

연구논문

## 대규모 단지조성 미세먼지 관리 방안

권우택\* · 이우식\*\* · 홍상표\*\*\*

을지대학교 보건환경안전학과\*, 가천대학교 환경에너지공학과\*\*, 청주대학교 환경공학과\*\*\*

(2013년 1월 3일 접수, 2013년 1월 20일 승인)

### Management Scheme According to Characteristics of PM-10 Occurred from Large Scale Development Site

**Kwon Woo-Taeg\* · Lee Woo-Sik\*\* · Hong Sang-Pyo\*\*\***

Department of Environmental Health and Safety, Eulji University\*

Department of Environmental Energy Engineering, Gachon University\*\*

Department of Environmental Engineering, Cheongju University\*\*\*

(Manuscript received 3 January 2013; accepted 20 January 2013)

### Abstract

The purpose of this study is to establish PM-10 management manual for developing large scale sites by assessing the status of PM-10 reduction at ongoing large scale development sites. After analyzing the meteorological conditions and air quality characteristics of Sihwa MTV development site, ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term Model 3) was implemented to predict PM-10 generation. The outcomes of ISCST3 modelling were utilized for verification of site survey data.

As a result of applying air pollution modeling, the diffusion rate of PM-10 decreases according as the wind speed decreases. And the emission rate of PM-10 increase is linear to the concentration of PM-10. The reduction target of PM-10 can be derived quantitatively from the difference between the forecasted emission rate and the permissible emission limit of PM-10. The assessment of PM-10 characteristics which is deduced from ISCST3 and site survey can be practically applied to accomplish environmentally acceptable air quality manual for large scale development sites.

**Keywords :** PM-10, ISCST3, Environmental Impact Assessment, Development of Large Scale Sites

## 1. 서론

2010년말 미세먼지 발생사업장은 37,829개소로 2009년말의 36,911개소와 비교하여 2.5%가 증가하였으며, 이 중 84.4%가 건설사업장으로 조사되었다(환경부, 2011a). 건설현장에서 발생하는 미세먼지는 호흡기 계통과 생활환경 및 재산상의 피해를 나타낸다(Yu Hee-Jong *et al.*, 2004; Kim Nam-Choon, 2007).

미세먼지의 관리는 대기환경보전법과 환경영향평가법으로 이원화되어 관리되고 있는데 대기환경보전법에서는 미세먼지 배출사업장에 대한 신고와 미세먼지 발생을 억제하기 위한 방진시설의 설치(환경부, 2011b) 등에 대하여 규정하고 있으나, 미세먼지의 발생 및 확산 과정에서 국지적인 풍향, 풍속 등 기상인자의 영향이 절대적임에도 불구하고(NIER, 2006) 이와 같은 기상인자는 전혀 고려되지 않고 있다.

또한 미세먼지 관리규정은 부지경계선 상에서 총부유먼지(TSP)의 배출허용기준을  $0.5\text{mg}/\text{Sm}^3$ (시멘트 제조시설을 제외한 배출시설의 적용기준)로 규정하고 있어 피해가 예상되는 주거지역에서의 관리 규정은 포함하지 않고 있는 실정이다.

환경영향평가법에 의한 환경영향평가 제도에서는 공사 시 미세먼지 발생량의 예측과 미세먼지(PM-10) 유지 목표농도를 설정하여 적정관리가 될 수 있도록 유도하고 있으나(환경부, 2011c), 대상지역의 배경농도와 기상상황을 고려하지 않고 절대적인 유지목표농도만 제시하고 있다.

그리고 환경영향평가 제도에서는 기상자료를 주요인자로 대기모델링을 실시하여 미세먼지 저감대책을 수립하고 있으나, 기상조건에 따른 세부 평가가 매우 미흡하고 단순 나열식의 저감대책의 제시로 공사 시 현장관리에 중점을 두고 있다(환경부, 2005).

또한 대규모 단지조성 공사현장 환경 관리인이 특정일의 배경농도, 기상상황 등을 고려하여 쉽게 적용할 수 있는 지침도 마련되어 있지 않다. 이에, 미세먼지 발생의 최대 조건 형성 시 빠른 대처를 취하지 못하여 주변지역에 대한 피해를 초래하는 경

우도 발생할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 현행의 미세먼지 관련제도에서 발생할 수 있는 문제점을 개선하고, 대규모 단지조성 공사현장에서 쉽게 적용이 가능한 미세먼지 관리매뉴얼을 제시하여 경기도 시화 MTV(Multi Techno Valley) 조성사업뿐만 아니라 이와 유사한 현장에도 일반적으로 적용가능 하도록 하였다.

## II. 연구대상 지역 및 방법

### 1. 연구대상 지역

대규모 단지조성 공사 시 미세먼지에 의한 배후지역 주거단지의 피해를 최소화하기 위해 기상인자를 고려한 효과적인 미세먼지 관리매뉴얼을 작성하기 위하여 시화 MTV 조성사업이 진행 중인 경기도 시화·반월공단 지역을 본 연구의 대상지역으로 선정하였다.

반월·시화공업단지는 1977년부터 안산시와 시흥시에 걸쳐 조성되고 있는 산업단지로 수도권 지역의 인구 과밀 해소와 서울과 경기도 지역 환경오염물질 유발 업종을 중심으로 한 중소기업의 집적단지로 지정되었다.

### 2. 연구의 방법

미세먼지 관리매뉴얼을 작성하기 위하여 대상지역으로 선정한 시화MTV지역 내에서 측정된 풍향, 풍속 등 기상자료와 최대 먼지 발생량을 이용하여 ISCST3(Industrial Source Complex Short Term Model 3) 모델식으로 모델링하여 미세먼지 농도를 예측하고, 이를 근거로 미세먼지 농도와 관련된 법규 등을 고려하여 미세먼지 유지 목표농도를 설정하였으며, MTV지역을 중심으로 선정한 6개 지점에서 4계절 동안 측정된 미세먼지 농도와 비교하여 미세먼지 저감량을 산출하였다. 또한 모델링에서 도출한 미세먼지 농도 예측을 위한 상관관계식을 이용하여 풍속에 따른 미세먼지 발생량을 계산하도록 제시하였다.

모델링을 위한 기상자료로서 사업지구에 대한 기

Table 1. PM-10 Measurement Sites

Site	Locations
A-1	Seohae Elementary School
A-2	Office of Jeongwang1-Dong
A-3	Observatory
A-4	Park Near to Daedeok Ltd.
A-5	MTV Site 1
A-6	MTV Site 2

상측정은 MTV조성사업 2공구 현장에 자동기상관측 장비를 설치하여 2010년 1월부터 12월 까지 5분 간격으로 측정토록 하였으며 같은 기간 1시간 간격으로 측정된 인근 인천기상대의 자료와 비교하였다.

시화MTV조성사업에 따른 대기질 현황과 모델링 자료로 사용하기 위한 미세먼지 농도 측정은 Table 1과 같이 6개 지점을 선정하여 대기오염공정시험법에 따라 계절별로 실시하였다.

### 3. 모델링 적용

#### 1) 모델 선정

시화 MTV 조성사업은 시화·반월공단과 인접하여 평탄한 지역에 해당되나, 국지적인 바람장의 영향이 우세한 지역으로서 CALPUF(California

Puff Model)등 3차원 바람장을 고려할 수 있는 모델의 적용이 적합할 것으로 판단되나, CALPUF 모델링의 적용시 입력자료의 확보가 용이하지 않은 점 등을 고려하여 ISCST3 모델을 적용하였다 (Kwon Woo-Taeg *et al.*, 2002; Kim Ki-Bum *et al.*, 2007 ; Cho Dong-Myung *et al.*, 2007). ISCST3 모델은 일정기간의 평균 및 최고농도를 계산할 수 있는 Gaussian Plume모델로서, 다양한 배출원으로 구성된 도시 및 농촌지역에 적용 가능하고 예측점과 오염원간의 고도차를 고려할 수 있는 단기예측 모델이다(Paolo, 1999).

#### 2) 기상자료

시화 MTV 조성사업에 따른 ISCST3 모델링시 기상조건은 최대한 보수적인 결과물을 얻기 위하여 현장에서 측정된 기상자료 중 정온시절별 최고의 농도를 보이는 시간을 Table 2와 같이 선정하였다.

#### 3) 미세먼지 발생량 산정 및 최대피해 예측

시화 MTV 조성사업시 발생하는 미세먼지의 발생량은 2003년 한국수자원공사에서 수행한 “시화 멀티테크노밸리 사업 환경영향평가서”에서 산출된 자료(Table 3)를 활용하였으며, 미세먼지 발생량이 가장 많은 매립작업을 기준으로 모델링을 수행하였다.

Table 2. Meteorological Inputs for ISCST3 Modelling

Time	Wind Direction	Wind Velocity (m/s)	Temp.(k)	Air Stability	Mixing Height (Rural)	Mixing Height (Urban)
11AM, June 14	342°	1.4	294.4	2	36.6	56.0
3PM, Feb. 25	55°	0.8	282.3	2	65.0	65.0

Table 3. Prediction of PM-10 Occurrence

Process	Reclamation	Shore Protection Works	Outer Trunk Road
Occurrence(g/sec)	27.02668	3.89183	4.96826

Source: EIS of Sihwa Multitechno-Valley Project, 2003, K-water Resource Corporation.

Table 4. Geological Location of Predicted PM-10 Influence Area

Locations	Distance(m)	TM Coordinates	
		TM_X	TM_Y
Oido Residence	694.1	172,478	426,586
Samhwa Paint	411.7	177,264	423,147

Source: EIS of Sihwa Multitechno-Valley Project, 2003, K-water Resource Corporation.

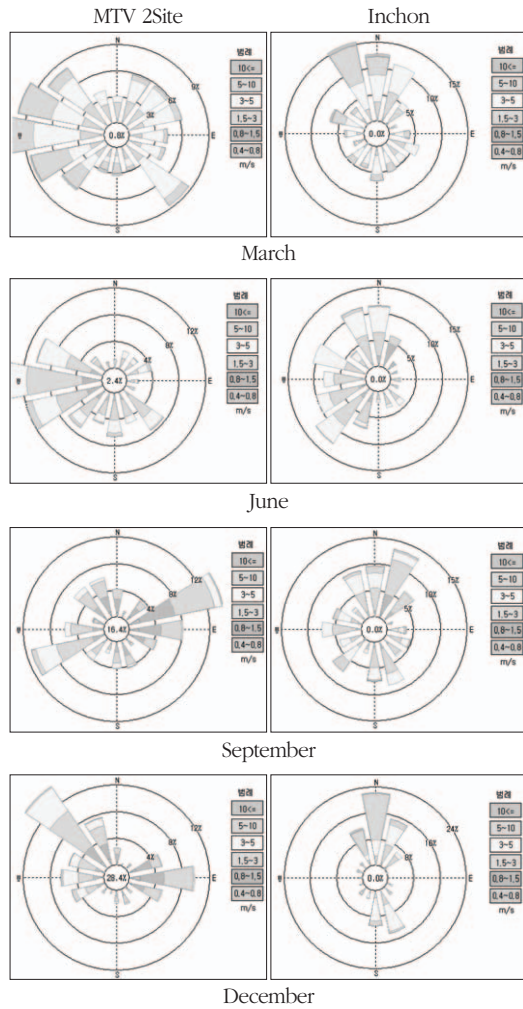


Fig.1. Seasonal Wind-rose

또한 미세먼지의 발생으로 가장 큰 영향을 받을 것으로 예측되는 지점으로 오이도 주거단지와 삼화 페인트 등 2개 지점을 선정하였으며 두 지점의 지리적 위치는 Table 4와 같다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 기상

계절별 MTV 2공구에서 측정한 풍향, 풍속 등 기상자료와 인천기상대의 자료를 바탕으로 작성된 wind-rose는 Fig.1과 같다. MTV 2공구 지역의 풍향은 전반적으로 서풍계열이 우세하였으며, 이는 MTV 2공구 지역이 해안가 인근에 위치하여 해륙풍 등 국지적인 바람장의 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 인천기상대 지역은 MTV 2공구 지역에 비교하여 북풍계열이 우세하였다.

#### 2. 미세먼지 농도

MTV 사업지구 내 2개 지점과 시화산단 내 4개 지점 등 6개 지점에서 계절별로 측정한 미세먼지의 농도는 Fig. 2와 같으며, 각 지점별 농도는 A-1지점 27~102 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , A-2지점 22~105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , A-3지점 45~103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , A-4지점 41~109 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , A-5지점 51~108 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 그리고 A-6지점 52~108 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. 4 계절 중 봄철인 3

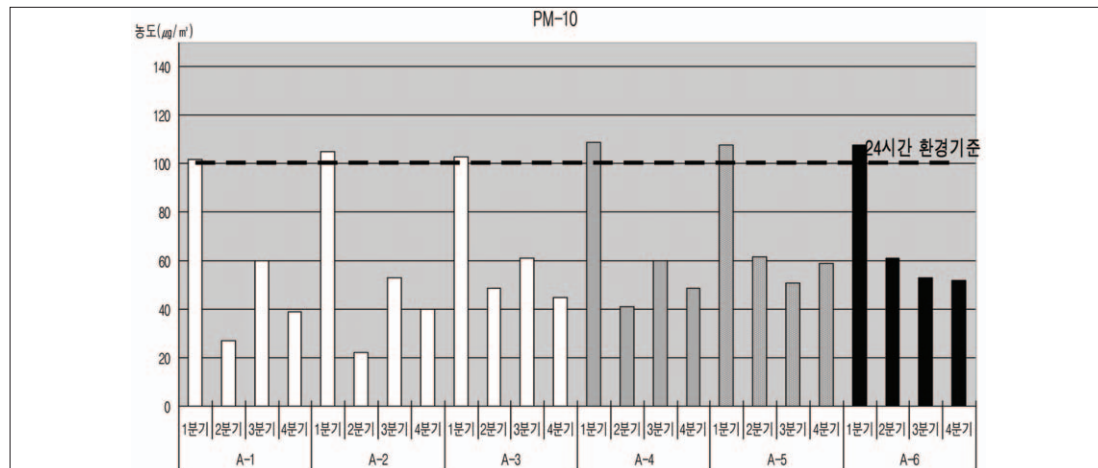


Fig. 2. Seasonal Concentrations of PM-10

Table 5. Prediction of PM-10 Accumulative Concentrations According to Wind Velocity

Classification		Accumulative Concentrations According to Wind Velocity( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				
		1m/sec	2m/sec	3m/sec	4m/sec	5m/sec
Oido Residence	1hr	112.7	56.4	37.5	28.2	22.5
	24hr	37.6	18.8	12.5	9.3	7.5
Samhwa Paint	1hr	39.4	19.7	13.1	9.8	7.8
	24hr	13.1	6.6	4.4	3.3	2.6

Table 6. Prediction Equations of PM-10 Accumulative Concentrations According to Wind Velocity (Oido Residence)

Wind Velocity	Prediction Equations
1 m/s	$y = 4.171x + 0.0067$
2 m/s	$y = 2.806x + 0.0067$
3 m/s	$y = 1.3908x + 0.0067$
4 m/s	$y = 1.0418x + 0.08$
5 m/s	$y = 0.8339x - 0.0067$

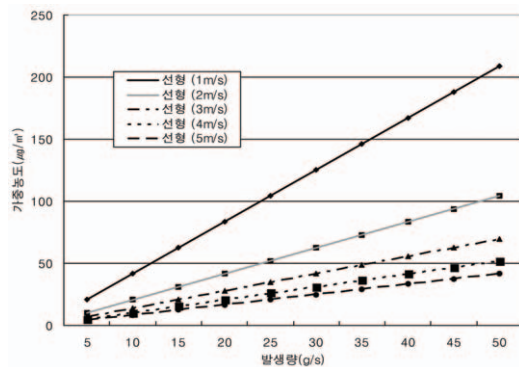
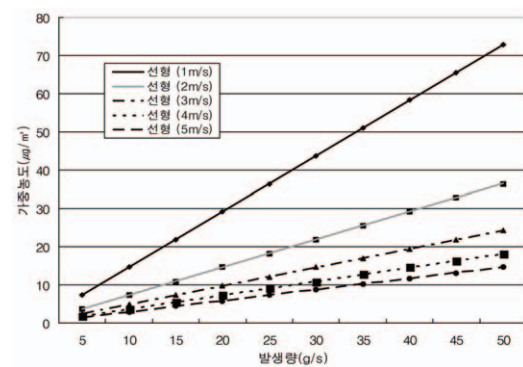


Table 7. Prediction Equations of PM-10 Accumulative Concentrations According to Wind Velocity (Samhwa Paint)

Wind Velocity	Prediction Equations
1m/s	$y = 1.4571x + 0.02$
2m/s	$y = 0.7292x - 0.0133$
3m/s	$y = 0.4861x - 0.0067$
4m/s	$y = 0.3648x - 0.0133$
5m/s	$y = 0.2925x + 0.0133$



월에 6개 지점에서  $102\sim 109\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 높은 농도를 모두 나타내고 있는데 이는 당시에 발생된 황사의 영향 때문이며 나머지 계절의 경우는 모두 24시간 대기환경기준인  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 훨씬 낮은 농도를 나타내고 있음을 알 수 있다.

### 3. 모델링 결과

모델링 결과 오이도 주거 지역과 삼화페인트 지점에서의 예측 미세먼지 농도는 Table 5와 같다. 대기모델링 수행결과 풍속이 낮을수록 대기 중의 미세먼지 확산이 줄어들어 피해 예측지점에서의 농도가 높게 나타남을 알 수 있다.

### 4. 풍속별 미세먼지 가중농도 상관관계

오이도 주거지역과 삼화페인트 지역에 대한

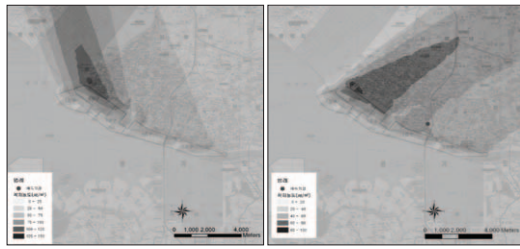
ISCST3모델을 이용한 대기모델링 결과를 토대로 풍속별 미세먼지 발생량에 따른 미세먼지 가중농도 예측식과 미세먼지 발생량과 가중농도의 관계는 Table 6 및 Table 7과 같다.

미세먼지 발생량이 증가함에 따라 시설물 측에서의 미세먼지 농도는 선형방정식의 형태를 나타내며, 따라서 풍속이 증가함에 따라 그래프의 기울기는 완만해짐을 알 수 있다.

건설현장에서 풍속과 PM-10 농도, 발생량의 상관관계를 통하여 PM-10 농도는 무풍 및 미풍의 상태에서 높았으며, 풍속이 증가할 때 PM-10농도는 하강하였으며, 풍속이  $1.0\sim 2.0\text{m/s}$ 일 때 최소값에 근접하는 것으로 나타난 연구결과(Tian G. *et al.*, 2008)와 다르지 않다.

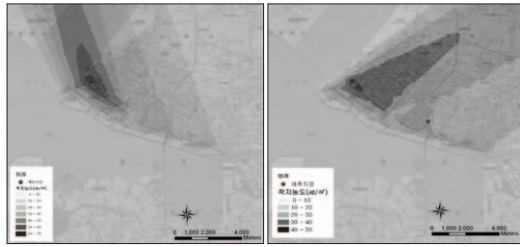
Table 6 및 Table 7의 예측식으로 산정한 오이





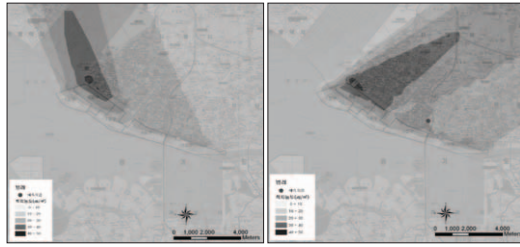
Oido Residence(1m/sec)

Samhwa Paint(1m/sec)



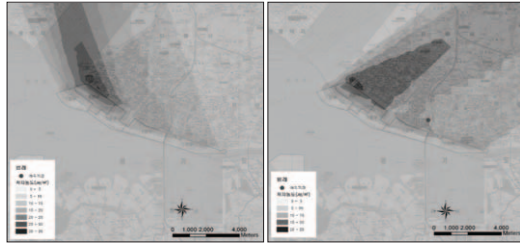
Oido Residence(2m/sec)

Samhwa Paint(2m/sec)



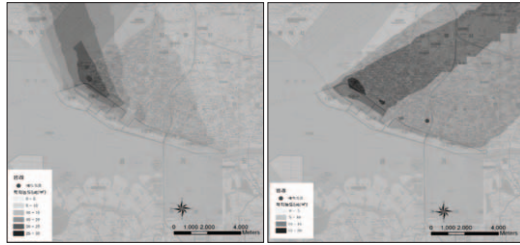
Oido Residence(3m/sec)

Samhwa Paint(3m/sec)



Oido Residence(4m/sec)

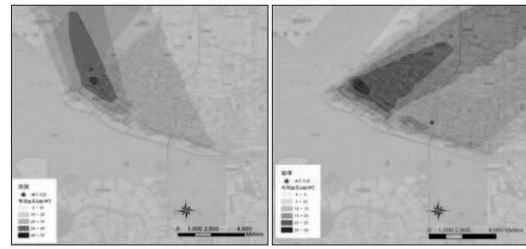
Samhwa Paint(4m/sec)



Oido Residence(5m/sec)

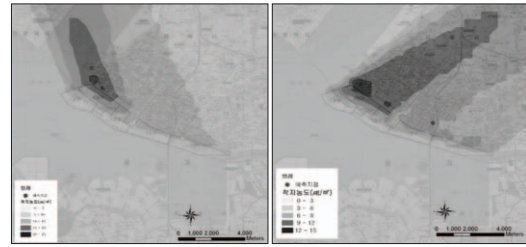
Samhwa Paint(5m/sec)

Fig. 3. Prediction of 1hr Average PM-10 Accumulative Concentrations According to Landuse



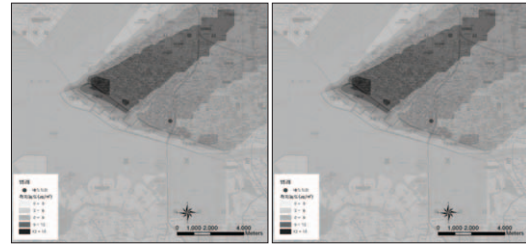
Oido Residence(1m/sec)

Samhwa Paint(1m/sec)



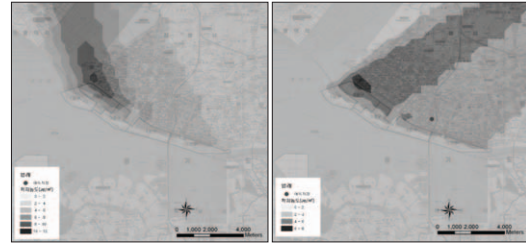
Oido Residence(2m/sec)

Samhwa Paint(2m/sec)



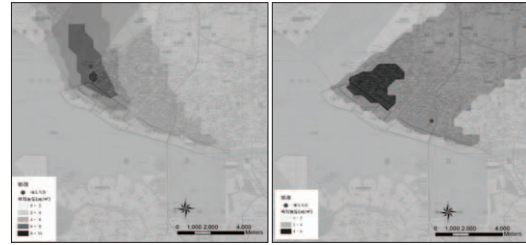
Oido Residence(3m/sec)

Samhwa Paint(3m/sec)



Oido Residence(4m/sec)

Samhwa Paint(4m/sec)



Oido Residence(5m/sec)

Samhwa Paint(5m/sec)

Fig. 4. Prediction of 24hr Average PM-10 Accumulative Concentrations According to Landuse

Table 8. Manual for PM-10 Management

비산먼지 관리대장						유지목표농도(y)		
(일시 : 2011년 10월 23 일 09시)						1시간 100 $\mu$ g/m <sup>3</sup>		
사업명	시화 MTV 조성사업					현공종	매립공	
배경농도(c) ( $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	53	풍향 (풍)	NW	풍속 (m/sec)	2	대상 시설물	오이도 주거지	
예측식	풍속	1m/sec	$y = (4.171x + 0.0067) + c$			허용한계(A) 비산먼지 배출량(X) (g/sec)	16.7	
		2m/sec	$y = (2.806x + 0.0067) + c$					
		3m/sec	$y = (1.3908x + 0.0067) + c$					
		4m/sec	$y = (1.0418x + 0.08) + c$					
		5m/sec	$y = (0.8339x - 0.0067) + c$					
비산먼지 관리대책 적용 결과								
비산먼지 배출량 예측결과 <sup>B)</sup> (g/sec)	구분	적용 현황					삭감량 (g/sec)	
매립공 전체 : 27								
		<b>발생전 대책</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원출속지 우선 조정</li> <li>• 일일토공량의 조정</li> </ul>					
투입장비 배기가스	0.6	<b>발생후 대책</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 표면실수-함수율 6%(덤프트럭+기타장비 이동시 <math>\nabla</math>80%)</li> <li>식1) 삭감량 = <math>(22.1+2.7) \times 0.8 = 19.8</math></li> </ul>					19.8
덤프트럭 이동	22.1		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 표면화학안정제 사용(아직시 <math>\nabla</math>90%)</li> <li>식2) 삭감량 = <math>1.4 \times 0.9 = 1.3</math></li> </ul>					1.3
토공물량 상하역시	0.3		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방진망 설치 (<math>\nabla</math>30%) - 남동측 방진망 점검</li> <li>식3) 삭감량 = <math>(27 - (22.3+1.3)) \times 0.3 = 1.0</math></li> </ul>					1.0
기타장비 이동	2.7	<b>추가대책</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 북서풍(NW)이 우세하여 사업부지 남동측에 위치한 정온시설 방면의 자갈대책 우선 검토-시행</li> </ul>					-
아직시	1.4		<b>삭감량 합계</b>					22.1
<b>삭감목표량(g/sec) = B) - A)</b>		10.3 (38.1%)	<b>달성여부</b>		달성			

도 주거지역과 삼화페인트 지역에 대한 1시간 평균 미세먼지 가중농도와 24시간 평균 미세먼지 가중농도를 Fig. 3과 4에 각각 중첩 제시하였다.

### 5. 미세먼지 관리 매뉴얼

기존의 미세먼지 관리 실태에서 드러난 문제점을 보완하기 위하여 풍속별 미세먼지 가중농도 상관관계 분석에서 도출된 예측식을 기초로 하여 개발한 미세먼지 관리 매뉴얼은 Table 8과 같다. 제시된 매뉴얼의 특징은 다음과 같다.

첫째, 특정일의 배경농도 및 기상인자를 고려하여 미세먼지 유지목표농도 달성을 위한 허용한계 미세먼지 배출량을 산정하도록 하였으며, 제시된 미세먼지 농도 예측식을 이용하여 유지목표농도 달성을 위해서 배출할 수 있는 미세먼지량을 즉시 산

출할 수 있다. 둘째, 단지조성 사업의 각 공종별로 산정된 미세먼지 배출량과 허용한계 미세먼지 배출량의 차이로 미세먼지 삭감목표량을 정량적으로 쉽게 구할 수 있으며, 이는 최적의 미세먼지 현장관리로 이어지게 된다.

삭감목표량이 구해지면 기존에 시행중이거나 각종 연구결과를 토대로 얻어진 저감대책을 현장에 적용하여 삭감목표량을 달성해 나갈 수 있게 된다(환경부, 2007). 또한, 더욱 효율적인 삭감목표 달성을 위해서 활발한 미세먼지 저감기술 개발을 유도할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서 제시하고 있는 미세먼지 관리매뉴얼을 대규모 단지 조성사업 현장에서 제도적인 근거를 마련하여 지속적으로 수행한다면, 다양한 지형적인 요건, 기상상황, 사업의 유형별로 최적의 미세먼지 관리 시스템

을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

## V. 결 론

본 연구는 대규모 단지조성 공사현장에서 발생하는 미세먼지의 관리를 매뉴얼화 하기 위해서 진행되었으며, 시화 MTV 조성사업을 사례로 진행하였다. 시화·반월공단의 경우 기존 운영중인 공장에서 발생하는 각종 대기오염물질로 인해서 배후지역에 환경상 위해를 미치는 우심지역에 해당되는 지역으로서 바로 인접하여 진행중인 시화 MTV 조성사업으로 인해 발생하는 미세먼지는 공단의 각종 대기오염물질과 반응하여 가중영향이 예상된다.

본 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 대기모델링 수행결과 풍속이 낮을수록 대기중의 미세먼지 확산이 줄어들어 대상지 인근에 위치한 예측지점에서 농도가 높게 나타나는 것으로 나타났다. 둘째, 미세먼지 발생량이 증가함에 따라 시설물 측에서의 미세먼지 농도는 선형방정식의 형태를 나타내며, 풍속이 증가함에 따라 그래프의 기울기는 완만해지는 결과를 나타냈다. 이에, 본 연구를 통해서 미세먼지에 대한 체계적인 관리매뉴얼을 작성하여 현장에 적용하고자 하였다.

## 사 사

본 연구는 시흥녹색환경지원센터의 환경기술연구개발사업(11-1-40-42) 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

환경부, 2011a, 2011 환경백서, 187-190.  
 환경부, 2011b, Enforcement Regulations of Clean Air Conservation Act, Administrative Decree of Ministry of Environment No.434.  
 환경부, 2011c, Guidelines for Preparation of

Environmental Impact Statements, Notification of Ministry of Environment, No. 2011-161.

환경부, 2005, Establishment of Forecasting System of Fine Particulates PM-10.

환경부, 2007, Workshop on Formulation of Effective Mitigation Measures of Fine Particulates PM-10.

Cho Dong-Myung, Kwon Woo-Taeg, Na Young, 2007, Hourly Environmental Pollution(Air Pollution and Noise) Mapping Method by the Traffic Volume Change, Journal of Environmental Impact Assessment, 16(6), 485-494.

Kim Nam-Choon, 2007, Study on Creation Methods of Amiable Environment for Banwol & Sihwa Industrial Complex, Ansan Environmental Technology Development Center.

Kim Ki-Bum, Kwon Woo-Taeg, Kim Hyung-Chul, 2007, Evaluation Method of Urban Development Location by APEI (Air Pollution Exposure Index), Journal of Environmental Impact Assessment, 16(4), 267-275.

K-water Resource Corporation, 2003, EIS of Sihwa Multitechno-Valley Project, 753-783.

Kwon Woo-Taeg, Lee Jae-Young, Kim Hyung-Chul, 2002, A Study on the Change of Distribution of Air Pollution Materials by the Street Location and Meteorologic Factors, Journal of the Korea Planners Association, 37(1), 137-152.

NIER (National Institute of Environmental Research), 2006, A Study on Meteorological Factors Affecting PM-10 Concentrations, 51-72.

Paolo Zannetti, 1999, Air Pollution Modeling,



Van Nostrand Reinhold, 361-362.  
Tian G, Fan S.B., Huang Y.H., Nie L., Li G.,  
2008, Relationship between Wind  
Velocity and PM-10 Concentration &  
Emission Flux of Fugitive Dust Source,  
Beijing Municipal Research Academy of  
Environmental Protection.

Yu Hee-Jong, Han Kyeong-Yeon, Kwak  
Kwang-Soo, Kim Jae-Soo, Yang Keuk -  
Yeong, 2004, A Study on the Actual  
Condition and Effect of Dust Scattering  
in Construction Field, Journal of the  
Korea Institute of Building Construction,  
4(4), 109-115.

최종원고채택 13. 01. 29