

## 대규모 공사시 비산먼지 산정 및 확산분석에 관한 연구

이내현\* · 김윤신\*\*

건국대학교 환경공학과 한국환경정책평가연구원\*, 한양대학교 환경대학원\*\*

### A Study on Estimation and Dispersion Analysis of Fugitive Dust in Amount the Large Scale Construction

Lee, Nae-Hyun\* · Kim, Yoon-Shin\*\*

Dept. of Environmental Engineering, Konkuk University Korea Environment Institute\*

Dept. of Environmental Engineering, Hanyang University\*\*

#### Abstract

The comparison of three different kind of simulation by screen3 model, Tem-8 model and EPA formula were undertaken to get a potential concentration and hourly maximum concentration of fugitive dust produced from each construction site in the downtown area of puchon city.

The amount of dust estimate U.S EPA formula and fugitive dust formula 22.6078g/sec, 27.9572g/sec respectively.

Hourly maximum concentration at the distance from each construction site by screen3 model are average of 78.89~728.40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and Tem-8 model are 97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in site-1, 241 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in site-2, 268 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in site-3, 232 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in site-4, 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in site-5, 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in site-6.

Through our experiment, Screen3 model is more encouragingly used than any other model.

Keyword: US EPA, fugitive dust formula, tem-8 · screen 3 model

#### I. 서론

사업계획을 시행함에 있어 공사시 발생하는 비산먼지는 다른 오염물질과는 달리 그 폐해정도를 인간, 재산, 농작물 등에서 바로 체감할 수 있기 때문에 주변지역에서 많은 민원을 야기하기도 한

다. 따라서 비산먼지로 인한 영향을 정확히 예측하고 이에 따른 적절한 저감대책을 마련하기 위해서는 설계공종의 정확한 파악으로 세부공종별 배출계수를 정확히 산정하여 발생량을 산출하여야 한다. 그러나 비산먼지발생량에 대한 국내 연

구결과는 전무하기 때문에 환경영향평가지 U.S EPA실험식<sup>2)</sup>을 사용하고 있으나 실험식 적용에 많은 오류를 낳고 있는 실정이다. 그러므로 어떤 공정이 비산먼지를 가장 많이 배출하는지 알수 없기 때문에 적절한 비산먼지 제어대책을 수립할 수 없으므로, 본 연구에서는 U.S EPA실험식과 Fugitive dust control technology실험식<sup>1)</sup>의 비교분석을 통한 세부공종별 정확한 발생량 산정과 미국환경청의 Screen3 model<sup>11)</sup>을 이용한 최악의 기상조건하에서 이격거리(50~1,000m)별 예측농도와 대상지역의 10년 평균치의 기상조건을 이용한 TEM-8 model<sup>10)</sup>을 이용한 대기확산정도를 분석함으로써 적절한 저감방안수립과 경제적인 저감 시설 운용에 이용할 수 있도록 공사구역별 공사시 비산먼지 확산범위와 예측농도를 제시하고자 한다.

## II. 대상지역 및 입력자료

### 1. 대상지역

본 연구의 대상지역은 택지개발 예정지역으로 경기도 중서부에 위치하며 서울특별시와 인천광역시 중간지점에 위치한 위성도시로 향후 영종도 신공항, 서해안고속도로, 서울외곽 순환고속도로의 확장과 함께 수도권 광역 공간구조상의 요충지로서 발전가능성을 내포하고 있는 도시이다. 부천시 행정구역 서측단, 중동택지개발지구와 인접하여 위치하며 남측으로 송내역 및 부개역이 입지하고 있으며, 주변지형은 50m미만지역이 83.1%를 점유하고 있는 대체로 평탄한 지세의 지형상 저지대이며 사업계획현황은 다음과 같다.<sup>7)</sup>

- 위치 : 경기도 부천시 원미구, 소사구 일원
- 계획면적 : 3,118,912m<sup>2</sup>(약943,471평)
- 계획수용인구 : 52,533인
- 계획수용세대수 : 17,511호

### 2. 입력자료

#### 가. 배출량산정

연구대상지역은 성토에 필요한 토량이 총 810만m<sup>3</sup>인 순성토지역으로 공사구역구분은 사토장 개설지역을 중심으로 총 6개 지역으로 구분하였다. 비산먼지 배출량 산정을 위해 비산먼지 발생시점은 토사반입이 완료된 후 사토장에서 성토지역으로 이동할 때 발생할 수 있는 제반요인을 U.S EPA실험식과 Fugitive dust 실험식에 적용하여 산출하였다.

#### 나. Screen3 model

Screen3 model을 사용하기 위해 6개의 공사구역별 비산먼지 배출률, 배출원 높이(0.3m 적용), 장변의 길이, 단변의 길이, 착지점 높이(1.5m 적용)등을 조사하여 입력하였다.

#### 다. TEM-8 model

Fugitive dust실험식에서 산정한 배출량을 g/sec 단위로 Tem-8 model에 입력하였으며, 오염원의

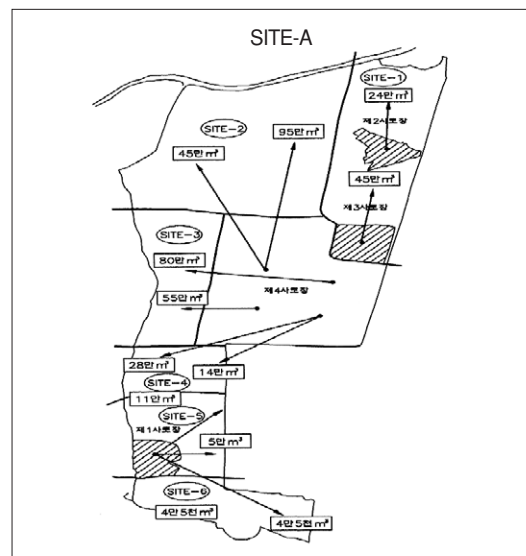


Fig. 1. Partition of construction area and flow tendency of soil

공간좌표, 평균화시간, 계산인자의 자료, 기상자료는 최근 10년간 누적평균자료(기상연보<sup>3)</sup>)를 이용하였다.

- 평균기온 : 11.9°C
- 풍속 : 3.9m/sec
- 안정도 등급 : D(중립상태)
- 연평균 대기혼합고 : 811m

### III. 연구방법

#### 1. 비산먼지 발생량 산정식

##### 가. U. S. EPA실험식

1) 비포장도로에서 덤프트럭 이동에 의한 발생량

$$E=(1.7) \cdot K \cdot (A/12) \cdot (S/48) \cdot (W/27)^{0.7} \cdot (N/4)^{0.5} \cdot [(365-P)/365]$$

여기서, E=Emission Factor(kg/VKT)

VKT=Vehicle Kilometer Traveled

K=Particle Size Multiplier K

A=Silt Content(%)

S=Mean Vehicle Speed(km/hr)

W=Mean Vehicle Weight(ton)

N=Mean No. of Wheels

P=Number of Days of Precipitation per Year(강수량이 0.254mm 이상인 날의수)

2) 포장도로에서 덤프트럭 이동에 의한 발생량

$$E=K \cdot (A/2)^{0.65} \cdot (W/3)^{1.5}$$

여기서, E=Emission Factor

K=Particle Size Multiplier K(g/VKT)

A=Silt Content(g/m<sup>2</sup>)

W=Mean Vehicle Weight(ton)

3) 토사이동에 따른 투하, 적치시 발생량(상 하적시)

$$E=0.15/(PE/100)^2$$

여기서, E=Emission Factor(kg/ton)

PE=Evaporation Index

$$E=(0.0016) \cdot K \cdot (U/2.2)^{1.3} / (M/2)^{1.4}$$

여기서, E=Emission Factor(kg/ton)

K=Particle Size Multiplier K

U=Wind Speed(m/sec)

M=Moisture Content(%)

##### 나. Fugitive dust실험식

1) 비포장도로에서 덤프트럭이동에 의한 발생량

$$EF=0.81 \cdot K \cdot A(S/30) \cdot [(365-P)/365] \cdot (N/4)$$

여기서, EF=Emission Factor(lb/VMT)

VMT=Vehicle Mile Traveled

K=Particle Size Multiplier K(자갈:0.62,dirt:0.82)

A=Silt Content(%)

S=Mean Vehicle Speed(Mile/hr)

N=Mean No. of Wheels

P=Number of Days of Precipitation per Year(강수량이 0.254mm 이상인 날의수)

2) 작업장비(덤프트럭 제외)의 운행에 의한 발생량

$$EF=0.1 \cdot T \cdot (A/15) \cdot (d/235)$$

여기서, EF=Emission Factor(lb/ton)

T=Construction Equipment of Activity Factor(주요0.6~0.25)

A=Silt Content(%)

d=Number of Days Dry Year

3) 바람에 의한 발생량

$$EF=0.05 \cdot (A/15) \cdot (D/90) \cdot (d/235) \cdot (f/15)$$

여기서, EF=Emission Factor(lb/ton)

A=Silt Content(%)

D=Period of Preservation

d=Number of Days Dry Year

f=Wind Speed 12Mile/hr over Continuous

4) 토공물량의 상 하적시 발생량

$$EF=0.0018 \cdot (A/5) \cdot (U/5)/(M/2)^2 \cdot (Y/6)$$

여기서, EF=Emission Factor(lb/ton)

A=Silt Content(%)

M=Moisture Content(%)

U=Wind Speed(Mile/hr)

Y=상 하적용 장비의 용량(yd<sup>3</sup>)

#### 2. Screen3 model<sup>1)</sup><sup>14)</sup>

Screen3 model은 기본적으로 Gaussian plume model로서 오염물질 농도를 추정하기 위하여 발생원으로부터 이동하는 동안 Plume형태는 비반응성이고, 건성이나 습식침강에 의한 제거과정은 없는 것으로 가정하며, 최악의 기상 요소와 관련

하여 계산할 수 있고 풍하거리별 오염물질 농도와 최악의 기상조건을 수치전산화에 의해 쉽게 얻을 수 있다.

### 3. TEM-8 model<sup>(10)13)</sup>

이모형은 Gaussian 확산식, Briggs연기상승식, Pasquill-Gifford의 확산계수식, 오염물질의 지수함수식의 가정에 기초를 두고 있으며, 대기오염물질의 단기간 지상농도를 예측하기 위하여 1975년 Texas Air Control Board에서 개발된 기법을 사용함으로써 다른모형에 비해 컴퓨터 사용시간이 짧다

### 4. 연구진행절차

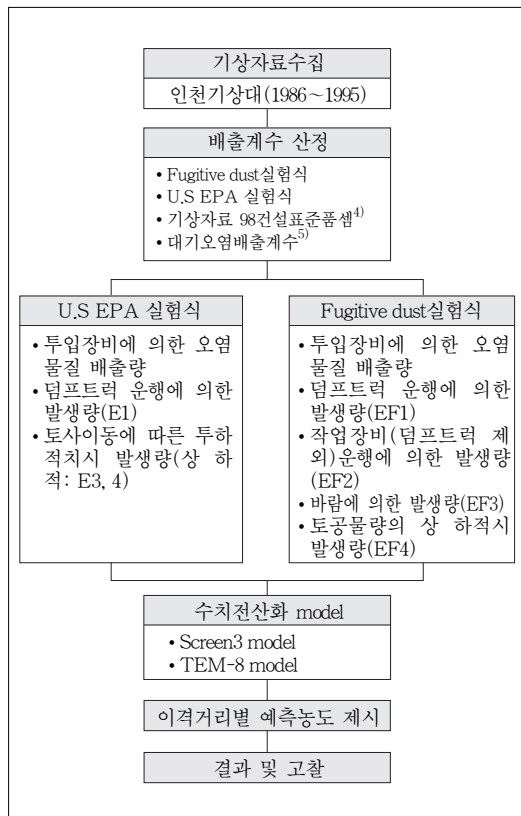


Fig. 2. The procedure of study

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 비산먼지 발생량 산정 분석결과

비산먼지에 대한 기여도가 가장높은 공종은 덤프트럭 운행에 의한 비산먼지 발생량으로 EF1(Fugitive dust 실험식)이 17.11g/sec, E1(U.S EPA 실험식)이 21.93g/sec로 U.S EPA 실험식에 의한 계산결과가 약간높게 산정되었으며, Fugitive dust 실험식에 대한 계산결과에서는 작업장비 운행에 의한 발생량과 바람에 의한 발생량이 미미한 반면, 토공물량의 상하적시 두 실험식 산정결과는 EF4가 8.95g/sec, E3,4는 0.68g/sec로 많은 차이를 보이고 있다(Table 1, Fig. 3). 이와 같은 이유는 기초토공사 및 부지정지 작업시 세부공종별 발생량 산정이 Fugitive dust 실험식은 가능하나

Table 1. Calculated amount of fugitive dust at each construction site

| Construc<br>tion Area | Fugitive dust formula |      |      |      | U.S EPA formula |      | Total(g/sec) |       |
|-----------------------|-----------------------|------|------|------|-----------------|------|--------------|-------|
|                       | EF1                   | EF2  | EF3  | EF4  | E1              | E3,4 | EF           | E     |
| site-1                | 2.78                  | 0.04 | 0.05 | 1.47 | 3.57            | 0.11 | 4.34         | 3.68  |
| site-2                | 7.06                  | 0.61 | 0.11 | 2.98 | 9.05            | 0.23 | 10.75        | 9.28  |
| site-3                | 4.09                  | 0.58 | 0.11 | 2.87 | 5.24            | 0.22 | 7.65         | 5.46  |
| site-4                | 2.12                  | 0.18 | 0.04 | 0.89 | 2.71            | 0.07 | 3.23         | 2.78  |
| site-5                | 0.79                  | 0.11 | 0.02 | 0.55 | 1.01            | 0.04 | 1.47         | 1.05  |
| site-6                | 0.27                  | 0.04 | 0.01 | 0.19 | 0.35            | 0.01 | 0.51         | 0.36  |
| Total                 | 17.11                 | 1.56 | 0.34 | 8.95 | 21.93           | 0.68 | 27.96        | 22.61 |

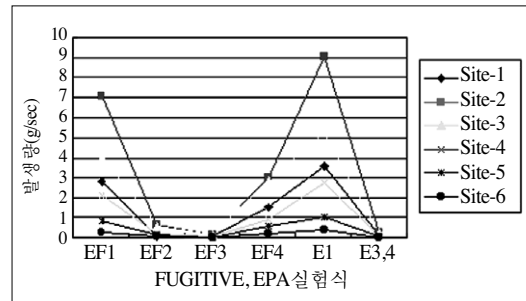


Fig. 3. Calculated amount of fugitive dust at each construction site

U.S EPA실험식은 공중별로 세분화되어 있지 못하여 설계공정을 적용할 수 없으며, 풍속과 실트 함량만을 고려하기 때문에 정확한 비산먼지산정이 어렵다.

### 2. Screen3 model에 의한 분석결과

각 장소에서 풍하거리(50~1,000m)별 1시간 예측농도와 기상조건을 분석한 결과 site-1~6에서 최악의 기상분포는 대기안정도 6등급, 10m고도에서의 평균풍속은 1.0m/sec, 혼합고 10,000m, 풍향 각 0°~42°일때 풍하거리(50~1,000m)별 예측농도는 site-1 191.8~368.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , site-2 286.5~728.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , site-3 191.3~447.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , site-4 142.8~685.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , site-5 50.87~197.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , site-6 26.01~78.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도분포가 나타났다(Table. 2, Fig. 4). 또한 site-4의 경우 비산먼지 발생량에 비해

Table. 2. Exepected dust concentration at the distance from each construction site by screen3 model (50~1,000m)

| Construction Area | concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Stability class | Wind speed (m/sec) | Mixing height (m) | Degree (°) | distance (m) |
|-------------------|--|-----------------|--------------------|-------------------|------------|--------------|
| site-1            | 191.8~368.0                                | 6               | 1.0                | 10,000            | 0~15       | 779          |
| site-2            | 286.5~728.4                                | 6               | 1.0                | 10,000            | 32~37      | 625          |
| site-3            | 191.3~447.2                                | 6               | 1.0                | 10,000            | 39~41      | 665          |
| site-4            | 142.8~685.6                                | 6               | 1.0                | 10,000            | 13~32      | 325          |
| site-5            | 50.87~197.1                                | 6               | 1.0                | 10,000            | 41~43      | 408          |
| site-6            | 26.01~78.89                                | 6               | 1.0                | 10,000            | 0~16       | 500          |

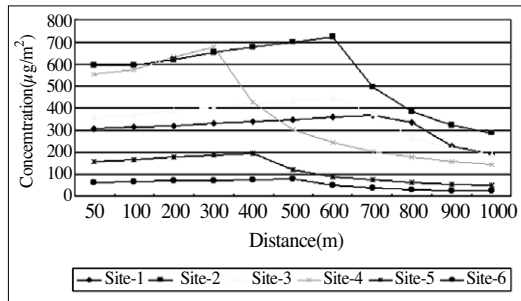


Fig. 4. Exepected dust concentration at the distance from each construction site by screen3 model (50~1,000m)

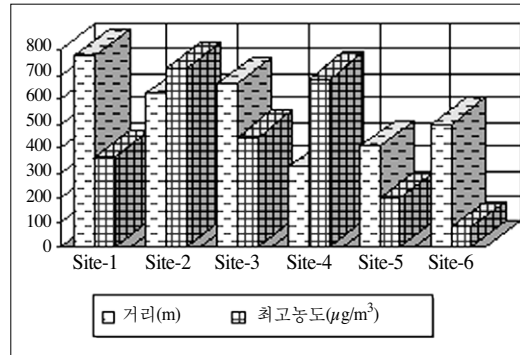


Fig. 5. Maximum concentration at the downwind distance for an hour

높은 예측농도를 나타낸 것은 site-1, 2, 3에 비해 공사구역의 면적이 작아 배출률( $\text{g}/\text{sec}/\text{m}^2$ )이 상대적으로 높아졌기 때문에 예측농도 분포가 크게 나타났다(Table. 2). 이는 Gaussian확산식에 근거를 둔 단기예측치(1시간 평균농도)가 높게 나왔지만, 일정한 시간동안 약한풍속(1m/sec)과 정체성 고기압이 머무는 기상조건하에서 오염물질의 확산이 않되고 축적현상에 의하여 충분히 예측 가능한 농도로 판단된다(6)8)9). 입력자료에 따른 기상조건, 풍하거리별 농도분포를 개략적으로 알아내기 위한 모델에 의한 예측은 환경영향평가지 사업의 특성을 고려하지않고 일률적인 모델적용 및 주요영향권 설정과 경제적인 저감방안의 운용에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

### 3. TEM-8 model 분석결과

이격거리별 예측농도 분포결과를 보면 site-1 공사시 50~100m이격된 지점에서 33~97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가하였으며, 200~300m 이격된 지점에서 15~65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 400~500m이격된 지점에서 1~11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1,000m 이격된 지점에서 1~6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 기여농도를 보였다. 또한 일 최대 예측농도 결과를 보면 site-1 97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , site-2 241 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , site-3 268 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , site-4 232 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , site-5 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , site-6 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 증가를 보였다(Table. 3, Fig. 6). 이는 1993년 건설현장

Table 3. Expected an concentration of fugitive dust at the downwind distance from each construction site by Tem-8 model

| Construction Area | Wind Direction | Expected concentration for distance(m, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |     |     |     |     |      |
|-------------------|----------------|---|-----|-----|-----|-----|------|
|                   |                | 100   | 300 | 500 | 600 | 700 | 1000 |
| site-1            | SW             | 97  | 65  | 27  | 16  | 8   | 3    |
|                   | NW             | 85  | 60  | 25  | 16  | 11  | 6    |
| site-2            | E              | 239   | 164 | 63  | 34  | 15  | 4    |
|                   | S              | 241   | 169 | 70  | 39  | 20  | 6    |
| site-3            | NE             | 268   | 185 | 76  | 41  | 23  | -    |
|                   | SE             | 235   | 180 | 70  | 48  | 29  | 11   |
| site-4            | E              | 232   | 160 | 57  | 35  | 21  | -    |
|                   | NW             | 157   | 107 | 55  | 37  | 25  | 10   |
| site-5            | SW             | 69  | 50  | 19  | 12  | 8   | 2    |
|                   | NW             | 65  | 47  | 18  | 12  | 7   | 2    |
| site-6            | E              | 36  | 28  | 7   | 4   | -   | -    |
|                   | W              | 27  | 17  | 7   | 4   | 2   | 1    |

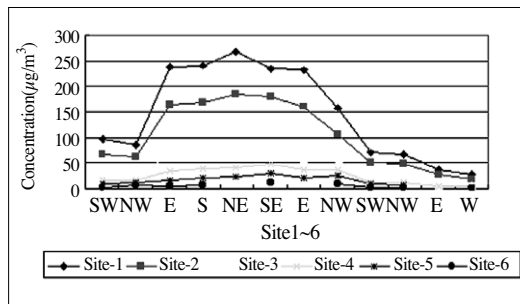


Fig. 6. Expected an concentration of fugitive dust at the downwind distance from each construction site by Tem-8 model

주변 먼지오염도 실측자료( $226 \sim 273 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )와 비교시 거의 비슷하게 나타나 Fugitive dust 실험식에 의한 비산먼지 발생량산정이 비교적 정확하게 산정되는 것으로 보인다.

그러므로 단기예측 모델에 있어 정확한 배출량 산정과 적절한 기상조건의 부여가 예측농도의 신뢰성에 큰 영향을 미치므로 매시간 최악의 기상 조건(기온, 풍향, 풍속)과 평상시 기상조건을 그대로 반영할 때 이에 따른 Gaussian 확산을 가정하여 모델에 의해 단기예측의 경우 오염물질의 확산분포가 특이하며, 고려하는 대상시간이 짧을수록 국지적으로 농도가 집중되는 현상이 잘 표현된다. 실제 자연현상에서 국지적으로 고농도 현상이 보이다가 점차 바람에 의하여 확산되어 가

는 과정이 나타날 것으로 판단된다<sup>8)</sup>.

한편, Screen3 model과 TEM-8 model의 비교시 Screen3 model의 경우 최고농도 분포가 site-2, 4, 3, 1, 5, 6의 순으로 나타났고, TEM-8 model의 경우 site-3, 2, 4, 1, 5, 6로 나타났다. TEM-8에 의한 결론은 사업지구 면적과는 무관하게 배출량과 기상학적인 요소에 큰 영향을 받으나, Screen3 model의 경우는 수치적인 적분을 사용하여 면적과 발생원별 기상학적인 요소의 상호작용에 의해 나타난 결과인 것으로 판단된다.

### V. 결론

이상의 연구결과에서 Gaussian형 확산식에 근거를 둔 단기성 모델은 오염물질 배출량과 기상 조건에 따라 큰 농도차이를 보이는 모델로서 정확한 비산먼지 발생량 추정과 최악의 기상 조건 하에서의 예측이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 비산먼지 발생량 산정식 중 국내 환경영향평가<sup>7)</sup> 작성시 주로 사용되고 있는 U.S. EPA 실험식과 Fugitive dust 실험식의 발생량 비교분석결과 U.S. EPA 실험식은 세부 공종별 발생량 산정에 어려움이 있고 기상학적인 조건에 크게 치우친다. 그러나, Fugitive dust 실험식은 세부 공종별 비산먼지 발생량을 설계 공중에 맞게 산출할 수 있다는 점에서 환경영향평가지 U.S. EPA 실험식 보다는 Fugitive dust 실험식을 설계공중에 맞게 적용시키는 것이 타당한 것으로 생각한다.

또한 환경영향평가지 대상지역의 공사시 대기 질의예측에 있어 설계 공정을 무시한 일률적인 배출량 산정은 과소 평가될 우려가 있고 전체 대상지역을 단 한번의 모델에 대한 평가를 하여 제시한 예측농도는 적극적인 저감대책 수립에 한계가 있다. 따라서 설계 공중에 맞게 공사구역을 구분하고 세부 공종별 발생량을 산출한 모델에 의해 계산한 결과 1993년 건설현장 주변 먼지의 오

염도 실측자료( $226\sim 273\mu\text{g}/\text{m}^3$ )와 매우 비슷하게 예측된 것을 볼수 있다. 한편, Screen3 model의 경우 사업의 경중에 따라 사업의 타당성 및 환경성 검토, 주요 영향권 설정, 민원 발생 예상 지역선정 및 경제적인 저감방안운용에 활용할 가치가 있는 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. Fugitive dust control technology 실험식, 1983.
2. U.S EPA 1995 Compilation of Air Pollutant Emission Factor, part A., 13,2,2-1-16
3. 기상연보, 인천기상대, 1987~1996.
4. 건설표준품셈, 1998, 건설연구사. 283-438
5. 대기오염배출계수(II), 1993. 12, 환경처. 507-515
6. 나진균, 1990, 복잡한 지형에서의 대기오염 확산 모델에 관한 연구, 인하대학교 박사학위 논문 1-10
7. 한국토지공사, 1997, 부천상동지구 택지개발사업 환경영향평가서,
8. 전상기, 1997, 대단위 발전소의 대기오염물질 확산에 관한 수치실험 및 검증에 관한 연구, 한양대학교 환경대학원 석사학위 논문, 74-75
9. 김영옥, 1997, 지형과 기상을 고려한 악취도의 공간분포해석, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 37-44
10. TEXA AIR CONTROL BOARD, 1979, User's Guide to the TEXA EPISODIC MODEL, 1-30
11. U.S Enviromental Protection Agency, 1995 Screen3 Model User's Guide EPA-45/B-95-004, 1-44
12. U.S Enviromental Protection Agency, 1995, (ISC3)Dispersion Model User's Guide EPA-45/B-95-003b, 12-35
13. Turner, 1964, D.B.A Diffusion Model for an Urban Area. Journal of Applied Meteorology, 83-91
14. U.S Enviromental Protection Agency, 1992, Screeing Procedures for the Air Quality Impact of Stationary Sources EPA-454/R-92-019, 12-35