	17	17	18	18
12/02-02	27	28	24	27	31	25	18	19	17	19	19	18
	25	24	28	33	26	40	18	16	18	19	19	22
	28	22	28	28	37	35	18	16	19	20	18	19
	21	26	26	27	28	39	15	18	19	18	20	20
	25	29	25	43	33	38	18	20	16	22	21	20
	28	32	34	26	41	30	20	16	19	19	22	20
	25	37	28	29	31	38	17	19	19	20	20	21
	29	29	38	29	26	38	19	18	18	18	20	22
	25	28	24	32	29	31	16	18	18	22	21	22
12/02-03	24	27	39	28	37	32	16	19	21	20	21	21
	23	26	26	28	30	37	15	19	18	19	21	21
	31	30	30	41	46	37	23	23	20	24	24	26
	38	38	30	43	31	31	20	21	21	23	24	22
	32	26	27	31	37	36	23	19	19	23	23	26
	28	36	33	28	33	39	21	20	24	22	25	24
	33	29	29	44	34	33	23	19	20	27	24	25
	33	30	25	33	29	31	24	21	19	24	22	23
	28	26	32	32	37	32	22	18	23	23	26	24
12/02-04	34	32	33	44	47	40	23	21	24	24	26	27
	30	25	32	34	31	34	24	18	23	24	24	25
	41	26	33	40	31	31	23	19	22	26	23	24
	32	32	47	35	43	42	23	24	28	27	28	27
	39	48	40	37	38	43	26	26	29	26	28	32
	46	35	35	35	38	46	27	26	27	27	27	27
	34	35	40	37	38	37	25	26	27	26	27	26
	42	38	38	41	48	38	25	26	27	31	29	28
	35	42	41	36	38	37	24	28	28	27	28	28
12/02-05	44	47	39	33	39	38	25	28	28	25	29	25
	35	42	43	38	40	42	27	26	29	27	26	30
	31	49	37	39	32	38	21	29	27	28	25	29
	35	35	43	46	31	31	25	25	24	26	24	25
	31	43	31	30	33	34	26	26	23	23	25	26
	34	29	37	34	31	45	27	22	26	25	25	27
	30	37	34	33	32	37	24	25	24	25	24	26
	48	31	34	33	44	38	28	23	26	25	27	29
	39	44	45	40	36	33	23	25	27	25	25	25
12/02-06	30	32	29	33	46	44	24	24	22	23	27	27
	34	33	31	32	34	35	26	25	24	24	25	27
	39	31	33	37	34	35	28	23	24	26	27	28
	43	32	36	34	37	29	25	24	27	27	28	23
	30	33	34	33	44	35	23	27	26	26	27	26
	36	33	37	38	34	36	27	24	26	26	26	26
	41	33	35	32	36	44	28	25	25	24	24	27
	49	45	44	43	41	33	27	26	25	27	28	26
	36	34	35	37	32	37	27	25	26	25	24	25
12/02-06	47	29	35	38	37	34	28	22	26	26	25	24
	33	32	44	39	45	39	26	24	26	30	25	24
	41	32	36	36	33	33	29	24	25	26	25	22
	39	33	34	37	37	30	30	24	25	29	27	22
	38	36	37	35	34	42	27	27	26	29	25	24
	35	37	46	42	36	30	26	26	25	27	26	22

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 2일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/02-07	30	27	28	24	27	26	24	19	20	18	19	20
	33	33	26	25	38	39	22	24	20	19	22	23
	29	28	30	28	34	26	21	21	20	21	23	19
	36	32	27	26	37	38	21	22	19	20	22	22
	39	27	27	28	28	26	23	19	20	22	20	19
	26	28	38	27	24	25	20	19	21	20	18	19
	26	36	27	25	29	25	21	19	20	19	20	19
	33	28	25	29	32	29	24	19	19	20	21	20
	31	36	30	35	28	26	22	22	21	20	21	20
25	29	27	29	31	28	19	21	21	19	23	21	
12/02-08	34	38	42	42	40	38	23	27	31	30	29	31
	40	37	42	42	49	38	30	27	31	36	33	29
	43	52	42	53	60	41	32	33	30	29	35	31
	43	52	39	49	38	47	29	25	25	26	28	34
	38	42	45	40	37	46	26	31	31	27	26	32
	41	41	41	41	37	44	30	30	30	29	26	32
	42	40	41	47	37	37	33	29	29	33	27	27
	40	38	52	41	45	41	27	31	28	31	31	31
	50	37	44	60	45	39	29	29	34	28	30	30
42	41	51	43	45	41	30	29	33	30	34	31	
12/02-09	41	44	40	46	51	43	29	35	31	34	30	29
	38	40	39	40	44	44	28	28	29	29	28	31
	36	42	41	43	51	44	27	30	28	34	25	30
	41	43	40	41	42	40	33	29	32	27	28	29
	56	38	40	42	42	40	32	27	30	30	29	25
	38	40	41	50	36	40	30	29	31	29	26	29
	39	38	39	38	52	42	27	30	27	26	35	32
	41	37	36	40	50	44	27	26	31	29	36	27
	38	35	37	42	50	42	34	24	27	28	33	29
42	44	42	43	48	38	33	32	32	30	28	28	
12/02-10	43	60	42	45	40	43	28	31	27	30	24	28
	45	45	45	43	44	42	30	31	30	28	28	28
	48	41	44	47	51	42	35	25	29	33	25	27
	45	55	50	45	45	44	29	30	27	30	30	29
	45	47	44	41	48	52	30	30	28	25	31	33
	46	40	39	49	43	48	27	27	25	32	27	28
	58	52	46	47	43	41	33	29	30	29	29	29
	56	40	44	48	64	43	29	25	28	34	32	29
	48	44	43	48	46	44	29	30	28	31	33	28
46	44	42	45	53	41	32	28	27	30	29	26	
12/02-11	38	41	42	35	56	40	28	26	33	25	29	27
	42	40	44	47	48	37	28	27	28	24	23	24
	51	41	35	41	60	33	26	29	25	28	27	22
	36	44	36	41	38	32	25	31	27	28	23	21
	56	47	59	42	39	50	28	34	28	26	27	27
	39	40	38	47	42	37	27	25	25	26	28	25
	38	38	45	54	41	50	26	26	23	27	26	25
	39	50	48	51	33	35	31	27	26	25	22	22
	45	44	34	38	35	36	33	30	21	26	23	25
52	40	39	44	39	39	29	26	28	29	31	25	
12/02-12	50	37	37	45	40	34	25	23	25	20	26	23
	36	40	47	50	39	39	23	21	22	27	25	25
	43	38	42	49	40	41	29	24	27	25	23	28
	38	38	40	52	45	37	22	24	26	28	27	27
	33	41	36	48	38	39	21	29	22	25	27	25
	36	38	42	37	41	35	23	23	26	24	30	24
	49	44	41	33	37	42	28	28	27	20	26	28
	49	42	43	53	51	33	24	26	28	28	28	20
	50	49	37	36	38	40	29	24	23	22	27	29
40	46	35	40	42	39	25	23	23	27	29	27	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 2일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/02-13	31	34	30	38	36	36	21	25	21	27	26	21
	33	45	35	38	34	38	25	23	23	28	24	28
	31	47	33	37	37	33	22	26	23	26	27	23
	35	36	38	47	36	45	23	28	29	26	23	22
	35	36	33	32	37	41	25	26	25	24	24	23
	32	44	34	37	39	30	21	24	24	23	28	20
	34	34	32	34	35	42	24	27	23	22	25	28
	33	42	45	32	36	34	23	25	25	24	24	26
	30	33	38	46	36	35	21	24	30	25	26	25
34	31	37	34	36	31	22	25	27	25	27	22	
12/02-14	38	32	36	41	47	42	27	22	23	28	26	31
	41	36	39	48	35	50	31	25	26	25	25	26
	35	41	35	46	37	38	25	27	27	25	28	25
	35	37	49	37	34	38	27	24	25	25	23	27
	34	46	51	36	48	47	24	22	30	25	30	26
	47	45	39	39	38	31	24	21	27	30	30	19
	32	39	40	57	37	41	22	26	30	34	26	21
	49	39	41	45	49	31	29	28	31	24	27	20
	39	32	42	37	38	51	26	22	29	23	25	24
49	39	40	34	44	34	25	25	26	24	22	22	
12/02-15	37	32	29	50	29	41	26	23	19	26	16	20
	31	39	29	34	27	30	23	18	19	27	17	18
	50	29	41	34	26	28	27	19	21	27	15	15
	31	37	38	33	54	32	22	28	24	24	16	22
	38	42	34	40	29	46	23	24	20	29	18	19
	28	33	36	35	29	31	19	25	22	29	16	18
	32	37	33	30	28	30	22	26	21	23	17	18
	28	31	42	43	34	29	19	20	23	22	22	19
	34	29	48	31	46	27	24	18	21	19	21	15
39	31	30	41	29	40	24	20	23	20	18	18	
12/02-16	28	34	49	37	34	30	16	21	18	23	21	19
	41	41	44	37	43	30	17	18	22	24	25	19
	38	43	30	31	50	34	15	27	19	20	28	22
	32	30	27	42	38	35	19	18	15	19	23	22
	40	45	51	31	32	32	19	28	20	20	21	26
	41	42	34	32	32	33	17	21	21	19	20	20
	29	41	35	41	37	32	18	26	20	18	24	18
	44	30	33	31	32	44	23	19	21	20	22	23
	36	29	34	31	31	45	22	17	22	22	18	23
30	29	30	34	43	46	18	19	19	23	21	24	
12/02-17	32	34	38	31	36	34	18	23	22	19	27	21
	46	42	35	32	41	34	24	18	21	20	24	24
	34	44	43	38	54	30	23	20	19	24	21	20
	33	40	45	47	33	36	20	19	20	20	21	26
	35	33	49	32	47	45	22	18	23	20	24	21
	33	48	36	34	35	50	18	23	22	21	21	24
	36	46	30	35	34	44	21	23	18	21	19	30
	40	49	37	33	42	34	25	24	22	23	26	21
	47	30	40	42	33	41	21	19	23	18	18	18
30	37	34	51	40	37	19	23	20	26	19	27	
12/02-18	40	39	55	40	42	40	25	26	20	26	28	27
	51	37	32	38	58	36	27	22	19	24	27	23
	37	43	38	50	54	36	22	30	24	30	27	24
	38	49	34	49	42	42	25	24	19	25	26	27
	47	50	36	34	40	38	21	22	23	23	29	25
	44	38	45	42	49	38	22	24	27	28	28	25
	53	34	42	36	35	56	29	22	25	26	23	24
	49	40	36	50	33	42	25	27	22	25	20	28
	42	50	35	47	36	60	26	27	21	27	24	24
56	35	45	43	41	37	24	22	28	34	27	23	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 2일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/02-19	45	34	39	44	32	36	22	22	25	22	21	23
	38	40	37	37	34	44	28	28	26	25	22	29
	41	42	35	38	38	50	28	30	22	24	25	28
	45	40	41	53	50	38	30	26	28	28	27	26
	45	41	37	47	37	36	29	27	25	35	24	22
	40	40	34	36	38	36	28	27	20	26	29	24
	40	39	52	39	41	42	27	26	27	25	29	28
	34	47	38	38	37	47	25	24	23	25	25	25
	36	56	52	37	42	38	26	21	29	23	28	26
12/02-20	41	33	39	35	36	40	29	20	25	24	24	28
	41	34	38	42	41	44	27	20	27	30	29	32
	36	38	41	46	42	39	23	25	27	30	29	28
	35	38	42	42	41	50	21	25	27	29	32	37
	35	45	47	42	49	40	21	29	31	28	28	30
	41	37	53	50	44	41	28	24	29	28	30	27
	61	39	42	40	38	40	28	29	27	25	27	30
	40	37	42	43	33	45	24	29	28	28	31	35
	43	41	43	55	42	43	27	27	33	33	32	31
12/02-21	36	36	44	41	42	52	23	23	30	26	26	31
	39	44	39	38	46	40	24	31	27	36	32	29
	42	48	43	45	45	47	32	33	33	31	32	31
	40	46	43	47	48	49	26	30	29	31	33	27
	47	44	43	44	47	47	31	30	29	31	34	34
	43	41	40	49	42	44	30	27	27	37	27	29
	58	44	58	41	44	53	30	29	28	29	31	29
	48	41	56	37	46	45	34	25	31	23	33	31
	42	49	58	47	43	48	25	31	34	32	31	33
12/02-22	50	47	47	43	45	40	38	33	34	29	36	28
	48	44	43	43	53	58	33	30	31	31	35	33
	53	56	47	49	43	55	39	35	31	35	30	29
	43	45	49	41	44	49	33	34	36	31	31	36
	41	41	46	47	39	41	30	34	33	36	25	31
	40	45	47	45	38	45	30	33	35	34	28	36
	43	44	49	46	45	45	31	32	36	32	33	31
	39	45	51	44	38	50	27	31	38	33	26	36
	42	47	47	41	40	40	30	33	34	30	31	28
12/02-23	50	43	45	39	40	47	38	31	34	29	30	36
	47	52	40	43	43	46	33	31	30	30	31	36
	43	47	41	41	59	47	35	28	29	27	36	36
	41	56	40	54	42	43	30	34	36	30	31	32
	45	44	48	43	44	49	35	34	37	33	29	35
	47	44	56	49	43	42	35	31	30	33	32	33
	42	39	43	59	57	44	32	28	34	35	31	34
	44	44	38	52	47	42	34	35	28	30	33	31
	43	59	42	53	39	57	32	36	33	32	29	35
12/02-24	46	52	42	46	44	52	33	34	30	31	31	30
	49	54	48	48	39	43	35	41	34	32	29	33
	39	50	40	43	42	40	31	38	32	32	28	30
	56	44	46	43	49	45	35	34	36	33	35	34
	54	54	45	54	42	40	32	34	31	34	29	30
	59	44	52	43	50	47	32	29	29	31	34	34
	49	55	47	47	50	59	31	31	33	34	36	34
	46	56	46	46	44	61	33	33	32	36	30	36
	45	43	46	51	48	53	32	30	31	37	36	31
12/02-24	47	44	45	49	45	56	34	33	35	37	29	34
	49	46	48	49	59	43	38	36	35	35	34	33
	49	46	49	52	53	46	35	32	33	38	38	32
	45	45	45	49	47	53	32	33	31	35	34	37
	41	55	43	47	45	47	28	35	31	36	35	36
44	51	48	46	48	55	29	36	33	32	35	38	

<표 18> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 3일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/03-01	46	51	44	47	46	40	32	35	34	36	32	28
	43	42	46	47	46	43	31	31	36	33	34	31
	55	42	49	40	40	44	31	32	36	29	28	33
	45	44	50	47	47	43	31	32	38	33	40	29
	51	58	42	46	44	49	35	35	34	34	30	34
	51	43	43	49	39	50	38	32	30	34	29	33
	50	45	44	43	49	44	36	34	34	32	33	31
	51	44	39	47	62	40	35	32	28	33	39	28
	44	48	49	53	54	42	31	32	37	35	34	29
12/03-02	52	44	43	44	53	41	37	33	30	34	30	30
	45	42	35	34	38	39	33	29	26	24	26	30
	36	51	37	36	37	40	25	30	23	25	26	27
	42	40	35	51	41	43	31	25	24	28	27	30
	42	40	41	35	48	55	31	27	29	26	30	31
	39	52	34	36	34	43	27	30	24	27	21	30
	43	39	35	43	33	39	34	25	26	33	22	25
	43	37	59	37	36	36	32	26	25	28	28	25
	37	54	39	36	40	45	27	29	28	26	30	30
12/03-03	37	34	39	37	41	45	27	24	23	26	30	30
	43	36	36	43	39	36	30	25	25	28	28	26
	50	38	40	48	39	40	28	29	25	29	28	26
	41	40	37	47	38	58	27	30	28	35	27	26
	40	40	38	44	37	41	28	29	32	34	24	29
	44	37	38	58	40	38	31	29	29	33	27	27
	40	39	38	36	38	40	27	28	25	27	29	29
	37	46	40	41	43	37	25	27	26	34	30	24
	37	54	38	41	40	37	26	33	29	29	29	27
12/03-04	40	45	63	48	36	39	30	34	31	27	24	30
	53	40	38	41	50	44	30	29	27	29	30	29
	38	35	38	46	54	37	26	24	26	30	33	27
	36	36	39	41	50	39	24	23	28	31	28	25
	36	44	51	45	37	36	25	31	28	28	24	26
	40	35	54	36	41	37	27	24	32	26	29	27
	39	49	37	43	41	39	28	28	26	30	26	26
	39	58	43	40	42	50	29	26	27	27	27	26
	36	36	38	42	39	36	24	27	28	28	27	22
12/03-05	36	38	37	38	40	48	25	24	28	25	31	24
	39	38	41	39	43	38	27	28	27	26	27	29
	37	52	41	36	38	39	25	35	28	25	27	27
	36	53	42	41	38	43	26	27	30	26	25	27
	36	32	29	32	34	42	29	22	25	26	22	22
	44	36	33	30	34	29	29	27	23	23	22	21
	34	31	30	33	30	32	23	25	22	22	24	23
	32	34	30	44	34	29	24	28	22	25	23	24
	32	30	33	32	26	31	24	22	25	22	19	22
12/03-06	31	40	34	27	31	31	24	26	27	21	29	22
	34	30	31	32	28	29	28	24	23	25	21	22
	29	35	28	37	29	27	21	26	20	28	21	21
	32	32	36	44	30	30	24	26	25	24	21	23
	30	36	46	31	28	32	23	25	28	25	21	26
	35	36	36	34	34	34	26	27	27	29	28	27
	33	47	34	36	34	32	26	29	28	30	26	25
	38	32	51	35	35	31	29	24	31	25	27	21
	34	36	35	35	37	34	25	28	26	26	29	23
28	39	35	35	34	31	20	27	25	28	30	23	
30	47	34	32	36	35	24	28	26	27	27	25	
34	39	32	32	48	37	25	32	22	26	27	28	
35	33	32	41	32	36	27	27	26	28	24	27	
34	34	32	46	38	39	28	28	24	26	31	31	
48	34	30	35	35	37	30	28	24	28	27	27	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 3일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/03-07	46	35	33	46	43	34	27	24	27	26	24	27
	34	48	30	33	34	35	26	26	22	25	24	24
	34	33	38	29	32	35	22	27	27	21	23	27
	31	38	33	33	49	32	23	30	24	25	28	23
	36	32	30	33	35	33	26	26	22	26	24	25
	47	37	44	34	35	34	29	29	24	25	29	24
	37	36	32	34	47	33	27	28	21	24	28	23
	47	35	38	30	46	49	27	24	27	23	28	23
	44	31	33	30	32	33	25	23	25	22	22	24
35	34	39	32	31	33	28	26	28	26	22	25	
12/03-08	30	33	33	31	33	30	22	22	24	23	24	22
	32	33	37	29	31	30	26	25	27	21	25	23
	33	38	35	30	35	30	24	28	26	24	26	21
	33	46	41	30	37	35	25	27	26	23	30	27
	35	42	29	31	42	31	28	31	23	24	24	24
	29	30	36	38	31	31	23	22	30	29	26	24
	31	32	28	34	33	36	28	24	20	24	25	30
	33	33	28	30	33	30	25	24	21	22	24	24
	27	36	32	34	31	32	19	26	25	27	24	26
35	33	34	30	35	35	26	26	27	25	27	27	
12/03-09	33	36	38	33	32	32	23	28	30	25	25	23
	36	42	38	32	47	38	26	30	27	23	27	27
	36	36	31	32	39	31	24	27	22	24	27	22
	51	37	36	34	42	35	27	25	24	25	22	27
	33	34	33	31	33	36	26	26	25	22	21	29
	30	42	29	30	38	31	24	29	21	23	28	24
	46	35	38	34	34	34	27	25	29	25	27	23
	30	30	33	34	30	47	20	23	25	27	23	27
	46	33	37	42	37	35	26	26	28	32	25	25
33	34	48	33	34	35	27	25	25	25	23	25	
12/03-10	30	29	35	31	35	36	24	22	28	24	28	30
	35	31	30	35	34	32	25	21	23	26	25	25
	32	29	34	33	35	36	24	21	25	27	28	29
	35	33	35	32	32	36	28	31	30	25	25	29
	31	30	33	35	32	34	23	21	25	28	24	26
	31	31	42	47	33	47	26	23	25	28	24	26
	35	31	32	38	36	34	26	26	24	28	28	24
	36	30	34	31	31	35	26	22	25	25	23	27
	34	37	33	33	35	31	24	28	23	26	27	23
12/03-11	32	40	33	34	45	32	25	23	26	24	24	23
	33	39	29	33	35	34	28	29	22	26	28	24
	31	31	31	32	30	32	27	25	25	27	26	23
	39	28	41	29	35	33	31	22	24	22	25	25
	30	29	39	32	30	39	23	24	32	26	25	30
	33	32	33	44	35	41	26	26	24	23	27	24
	32	29	29	34	34	33	27	24	24	25	26	24
	30	32	29	33	43	33	25	24	24	25	25	24
	35	31	37	31	29	32	26	27	28	22	24	24
12/03-12	32	33	33	33	36	35	26	28	28	26	28	27
	33	34	33	37	33	34	28	26	28	28	25	25
	33	37	35	34	39	41	23	27	25	23	27	31
	30	40	31	32	35	36	23	25	21	28	28	26
	39	33	40	32	35	38	23	22	30	23	27	24
	36	34	33	40	37	42	26	26	27	29	27	28
	35	31	42	33	39	31	26	23	31	25	28	21
	31	37	32	35	42	37	24	28	22	29	30	26
	34	35	35	44	31	37	24	25	23	31	23	27
12/03-12	33	33	35	37	34	35	24	31	27	23	25	25
	32	30	40	48	39	33	23	27	29	23	27	26
	35	37	34	38	39	42	24	26	25	27	29	27

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 3일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/03-13	34	36	40	40	37	48	25	24	27	27	25	31
	36	37	34	37	36	41	26	28	28	27	28	30
	38	41	39	30	37	33	27	29	28	22	29	24
	41	36	37	39	30	34	30	28	27	31	23	25
	44	37	41	36	41	45	24	27	30	25	30	30
	42	32	37	30	48	35	28	25	28	21	29	24
	39	49	41	32	35	34	30	34	29	24	26	26
	39	35	39	47	39	34	28	26	27	26	29	25
	37	42	35	37	43	35	28	27	26	30	30	26
35	35	35	36	38	37	26	26	27	29	29	27	
12/03-14	43	38	36	36	35	36	29	28	27	26	26	28
	36	46	35	48	38	34	27	33	27	30	28	26
	41	40	43	36	35	53	29	25	31	26	25	27
	40	42	41	52	36	45	29	28	30	27	24	35
	33	38	34	35	39	42	24	28	26	26	29	34
	40	42	33	34	38	35	28	29	25	24	29	27
	36	39	42	37	40	42	26	26	31	28	29	31
	46	41	38	36	42	45	26	29	28	29	33	35
	34	40	36	41	41	44	22	27	29	31	32	33
44	40	38	36	66	44	34	25	27	29	30	32	
12/03-15	40	43	45	44	42	43	30	33	33	32	33	32
	45	40	49	49	54	39	35	33	38	39	30	28
	47	40	47	43	48	51	34	29	36	32	37	39
	47	47	46	45	52	52	33	33	36	33	38	41
	45	45	50	43	46	56	31	34	38	33	35	31
	43	41	61	49	42	49	32	32	37	37	33	36
	51	45	58	47	43	46	31	33	35	35	34	34
	38	47	45	60	49	49	29	35	34	37	39	36
	40	40	44	43	53	54	30	31	34	33	36	37
43	44	48	65	45	40	33	34	38	35	34	29	
12/03-16	55	47	52	51	48	50	31	36	39	37	35	36
	44	47	46	46	49	51	32	34	35	33	37	38
	41	61	41	59	62	44	30	32	31	36	36	34
	54	47	54	71	48	72	40	35	39	39	35	34
	49	50	54	43	62	63	37	37	33	31	40	35
	45	43	57	47	61	62	34	32	32	34	35	35
	49	49	43	66	50	46	37	37	31	39	36	35
	49	43	70	60	57	51	37	33	37	39	43	37
	52	48	72	42	43	43	38	36	30	29	32	33
44	53	47	50	47	45	33	39	34	38	37	36	
12/03-17	48	50	40	47	59	46	35	40	32	36	37	36
	51	63	42	43	53	68	36	39	35	32	38	35
	67	50	48	47	50	47	40	39	39	36	38	38
	47	44	42	62	54	48	38	33	33	38	38	37
	51	68	40	40	47	58	38	41	33	31	36	39
	44	65	49	50	44	60	36	37	39	39	35	36
	49	46	45	48	49	51	39	36	35	35	35	40
	60	46	46	44	56	49	39	34	37	37	42	39
	58	46	44	56	49	44	44	39	36	34	36	38
52	56	41	44	42	49	42	40	34	36	33	38	
12/03-18	46	48	47	48	51	55	37	41	37	38	41	44
	52	51	60	50	70	66	40	37	42	39	45	49
	53	50	67	53	53	53	43	40	41	44	43	41
	51	57	52	49	56	59	38	43	40	41	42	45
	49	53	47	58	53	69	41	41	37	45	43	46
	53	51	52	59	67	60	43	41	42	43	44	49
	56	51	56	63	58	51	43	39	46	40	44	42
	51	48	47	65	59	54	40	36	38	40	45	45
	49	54	52	71	51	53	36	43	42	50	40	44
54	69	47	60	56	54	40	39	38	43	44	43	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 3일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/03-19	43	47	66	43	47	40	33	35	34	33	34	32
	47	55	49	51	44	53	32	32	36	37	33	38
	41	42	46	44	46	48	32	33	33	33	34	35
	49	42	48	48	47	49	36	31	33	36	35	36
	48	45	45	55	50	46	34	32	33	36	37	34
	45	47	43	44	43	43	34	34	33	34	34	33
	45	43	54	57	48	59	33	34	36	34	35	37
	49	51	45	47	58	53	37	32	34	34	37	36
	58	60	45	48	49	63	34	37	33	35	35	38
46	55	47	47	57	58	34	34	35	34	34	36	
12/03-20	60	50	55	60	51	60	36	35	34	40	39	42
	51	47	61	54	46	60	38	35	39	40	34	39
	56	50	50	61	60	51	40	38	37	37	45	38
	59	62	53	65	62	56	37	39	38	38	43	41
	52	51	61	51	66	61	36	38	36	36	41	43
	45	47	50	50	66	55	34	35	37	37	47	41
	45	58	50	51	53	51	34	35	36	39	40	40
	55	67	67	56	53	61	38	36	39	40	40	37
	57	64	49	52	53	59	35	41	37	38	38	41
54	53	54	50	55	57	39	37	40	37	40	41	
12/03-21	65	57	49	50	50	67	41	41	37	38	38	41
	53	64	53	62	52	67	38	39	39	38	41	43
	54	53	64	52	49	61	40	39	40	38	38	44
	49	47	49	62	59	68	37	38	37	38	43	43
	53	51	57	67	48	60	41	38	40	42	36	42
	54	53	55	51	55	64	40	41	41	38	40	42
	50	47	54	55	64	57	37	38	38	41	41	43
	68	52	51	46	53	60	41	39	39	36	40	44
	54	60	51	51	54	67	38	40	38	38	41	42
63	51	48	54	65	63	41	40	38	41	40	42	
12/03-22	54	52	59	59	52	52	40	39	43	42	41	40
	53	52	59	57	57	57	39	41	42	42	43	44
	64	67	62	54	63	62	40	41	46	41	43	44
	55	56	56	57	60	55	40	41	43	42	44	43
	65	58	50	67	56	51	46	42	38	41	42	38
	65	53	55	59	60	53	41	40	41	43	43	40
	67	52	60	60	53	57	42	41	42	44	42	43
	52	57	67	59	66	64	40	42	41	44	42	45
	54	68	64	56	57	64	41	44	47	42	41	41
65	56	55	62	60	69	41	42	41	44	43	44	
12/03-23	69	64	61	68	57	70	44	47	43	44	43	45
	58	64	60	57	57	69	41	45	45	42	46	42
	57	66	63	66	59	59	41	44	44	45	44	42
	71	66	58	58	63	61	45	42	42	43	45	43
	57	56	64	59	56	60	43	41	45	45	42	45
	71	66	63	59	58	70	42	42	46	49	42	46
	52	70	68	62	58	71	39	44	46	47	43	44
	57	72	60	68	67	63	42	44	42	45	43	45
	55	65	67	60	66	67	40	46	45	44	42	47
72	57	68	57	63	66	46	43	42	44	46	46	
12/03-24	58	67	57	55	66	62	43	48	43	42	41	45
	60	65	69	60	62	65	44	48	43	44	44	49
	59	67	56	57	55	69	44	43	41	43	41	45
	57	60	60	59	63	64	43	43	44	44	44	46
	62	58	68	58	62	66	45	45	48	43	46	47
	61	63	69	69	65	66	45	46	46	44	48	47
	56	64	63	55	61	61	45	47	45	41	46	46
	61	59	56	66	56	60	45	45	42	47	43	43
	58	61	57	63	58	59	44	44	44	44	44	43
67	66	67	61	67	59	46	46	46	46	45	46	

<표 19> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 4일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/04-01	58	69	64	57	58	64	44	44	47	44	43	48
	56	64	72	62	67	63	43	48	46	47	49	46
	66	69	59	70	72	65	47	45	43	44	46	46
	59	64	67	60	55	57	42	47	47	43	41	44
	64	65	63	58	60	71	46	48	46	44	46	47
	64	66	70	68	63	62	47	46	49	49	47	46
	59	60	66	71	65	62	44	45	47	47	46	47
	67	64	56	66	68	66	46	48	41	46	44	44
	61	58	57	86	61	59	45	45	44	46	46	42
12/04-02	61	58	61	65	70	64	46	43	47	47	49	46
	70	76	60	63	59	53	46	48	46	47	44	41
	65	55	64	67	69	57	43	43	47	46	48	44
	66	69	60	62	67	55	45	47	44	48	44	41
	71	62	62	65	55	56	47	47	45	46	41	43
	62	63	62	55	67	54	46	47	44	43	42	44
	62	54	61	58	53	57	44	44	45	44	40	42
	70	55	54	59	84	56	46	43	40	44	48	44
	62	84	65	67	53	57	46	43	46	47	42	45
12/04-03	65	62	59	56	59	56	43	46	45	42	43	43
	57	59	58	61	61	62	44	42	45	46	46	45
	73	69	65	71	76	74	44	47	45	49	53	52
	61	63	73	73	67	74	43	43	44	50	57	56
	62	70	74	71	70	68	44	49	49	48	58	60
	67	64	73	75	73	76	46	45	49	53	51	56
	62	68	62	69	72	74	41	49	44	49	49	57
	72	65	63	69	75	70	46	48	46	53	55	56
	61	60	71	70	73	73	42	41	47	54	55	52
12/04-04	65	72	67	75	70	76	44	45	47	54	55	60
	69	73	66	70	74	71	48	43	45	55	55	51
	68	71	67	74	69	75	46	47	49	52	56	55
	69	67	86	102	90	92	55	60	66	66	66	71
	67	72	91	87	86	97	57	56	63	68	68	72
	73	68	81	85	102	99	57	59	62	65	71	68
	73	68	87	89	96	88	56	59	66	69	67	66
	68	83	110	106	114	97	59	66	69	72	70	68
	68	86	81	95	94	86	57	64	63	70	70	65
12/04-05	68	81	97	112	93	83	59	64	67	68	72	64
	72	93	89	98	93	82	60	68	67	67	67	65
	65	81	90	83	100	87	62	64	68	65	69	65
	64	107	114	87	89	92	59	64	69	66	68	71
	103	89	78	89	93	83	68	70	63	70	68	66
	84	86	85	88	83	111	67	68	68	70	68	75
	74	109	91	88	104	88	61	65	71	72	73	73
	81	86	85	93	87	91	62	67	68	70	71	73
	81	78	86	87	87	93	58	65	68	72	68	69
12/04-06	83	78	96	97	89	86	64	63	76	70	69	68
	80	82	81	117	89	90	61	66	69	72	69	73
	88	87	89	85	97	93	61	66	64	69	71	74
	96	97	80	114	93	84	61	68	68	75	67	68
	111	89	80	94	89	91	64	67	68	70	74	67
	89	91	80	78	71	69	71	65	58	59	57	55
	82	79	74	69	71	81	65	63	60	55	57	55
	82	87	70	74	91	73	67	62	59	60	57	59
	85	84	79	71	71	74	70	61	64	58	57	59
12/04-06	81	79	71	76	73	71	69	63	58	60	57	56
	84	80	78	74	69	69	65	64	61	58	59	57
	94	71	82	77	97	79	63	59	63	61	56	62
	86	80	74	76	85	76	68	61	58	59	57	58
	99	77	70	70	83	90	70	62	59	56	57	60
	83	80	93	74	67	88	63	62	57	56	52	61

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 4일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/04-07	89	81	72	68	68	62	62	62	58	54	49	46
	73	108	98	60	73	57	59	64	67	48	48	46
	78	82	79	59	67	75	62	63	64	47	48	50
	88	89	107	68	76	60	63	65	64	48	47	46
	103	83	76	62	61	59	65	63	61	48	46	47
	85	77	95	61	66	64	64	61	57	48	49	46
	80	100	68	74	74	60	61	63	57	47	49	47
	78	79	70	56	63	61	64	64	55	45	49	48
	87	86	76	66	83	59	59	62	51	50	47	46
12/04-08	67	78	80	67	72	64	44	47	52	51	52	51
	90	60	64	62	71	64	51	45	49	46	47	50
	67	66	62	71	65	68	49	48	46	52	49	44
	78	85	74	79	68	83	50	48	47	54	51	52
	86	64	56	91	60	61	49	48	45	55	48	45
	66	66	69	90	69	57	49	49	52	56	50	43
	54	68	65	101	56	59	43	53	50	53	44	43
	64	69	62	71	62	50	44	51	47	50	47	41
	69	65	63	64	61	53	47	50	48	48	49	42
12/04-09	64	58	64	65	73	70	48	47	48	48	48	46
	57	59	52	33	42	36	43	35	29	24	27	24
	61	57	36	39	37	32	46	35	26	29	27	24
	80	41	38	41	31	35	41	31	28	29	23	23
	71	42	34	49	47	31	42	29	24	28	25	23
	58	40	48	40	47	36	42	29	27	28	24	25
	59	36	33	36	34	36	45	28	25	27	25	25
	58	40	41	33	40	40	41	28	28	24	28	26
	53	46	41	35	34	35	39	26	27	24	23	24
12/04-10	54	38	50	48	32	36	40	29	28	25	24	25
	49	43	56	46	30	40	37	28	28	25	22	26
	31	37	45	38	35	34	22	25	25	27	26	23
	38	34	57	33	38	35	26	24	26	24	26	24
	34	34	35	47	33	35	25	25	25	26	24	25
	31	43	39	37	35	37	23	28	28	26	26	25
	35	32	51	32	37	30	25	22	28	24	28	21
	33	37	32	32	45	34	24	25	23	22	25	25
	38	37	36	32	32	32	27	25	25	24	24	23
12/04-11	56	52	39	57	42	35	25	24	27	24	27	23
	35	32	39	43	36	31	24	23	27	25	25	22
	46	39	38	38	38	32	26	27	27	25	25	23
	38	32	31	30	31	51	24	22	22	21	22	22
	36	32	31	31	29	34	25	22	21	22	21	24
	30	46	29	41	37	35	21	22	20	22	23	25
	35	31	47	31	30	32	23	22	24	21	21	22
	62	30	31	33	28	41	23	21	22	23	20	21
	34	31	38	34	31	34	24	21	23	23	23	25
12/04-12	38	33	45	34	31	34	25	23	23	24	22	23
	56	33	32	35	32	36	22	24	22	24	23	24
	34	30	32	30	41	42	22	21	23	21	21	22
	42	36	32	33	32	31	22	23	23	24	22	23
	31	35	33	31	34	39	23	23	23	22	24	26
	29	36	29	33	36	37	21	24	21	22	24	24
	35	33	46	30	33	41	23	23	24	22	23	25
	36	40	33	36	29	32	25	23	23	24	21	23
	45	32	35	33	35	35	24	24	25	24	24	23
12/04-12	34	44	36	35	35	44	22	24	24	24	26	24
	31	36	30	36	47	37	22	24	22	26	25	25
	31	46	38	43	36	40	22	25	27	24	25	26
	31	46	65	36	30	35	22	24	27	25	22	23
	32	33	32	32	54	36	23	22	23	23	24	25

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 4일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/04-13	33	33	32	32	44	27	25	23	21	22	27	18
	43	29	43	40	30	29	22	22	32	26	22	18
	34	29	31	31	34	33	27	22	23	23	24	22
	38	42	30	36	33	27	27	24	24	28	25	19
	48	32	32	44	29	34	24	26	23	26	20	19
	44	32	35	32	31	33	25	26	26	25	21	22
	35	48	36	34	31	32	28	29	28	26	18	23
	37	33	35	33	27	30	28	26	26	25	18	21
	36	32	28	28	29	29	29	24	20	17	22	20
12/04-14	33	33	32	32	35	30	26	28	23	23	26	23
	23	21	23	23	20	33	19	12	16	15	12	15
	27	23	27	26	37	22	23	16	18	22	19	14
	29	22	25	21	23	24	19	14	18	12	15	15
	28	22	25	20	25	34	18	14	19	13	17	18
	38	27	25	33	20	20	20	17	20	15	13	12
	22	25	23	23	24	22	17	18	19	16	13	13
	21	23	26	23	21	19	15	15	22	15	14	11
	23	22	23	22	23	20	13	13	16	14	13	13
12/04-15	26	35	22	23	43	24	17	17	16	17	17	16
	20	35	25	22	19	23	12	15	18	15	11	15
	38	23	11	12	10	16	16	11	7	8	6	11
	18	15	20	26	12	13	13	12	6	10	10	9
	13	14	14	21	11	12	12	10	9	6	8	8
	14	12	11	12	11	13	12	9	5	7	7	6
	14	14	12	11	12	12	13	13	7	8	9	8
	15	13	13	12	11	11	10	9	8	9	7	6
	14	12	13	15	13	12	10	7	8	11	8	8
12/04-16	14	16	11	37	12	11	11	12	5	9	8	7
	14	14	12	17	14	22	10	12	6	11	7	8
	13	22	11	15	15	10	10	9	8	10	10	5
	12	13	15	12	12	10	7	7	8	6	6	4
	14	12	12	12	15	11	9	6	7	7	8	6
	12	10	33	24	12	24	6	4	8	9	6	10
	13	12	13	12	16	24	7	6	7	8	8	8
	12	15	12	18	12	12	8	8	7	10	7	7
	16	15	13	29	12	11	8	8	8	12	7	5
12/04-17	12	12	43	17	14	12	7	7	10	11	8	5
	12	13	14	13	12	14	7	8	9	9	7	8
	12	14	23	17	11	13	7	8	6	10	5	7
	33	16	12	18	12	12	6	9	6	10	6	7
	8	8	10	8	9	19	5	5	7	6	5	8
	8	8	9	8	23	8	6	5	6	5	10	5
	9	9	9	11	8	9	6	7	5	8	5	6
	11	13	8	11	10	10	8	8	5	6	8	7
	19	11	8	8	28	10	8	6	6	6	6	7
12/04-18	8	9	12	20	12	8	6	8	8	7	8	5
	8	8	8	11	9	9	5	5	5	8	7	6
	10	7	9	8	10	8	8	4	7	5	9	5
	8	15	9	9	10	10	5	9	5	5	7	7
	7	9	11	9	11	9	4	5	8	6	5	7
	10	9	12	12	15	13	6	4	10	6	12	9
	21	11	12	25	15	11	7	5	8	8	12	7
	12	22	13	10	12	11	7	7	8	5	9	7
	21	11	11	22	15	13	7	8	6	9	12	8
12/04-18	12	13	11	13	14	11	7	9	7	8	10	6
	13	22	26	13	14	12	6	9	10	9	10	9
	10	13	11	17	14	11	6	8	8	14	10	8
	10	11	16	27	13	12	6	7	8	17	9	8
	27	20	14	18	15	12	8	6	9	18	12	10
11	13	11	15	13	10	7	10	7	15	10	6	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 4일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/04-19	25	15	16	19	20	18	9	8	10	14	17	11
	15	14	15	16	15	18	7	9	9	10	11	14
	19	14	16	17	21	16	13	8	10	12	14	11
	17	24	24	31	18	17	8	8	9	12	12	13
	15	15	18	26	19	29	9	9	10	13	16	15
	15	16	16	15	17	18	9	9	13	10	12	15
	25	16	16	17	17	19	14	10	10	11	12	15
	18	14	19	24	14	16	14	9	11	12	8	12
	16	13	15	18	17	15	11	7	10	14	10	10
12/04-20	18	17	15	15	15	18	12	12	9	10	11	15
	16	18	17	18	17	17	11	12	14	14	12	13
	20	20	20	16	20	17	16	17	15	11	17	13
	18	16	30	26	25	17	12	10	15	13	11	11
	19	15	27	27	17	16	13	10	12	14	14	12
	20	15	19	17	14	16	13	10	15	13	9	11
	29	19	17	17	15	15	20	12	15	10	9	10
	19	25	15	29	25	16	16	11	10	16	12	11
	19	14	15	18	18	16	16	8	9	14	13	11
12/04-21	24	14	15	17	20	16	18	8	9	14	14	12
	17	14	16	15	15	17	12	9	11	9	9	13
	17	16	16	15	17	19	14	11	14	11	14	15
	19	14	15	16	20	17	12	10	11	11	16	13
	15	18	14	15	16	19	11	13	11	11	13	12
	18	16	16	14	18	17	13	13	12	10	13	15
	16	16	15	17	16	17	12	13	12	12	12	15
	14	18	19	16	16	15	11	13	15	11	13	12
	14	16	16	15	18	37	9	13	12	11	15	13
12/04-22	15	16	18	16	14	18	11	13	15	12	9	14
	16	14	18	18	23	17	11	10	16	15	10	11
	18	17	16	17	15	16	11	13	12	14	11	15
	24	14	16	16	16	13	19	10	13	11	13	8
	15	17	17	17	19	16	12	15	16	12	17	13
	17	16	16	15	30	19	12	12	14	12	16	16
	22	25	16	17	15	14	17	13	13	13	12	10
	26	17	15	16	16	16	13	13	11	13	13	11
	17	20	22	15	14	16	15	17	9	11	10	11
12/04-23	17	15	15	15	15	16	14	9	11	12	11	13
	14	16	15	15	15	16	10	14	10	9	12	12
	16	15	16	17	14	16	15	12	13	14	10	11
	16	17	15	17	17	17	12	16	11	14	12	15
	17	24	17	17	16	27	12	10	14	12	12	12
	19	16	15	17	25	20	14	12	9	11	11	14
	15	16	15	16	32	16	11	11	9	10	11	12
	17	15	14	24	15	16	12	8	8	15	9	12
	16	17	16	28	15	35	12	12	11	11	9	12
12/04-24	17	17	18	20	28	17	12	12	13	13	14	12
	17	19	19	18	16	27	13	14	13	12	11	13
	17	17	19	16	21	20	13	13	13	12	15	13
	16	18	24	17	14	18	11	13	8	11	8	15
	16	17	16	18	16	17	11	12	10	12	12	13
	26	18	18	17	17	19	12	13	13	13	13	12
	16	19	25	17	17	18	12	15	13	13	13	14
	18	17	29	17	16	16	14	14	14	12	12	12
	19	17	17	19	16	19	15	13	12	13	10	14
12/04-24	17	17	16	20	16	19	13	12	11	16	8	15
	42	16	18	20	17	20	16	12	13	15	13	15
	16	25	19	17	27	18	12	19	15	14	13	12
	18	20	16	19	19	18	13	14	12	13	11	11
	20	23	18	19	17	16	16	14	13	15	11	10
16	16	20	27	19	20	10	11	13	12	14	15	

<표 20> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 5일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/05-01	13	15	18	12	18	20	10	9	13	9	13	11
	24	18	25	13	13	18	14	14	16	10	8	10
	12	20	18	14	19	14	9	13	13	11	10	13
	18	18	15	15	16	12	12	13	12	12	11	9
	18	23	35	25	35	15	10	11	12	14	12	12
	18	13	15	14	13	21	10	10	9	11	10	15
	21	13	27	17	18	24	13	10	13	13	10	13
	19	17	29	12	14	17	12	11	11	9	11	12
	17	30	29	15	15	16	11	10	10	10	12	11
12/05-02	21	15	18	18	20	11	13	12	10	10	14	9
	18	37	16	26	15	33	10	13	12	15	11	10
	20	36	19	18	14	15	14	13	12	12	10	11
	12	22	19	18	20	15	8	13	12	9	15	11
	31	36	35	22	19	16	13	13	13	15	14	10
	13	19	16	19	19	20	9	11	11	13	13	13
	19	19	31	20	20	39	12	13	12	12	13	12
	21	19	17	15	16	20	15	13	13	11	12	12
	20	18	25	23	17	16	13	11	15	13	11	12
12/05-03	17	25	14	16	15	36	13	16	10	12	11	13
	20	15	21	21	19	20	13	11	13	16	13	10
	16	15	18	14	22	11	12	8	11	9	13	8
	12	16	13	15	25	14	9	11	10	10	13	9
	19	20	13	16	17	13	14	13	10	12	10	10
	22	17	23	20	12	13	11	12	13	13	10	10
	18	16	14	15	22	17	11	13	11	12	13	10
	14	23	18	16	22	21	9	13	13	9	13	13
	20	16	15	11	20	19	13	12	12	8	11	12
12/05-04	17	13	20	16	14	13	10	10	13	13	12	8
	14	14	16	21	18	14	12	12	11	13	11	10
	22	20	13	17	28	13	13	11	10	12	13	10
	15	21	8	13	11	12	12	11	7	10	8	8
	15	28	21	11	12	13	12	8	11	9	8	9
	12	13	19	9	16	9	10	11	11	8	10	8
	11	11	15	16	9	10	10	9	9	11	8	8
	14	10	30	10	14	10	13	9	9	8	8	8
	13	10	12	19	11	10	9	8	8	13	8	8
12/05-05	13	28	14	13	7	13	11	9	11	9	6	8
	16	9	15	17	9	28	10	8	9	11	6	9
	8	9	13	13	13	14	8	8	8	10	11	9
	11	14	11	16	9	12	9	11	9	10	8	10
	20	14	15	15	20	12	10	9	8	10	11	7
	12	11	28	15	12	11	8	7	7	8	7	6
	31	16	15	12	12	11	8	8	8	8	5	7
	12	18	12	14	33	15	6	7	8	9	7	7
	12	11	12	13	17	12	7	6	7	8	8	8
12/05-06	12	14	22	20	13	15	7	8	9	10	8	9
	15	15	12	15	12	12	8	8	7	8	7	8
	12	21	15	21	17	12	8	13	8	10	9	8
	13	13	10	16	12	19	8	7	6	7	8	8
	16	8	20	12	15	16	8	4	9	8	8	9
	9	9	11	9	11	8	8	7	8	7	8	6
	9	8	9	17	10	11	8	6	5	10	7	8
	8	9	9	8	8	15	6	8	6	7	6	8
	13	10	11	7	9	18	9	9	8	6	8	12
12/05-06	9	10	10	9	8	8	6	8	7	6	7	7
	7	11	9	9	15	7	5	8	7	5	9	5
	9	12	14	18	8	9	8	8	6	8	7	7
	18	6	7	8	12	13	6	4	6	7	7	7
	9	7	17	10	15	11	8	6	8	8	8	8
	12	10	9	9	8	9	8	7	8	7	7	8

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 5일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/05-07	7	9	8	12	11	12	7	6	7	8	9	8
	8	13	8	8	10	14	7	9	7	7	7	8
	10	9	9	9	15	10	7	6	8	8	8	9
	6	7	12	9	8	6	5	6	7	6	8	5
	7	11	9	9	8	5	7	10	8	6	7	3
	11	15	7	30	11	8	8	9	6	8	8	7
	10	13	6	11	12	6	7	9	4	8	10	6
	15	9	9	25	11	14	9	8	6	7	9	8
	6	9	7	16	10	21	4	8	7	8	7	10
12/05-08	29	12	25	8	18	12	8	8	10	8	8	8
	22	7	21	12	11	13	6	6	10	8	8	8
	14	11	12	12	9	17	8	7	8	8	7	11
	11	16	12	7	13	13	8	11	8	5	7	9
	12	11	5	12	11	23	9	8	4	8	8	12
	9	12	14	11	16	36	7	8	8	8	10	9
	9	9	10	9	17	35	7	7	6	5	8	9
	14	11	13	15	23	9	8	7	8	8	13	8
	8	16	14	9	12	8	7	9	8	7	9	7
12/05-09	10	11	10	13	10	11	8	7	8	8	8	7
	8	8	14	7	10	12	7	7	8	5	8	8
	17	18	15	23	14	11	7	11	9	10	10	5
	23	12	13	25	13	15	10	8	7	8	7	10
	14	12	12	13	15	10	9	8	8	8	8	7
	15	15	18	10	15	12	8	8	8	6	8	8
	17	14	23	30	13	26	9	9	10	8	8	10
	13	12	12	15	14	10	8	8	8	11	9	7
	14	22	19	31	12	18	8	12	8	8	8	9
12/05-10	12	24	12	10	10	17	8	11	8	6	6	8
	13	15	16	27	15	13	8	8	8	11	9	8
	14	14	15	18	14	15	9	7	8	10	8	8
	17	11	17	19	14	19	9	6	8	9	8	11
	19	13	12	9	12	15	9	8	7	7	7	9
	12	9	16	10	10	16	7	7	9	8	8	9
	12	11	12	19	8	16	7	8	8	8	5	8
	16	10	9	12	15	10	8	8	7	7	7	8
	14	13	18	10	10	19	8	8	8	8	7	9
12/05-11	17	9	21	11	15	12	8	6	7	8	8	8
	13	9	15	14	10	21	8	6	9	7	7	8
	15	10	12	15	9	15	10	7	7	9	7	7
	15	10	9	8	15	22	8	7	6	5	9	12
	13	14	16	16	13	20	9	10	12	12	9	14
	13	15	13	13	11	18	9	13	8	10	6	11
	19	18	13	13	18	13	12	15	8	10	11	8
	16	29	13	16	13	14	12	12	8	12	8	9
	15	16	15	16	13	14	12	10	10	10	9	10
12/05-12	17	13	13	14	20	15	13	8	8	10	13	10
	19	14	18	12	14	18	12	12	12	8	9	10
	12	14	15	13	13	20	8	8	9	9	8	13
	17	15	15	14	15	13	11	10	11	8	12	8
	15	18	13	19	15	14	11	10	9	12	11	8
	14	28	26	31	36	16	9	10	10	13	12	12
	13	14	14	21	16	16	8	8	9	14	10	12
	15	13	17	14	14	17	9	8	11	10	10	11
	14	16	17	16	31	14	10	10	12	12	15	9
12/05-12	16	16	14	14	19	14	11	10	10	10	15	10
	18	14	17	17	16	20	12	9	9	9	11	11
	20	18	14	23	16	16	11	12	10	12	10	11
	17	18	15	18	16	17	9	14	9	12	12	14
	14	18	16	19	17	25	8	11	10	15	13	11
	30	14	16	16	14	18	11	8	10	10	10	12

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 5일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/05-13	19	28	15	27	15	18	13	12	10	11	8	12
	29	17	21	16	16	20	11	13	14	10	11	14
	14	16	16	19	17	23	8	11	11	14	12	14
	27	19	17	16	41	31	11	14	12	11	15	13
	15	16	29	16	14	14	9	12	14	11	7	8
	14	17	29	17	18	17	9	13	12	11	14	10
	14	18	16	19	17	27	8	13	10	13	12	12
	17	17	16	23	17	17	11	13	10	17	12	11
	28	16	29	20	14	28	10	11	12	15	8	13
12/05-14	16	17	18	20	15	16	12	11	11	10	8	12
	17	28	16	20	16	27	13	12	10	15	11	10
	15	17	15	33	18	19	9	10	7	14	12	13
	17	17	15	29	16	15	11	11	9	13	10	9
	16	19	19	19	16	16	12	13	11	12	11	10
	16	22	20	18	19	17	9	15	13	10	11	11
	20	22	29	31	20	14	12	12	13	15	13	7
	16	16	25	15	16	15	11	9	16	10	10	8
	18	15	19	27	17	18	12	9	16	15	11	11
12/05-15	20	15	23	27	16	16	14	10	14	14	10	9
	19	30	20	33	34	19	13	11	14	14	13	11
	18	17	18	16	20	20	11	11	14	9	13	14
	16	18	39	23	21	22	10	13	11	16	14	12
	20	20	16	16	28	20	10	11	10	10	13	13
	19	16	29	21	23	20	10	10	12	13	16	15
	18	18	18	16	21	20	10	11	12	9	14	13
	17	17	28	15	16	28	9	11	9	8	9	11
	17	18	17	18	24	19	11	11	12	11	17	13
12/05-16	17	31	33	35	17	16	9	16	12	16	12	9
	18	29	20	18	20	18	11	13	12	13	12	12
	17	18	26	21	24	18	10	10	10	15	14	10
	16	17	15	17	18	16	12	12	10	11	12	10
	23	21	15	13	15	14	13	12	10	7	10	9
	34	20	15	19	13	18	14	14	11	13	7	14
	16	16	15	17	19	15	13	11	8	12	11	10
	17	16	19	15	15	17	12	12	13	10	10	12
	16	21	15	13	19	17	11	14	11	7	13	11
12/05-17	16	18	15	16	18	19	9	12	10	12	12	12
	15	15	16	16	18	17	10	10	10	10	13	14
	17	16	16	19	19	15	11	9	12	12	15	9
	16	19	16	25	20	16	11	12	10	8	15	13
	21	20	19	19	16	17	13	14	10	11	10	9
	27	16	18	15	15	19	11	12	9	9	8	12
	17	21	18	19	26	16	12	13	11	13	9	11
	20	16	18	19	20	22	12	11	12	11	11	11
	20	19	29	15	16	16	11	14	14	10	11	10
12/05-18	15	16	21	16	15	16	10	11	13	12	9	11
	24	16	16	17	33	18	17	10	10	10	13	11
	16	28	24	15	16	33	11	11	13	10	10	14
	20	33	18	16	20	14	15	15	11	9	10	8
	21	21	28	16	16	14	12	13	14	9	11	8
	16	16	22	16	23	18	9	9	16	9	17	15
	16	30	29	21	27	19	11	11	15	13	20	14
	17	14	30	16	19	32	9	9	16	12	14	13
	19	15	17	14	19	19	11	11	13	9	14	15
12/05-18	14	17	29	15	18	33	10	12	13	10	12	16
	17	16	20	15	19	24	11	9	13	10	14	17
	16	15	19	17	18	19	9	8	15	13	15	13
	16	17	16	17	18	32	10	10	12	14	14	20
	18	14	17	22	29	21	10	9	12	13	14	17
16	27	16	17	21	17	11	11	11	14	14	14	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 5일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/05-19	27	27	25	24	26	28	17	26	19	17	18	17
	26	25	23	30	28	23	18	16	18	22	18	16
	28	25	30	29	23	24	20	18	19	21	17	17
	25	26	26	30	23	35	19	16	16	20	17	18
	23	23	34	31	23	25	17	17	17	22	18	19
	34	23	24	29	25	31	24	18	18	18	18	20
	21	24	27	31	27	33	13	15	19	22	20	17
	21	24	25	24	22	23	14	18	18	18	16	14
	23	33	28	24	42	28	14	14	17	16	24	22
12/05-20	30	25	27	25	23	27	21	16	22	19	17	20
	25	30	40	29	26	26	17	24	22	20	19	18
	27	34	27	30	32	29	19	25	19	19	25	22
	24	41	32	39	31	31	16	21	21	21	24	21
	25	25	30	34	28	27	16	18	20	20	23	17
	27	30	32	28	26	26	17	23	27	19	20	17
	23	32	29	25	36	29	15	26	19	18	24	21
	30	26	29	33	34	31	22	18	19	26	24	21
	37	27	32	29	30	29	28	16	19	20	24	21
12/05-21	29	25	27	26	32	32	23	18	19	18	24	23
	31	29	29	27	31	32	26	17	21	19	21	23
	23	25	26	24	21	24	17	18	16	17	13	20
	23	27	22	36	23	27	15	19	16	19	17	19
	27	27	29	26	35	24	19	20	21	20	18	17
	24	27	30	24	28	25	17	22	18	16	21	18
	26	24	23	22	35	27	17	19	15	16	18	20
	26	24	21	25	23	27	17	17	14	18	16	19
	24	27	24	32	25	22	17	19	16	19	16	16
12/05-22	27	27	22	24	29	25	21	17	16	16	19	18
	22	24	25	26	29	24	13	17	18	19	18	17
	25	34	27	23	24	31	18	19	19	15	19	22
	27	37	30	27	39	38	19	19	19	21	17	18
	26	26	29	38	28	27	17	18	16	19	17	16
	29	26	25	27	41	27	17	16	16	19	21	19
	31	27	30	31	31	30	17	17	18	19	21	19
	27	31	27	27	29	27	20	21	17	17	17	19
	31	30	39	30	39	26	19	22	19	20	19	17
12/05-23	34	32	25	38	26	27	16	20	17	18	18	18
	30	26	27	30	29	33	22	19	18	19	17	21
	35	27	26	29	25	27	16	19	16	16	17	17
	30	28	30	41	26	26	19	17	21	26	16	17
	32	25	21	29	22	26	19	18	15	14	17	17
	23	21	18	30	20	18	17	17	11	15	15	9
	25	19	21	16	16	16	18	14	16	11	10	11
	19	17	19	16	18	32	15	11	14	11	11	14
	19	24	20	18	18	16	16	17	13	12	11	9
12/05-24	20	22	32	22	17	21	16	19	16	13	13	14
	18	18	20	18	17	20	14	15	13	14	12	15
	25	24	19	18	21	28	18	15	14	12	15	14
	30	18	20	21	23	31	15	13	13	14	13	12
	20	18	22	19	16	17	16	14	16	12	11	13
	17	17	29	18	28	29	14	13	15	14	12	11
	19	15	26	16	14	15	16	11	13	13	8	10
	21	27	26	15	18	17	19	11	18	11	14	13
	35	18	22	17	17	21	20	15	15	15	13	15

<표 21> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 6일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/06-01	18	16	21	31	20	22	15	11	12	14	16	17
	16	17	19	21	20	22	11	12	12	15	14	17
	27	21	19	19	22	30	13	15	14	12	20	14
	17	29	18	17	22	20	13	15	13	13	20	14
	18	25	19	20	21	21	13	18	15	17	16	15
	27	23	20	19	22	20	13	15	17	13	14	16
	19	16	16	20	19	23	16	12	12	16	15	17
	21	21	20	21	17	17	14	14	16	17	13	13
	16	18	18	20	23	21	10	14	13	16	18	16
12/06-02	20	16	22	21	19	16	14	11	14	15	17	12
	16	19	20	19	21	21	11	16	16	13	14	15
	21	36	37	28	19	19	14	16	12	13	13	15
	21	24	19	17	18	16	14	13	15	13	14	11
	19	18	17	21	21	22	15	14	12	14	15	17
	20	19	34	20	16	23	14	15	15	16	10	16
	21	18	16	20	33	19	15	14	11	14	15	15
	20	32	16	19	17	21	13	16	11	15	11	15
	21	20	24	20	17	20	15	16	15	14	13	13
12/06-03	19	17	17	34	31	22	16	12	13	15	14	18
	22	23	18	29	18	17	17	16	14	16	14	13
	17	17	17	18	21	18	13	13	12	12	16	14
	24	32	18	20	23	17	17	15	11	16	16	11
	19	30	18	21	23	17	13	13	14	16	19	13
	17	18	23	18	17	27	12	14	17	14	12	19
	18	19	29	21	23	19	12	14	15	16	14	13
	20	20	17	20	17	25	14	16	10	17	13	18
	16	17	17	19	20	18	12	10	12	13	15	15
12/06-04	25	19	19	33	21	26	15	14	15	21	16	16
	17	22	18	19	27	23	11	15	14	14	20	17
	19	17	22	20	33	21	14	13	15	17	15	15
	32	19	19	19	22	21	20	10	14	12	16	16
	20	20	21	22	18	32	14	15	13	15	11	17
	23	35	17	18	23	19	17	19	11	12	17	14
	18	17	31	20	19	21	12	11	14	16	14	15
	23	19	23	21	23	21	17	14	18	13	16	16
	19	20	20	17	20	32	15	16	16	11	16	16
12/06-05	23	22	20	20	22	26	17	15	15	15	15	17
	27	23	21	26	22	19	15	17	16	15	13	14
	22	21	18	23	19	29	17	16	13	17	13	19
	18	38	24	20	18	23	13	19	18	15	12	18
	21	20	26	20	19	30	14	15	18	15	15	16
	20	20	22	21	20	20	16	15	16	15	18	15
	18	20	26	21	20	21	14	13	18	16	15	17
	25	21	31	22	18	34	20	17	15	14	14	18
	23	24	19	23	30	22	18	20	15	14	17	16
12/06-06	23	22	21	22	25	20	18	17	15	16	20	15
	17	21	24	19	25	21	12	18	17	13	18	16
	21	18	22	20	20	23	15	14	16	15	15	20
	18	20	18	20	18	22	13	16	14	14	13	18
	19	19	22	25	20	20	14	15	17	18	13	16
	22	24	22	22	24	23	17	18	17	15	14	17
	27	24	24	25	21	20	19	17	16	19	16	12
	23	23	24	22	22	25	16	17	19	16	14	15
	23	24	24	24	22	25	16	19	16	16	15	21
12/06-06	20	21	25	22	22	25	13	16	16	16	17	19
	22	36	23	19	24	21	18	19	17	10	19	15
	25	24	24	31	26	25	19	18	16	18	18	17
	22	23	22	36	22	22	16	17	15	19	16	15
	26	22	30	23	22	23	18	17	22	15	17	16
	27	27	25	22	24	22	18	21	19	16	17	17

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 6일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/06-07	21	24	21	21	22	23	15	17	15	17	15	15
	21	25	24	22	24	26	15	18	17	15	17	18
	21	33	23	23	22	21	14	17	18	18	16	16
	24	20	22	21	32	26	19	15	15	17	17	17
	21	25	34	22	23	23	16	20	19	16	16	16
	21	21	22	27	37	25	14	16	16	21	20	18
	20	19	22	24	26	21	14	13	18	19	17	16
	21	22	21	21	19	22	15	16	16	16	12	16
	21	25	22	33	21	25	15	18	18	19	14	18
12/06-08	37	23	29	21	22	21	21	17	20	17	18	14
	22	22	25	27	35	20	15	16	20	19	25	14
	22	23	23	22	26	25	17	17	17	16	19	21
	25	22	26	24	28	31	21	16	19	21	21	23
	22	24	28	36	24	25	17	19	21	20	19	20
	23	25	22	27	24	24	19	19	16	22	19	18
	28	27	21	28	20	38	19	21	16	22	15	18
	22	26	21	23	22	26	17	19	16	17	16	23
	26	27	22	25	24	28	20	21	18	20	19	24
12/06-09	24	21	22	22	25	23	18	13	15	16	18	20
	24	23	25	24	28	24	19	17	18	16	22	19
	28	24	28	27	27	27	21	17	24	22	20	20
	25	24	26	26	24	31	17	20	18	21	20	22
	26	27	29	24	28	40	18	20	25	19	21	22
	31	29	29	29	27	42	22	23	24	21	22	23
	26	28	27	23	25	26	19	21	19	18	18	21
	26	25	29	30	27	25	20	20	19	23	22	19
	25	25	25	29	32	29	18	18	18	22	22	23
12/06-10	25	28	24	28	30	26	19	18	19	21	23	20
	23	28	23	30	28	27	18	21	17	23	21	19
	23	27	25	24	38	28	16	22	22	19	21	24
	27	33	34	34	33	35	15	22	21	24	23	24
	31	30	31	38	28	30	19	18	21	25	19	22
	36	28	44	31	31	29	22	19	24	22	22	21
	48	29	33	33	35	30	27	18	21	21	26	22
	32	32	31	33	34	35	19	25	24	23	22	26
	28	33	33	35	31	36	19	22	24	24	19	23
12/06-11	32	37	41	33	31	33	23	24	19	26	21	21
	30	34	32	31	30	30	23	25	21	24	20	22
	28	34	29	35	42	32	19	25	20	26	27	22
	28	45	32	30	33	33	18	24	22	22	22	22
	31	30	30	32	29	41	24	22	21	20	20	23
	30	29	28	32	43	38	24	20	18	24	23	24
	38	29	34	28	28	40	25	20	25	22	19	21
	30	31	34	30	34	29	22	23	24	22	25	23
	33	31	32	28	32	31	23	21	22	19	22	24
12/06-12	33	29	28	29	29	29	23	21	21	20	21	20
	31	29	28	32	28	38	21	18	22	22	21	27
	39	32	29	40	31	32	29	24	23	22	23	23
	31	35	34	32	31	34	23	24	24	24	23	25
	28	30	29	29	43	31	20	22	20	21	24	22
	43	26	29	29	31	38	26	19	24	22	25	22
	30	26	41	28	29	28	21	21	24	21	25	21
	26	26	29	32	29	25	19	19	25	26	20	19
	28	24	27	28	32	26	21	18	20	23	27	20
12/06-12	29	40	26	26	30	30	21	21	20	21	27	21
	30	29	36	28	27	26	25	22	20	22	23	19
	28	29	40	44	28	27	22	22	23	28	22	20
	28	27	32	26	30	28	20	21	24	20	24	23
	30	25	29	32	30	29	23	20	24	26	23	22
24	27	32	41	30	26	17	23	26	23	24	22	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 6일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/06-13	31	34	32	32	32	31	23	23	25	25	22	23
	31	33	32	33	31	35	20	22	25	25	21	28
	36	34	42	35	33	36	23	26	24	26	24	26
	31	45	33	29	30	33	23	26	24	22	23	27
	29	29	36	34	33	33	22	20	27	26	24	24
	47	32	29	31	29	34	24	22	21	22	20	27
	33	40	28	35	31	34	24	22	20	25	24	24
	30	34	28	42	34	35	22	25	21	23	26	26
	30	33	36	30	43	27	23	25	28	22	26	19
12/06-14	42	33	31	30	32	41	25	24	23	23	25	22
	32	31	32	30	30	36	24	23	26	24	21	28
	29	31	37	42	41	31	20	22	27	22	23	23
	30	30	44	31	31	31	21	24	25	23	22	23
	29	45	32	31	35	35	23	29	26	23	27	25
	29	32	36	30	49	47	22	25	28	23	27	26
	44	37	34	34	29	44	25	29	28	25	20	23
	41	34	30	31	40	40	23	26	22	26	20	28
	30	31	31	33	32	30	22	24	23	23	24	25
12/06-15	34	32	32	30	45	44	28	27	25	22	27	25
	34	38	29	33	32	31	26	26	20	22	21	23
	27	26	45	26	22	22	23	20	24	19	14	13
	30	31	28	31	26	23	24	23	22	20	14	11
	33	30	42	27	23	23	24	25	24	19	13	13
	29	32	32	27	22	40	24	22	24	18	14	17
	30	29	27	26	23	25	23	22	23	19	13	14
	28	26	30	25	28	24	22	18	22	19	15	15
	30	31	25	37	24	23	27	21	18	18	15	12
12/06-16	30	31	31	26	39	24	21	28	23	13	18	16
	31	45	42	20	24	22	25	27	24	10	15	12
	30	31	40	44	25	26	21	22	23	14	15	17
	25	37	24	30	23	18	17	19	16	15	16	13
	19	19	22	37	20	22	15	15	16	19	15	16
	21	19	28	34	23	24	13	12	19	17	18	16
	19	20	23	21	20	22	14	14	16	15	17	16
	22	23	19	20	26	22	15	17	13	14	21	16
	17	20	20	17	21	20	12	14	14	12	16	13
12/06-17	24	20	23	19	26	24	15	17	17	12	17	19
	22	20	22	22	33	23	13	14	15	18	16	15
	19	21	20	19	18	22	12	13	14	13	13	16
	17	28	19	19	22	31	11	17	15	14	18	15
	37	37	23	25	36	24	17	20	14	19	15	16
	24	25	24	23	47	26	14	19	16	15	17	17
	28	34	24	26	21	26	16	16	17	20	13	18
	23	23	32	23	24	23	17	14	21	14	16	16
	30	22	29	24	25	25	21	14	19	17	19	16
12/06-18	22	23	29	38	24	26	13	17	21	19	16	19
	37	40	39	25	23	28	18	20	22	17	14	19
	33	28	37	35	26	28	15	17	18	19	19	19
	45	31	24	24	23	26	15	19	17	16	17	18
	21	28	30	28	29	29	13	20	22	20	19	19
	25	25	28	25	24	25	18	19	19	17	17	19
	26	28	37	25	20	26	18	16	19	19	14	19
	26	33	23	26	38	22	19	18	16	22	18	17
	25	36	24	25	26	22	19	19	20	19	19	16
12/06-18	26	26	23	23	25	22	17	18	16	19	18	16
	25	33	24	23	27	23	17	16	17	17	21	19
	24	35	36	33	26	24	16	19	18	18	19	18
	22	43	26	26	24	24	17	17	20	20	18	19
	27	22	27	26	24	24	21	17	19	21	17	18
25	29	27	21	30	26	17	20	19	15	20	19	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 6일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/06-19	26	23	20	24	26	25	23	16	15	19	22	20
	30	21	20	22	29	25	20	15	14	17	24	20
	26	20	25	23	25	20	20	14	19	18	20	14
	22	23	21	24	24	25	16	17	16	18	19	19
	29	21	28	23	30	24	21	16	20	19	23	19
	25	25	20	29	28	25	17	18	15	24	22	23
	35	25	22	30	27	28	20	19	17	23	20	23
	22	22	25	24	23	26	18	17	21	21	16	25
	34	23	21	26	22	24	18	16	16	21	17	18
25	21	24	27	35	22	18	15	19	20	22	18	
12/06-20	25	27	27	28	42	32	18	22	20	22	27	24
	33	37	28	29	28	30	27	28	19	26	23	25
	32	30	25	34	30	27	23	23	18	28	24	23
	32	29	25	30	29	31	23	23	18	22	23	24
	28	34	28	31	30	43	23	25	24	24	24	26
	43	28	28	32	29	33	25	22	20	27	23	25
	33	29	32	43	28	29	27	22	21	27	23	21
	31	28	30	42	38	26	26	24	23	23	28	19
	34	29	32	27	32	31	27	23	24	22	28	25
29	29	31	32	28	29	24	23	25	26	22	24	
12/06-21	34	32	27	25	28	47	25	25	23	18	23	29
	26	31	27	28	30	30	22	26	23	22	26	28
	29	27	27	28	31	35	25	23	23	23	24	30
	27	30	31	29	26	31	22	23	24	23	20	29
	34	27	30	32	25	29	26	21	22	23	20	26
	29	31	29	29	34	29	24	23	25	22	25	24
	31	26	34	28	29	31	25	21	28	24	24	25
	29	30	28	28	27	31	24	26	24	25	23	26
	27	27	27	27	34	28	24	21	22	23	30	25
27	30	26	27	43	32	23	25	21	21	30	27	
12/06-22	34	31	33	33	31	33	28	26	26	29	26	27
	33	34	33	37	50	33	28	28	25	28	32	28
	36	44	36	36	33	42	27	28	30	28	30	32
	30	34	34	38	39	34	25	28	29	29	30	29
	36	36	29	36	39	33	30	32	22	29	31	26
	32	33	36	36	36	31	26	27	31	26	31	26
	34	38	32	34	33	34	28	30	24	29	27	27
	37	31	40	36	33	37	29	25	32	31	27	30
	32	36	42	40	33	34	27	29	34	30	27	25
31	34	33	35	34	32	24	27	27	28	27	27	
12/06-23	34	37	34	36	46	37	25	29	26	28	28	29
	36	54	39	32	35	37	30	36	29	25	30	32
	35	43	51	37	51	38	29	39	30	29	33	31
	36	47	38	34	40	39	26	38	29	28	31	29
	35	38	34	35	35	33	28	34	27	30	28	24
	39	34	35	35	34	36	29	28	30	28	28	28
	35	38	36	33	36	35	28	32	30	25	27	29
	40	36	39	34	38	34	31	27	28	27	32	28
	32	38	37	38	35	36	26	29	29	30	30	27
40	34	31	37	37	38	35	28	24	30	32	31	
12/06-24	40	39	52	39	41	44	31	31	33	32	34	34
	42	40	42	42	43	44	31	28	31	32	36	36
	65	37	43	49	44	52	34	30	32	37	36	39
	40	39	39	39	40	38	29	28	30	29	33	32
	40	40	38	41	48	44	28	30	27	34	39	33
	39	38	39	46	44	44	31	30	29	33	38	33
	34	39	39	41	43	41	25	30	29	31	35	34
	40	55	40	44	42	59	31	32	31	36	31	33
	40	41	38	37	43	54	29	33	29	29	36	37
42	40	41	41	44	43	34	32	32	32	38	31	

<표 22> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 7일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/07-01	40	48	39	45	42	39	29	37	30	33	34	30
	43	42	45	41	61	44	37	36	36	33	36	32
	39	42	42	45	51	43	30	33	31	33	35	34
	47	43	45	42	47	38	40	36	36	34	34	29
	45	40	46	48	56	40	32	30	36	39	34	32
	44	46	42	49	39	46	32	35	36	38	28	35
	47	46	46	45	40	45	37	35	35	32	33	34
	44	47	42	41	44	44	37	35	33	32	37	34
	45	50	45	51	44	41	32	38	33	32	33	34
12/07-02	49	43	44	42	68	44	36	33	35	32	36	34
	47	47	46	50	47	49	38	39	38	38	39	40
	46	47	47	46	47	51	38	39	39	38	39	40
	47	47	47	47	47	48	39	39	38	39	39	40
	49	47	51	46	47	50	38	39	39	38	39	40
	46	47	46	46	47	49	38	38	38	38	39	40
	47	48	47	46	49	49	39	39	38	38	39	40
	46	47	49	49	48	49	38	38	38	39	39	40
	46	47	46	50	48	51	38	39	38	39	39	41
12/07-03	48	47	46	47	51	54	39	38	38	38	39	42
	48	47	48	51	47	54	39	38	39	39	39	43
	52	57	56	53	53	50	42	45	44	43	43	41
	54	59	54	53	55	52	43	46	43	43	42	42
	57	57	55	54	51	51	43	46	44	44	41	42
	53	59	56	54	52	52	43	47	44	43	41	42
	60	60	59	56	54	51	44	47	44	44	41	42
	59	59	55	54	54	56	44	46	44	43	42	43
	57	57	57	54	51	51	43	45	43	43	41	42
12/07-04	56	56	55	56	52	51	45	45	44	44	42	42
	61	57	58	54	57	53	45	46	43	43	42	42
	60	56	53	52	52	51	45	44	43	42	42	42
	52	54	64	57	55	53	42	44	45	45	44	43
	51	59	55	56	55	52	41	44	45	45	44	42
	50	54	56	62	53	52	41	44	45	45	43	42
	52	59	56	61	54	53	42	45	45	44	43	43
	52	58	57	54	53	53	42	44	45	44	43	42
	52	55	55	55	55	54	43	44	44	44	43	43
12/07-05	53	56	59	56	52	53	42	45	45	44	42	43
	58	58	62	55	51	54	44	45	45	44	42	43
	58	57	59	59	51	52	44	45	45	44	42	42
	54	56	63	56	54	52	44	44	45	44	43	42
	53	51	50	51	55	53	42	41	41	42	43	43
	50	52	51	52	55	53	41	41	41	42	43	43
	56	51	50	53	54	54	43	41	41	42	43	43
	54	51	51	51	57	55	43	41	41	42	43	43
	51	49	51	53	55	54	42	41	41	43	43	43
12/07-06	54	51	52	56	55	55	41	41	41	43	44	44
	51	49	52	54	52	52	41	40	41	43	43	43
	49	49	51	54	54	55	41	40	41	44	43	44
	51	50	52	54	54	54	41	41	42	43	43	43
	51	51	51	53	52	54	41	41	42	43	43	44
	54	58	53	54	51	53	43	42	43	43	41	41
	53	54	55	53	51	51	43	43	42	42	41	41
	53	56	55	53	52	52	43	42	42	42	42	41
	57	51	54	53	50	53	43	41	42	41	41	41
12/07-06	57	60	53	53	53	54	43	42	42	41	42	41
	51	52	52	55	51	50	42	42	41	41	41	41
	51	54	52	50	52	50	42	42	42	41	41	41
	55	55	52	51	54	51	43	42	42	42	42	42
	57	52	52	51	51	54	42	42	42	42	42	41
	53	52	53	50	51	51	42	41	42	41	41	41
	53	52	53	50	51	51	42	41	42	41	41	41

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 7일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/07-07	50	50	54	53	54	50	41	41	41	42	43	41
	51	52	52	50	51	51	41	42	42	41	42	41
	56	53	51	52	52	51	41	42	41	42	42	42
	52	50	53	52	53	52	42	41	42	42	42	42
	51	52	51	53	53	51	41	42	42	42	42	41
	50	52	51	59	56	52	41	42	41	42	43	42
	51	51	53	51	51	52	41	41	42	42	41	42
	50	50	51	52	52	52	41	41	42	42	42	42
	51	50	51	52	52	59	41	41	42	42	42	42
12/07-08	52	52	52	52	51	51	42	41	42	42	42	42
	50	53	52	56	53	54	42	43	43	43	43	44
	52	53	53	55	53	54	42	42	43	43	43	44
	52	52	53	54	52	55	42	42	43	43	43	43
	51	52	53	54	53	56	42	41	42	43	43	43
	54	52	51	54	53	53	43	42	42	43	43	43
	52	52	53	53	55	55	42	42	42	43	43	44
	54	53	56	51	54	54	43	43	43	42	44	43
	53	53	58	56	54	55	43	42	43	43	43	44
12/07-09	55	55	52	56	57	54	42	43	42	43	43	44
	53	52	52	58	54	54	43	43	42	43	43	43
	54	59	54	54	57	58	43	44	43	43	43	44
	53	56	54	56	53	56	43	44	43	44	43	44
	54	54	57	53	53	54	43	43	43	43	42	44
	53	55	54	56	55	54	43	44	42	44	43	44
	54	53	54	54	54	60	43	43	43	43	43	43
	54	53	55	60	55	54	43	43	43	44	43	43
	55	55	59	54	53	55	43	44	43	43	43	43
12/07-10	54	53	59	54	56	54	43	43	44	43	44	43
	55	54	57	56	57	53	43	43	43	43	45	43
	55	52	56	55	54	55	43	43	43	44	43	44
	56	54	54	54	52	54	43	43	43	43	42	43
	54	55	54	55	54	54	43	44	44	43	43	43
	53	56	52	53	52	52	43	45	43	43	42	42
	54	53	54	59	54	54	43	43	43	43	43	43
	54	57	53	53	53	53	44	43	43	43	43	43
	56	54	54	54	54	53	44	43	43	43	43	43
12/07-11	53	55	57	55	53	58	43	44	43	43	42	43
	54	54	54	55	58	52	43	43	43	44	42	42
	58	55	57	53	52	54	44	43	43	42	42	43
	55	55	54	53	57	54	44	44	43	43	42	43
	80	70	74	70	69	69	53	51	51	52	52	52
	73	70	75	71	69	67	52	52	52	52	52	51
	71	70	70	72	73	69	53	52	52	52	52	51
	69	72	79	69	71	68	52	52	52	52	53	51
	71	69	69	71	69	69	52	52	51	53	52	51
12/07-12	74	69	68	69	73	70	52	51	51	51	52	52
	70	72	70	69	70	78	52	52	52	52	51	52
	70	68	69	79	69	67	52	51	52	53	53	51
	76	68	71	69	72	69	52	51	52	52	52	51
	73	69	69	69	68	69	52	51	52	51	51	52
	61	59	58	61	59	63	50	49	48	49	49	49
	64	58	58	60	58	59	50	48	48	49	49	49
	60	61	61	59	59	59	50	49	49	48	49	48
	61	65	59	61	60	58	50	49	49	49	49	49
12/07-12	63	60	63	62	62	59	50	49	50	49	49	49
	60	59	59	60	59	59	50	49	49	49	49	49
	58	60	61	62	61	62	49	49	49	49	49	49
	67	60	60	60	59	59	50	49	49	49	49	49
	58	60	60	59	59	60	48	49	49	48	49	49
	59	58	65	59	62	59	49	48	49	49	49	49

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 7일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/07-13	49	45	45	48	45	45	40	38	38	38	38	37
	49	47	46	47	46	45	40	39	38	38	38	38
	50	45	48	45	45	48	40	37	38	37	37	38
	51	46	46	44	44	46	39	38	38	37	37	38
	47	45	46	45	46	46	39	37	38	37	38	38
	49	45	46	45	45	47	40	38	38	37	38	37
	47	45	47	44	46	44	39	38	38	37	38	37
	47	46	46	46	46	44	39	38	38	37	38	37
	50	45	46	47	44	45	39	38	38	37	37	37
46	46	47	45	45	45	38	38	38	38	37	37	
12/07-14	29	26	20	20	26	30	21	21	15	15	21	22
	29	24	23	27	21	22	22	21	16	20	19	20
	35	20	26	13	30	24	26	17	21	11	25	19
	33	26	20	14	29	38	23	18	18	12	22	28
	23	17	20	21	30	38	20	15	18	17	22	28
	27	22	32	24	24	35	25	17	22	17	21	24
	30	20	26	26	26	32	21	16	16	19	19	27
	28	21	26	21	25	41	20	16	17	17	22	33
	29	22	16	24	27	40	22	17	14	19	19	32
22	23	20	25	24	40	19	18	16	20	20	34	
12/07-15	38	22	23	26	29	32	31	18	15	20	23	23
	45	25	28	25	27	24	31	19	17	19	18	21
	36	30	18	27	32	24	30	17	15	19	21	19
	32	26	18	17	26	27	28	20	15	14	20	21
	40	25	19	19	23	31	30	19	16	16	20	21
	25	26	26	22	21	25	21	18	18	17	17	21
	24	44	26	23	28	28	20	17	18	18	22	22
	28	17	28	32	23	29	20	14	20	18	18	25
	24	15	21	26	25	32	19	12	17	22	19	20
23	19	23	27	29	32	19	14	19	21	24	21	
12/07-16	22	24	24	23	21	34	15	17	16	16	14	17
	22	22	24	25	22	25	16	16	16	17	15	16
	22	24	24	22	22	22	15	16	17	15	15	14
	24	25	25	22	28	24	16	17	17	15	14	17
	25	24	26	22	24	24	18	17	18	15	17	18
	22	23	25	27	26	23	16	16	15	18	17	16
	31	21	23	28	22	22	16	15	17	15	14	15
	21	22	23	23	22	24	15	16	15	15	15	15
	33	23	20	21	30	40	18	16	14	14	15	17
22	22	29	23	22	24	16	17	15	16	15	18	
12/07-17	21	30	22	29	27	36	15	17	15	15	19	20
	31	24	22	23	26	24	17	16	16	17	19	19
	24	24	33	24	24	25	16	16	18	17	18	19
	24	23	23	30	23	24	17	16	17	17	17	18
	36	23	24	24	25	26	16	17	18	17	20	19
	24	25	21	22	33	28	16	17	15	16	19	19
	22	32	25	33	32	24	15	16	17	17	19	18
	21	27	23	24	26	28	15	18	16	16	19	21
	22	24	25	22	24	30	16	17	18	16	16	22
24	21	23	25	27	27	16	15	17	18	18	21	
12/07-18	27	28	31	29	33	34	20	21	23	23	26	27
	29	27	30	26	30	34	22	21	23	21	24	27
	34	27	58	36	32	33	21	21	27	27	25	27
	29	30	28	31	42	35	20	22	20	22	27	29
	27	29	29	33	32	35	21	21	22	26	26	29
	30	26	29	37	41	33	22	19	22	26	27	27
	24	29	37	29	33	36	17	21	24	25	27	28
	26	28	32	31	34	36	21	21	25	26	28	26
	27	30	29	32	32	30	19	22	23	26	26	24
34	29	31	30	31	34	21	21	23	22	26	25	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 7일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/07-19	31	40	30	26	31	36	23	23	24	21	25	30
	34	30	29	30	35	37	26	23	22	22	23	27
	32	38	33	28	29	34	26	23	25	21	24	28
	31	30	29	28	29	34	26	23	22	23	25	28
	34	30	27	27	30	34	24	24	22	22	25	29
	27	29	29	28	35	36	22	21	22	22	27	29
	54	33	27	28	34	34	25	24	21	22	26	28
	31	33	32	30	34	37	25	24	25	22	28	31
	35	33	42	34	42	36	22	25	21	25	29	30
12/07-20	27	28	30	35	34	40	22	23	24	23	27	32
	37	36	43	39	39	38	33	31	32	33	32	30
	39	35	37	46	37	33	33	30	31	35	30	28
	40	39	47	41	37	35	33	32	33	29	30	29
	35	41	36	36	39	38	29	29	32	31	31	29
	40	53	37	36	34	43	33	32	32	29	29	28
	35	39	37	41	34	35	29	32	32	28	28	29
	46	41	37	53	35	37	31	33	30	31	30	28
	36	39	36	37	33	33	30	33	29	29	27	27
12/07-21	37	41	40	36	36	36	31	32	28	30	30	29
	37	46	40	51	38	34	31	33	34	30	33	27
	35	45	30	32	30	32	28	26	24	26	23	25
	31	34	30	29	26	29	25	27	23	24	21	22
	31	32	32	29	27	31	26	24	25	23	21	23
	35	31	32	30	35	36	27	25	26	24	21	22
	32	31	32	32	26	32	25	25	24	26	21	23
	36	36	28	31	32	29	27	26	22	24	23	21
	40	32	39	32	28	28	26	23	23	27	21	21
12/07-22	34	36	30	34	28	26	27	22	24	27	22	21
	32	36	29	30	28	29	27	26	24	24	22	22
	30	27	33	30	29	29	25	23	25	23	22	22
	39	29	28	29	27	29	23	23	20	22	21	21
	27	35	27	27	27	26	21	22	20	21	21	21
	30	31	27	25	26	44	23	24	20	19	21	21
	27	36	27	26	25	27	21	21	21	19	19	21
	30	31	30	28	28	32	23	23	21	21	21	23
	31	54	29	30	42	26	22	23	19	22	22	20
12/07-23	29	32	24	28	30	27	23	23	19	21	22	20
	34	28	26	29	27	29	25	21	20	21	21	20
	29	26	25	27	26	24	22	19	19	21	20	18
	29	27	29	29	25	25	23	20	21	22	20	20
	26	26	29	29	28	33	20	21	22	23	24	25
	44	29	28	27	31	31	22	20	21	21	23	23
	28	27	26	28	29	28	22	22	20	22	22	21
	27	29	29	29	30	30	19	21	21	23	23	23
	27	28	25	28	27	25	20	21	20	21	23	20
12/07-24	42	25	29	28	39	27	21	18	21	22	23	21
	29	35	25	28	27	35	22	22	19	21	21	23
	29	25	29	33	35	28	22	21	22	21	22	21
	25	28	28	28	39	29	19	21	19	22	24	22
	30	31	25	25	28	29	22	22	21	21	21	21
	38	44	34	34	31	43	23	23	25	24	23	23
	33	28	31	46	29	27	23	22	23	23	23	21
	46	28	36	51	27	34	23	22	23	24	21	22
	30	33	26	39	26	51	23	20	21	23	21	22

<표 23> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 8일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/08-01	27	27	31	27	29	38	22	19	24	22	24	23
	30	28	36	28	27	29	24	21	23	21	20	21
	27	29	30	44	31	28	21	24	22	24	23	21
	28	27	29	30	31	31	21	22	22	22	24	24
	28	32	35	30	31	26	22	25	25	22	23	22
	31	32	31	30	30	27	24	24	23	23	23	21
	28	32	27	38	28	30	21	24	21	22	21	23
	28	32	27	27	31	29	20	25	21	21	24	22
12/08-02	29	41	29	33	29	28	23	24	23	25	23	21
	26	29	25	27	28	31	20	24	21	21	22	24
	32	28	31	39	33	30	22	21	23	23	23	20
	35	35	32	45	28	26	25	23	22	22	22	21
	28	30	32	31	27	31	21	22	25	22	21	22
	29	34	36	32	27	37	23	25	24	23	20	21
	32	30	34	28	29	26	22	23	24	21	22	20
	30	28	31	34	29	28	23	21	23	21	24	21
12/08-03	28	27	31	26	31	35	21	22	24	21	22	27
	37	29	42	26	31	29	23	21	22	20	21	22
	35	30	30	30	37	30	24	22	23	22	23	22
	39	29	39	31	31	28	23	22	19	24	22	22
	33	30	32	27	25	28	24	21	23	21	19	22
	31	30	38	28	34	25	22	24	23	21	22	19
	30	32	35	30	32	30	21	22	24	22	24	21
	29	34	28	30	39	30	21	24	22	23	21	21
12/08-04	30	30	28	39	44	30	22	22	21	24	26	22
	36	32	34	28	27	31	21	24	24	21	20	24
	32	30	29	29	39	32	22	23	22	22	23	23
	28	29	27	30	30	30	21	23	20	22	23	22
	36	33	26	27	28	28	21	22	19	21	22	20
	53	39	29	29	30	30	23	23	21	21	21	22
	28	28	30	32	30	27	21	21	23	23	22	20
	31	29	26	28	26	30	21	22	20	20	21	21
12/08-05	29	28	27	28	29	28	21	20	21	21	21	19
	30	27	28	25	30	30	22	21	21	19	20	21
	32	30	33	25	24	28	22	23	22	19	19	20
	31	27	29	27	28	27	24	23	22	21	20	21
	31	32	29	28	29	27	25	24	22	20	21	18
	33	31	33	30	30	28	24	23	25	22	21	20
	29	31	31	47	27	26	24	23	22	23	21	19
	28	28	29	26	27	29	22	22	22	21	20	21
12/08-06	25	25	34	26	26	26	19	19	19	19	19	19
	28	24	25	27	30	27	21	18	18	19	22	21
	26	26	26	28	29	37	19	19	19	20	21	23
	27	28	33	36	35	26	19	21	20	21	21	20
	27	26	23	32	30	27	21	21	18	23	21	21
	28	26	37	27	26	29	22	19	21	20	20	21
	38	26	34	31	27	29	18	21	19	21	20	21
	24	26	27	27	25	26	19	19	21	21	20	20
12/08-06	31	28	25	26	26	34	19	21	18	21	18	23
	29	25	26	28	26	28	20	20	19	21	21	21
	27	28	27	26	29	27	19	21	20	21	21	21
	36	26	30	28	33	28	21	19	20	21	22	22
	28	25	30	32	29	28	20	19	21	22	21	20
	26	27	28	27	29	26	20	20	21	21	20	21
	28	30	30	31	31	29	19	21	22	21	21	21
	29	28	29	29	40	29	19	20	23	21	24	21
12/08-06	32	29	28	27	36	33	19	21	21	21	22	26
	26	28	26	29	29	27	20	21	21	19	21	19
	30	37	26	31	26	26	21	21	19	22	20	19
	28	30	27	31	28	30	21	21	18	23	20	22

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 8일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/08-07	29	28	37	29	28	28	22	21	22	23	21	21
	32	30	31	26	28	41	21	22	24	21	20	23
	29	30	31	32	29	28	20	22	24	21	21	23
	27	29	27	27	25	27	21	23	21	22	20	21
	32	25	31	28	30	30	22	19	21	23	24	22
	27	28	29	28	28	27	20	21	21	21	21	21
	30	25	28	30	37	30	22	20	21	22	23	23
	27	31	27	29	28	35	21	23	21	21	22	21
	25	34	29	25	29	29	20	21	21	20	22	23
12/08-08	28	30	30	29	29	28	22	21	21	21	21	23
	30	27	30	29	28	36	24	22	24	23	23	27
	29	26	29	28	30	37	23	21	23	21	24	23
	30	30	33	32	29	27	23	23	24	24	23	21
	30	34	26	30	29	32	24	26	21	25	23	24
	29	35	28	32	32	32	22	26	22	22	25	24
	27	39	32	30	29	33	22	24	23	24	24	25
	32	40	29	29	33	31	22	23	23	22	26	25
	29	29	36	34	29	32	23	22	23	22	23	25
12/08-09	30	29	39	36	35	30	23	23	23	24	26	23
	39	29	31	28	31	32	24	23	24	23	24	24
	28	29	31	30	36	33	21	25	24	23	26	25
	37	29	45	28	28	34	22	24	26	22	22	25
	30	36	44	30	34	30	23	24	24	22	24	26
	31	37	30	39	31	31	25	25	25	24	24	24
	30	37	35	40	30	31	23	24	26	26	24	25
	31	29	38	34	39	32	24	24	24	27	24	25
	31	29	30	45	28	41	25	23	24	26	23	26
12/08-10	30	39	29	31	31	31	22	25	24	23	24	23
	27	30	36	32	44	41	21	23	25	25	24	27
	35	36	31	31	33	31	27	27	25	24	25	25
	34	29	33	27	29	29	26	23	24	21	21	22
	31	41	29	29	31	31	25	21	23	22	23	24
	36	30	31	33	46	28	23	24	25	25	22	22
	37	28	28	30	31	35	29	21	22	23	22	21
	45	29	29	33	29	33	43	22	22	22	21	24
	41	30	29	37	28	29	29	21	22	21	20	22
12/08-11	33	39	30	36	28	31	26	25	23	22	20	24
	31	31	29	41	29	29	24	23	23	23	21	20
	34	40	26	31	35	30	27	24	20	21	21	21
	27	32	29	30	28	26	21	24	21	22	22	20
	36	36	27	30	29	41	22	21	21	22	21	23
	26	34	34	27	30	26	21	21	26	22	23	21
	29	27	28	29	28	24	22	20	21	22	21	18
	30	37	29	30	27	28	22	23	22	24	21	21
	31	27	28	29	29	28	23	21	21	21	21	21
12/08-12	29	31	36	29	28	30	23	23	22	22	21	22
	32	32	30	27	27	27	22	22	21	21	20	22
	33	31	26	30	29	29	21	24	21	23	22	21
	38	31	29	28	29	37	23	24	22	21	22	21
	30	36	28	36	43	36	23	22	21	22	24	22
	39	40	41	40	37	52	30	30	33	31	28	30
	44	39	39	41	38	49	35	31	31	31	29	30
	44	46	38	45	40	38	36	36	31	26	27	29
	54	38	39	41	43	47	37	32	34	34	30	25
12/08-12	39	51	39	54	34	37	32	40	33	29	23	28
	44	50	56	45	37	47	37	35	38	35	27	26
	41	56	42	40	39	37	35	36	34	33	32	26
	40	39	52	39	37	34	35	34	33	29	26	24
	43	43	37	37	39	45	32	38	29	29	29	25
39	37	41	51	37	37	28	28	33	31	26	28	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 8일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/08-13	31	36	33	33	32	34	25	31	26	26	22	26
	35	37	45	34	35	29	28	30	25	25	25	21
	42	36	33	34	33	38	27	29	23	26	24	30
	33	33	35	31	48	33	27	27	25	24	23	23
	35	36	34	40	32	50	30	29	24	24	26	24
	57	36	30	30	30	33	30	26	23	23	23	23
	32	32	36	43	32	31	25	24	30	25	22	22
	36	33	33	37	33	29	29	29	26	25	26	21
	39	43	34	34	32	28	32	28	25	27	24	19
34	40	32	44	34	32	30	29	24	26	25	21	
12/08-14	27	26	25	28	28	26	20	19	18	24	22	21
	26	28	36	28	27	28	18	23	20	24	21	22
	27	29	27	33	30	27	21	25	20	25	23	23
	27	34	27	26	30	28	20	25	21	20	23	22
	29	28	29	28	36	27	23	21	22	21	21	20
	29	49	29	44	29	26	23	26	23	28	24	19
	27	27	26	27	34	28	21	21	21	22	19	22
	27	30	39	28	28	26	22	26	25	23	24	19
	27	28	28	29	28	25	21	23	22	25	22	20
12/08-15	26	24	26	30	27	27	21	18	21	23	21	20
	30	32	30	43	37	31	20	22	23	27	32	22
	30	30	31	32	36	32	21	17	22	22	29	24
	34	33	34	43	35	34	24	22	26	26	28	25
	33	33	37	42	34	38	21	22	25	24	29	21
	32	30	31	33	36	32	23	23	23	25	29	25
	31	30	36	42	35	39	20	22	26	26	26	27
	27	31	41	42	33	50	18	23	26	27	25	26
	40	31	31	34	43	37	17	23	24	27	25	30
12/08-16	34	53	32	32	34	36	25	25	23	25	23	27
	29	41	37	43	37	32	19	25	27	26	29	23
	24	20	26	23	18	20	23	25	19	16	17	19
	22	30	21	20	18	20	25	17	22	20	15	17
	27	32	23	21	20	19	20	21	18	19	15	16
	27	23	20	19	18	21	26	20	20	19	17	16
	32	21	21	22	20	20	26	22	19	17	15	19
	23	22	21	20	19	18	22	20	19	14	16	18
	22	32	24	29	20	22	20	21	19	16	15	16
12/08-17	22	20	23	19	31	34	23	23	23	17	17	18
	23	23	19	19	21	20	21	18	19	16	18	20
	24	20	18	40	21	23	23	21	17	15	17	16
	22	27	20	18	19	17	17	17	10	16	16	14
	21	30	19	16	17	17	19	13	16	13	12	14
	19	22	17	18	19	19	17	18	15	12	14	13
	22	23	18	17	18	19	14	19	13	12	16	14
	20	18	19	18	38	18	18	16	13	13	12	14
	18	19	19	20	20	18	15	15	14	13	16	15
12/08-18	24	30	16	17	19	17	15	15	14	14	15	14
	19	20	18	17	19	20	16	14	11	13	16	13
	19	20	15	21	20	20	17	16	14	11	16	15
	20	15	27	20	17	20	14	15	10	16	15	18
	21	20	22	23	21	24	15	15	19	17	17	22
	22	24	27	23	20	23	16	17	17	18	15	19
	22	22	22	24	21	25	17	19	17	18	17	21
	20	24	21	22	21	24	15	18	16	19	18	22
	21	22	22	23	24	26	14	18	17	21	22	22
12/08-18	20	23	22	35	24	24	15	18	19	22	21	21
	21	22	22	23	36	24	14	18	17	21	24	20
	21	24	25	22	20	22	15	18	20	19	15	17
	24	20	23	23	21	22	19	16	18	19	17	19
	31	31	22	22	24	24	17	16	15	18	18	22

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 8일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/08-19	23	26	26	24	24	23	16	16	16	19	18	17
	22	22	22	25	23	22	17	16	17	21	17	17
	21	21	22	25	23	25	16	15	16	19	17	16
	22	23	22	24	27	23	17	17	16	20	17	18
	22	23	23	25	23	23	16	17	17	18	18	17
	22	23	25	23	23	22	16	17	16	18	17	16
	26	22	22	31	23	24	17	16	17	18	18	19
	21	22	22	24	22	22	15	16	17	18	17	17
	26	23	22	27	21	32	16	17	17	18	16	18
22	24	25	23	23	29	16	17	19	17	17	19	
12/08-20	25	23	24	22	23	23	20	18	18	17	18	18
	24	27	23	25	24	22	19	19	17	19	19	17
	25	24	23	23	24	22	20	19	18	18	20	18
	23	23	23	22	22	23	19	19	18	17	17	18
	34	24	23	23	24	23	21	19	17	18	19	18
	24	25	24	23	23	24	19	19	18	18	18	19
	28	24	25	25	24	27	18	19	18	19	19	20
	30	23	22	28	24	25	19	18	17	19	18	20
	24	24	23	25	23	23	19	18	17	20	18	18
23	24	23	24	22	24	18	18	19	19	17	19	
12/08-21	24	25	26	23	22	24	19	20	21	18	17	18
	25	24	23	28	24	24	20	19	18	19	18	19
	23	23	24	23	24	23	18	18	20	18	18	18
	38	24	25	24	24	25	20	18	20	18	18	18
	23	25	28	23	23	28	19	18	18	18	18	19
	25	26	23	28	26	24	19	18	18	19	20	19
	23	26	23	26	26	31	18	20	18	20	18	18
	25	25	25	24	25	22	20	20	20	19	19	18
	26	23	24	24	25	22	21	18	19	18	19	17
25	25	26	24	31	23	21	19	20	19	19	18	
12/08-22	31	24	24	23	24	23	20	19	19	18	18	17
	25	23	23	24	23	22	20	17	18	19	19	17
	26	24	23	24	23	23	21	18	17	19	18	17
	24	23	24	23	23	23	18	18	19	18	18	18
	25	25	27	24	25	22	19	19	18	18	18	16
	23	24	23	23	23	23	19	18	17	17	17	18
	23	31	23	25	23	23	18	19	18	20	17	17
	27	24	23	24	26	24	20	19	16	18	17	19
	23	24	24	34	24	24	18	18	18	20	18	18
23	24	23	24	22	29	18	18	18	18	17	18	
12/08-23	23	23	23	23	23	31	18	17	18	18	18	21
	23	30	23	22	25	24	18	18	18	17	19	19
	23	23	23	23	23	24	18	17	18	18	18	19
	23	23	24	23	26	30	18	17	18	18	20	20
	23	23	23	23	25	30	18	18	18	18	20	20
	26	28	23	24	35	23	17	18	17	19	19	19
	23	25	25	23	24	24	18	19	19	18	19	18
	34	23	24	24	24	25	18	18	18	19	19	19
	27	23	22	23	25	23	17	18	17	19	20	18
23	23	24	25	26	23	18	18	17	19	20	19	
12/08-24	25	24	24	25	26	23	20	18	20	20	20	18
	24	24	25	29	25	27	19	20	20	20	19	20
	25	24	26	29	26	25	19	19	21	19	20	20
	29	25	26	25	25	33	20	19	20	19	18	20
	24	25	26	25	24	29	19	20	20	19	20	19
	24	27	25	27	26	25	18	21	19	19	20	20
	24	33	25	24	27	24	18	18	19	19	19	19
	24	26	23	24	25	25	19	20	19	19	20	19
	25	23	25	30	23	24	19	18	18	20	18	19
24	29	25	28	25	25	19	19	20	20	20	19	

<표 24> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 9일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/09-01	36	32	34	23	28	33	28	26	22	18	22	22
	38	27	35	32	28	33	27	22	23	22	20	20
	37	35	19	29	23	32	28	24	17	20	20	19
	35	35	32	31	31	29	25	23	21	18	20	21
	38	33	29	34	35	34	29	19	18	20	22	22
	37	32	31	33	21	33	26	21	19	20	21	21
	38	33	32	32	32	32	29	20	18	21	18	20
	31	33	28	31	32	26	27	20	19	18	21	23
	36	34	32	32	33	28	27	22	21	21	21	21
12/09-02	34	33	25	31	35	33	29	21	18	20	22	20
	31	33	34	29	32	32	20	23	21	16	19	21
	33	30	26	29	31	35	19	17	19	17	18	23
	35	34	31	32	26	22	24	22	19	18	17	20
	25	27	26	30	29	34	19	19	17	18	16	22
	33	30	24	31	30	34	20	17	16	20	17	21
	35	32	28	33	29	34	22	20	15	22	18	22
	31	26	32	27	18	30	18	17	19	17	16	19
	33	33	19	32	29	31	19	19	16	20	18	19
12/09-03	22	31	32	31	32	22	19	17	18	18	19	19
	31	31	26	28	34	32	21	20	15	20	21	20
	32	18	28	31	34	34	19	15	18	18	22	24
	27	31	33	32	34	35	20	18	20	18	22	23
	35	25	30	33	35	28	23	17	17	19	22	23
	34	30	32	33	23	35	21	18	18	21	22	24
	33	33	28	34	35	31	21	19	19	21	23	25
	30	27	32	32	33	35	20	19	20	22	21	24
	32	30	32	33	33	34	19	19	19	21	23	22
12/09-04	32	29	33	32	35	37	21	19	21	22	24	26
	34	26	28	31	35	31	21	15	19	18	24	24
	32	30	32	30	31	32	19	19	19	21	23	24
	34	29	32	36	31	29	22	23	23	25	26	21
	35	37	36	35	37	35	23	25	25	23	25	24
	29	35	37	35	23	34	23	23	24	26	22	23
	36	28	35	35	35	26	25	21	25	23	23	25
	31	29	35	35	35	37	23	23	23	25	24	26
	35	33	26	32	32	34	23	22	24	26	21	23
12/09-05	35	30	30	26	33	34	22	23	22	25	24	23
	31	37	34	34	33	36	23	26	23	24	22	24
	35	34	30	34	25	37	25	23	22	23	23	27
	30	34	30	29	29	37	24	23	21	23	23	26
	35	35	35	36	35	33	23	23	23	25	24	22
	35	35	32	27	34	33	23	23	21	21	22	23
	36	36	34	34	32	36	25	23	22	23	21	24
	35	32	29	31	29	33	25	22	24	24	21	22
	36	31	30	34	27	32	25	25	23	23	19	22
12/09-06	35	35	35	28	28	34	25	24	23	22	22	23
	33	35	36	35	28	32	22	23	23	23	20	21
	24	31	34	35	31	35	21	21	23	23	22	23
	33	34	35	30	34	35	22	23	23	22	23	23
	37	27	34	35	28	28	26	21	23	22	23	22
	34	31	34	28	32	33	22	20	23	21	20	23
	29	27	35	30	26	35	21	20	23	20	19	24
	34	33	34	33	23	31	22	23	22	23	19	24
	29	33	33	34	34	33	22	21	20	23	22	24
12/09-06	27	26	28	25	28	33	21	23	21	22	20	22
	34	34	33	34	33	33	22	21	22	22	21	22
	34	33	33	34	33	36	23	23	21	23	20	25
	33	32	34	33	29	35	23	22	23	20	20	23
	34	36	30	28	23	34	22	21	23	22	21	23
	32	35	33	25	35	37	21	23	23	18	24	26

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 9일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/09-07	29	34	28	37	37	29	23	22	23	26	25	22
	35	34	35	35	36	25	22	23	25	24	25	22
	37	35	34	37	35	33	26	24	24	26	23	23
	36	35	35	37	36	33	25	25	24	26	25	22
	35	35	35	36	34	37	25	23	24	26	23	25
	35	34	35	35	34	36	23	22	24	23	25	23
	36	34	35	35	35	35	24	24	25	24	23	23
	36	35	36	31	33	33	28	24	24	24	22	24
	30	34	37	37	36	35	24	24	26	25	25	23
35	26	37	36	34	37	24	24	26	24	24	26	
12/09-08	36	32	36	35	37	35	23	22	25	24	25	24
	36	35	30	36	33	35	24	24	24	25	27	23
	35	36	32	37	34	36	22	25	22	26	23	25
	32	31	31	26	36	36	20	24	25	24	25	25
	36	36	36	36	32	37	25	25	26	26	26	25
	25	38	37	37	30	35	23	27	26	26	25	23
	31	34	35	35	35	36	23	24	25	24	25	24
	33	32	31	34	36	31	25	23	24	24	26	23
	36	37	35	35	35	35	25	26	25	25	24	24
30	37	23	35	37	36	25	26	23	24	26	25	
12/09-09	34	33	35	34	34	33	23	23	23	22	22	21
	34	26	32	27	33	32	23	23	21	19	22	20
	21	30	21	28	33	35	19	24	19	21	21	24
	34	35	32	31	29	32	23	24	21	22	22	22
	33	33	33	25	32	35	24	22	23	22	22	23
	36	35	36	28	34	32	24	22	24	22	22	20
	35	35	33	34	28	35	24	22	20	24	21	24
	36	30	32	35	29	34	25	17	19	23	23	21
	35	32	32	34	32	30	23	21	19	24	21	22
36	31	24	35	33	33	24	19	20	23	20	21	
12/09-10	30	34	32	34	36	23	20	24	25	23	24	19
	35	35	33	30	31	31	23	24	22	22	25	25
	29	33	32	30	35	36	20	22	22	25	26	24
	35	26	34	33	36	37	23	20	25	23	24	26
	35	34	31	33	24	34	25	21	20	22	24	24
	36	28	36	35	33	35	25	22	25	24	23	24
	25	30	33	37	35	27	22	24	20	26	25	25
	35	31	36	34	36	32	23	25	25	25	24	26
	29	27	29	32	35	30	24	25	23	26	25	24
26	36	37	34	31	34	24	25	25	25	26	25	
12/09-11	31	34	31	37	39	37	25	26	25	27	29	29
	37	35	36	36	36	37	26	25	26	26	26	28
	35	36	31	31	35	33	25	26	26	25	27	28
	35	34	36	30	38	32	26	25	25	23	29	27
	36	36	37	37	36	38	26	26	27	28	27	28
	33	33	35	31	32	32	25	23	27	26	27	28
	30	36	36	35	30	36	25	26	28	25	27	26
	36	36	26	38	37	38	25	26	25	28	28	30
	37	35	34	32	37	37	27	25	26	28	29	29
37	36	36	36	37	36	26	27	26	27	27	28	
12/09-12	48	45	43	47	49	48	35	32	29	36	34	31
	51	52	57	52	54	61	32	30	35	33	33	31
	55	45	51	59	42	47	34	31	32	38	31	30
	48	51	50	53	58	46	31	31	31	31	33	31
	57	46	45	47	44	45	35	33	32	31	31	32
	70	55	51	57	48	43	33	34	32	31	31	29
	62	50	48	51	44	53	38	34	33	32	31	34
	63	47	51	53	48	60	38	32	32	31	29	32
	52	43	54	45	46	42	33	31	32	32	31	30
66	53	45	47	43	42	35	32	31	34	29	32	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 9일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/09-13	43	50	55	60	51	51	30	30	32	36	31	27
	61	57	54	51	52	41	36	30	30	35	32	27
	56	49	46	53	45	54	34	30	30	34	29	29
	50	54	57	49	46	49	33	33	35	33	31	29
	52	50	52	57	45	36	31	30	31	29	29	25
	56	47	49	54	45	49	36	30	34	31	29	29
	58	45	50	39	50	58	36	31	30	27	30	27
	55	49	45	49	49	51	31	35	29	30	29	31
	54	53	53	53	45	43	31	31	31	31	27	29
45	58	49	50	49	47	29	34	31	30	29	29	
12/09-14	46	38	46	42	47	37	29	27	29	27	28	25
	42	40	41	40	44	36	28	33	25	25	27	24
	41	47	46	42	51	30	27	30	28	26	25	22
	36	55	38	41	38	45	26	29	26	27	25	26
	46	42	39	38	43	41	29	28	26	25	26	25
	44	39	32	42	45	39	27	29	24	28	26	25
	46	44	35	39	49	47	31	28	24	29	26	27
	38	36	38	32	51	49	26	25	25	24	25	25
	36	35	42	45	55	36	26	25	26	29	27	24
38	45	32	42	38	36	30	28	24	25	25	26	
12/09-15	41	34	28	38	55	32	26	24	21	25	25	22
	39	31	31	34	51	32	25	23	23	25	25	21
	30	35	37	33	48	46	22	27	23	25	24	24
	30	30	54	35	32	37	22	20	21	25	22	23
	41	35	31	47	37	37	25	25	23	23	25	25
	45	37	37	55	39	32	26	25	25	28	25	22
	38	34	37	42	49	37	25	24	25	25	23	23
	40	31	33	61	40	34	25	23	25	25	25	24
	40	48	38	43	38	32	25	24	24	24	25	22
37	54	46	33	37	27	25	24	25	22	23	20	
12/09-16	30	30	28	28	28	33	22	24	20	24	22	23
	32	34	28	35	40	27	23	22	20	23	26	21
	41	37	25	28	30	26	25	25	20	20	22	20
	35	43	36	32	30	27	21	25	24	22	23	21
	32	29	35	28	33	33	22	23	23	20	23	22
	30	36	34	37	34	32	21	22	20	23	24	22
	36	26	36	29	29	49	24	20	22	21	21	21
	34	35	27	35	32	47	22	23	19	23	23	22
	34	25	28	33	36	36	25	18	22	23	26	25
30	30	25	34	29	34	22	21	19	22	21	24	
12/09-17	31	40	42	37	45	37	23	25	25	25	29	26
	32	38	35	35	46	50	24	26	25	23	30	31
	35	48	35	42	55	43	26	25	25	26	31	26
	36	32	33	43	55	48	26	22	22	27	31	31
	33	40	36	44	50	39	22	24	24	24	30	28
	39	36	38	54	53	38	25	26	22	27	31	31
	31	39	32	37	55	42	23	25	21	26	32	28
	38	31	38	36	40	45	24	23	24	25	27	31
	35	40	42	53	44	39	25	25	26	31	27	30
45	42	38	39	48	37	29	25	25	28	33	30	
12/09-18	37	46	45	34	34	38	24	28	23	21	21	25
	33	42	35	37	38	34	19	22	21	23	24	21
	38	34	47	36	34	34	24	20	27	22	21	21
	37	42	48	36	37	35	25	20	25	21	23	21
	46	41	47	34	36	37	23	23	27	21	23	22
	36	38	36	47	38	52	22	24	21	25	24	25
	34	42	36	38	37	37	19	21	21	24	23	26
	36	38	35	36	37	45	22	23	20	20	24	24
	37	35	44	36	38	39	23	24	25	21	25	26
38	35	36	34	34	51	25	22	22	21	18	30	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 9일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/09-19	49	38	40	38	40	42	30	29	27	25	32	32
	34	41	38	41	39	38	22	29	29	28	30	29
	37	38	36	37	35	43	25	29	25	25	25	36
	35	39	39	38	37	48	25	27	29	27	26	30
	39	37	38	40	48	40	28	24	28	32	28	29
	45	49	37	51	41	41	23	32	28	31	31	27
	35	37	47	39	37	45	24	25	29	29	30	32
	41	38	37	38	39	41	26	26	26	27	27	30
	39	38	44	39	44	53	26	27	25	30	26	28
12/09-20	52	48	47	36	40	35	26	30	31	24	30	23
	37	40	37	40	41	39	25	29	26	31	31	30
	37	37	39	44	37	38	25	27	28	34	29	29
	38	39	37	43	39	48	29	30	27	32	30	32
	41	42	36	40	42	41	32	31	26	27	32	32
	53	47	40	37	37	39	27	28	31	29	27	33
	40	39	39	41	40	40	30	31	28	28	30	33
	39	45	41	42	53	43	28	28	29	30	29	33
	41	39	38	38	41	37	31	27	29	26	34	28
12/09-21	38	40	52	40	38	41	26	29	27	33	29	32
	41	36	47	39	42	43	31	25	29	32	33	34
	42	40	45	38	41	42	32	32	37	29	29	28
	42	40	42	41	41	38	29	31	33	34	30	25
	39	41	43	40	40	37	31	33	32	28	28	25
	41	39	43	39	41	55	33	31	33	29	31	30
	42	40	43	40	41	39	31	33	29	26	27	28
	49	42	41	52	40	40	33	32	32	35	30	25
	41	40	45	54	39	37	32	29	39	30	29	25
12/09-22	41	40	53	44	49	39	31	35	41	30	32	27
	43	49	52	43	38	41	35	34	35	32	29	28
	38	44	42	42	49	39	28	36	36	30	31	26
	37	39	52	42	44	42	22	27	30	27	33	32
	42	38	39	42	44	52	28	24	23	28	32	33
	42	49	42	64	51	43	28	28	30	30	33	33
	40	40	42	43	46	42	26	27	31	30	38	34
	56	43	42	50	48	52	28	29	30	32	39	40
	40	42	55	41	46	45	27	29	29	32	37	32
12/09-23	39	42	50	44	43	46	27	30	28	33	34	37
	40	42	41	51	47	49	27	29	27	29	37	32
	57	41	40	40	62	52	29	27	27	25	39	36
	40	42	40	44	48	53	27	27	25	29	39	36
	51	49	47	48	50	49	35	33	34	34	38	36
	47	49	46	48	51	49	35	35	31	31	37	34
	49	56	48	48	56	54	34	35	36	34	39	36
	47	49	49	47	58	49	33	34	35	31	40	35
	61	52	48	46	57	49	40	33	37	32	34	38
12/09-24	48	50	50	51	47	49	36	37	36	35	34	30
	50	53	48	48	58	48	38	32	32	34	41	40
	47	54	49	49	49	47	35	40	34	35	35	34
	56	48	45	66	56	45	37	32	31	41	35	32
	50	49	46	49	60	46	36	33	28	34	39	30
	44	47	44	47	46	43	32	33	31	34	32	32
	50	43	40	55	46	45	34	30	27	34	33	36
	46	42	53	56	47	53	34	30	33	36	37	32
	43	42	44	55	46	44	29	31	34	39	34	32
12/09-24	43	44	43	48	48	51	34	34	31	37	37	41
	58	43	46	45	44	50	40	31	33	35	31	32
	47	53	45	44	47	55	36	34	35	32	32	39
	50	45	45	45	41	47	37	36	33	33	29	36
	43	44	44	48	45	43	31	33	31	37	36	32
	43	44	49	45	50	52	30	30	35	36	33	32

<표 25> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 10일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/10-01	44	43	45	44	40	42	34	35	33	33	30	31
	45	41	43	39	46	40	38	32	34	30	36	29
	42	43	41	41	48	48	36	34	32	30	35	31
	41	43	43	42	42	44	32	34	33	34	33	29
	52	47	41	53	42	41	35	29	33	33	33	31
	42	54	48	41	40	42	32	35	33	30	31	30
	46	42	41	39	41	40	38	32	32	29	30	30
	45	48	50	38	41	43	36	30	33	28	30	30
	39	40	42	42	40	39	31	30	31	29	30	27
12/10-02	40	42	39	42	40	42	29	35	26	34	29	29
	42	57	41	42	40	46	30	31	28	28	26	32
	44	52	44	42	40	42	32	31	30	28	27	31
	42	51	41	41	42	53	31	34	30	27	31	31
	48	42	41	44	52	53	34	29	29	30	31	29
	42	42	41	48	51	53	26	26	29	32	27	33
	44	45	41	44	51	40	30	28	29	29	31	29
	43	44	42	41	40	41	30	28	30	29	25	27
	43	43	45	44	41	49	30	32	30	31	28	27
12/10-03	59	45	47	45	41	41	30	30	34	30	27	28
	46	41	40	42	41	50	32	26	27	26	27	30
	37	37	38	36	36	37	29	29	30	27	29	29
	37	46	48	36	36	33	30	28	28	28	28	23
	40	36	36	37	43	34	33	28	28	32	28	24
	53	38	39	37	35	33	30	31	30	27	27	25
	38	37	34	34	45	37	35	28	27	25	26	30
	40	37	39	35	37	41	31	26	30	27	26	27
	36	45	37	38	38	35	25	27	27	27	28	29
12/10-04	36	40	37	35	39	39	29	30	29	26	27	30
	36	50	37	52	38	37	30	34	29	26	30	28
	36	37	35	35	34	48	26	29	26	24	24	29
	35	35	33	44	33	34	32	28	25	27	26	26
	34	34	37	35	33	40	27	26	29	30	27	24
	35	34	35	32	33	33	31	27	30	26	25	25
	36	33	38	34	33	45	30	24	29	24	27	29
	34	37	33	31	34	35	28	32	23	24	27	27
	43	32	34	34	35	32	26	26	25	28	28	24
12/10-05	34	35	33	33	37	30	24	28	25	25	30	21
	32	40	44	39	34	32	25	31	29	31	27	23
	33	33	39	33	34	33	27	25	27	27	27	22
	39	51	34	36	34	34	29	26	29	30	25	27
	34	32	34	34	38	37	27	26	26	26	27	28
	32	34	32	32	41	31	23	27	24	24	25	24
	32	33	35	36	34	32	24	25	28	27	26	25
	32	34	32	36	43	43	23	27	24	29	27	26
	31	32	40	36	34	35	23	25	26	30	26	30
12/10-06	34	32	36	40	40	37	27	26	28	29	23	28
	36	36	33	35	34	34	30	28	27	28	26	28
	33	37	35	37	34	32	27	27	27	28	29	25
	37	34	30	33	35	32	28	27	22	26	27	23
	34	31	31	34	32	34	26	24	22	28	24	27
	32	31	33	29	28	28	26	26	28	21	23	23
	29	32	29	29	28	34	21	24	21	22	19	28
	33	39	29	37	37	29	27	23	23	20	23	23
	34	29	29	28	29	28	27	21	19	22	23	22
12/10-06	33	29	28	28	30	30	25	22	20	20	23	24
	27	27	28	38	27	27	20	19	20	22	18	20
	46	30	29	30	29	30	25	22	21	22	21	23
	28	32	39	29	29	29	21	27	23	22	24	21
	38	28	31	29	29	29	24	19	24	23	21	20
	29	29	31	27	32	28	23	24	22	20	24	22

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 10일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/10-07	28	26	26	29	38	28	22	22	20	23	24	23
	26	26	25	28	26	27	20	20	19	23	21	21
	29	29	29	29	28	27	24	23	24	23	23	21
	28	31	34	27	28	26	24	25	22	22	25	21
	30	26	27	27	26	27	25	21	24	21	21	22
	28	27	26	27	30	27	23	24	21	22	25	23
	31	26	27	26	26	29	26	21	21	21	22	26
	36	29	25	28	30	26	25	26	19	23	23	20
	28	26	26	28	26	27	23	20	21	24	20	23
12/10-08	31	29	29	27	29	27	27	24	23	22	24	24
	26	33	24	25	24	24	22	21	18	21	18	19
	24	26	24	24	23	28	20	19	19	19	18	22
	25	26	24	24	25	24	22	24	20	19	20	18
	24	24	25	24	26	23	19	19	20	19	21	17
	26	24	24	24	24	26	22	21	19	20	20	21
	28	29	23	25	26	37	25	25	18	22	23	21
	26	25	24	34	24	25	21	21	18	23	20	20
	24	27	24	36	34	24	20	23	19	25	20	19
12/10-09	27	24	24	25	24	26	24	18	21	19	19	21
	25	24	25	24	23	24	22	18	19	18	16	19
	27	27	27	29	36	29	22	24	23	24	26	24
	28	26	25	27	26	26	21	19	20	24	20	21
	26	26	25	31	28	27	21	22	20	28	26	22
	26	27	25	30	29	26	21	22	18	28	26	22
	26	26	26	26	28	27	19	23	22	21	24	23
	27	26	26	26	28	27	21	22	22	22	22	22
	25	28	27	28	28	27	18	23	25	24	23	22
12/10-10	26	27	27	34	28	27	20	21	23	25	26	25
	27	28	26	27	25	30	22	22	20	23	20	24
	25	27	28	30	28	27	18	23	23	27	24	23
	28	28	30	27	29	30	24	23	24	22	27	24
	28	30	27	30	30	30	21	26	20	26	24	22
	33	32	29	28	29	30	29	26	22	23	22	25
	29	36	29	28	28	30	24	25	27	23	21	24
	28	35	27	28	28	28	23	24	21	24	22	23
	27	30	28	27	31	29	23	23	25	23	26	24
12/10-11	34	29	29	28	28	28	22	21	21	22	23	22
	28	30	29	29	28	28	22	24	25	23	21	24
	27	29	28	30	32	31	21	22	22	25	28	26
	26	27	27	26	29	29	20	23	22	20	25	23
	30	29	31	30	32	31	25	22	26	24	26	27
	34	29	28	31	32	30	27	20	20	27	31	25
	33	30	32	31	32	30	27	23	28	26	30	26
	29	30	38	33	32	31	20	25	27	31	30	27
	30	30	36	31	32	29	23	25	31	24	30	23
12/10-12	30	29	32	31	32	32	24	23	27	26	28	28
	30	31	33	31	29	38	24	26	29	25	24	26
	29	29	28	31	30	31	22	22	20	27	24	26
	34	29	31	33	31	31	28	23	24	26	29	24
	32	29	31	31	28	30	24	22	24	26	21	26
	37	38	37	37	43	37	30	31	28	28	27	28
	35	37	38	38	34	36	23	27	29	29	24	28
	44	43	39	40	36	40	27	28	31	32	28	26
	39	39	36	44	36	41	29	31	29	30	23	31

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 10일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/10-13	46	47	41	44	42	40	25	30	30	31	30	29
	47	40	41	41	40	40	30	28	29	29	30	27
	41	47	37	38	61	39	28	32	25	25	33	25
	39	38	47	39	41	56	27	27	26	27	27	30
	38	38	49	39	40	41	26	25	31	28	27	32
	42	38	40	39	40	39	33	28	27	29	29	25
	40	37	40	41	40	46	28	25	30	31	28	30
	39	41	48	48	41	40	28	30	31	30	29	30
	44	40	39	42	39	44	31	30	26	30	29	31
46	39	40	44	38	40	29	26	26	36	26	30	
12/10-14	36	36	35	45	37	35	25	26	24	27	27	25
	50	39	36	41	35	32	28	29	25	22	24	20
	37	35	43	36	37	37	28	25	24	26	26	27
	43	37	45	34	41	33	28	29	28	23	28	21
	36	39	36	36	35	34	26	29	26	26	21	22
	39	37	37	36	41	36	30	29	25	25	23	22
	36	36	36	47	35	37	27	26	24	31	22	29
	39	37	38	47	34	37	30	27	27	33	25	24
	35	36	46	35	49	38	24	28	30	24	26	28
39	37	38	34	35	37	28	25	28	21	23	25	
12/10-15	38	38	49	65	42	84	28	26	25	28	34	44
	32	48	57	35	52	55	24	21	23	27	36	42
	34	31	35	64	47	72	25	21	23	34	39	39
	32	43	37	48	59	53	24	29	23	35	41	40
	31	46	37	61	54	53	21	28	27	31	41	40
	70	34	37	68	81	77	22	24	28	34	44	39
	32	37	31	49	85	54	23	27	23	34	40	39
	54	34	37	70	84	78	25	24	27	35	35	40
	34	34	35	50	60	92	24	24	27	37	42	41
41	32	38	53	49	51	26	23	26	38	36	40	
12/10-16	59	86	67	68	83	82	43	56	49	49	43	45
	81	86	93	88	72	78	46	46	56	48	51	43
	59	62	80	77	61	77	44	49	45	47	43	51
	54	69	58	67	53	64	41	50	43	50	40	50
	67	78	65	65	56	61	46	53	47	45	43	47
	84	63	96	65	59	59	44	47	49	47	46	46
	55	65	59	77	54	84	44	49	43	43	39	45
	78	84	84	84	57	89	46	46	47	45	43	47
	82	96	83	62	83	61	52	56	46	48	44	44
76	90	60	77	58	59	53	53	42	46	45	46	
12/10-17	63	53	56	54	63	57	50	43	46	43	34	42
	62	55	89	56	67	46	46	44	40	43	38	36
	49	72	55	61	51	48	41	43	47	50	40	38
	92	46	56	84	47	94	52	40	45	47	35	43
	54	46	65	60	53	33	46	41	50	47	42	30
	53	59	52	69	52	59	45	46	42	46	39	34
	54	52	64	83	66	46	43	46	51	50	39	38
	63	56	71	65	48	43	50	43	42	45	43	33
	55	77	74	57	74	42	44	47	48	40	37	32
57	76	51	45	40	48	46	42	43	38	35	38	
12/10-18	39	23	13	15	16	11	31	21	12	14	13	10
	36	27	16	19	16	15	31	20	13	13	12	12
	33	48	19	11	12	12	28	18	14	10	11	10
	35	26	15	17	12	11	28	20	12	13	11	10
	34	19	16	14	12	16	27	18	13	13	11	11
	30	19	13	12	29	37	24	16	12	11	16	12
	27	39	11	13	15	16	23	16	10	12	12	13
	25	18	18	18	19	22	23	14	14	14	16	16
	25	17	13	19	13	19	21	14	12	14	12	15
26	18	35	25	9	11	22	15	12	15	7	10	

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 10일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/10-19	39	18	15	24	17	24	14	13	12	16	14	13
	21	15	22	26	15	16	13	12	14	16	12	11
	16	18	16	24	18	20	11	15	13	16	14	14
	23	16	14	20	19	17	12	11	11	15	14	12
	20	17	19	40	16	21	14	11	14	15	13	15
	37	12	14	20	17	16	13	9	12	12	14	13
	20	16	17	19	18	16	15	13	11	13	13	13
	22	19	14	23	14	23	14	13	11	16	11	15
	40	14	14	28	22	24	15	12	11	13	16	18
12/10-20	20	13	21	23	21	32	14	10	13	14	15	17
	25	27	25	28	28	24	15	17	19	20	22	19
	30	21	22	25	34	32	18	16	17	20	24	21
	19	29	22	31	34	28	14	20	17	20	23	20
	26	25	32	32	30	25	17	17	21	22	20	17
	25	25	24	35	38	34	15	18	19	22	23	21
	26	23	24	25	40	27	14	18	16	17	22	19
	26	24	28	34	30	29	19	18	18	24	24	17
	25	30	32	35	36	27	15	22	19	22	23	25
12/10-21	26	25	22	40	39	24	16	17	17	22	24	22
	26	29	23	39	33	29	16	19	17	26	20	23
	30	26	32	31	34	30	21	24	22	21	25	23
	29	25	30	38	31	37	19	20	20	26	24	25
	28	30	35	34	31	36	23	21	23	22	24	27
	35	27	25	41	33	28	24	20	21	26	23	21
	32	27	28	29	28	34	20	20	19	22	19	22
	32	25	28	26	37	37	25	20	18	21	25	23
	35	28	31	37	41	38	23	22	22	28	22	28
12/10-22	33	30	31	38	29	31	19	23	22	26	22	22
	29	33	29	40	30	25	22	24	20	28	23	21
	27	28	38	28	30	25	20	21	25	21	21	21
	27	27	27	28	29	25	20	22	18	21	18	14
	29	32	29	27	25	24	23	19	22	20	14	15
	32	26	32	29	24	26	18	19	19	21	15	15
	27	29	29	28	24	47	20	22	22	22	13	12
	28	27	29	26	26	25	21	19	21	19	16	13
	27	30	26	30	31	26	21	25	19	22	14	14
12/10-23	30	28	33	27	32	24	24	22	20	18	15	14
	27	30	28	26	25	23	18	21	21	18	15	11
	26	27	33	28	26	30	20	21	30	20	14	14
	28	30	30	28	23	24	18	24	26	19	12	13
	16	18	18	16	15	18	12	12	17	10	8	11
	23	15	16	15	17	17	12	11	11	10	12	12
	16	19	16	18	16	15	13	14	9	13	10	7
	17	24	18	16	17	15	12	12	12	11	12	10
	23	17	17	18	17	14	13	12	12	13	11	7
12/10-24	30	19	18	16	16	14	11	11	13	9	11	7
	17	16	15	15	16	17	13	11	9	11	9	9
	17	18	16	17	16	17	11	11	10	13	10	10
	17	16	16	17	16	29	12	12	11	11	9	10
	16	18	15	24	15	15	11	12	10	11	10	8
	20	26	20	19	27	20	9	11	11	6	8	9
	26	21	25	26	20	20	9	13	7	9	8	9
	20	21	20	20	26	22	10	9	8	10	9	12
	20	20	22	27	20	20	9	10	12	10	10	9
12/10-24	19	20	21	27	21	20	9	11	10	10	10	8
	30	21	28	32	20	20	8	11	11	14	9	8
	22	28	19	28	21	21	12	8	6	12	8	12
	20	20	20	19	20	20	9	8	11	10	10	9
	27	21	19	20	22	21	8	11	7	9	12	12
26	22	32	20	22	20	8	11	11	8	11	9	

<표 26> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 11일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/11-01	33	31	37	30	34	29	12	14	14	11	10	10
	37	34	28	36	27	33	13	10	10	12	8	14
	30	41	38	28	36	35	9	14	10	8	12	9
	33	36	30	29	38	35	14	10	9	19	14	9
	36	27	29	28	32	29	10	9	7	10	12	9
	34	34	40	31	34	30	10	11	11	13	11	10
	27	41	41	29	37	38	9	10	11	10	12	12
	28	29	30	36	37	40	9	10	10	11	11	14
12/11-02	28	42	43	29	37	28	8	11	14	9	10	9
	33	38	41	31	27	29	9	15	12	12	9	8
	35	28	28	27	40	39	9	10	10	8	11	11
	27	39	28	33	39	28	12	9	10	9	10	10
	28	39	26	37	33	29	10	9	8	8	12	12
	26	33	35	27	41	43	9	10	13	10	11	8
	34	29	34	39	30	27	8	12	9	11	11	10
	29	40	34	28	33	28	11	12	12	9	10	10
12/11-03	34	41	36	26	34	35	13	12	10	8	12	11
	27	26	26	50	39	27	9	8	8	14	15	9
	45	27	28	29	42	29	13	8	12	11	13	11
	27	34	26	29	35	42	12	9	10	12	10	11
	31	44	57	44	37	31	8	10	11	9	8	9
	38	31	32	39	38	36	9	7	8	11	10	11
	41	43	32	37	31	33	12	11	8	9	8	10
	39	44	43	55	31	43	14	8	8	12	6	9
12/11-04	34	34	47	31	33	39	11	11	13	8	12	12
	32	46	40	55	40	34	9	11	11	10	10	11
	31	31	40	34	31	64	9	9	9	12	8	14
	34	30	32	37	39	39	11	9	6	7	11	9
	52	31	58	40	38	34	13	10	13	11	10	11
	45	31	51	39	55	36	12	9	8	10	14	13
	48	36	37	42	58	44	11	8	9	11	13	10
	54	43	39	42	35	42	12	9	11	10	8	12
12/11-05	41	36	37	53	43	49	10	10	9	10	11	13
	61	46	48	44	37	51	12	8	7	13	9	14
	57	44	41	47	43	37	15	12	10	12	13	10
	43	50	61	41	43	51	11	10	13	7	10	12
	42	36	60	60	51	45	11	12	9	12	13	12
	37	41	41	37	42	50	9	10	9	9	8	9
	42	35	34	49	43	38	9	7	7	11	10	10
	51	44	49	67	38	41	13	12	10	12	11	8
12/11-06	48	71	42	56	50	51	10	14	9	11	11	15
	48	51	42	50	68	61	11	11	9	14	14	12
	47	57	67	45	54	50	9	14	14	12	10	10
	77	62	54	54	50	60	14	10	8	10	11	13
	51	49	51	41	72	65	11	10	12	9	8	16
	59	57	40	53	48	47	17	10	7	11	11	10
	42	49	54	68	56	49	9	12	10	13	13	11
	48	56	56	51	62	49	11	12	11	9	12	12
12/11-06	43	56	53	47	57	44	10	12	11	10	13	12
	72	49	53	52	52	52	18	11	10	13	9	14
	63	55	79	49	69	61	9	9	13	12	12	10
	52	49	64	49	64	58	15	11	13	11	14	9
	76	59	55	80	55	58	19	12	12	20	11	13
	74	55	66	48	54	62	15	13	10	10	10	13
	54	59	48	56	76	70	11	16	10	13	14	16
	73	74	80	66	56	57	18	17	16	11	10	11
12/11-06	79	63	63	59	58	62	15	15	16	14	11	15
	68	64	68	61	52	55	15	17	12	11	12	9
	63	57	60	55	71	51	15	12	11	12	16	13
	63	63	60	68	59	80	13	16	10	17	9	16

<표 계속> 현장 적용성 평가 본사 측정기 Raw-Data _ 2017년 12월 11일

구분 (일자-시)	PM10 (µg/m³)						PM2.5 (µg/m³)					
12/11-07	51	73	57	56	54	57	13	15	14	11	12	11
	56	61	54	64	62	64	11	17	13	14	12	14
	72	58	51	68	55	67	11	13	11	16	12	14
	66	76	61	55	60	49	11	16	14	14	11	11
	84	62	52	57	64	58	17	11	16	16	14	17
	70	50	81	57	64	62	15	12	17	16	13	12
	67	77	49	57	60	60	16	15	12	14	9	17
	57	58	61	63	62	64	12	15	11	13	13	14
	77	70	70	67	53	59	18	17	12	13	8	16
12/11-08	58	71	77	73	58	51	16	15	13	14	14	13
	58	56	67	52	42	59	14	9	14	11	10	15
	43	43	56	50	52	51	7	9	12	9	12	11
	50	51	51	46	48	59	10	12	14	9	11	15
	72	43	43	63	54	57	14	10	9	11	15	10
	52	46	73	64	64	65	11	12	13	14	13	13
	58	68	49	46	72	51	16	11	13	12	15	11
	58	72	49	58	59	62	13	17	14	15	14	14
	53	64	50	67	56	63	12	10	8	15	11	15
12/11-09	53	60	44	50	65	59	12	14	9	11	14	21
	49	50	55	58	61	50	12	11	15	11	13	11
	55	55	63	43	73	49	12	11	17	14	14	13
	51	61	59	68	50	43	13	14	12	15	14	9
	52	56	55	49	56	58	17	12	12	12	10	16
	51	58	74	58	55	45	15	13	17	19	13	14
	49	68	55	43	52	56	14	15	18	17	10	12
	59	72	55	64	41	44	16	18	29	16	9	13
	55	50	52	49	55	43	13	14	21	13	12	12
12/11-10	57	57	49	42	59	40	14	11	22	12	18	11
	54	46	53	48	57	49	9	11	17	10	13	11
	43	46	54	44	48	40	11	8	13	10	11	8
	41	33	31	28	27	26	12	9	6	11	10	7
	47	25	26	32	27	25	16	6	9	8	8	6
	42	28	40	27	25	30	13	10	12	8	8	12
	36	36	26	29	35	28	13	13	7	10	10	11
	43	32	29	45	35	52	14	9	10	9	11	12
	38	26	27	25	24	34	17	11	9	6	5	12
12/11-11	25	53	27	34	33	26	7	12	10	10	8	9
	41	32	39	26	34	29	11	11	8	6	10	12
	35	26	37	33	27	33	10	6	6	10	9	11
	32	27	31	36	26	32	8	8	9	10	9	10
	26	33	28	29	27	29	10	10	7	9	9	12
	26	21	21	22	22	23	8	8	6	8	9	11
	22	22	22	23	22	35	11	8	10	12	11	11
	28	21	29	20	36	22	10	8	8	7	14	10
	21	20	21	21	22	23	8	6	6	8	11	10
12/11-12	22	29	20	37	30	36	8	9	7	13	13	13
	23	28	21	24	43	32	12	8	8	11	10	14
	26	33	35	27	23	23	7	7	9	8	9	12
	22	22	22	23	23	23	9	6	9	9	13	10
	26	22	28	23	28	27	8	9	9	11	8	11
	27	26	32	23	36	24	10	9	10	8	10	9
	41	24	25	26	25	26	10	9	12	9	9	9
	38	32	32	30	25	25	13	12	12	9	10	7
	25	25	31	25	25	35	9	9	11	10	10	14
12/11-12	25	39	31	34	39	28	11	15	11	13	14	12
	24	25	30	31	25	31	9	9	13	9	10	13
	37	28	25	25	23	25	11	12	9	8	9	10
	27	26	24	31	27	49	13	10	7	10	12	11
	26	37	25	43	28	32	11	13	9	12	12	11
25	36	38	29	24	36	10	8	12	9	11	14	

주 의 문

최종보고서 (17-10-03-01-15)
고정밀 실시간 실외형 미세먼지 모니터링 시스템 개발

발행인 : 센터장 김덕현
발행일 : 2018년 1월 25일
발행처 : 시흥녹색환경지원센터
주 소 : 경기도 시흥시 정왕동 2121번지
전 화 : 031-8041-0936
팩 스 : 031-8041-0939
e-mail : yichoi@kpu.ac.kr

※ 주 의

1. 이 보고서는 시흥녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발사업의 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 시흥녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.