

연구논문

교통체계개선에 의한 화물교통 대기오염영향 저감방안

- 시흥시 시화국가산업단지를 중심으로 -

이희관* · 김형철* · 권우택**

경원대학교 도시계획학과*, 서울보건대학 환경관리과**

(2005년 7월 18일 접수, 2006년 1월 5일 승인)

Comparative Study of Truck Traffic System Management for Reducing Air Pollution Impact

- Focusing on Sihwa National Industrail Complex, Siheung City -

Hee-Kwan Lee* · Hyung-Chul Kim* · Woo-Taeg Kwon**

Department of Urban Planning, Kyungwon University*

Department of Environment Science Technology, Seoul Health College**

(Manuscript received 18 July 2005; accepted 5 January 2006)

Abstract

The factor of air pollution in a large industrial city is not only manufactories but also, activities related to trucks. Sihwa National Industrial Complex is located in Siheung City; due to the industries, more diverse activities related to trucks occur in Siheung City than other cities. In particular, the new residential area in Siheung City is close to the industrial complex; so, the damage of this residential area is expected that it would be more serious and vulnerable than other areas.

The aim of this study is to analyze influence of the air pollution by a truck in Siheung City. ISCST3 Model and Arc View program were used for this study and Siheung City was divided into 1,000 meter by 1,000 meter grid to analyze. Furthermore, this study suggested two reduction controls of air pollution in Siheung City, and analyzed the results from these reduction managements.

The results of the present condition showed that residences located in north of Sihwa Industrial Complex are influenced by air pollution material. Furthermore, air pollution by trucks has affected on the residents which is near the road in Siheung City. Therefore, this study

suggested two reduction controls by the Traffic System Management.

The first alternative plan is setting the truck traffic limitation zone in the road that is located in south of resident areas and many trucks traffic. Next, the second alternative plan is setting freight truck way on the most traffic road to enter the industrial complex. The reduction effect of the first alternative is good on the residential area. And, the second alternate about freight truck way is divided passenger cars into trucks. Therefore, there are increase of average speed and decrease of average concentration, and spatial reduction effects found in wide areas.

Key words : Air Pollution, Reduction Method, Traffic System Management, Trucks

1. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

산업단지에서 발생하는 대기오염물질의 경우 생산 활동에 의해 발생하는 오염물질이 대부분이지만 그 이외의 오염원에 의한 오염물질 발생도 간과할 수 없는 것들이다. 그 오염원 중 하나인 화물차량에 의한 배출가스는 도로상에서 직접 배출되기 때문에 일상생활에 많은 영향을 미치고 있다. 특히 산업단지의 경우 대부분이 주거기능을 담당하는 배후도시를 두고 있어, 산업단지 내를 통행하는 화물차량에 의한 대기오염의 영향이 클 것으로 예상된다. 이는 산업단지 계획 시 화물차량의 운행에 따른 대기오염영향을 전혀 고려하지 않고 계획하였기 때문에 생기는 문제점 들이다. 이러한 화물차량에 의한 대기오염영향을 저감시키기 위하여 지금까지 자동차 자체적 개선 및 연료질의 개선을 통한 저감방안과 경제적 유인정책 등을 통한 수요저감대책방안 등 여러 가지 방안이 검토 및 시행되고 있다. 하지만 교통수요가 계속해서 증가하고 있고 대부분이 장기적 관점에서 보는 방안 들에 불과하다. 이러한 점에서 본 연구는 사례지역을 선정하여 화물교통에 의한 대기오염 영향을 분석하고 보다 단기적이고 지역적 특성에 맞는 저감방안을 제시하여 그 효과를 평가해 보고자 한다.

2. 연구의 범위

본 연구의 사례지역은 시흥시로 선정하였다. 시흥시의 경우 대규모 산업단지인 시화국가산업단지가 입

지해 있어 주변지역에 미치는 대기오염 영향 또한 타 지역에 비하여 클 것으로 예상되는 지역이기 때문이다. 특히 주거단지가 산업단지와 바로 인접해 있다는 지역적 특성 때문에 사람들이 느끼는 대기오염영향 또한 매우 클 것으로 예상된다. 연구에 사용된 기상자료의 경우 시흥시에서 가장 가까운 인천기상대의 2003년도 지표기상자료와 백령도관측소의 상층기상 자료를 이용하였으며 교통류 특성자료 중 조사가 어려운 자료의 경우 2003년도 통계자료를 이용하였다.

3. 연구의 방법론

본 연구는 그림 1과 같은 방법으로 연구를 진행하였다.

먼저 산업단지 화물자동차에 의한 대기오염 영향을 알아보기 위하여 시화국가산업단지 주변의 화물차량통행이 빈번한 도로를 선정하여 차종별 일교통량 및 평균통행속도를 조사하였다. 조사된 일교통량을 바탕으로 자동차의 속도를 고려한 배출계수 산출

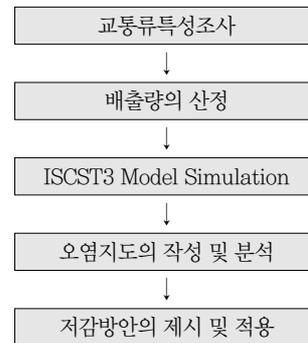


그림 1. 연구의 흐름

식을 이용하여 화물자동차에서 주로 배출되는 오염물질인 NO_2 와 PM 의 배출량을 산정하였으며 이렇게 산정된 배출량을 대기확산모형인 ISC Model을 이용하여 시흥시의 기후영향과 공간적 특성에 따라 확산 분석을 실시하였다.

ISC Model을 이용하여 분석한 NO_2 와 PM 의 배출량을 GIS Program인 아크뷰(Arc View)와 연동시켜 오염물질 분포를 시각화시킨 후 오염물질의 공간적인 분포를 분석하였다. 이러한 흐름에 따라 도출된 분석결과를 바탕으로 저감방안을 제시하였으며 효과를 분석하여 보았다.

II. 대기오염 영향의 분석

1. 교통류특성의 조사⁴⁾

사회국가산업단지 내 입주업체들에 의해 발생하는 화물자동차들의 교통류 특성을 조사하기 위하여 화물자동차들의 통행이 빈번한 27개의 도로구간을 선정하였다. 또한 선정된 27개의 도로구간을 중심으로 ADT(Average Daily Traffic: 24시간평균교통량)와 평균통행속도를 조사하였다. 차종은 승용차+버스와 화물차로 구분하였으며 화물차의 경우 소형

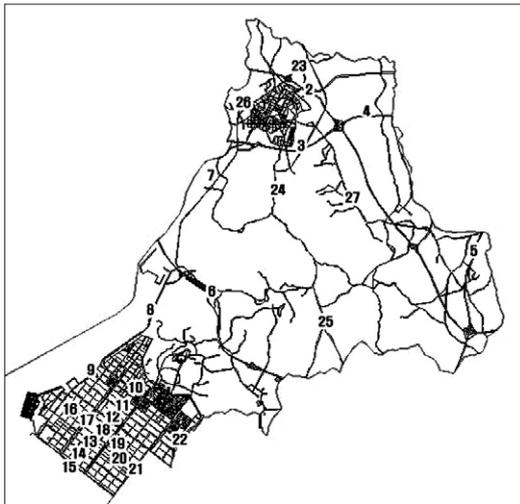


그림 2. 27개 분석도로 위치도

표 1. 27개 분석도로명

도로 번호	해 당 도 로 명
1~2	서울외곽순환고속국도
3~4	제2경인고속국도
5	서해안고속국도
6	영동고속국도
7~9	할미로 (77번국도)
10~22	산업단지내 도로
23~25	39번국도
26~27	42번국도

표 2. 27개 분석도로의 교통류 특성

분석 도로	소형 화물차	중형 화물차	대형 화물차	승용차	버 스	평균속도 (km/h)
1	81,093	14,310	4,016	41,896	9,882	84
2	25,141	4,436	3,919	83,937	30,484	84
3	18,298	3,230	6,536	70,707	10,962	79
4	15,729	2,776	4,025	63,014	10,184	80
5	20,174	3,561	4,602	66,372	11,006	86
6	20,284	3,580	13,818	61,192	10,910	83
7	17,327	2,331	2,288	23,586	221	44
8	23,432	4,759	4,251	74,905	1,031	28
9	4,601	910	2,846	48,439	661	42
10	6,369	1,630	1,490	28,772	1,442	28
11	2,502	560	519	6,067	120	16
12	6,413	1,567	1,072	10,329	148	31
13	5,495	1,234	602	7,558	205	23
14	9,516	1,236	1,417	9,737	177	30
15	4,501	679	816	8,529	51	51
16	1,011	455	199	2,715	1,236	18
17	2,070	424	220	7,485	159	18
18	904	192	207	4,168	77	17
19	4,351	350	385	17,283	146	18
20	2,391	216	369	6,567	214	19
21	3,029	741	478	12,248	227	24
22	4,679	718	411	5,483	26	18
23	7,162	1,133	610	27,218	1,812	20
24	3,166	351	324	9,811	1,564	24
25	7,217	1,324	1,132	16,069	317	49
26	8,116	959	954	25,428	851	44
27	13,973	982	674	27,454	1,514	59

(3톤미만), 중형(3톤이상 8톤미만), 대형(8톤이상)으로 구분하여 조사하였다.

27개 도로구간의 교통류 특성을 조사한 결과 서울 외곽순환고속도로인 1, 2번 도로와 산업단지로의 진입로인 7, 8번 도로에 화물차량이 많이 분포되어 있는 것으로 나타났으며 산업단지 내부도로에 속하는 10~22번 도로 중 주거지역 내부를 직접 통과하는 10번 도로에도 다수의 화물차량이 통과하고 있는 것으로 확인 되었다. 또한, 7~22번의 산업단지 진입로 및 내부도로에서의 평균속도가 40km/h 내외 인 것으로 조사되어 산업단지를 통행하는 차량들의 지체가 심각한 것으로 나타났다.

2. 배출량의 산정

27개 분석도로의 교통류 특성을 바탕으로 하여 대기오염물질 배출량을 산정하였다. 오염원으로부터 배출량을 산정하기 위한 방법에는 실측에 의한 방법, 물질수지법²⁾, 배출계수법 등 여러 가지 방법이 있다. 하지만 본 연구의 대상인 화물차에 대하여 각각의 배출량을 실측하는 것이 불가능하고 배출량에 관련된 자동차의 조건이 매우 다양하기 때문에 물질수지법을 이용하는 것도 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 배출계수법을 이용한 배출량 산정방법을 이용하였다. 배출계수법을 이용한 배출량 산정방법은 [배출계수 차종별 VKT³⁾]이며 배출계수의 경우 표 3의 한국 에너지기술연구원에서 제시한 차종별, 속도별 오염물질 배출계수 산정식을 이용하여 추정하였다.

배출계수법을 이용하여 산정된 배출량을 식 1과 같이 초당 배출량으로 환산하면 배출량 원단위가 산출되게 된다.

$\text{격자별배출량원단위(g/sec)} = \frac{\text{배출계수 TIMES 분석도로별 ADT}}{86,400} \quad \text{식 1.}$ <p>여기서, ADT=(일평균교통량;Average Daily Traffic)으로써 해당 도로구간의 24시간 교통량을 나타냄.</p> $86,400 = 24(\text{시간}) \times 60(\text{분}) \times 60(\text{초})$

표 3. NO_x, PM의 차종별 배출계수 산정식

오염물질		NO _x
차종·연료		배출계수(g/km)
승용차	무연휘발유	· 7.4128*V ^{-0.803}
버스	중형	· 80 ≥ : 30.015*V ^{-0.6054} · 80-110: 0.0018*V ² -0.2758*V+12.507
	소형(디젤)	· 35 ≥ : 12.86*V ^{-0.7046} · 35-100: 0.0002*V ² -0.0313*V+1.8357
트럭	중형	· 25 > 44.224*V ^{-0.5514} · 25-110: 0.0009*V ² -0.1533*V+10.66
	대형	· 82.397*V ^{-0.3783}
	소형(디젤)	· 0.3646*V ^{-0.2444}
오염물질		PM
차종·연료		배출계수(g/km)
승용차	무연휘발유	· 0
버스	중형	· 45 ≥ : 3.6875*V ^{-0.7865} · 45-100: 9E-07*V ² -0.0078*V+0.4259
	소형(디젤)	· 0.3646*V ^{-0.2444}
트럭	중형	· 55: 2.962*V ^{-0.5834} · 55-110: 6E-08*V ² -0.0105*V+0.6703
	대형	· 5.9671*V ^{-0.4199}

* 차속범위 10~100km/hr *무연휘발유차량 → 1500cc ~ 2000cc

자료: 자동차 오염물질 배출량 산정연구, 한국에너지기술연구원, 2001. 4.

한 편, 배출계수 산정식에는 NO_x산정식이 제시되어 있지만 환경기준에는 NO₂가 명시되어 있는 관계로 NO_x를 NO₂로 변환⁴⁾하여 연구에 활용하였다.

3. 오염지도의 작성 및 오염영향의 공간적 분석

본 연구에서는 화물교통에 의한 대기오염 영향의 공간적 분석을 위하여 시흥시를 1,000m×1,000m의 총 400개의 셀(Cell)로 나누었다. 이렇게 나누어진 셀에 27개의 분석도로에서 발생하는 오염물질 배출량의 원단위를 도로가 통과하는 해당 셀에 입력하였다. 또한 각 셀마다 좌표값을 부여하고 400개의 셀에 해당되는 오염원들을 ISCST3 Model에 적용시켜 시흥시의 기상 및 지형조건에 의한 오염물질의 확산을 시뮬레이션 해 보았다. 시뮬레이션 결과를 다시 Arc View Program으로 import시킨 다음 각 좌표값과 연동시켜 화면에 나타내면 시흥시의 오염물질

별 오염지도가 완성된다. 이렇게 완성된 시흥시의 NO_2 및 PM 오염지도와 식 2를 바탕으로 $1,000m \times 1,000m$ 의 규격으로 나누었던 400개의 셀 각각의 오염도를 바탕으로 평균오염도를 산정해보았다.

$$\text{평균오염도} = \left[\sum_{i=1}^n P_i \right] \div n \quad \text{식 2.}$$

여기서, n 은 셀의 개수를 의미하며 P_i 는 $1,000m \times 1,000m$ 의 각 셀별 오염도를 나타냄.

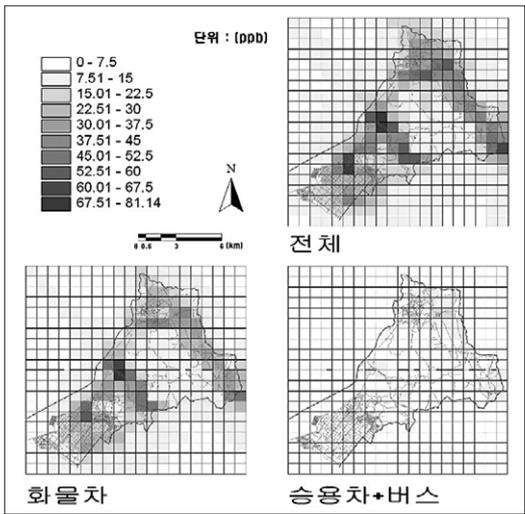


그림 3. 시흥시의 NO_2 분포현황도

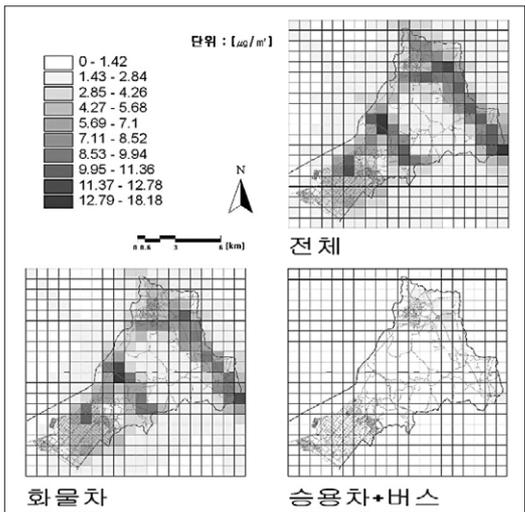


그림 4. 시흥시의 PM 분포현황도

표 4. NO_2 및 PM 의 평균오염도

구분	화물차	승용차+버스	전체
NO_2 (ppb)	11.35	3.71	15.87
PM ($\mu g/m^3$)	2.46	0.42	2.77

시흥시의 화물자동차 대기오염영향의 공간적인 분석현황을 보면 화물차에 의한 NO_2 및 PM 배출량이 승용차에 비하여 월등히 높은 것을 알 수 있다. 또한, NO_2 및 PM 의 분포상황이 주로 시화국가산업단지 주변에 집중되어 있는 것으로 나타났으며 특히 산업단지의 북측에 위치하고 있는 주거지역이 대기오염물질에 많은 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 이는 주거지역 남쪽으로 통과하고 있는 10번 분석도로가 주원인으로 분석된다.

IV. 저감방안의 제시 및 효과검증

1. 저감방안의 검토

화물자동차에 의한 대기오염 영향을 분석한 결과를 바탕으로 저감방안을 제시하여 보고자 하였다. 지금까지 문헌을 통해 제시된 자동차 대기오염 저감방안을 정리하면 그림 5와 같다.

화물차량에 의한 대기오염영향의 주원인은 주로 차량의 평균통행속도를 저감시키는 요소들 즉, 다수

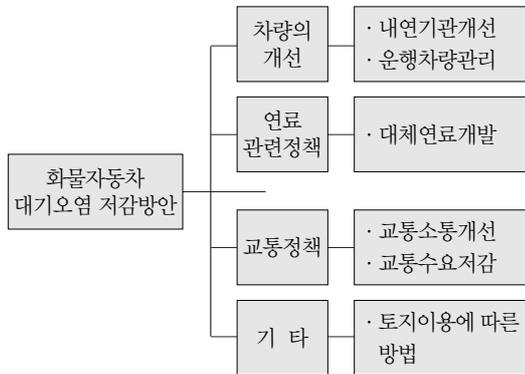


그림 5. 자동차 대기오염 저감방안의 분류

표 5. 교통운영체계를 이용한 개선내용

항 목	개선내용	개 선 효 과
도로 배정	· 주거지의 교통통제	<ul style="list-style-type: none"> · 주거지역 주변의 차량통행수요 감소 · 미통제차량들의 통행시간 단축
차선 배정	· 전용차로 (도로)	<ul style="list-style-type: none"> · 타 차량 간의 마찰방지 · 통행시간 단축 · 일반차량의 지체감소에 따른 도로의 용량증대 · 사고 발생률 감소

자료: 원제무, 알기쉬운도시교통, pp.133-pp.138(재정리)

의 교차로로 인한 잦은 신호대기와 도로용량의 초과에 따른 차량지체 등이다. 또한 시흥시의 경우 주거지역 내에 위치하고 있는 10번 분석도로로의 화물차량통행 또한 오염영향의 주요 원인으로 분석된다. 따라서 이와 같은 직접적인 오염물질 배출원을 제거시키고 각종 차량속도의 감속요소들을 제거하여 차량의 속도를 일정수준으로 유지시켜준다면 시흥시 주거지역의 대기오염영향을 저감시킬 수 있을 것으로 판단되었다. 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 교통운영체계 개선방안을 알아보았다.

표 5에서 제시하고 있는 개선내용에 따라 주거지역 주변의 화물통행을 제한시킬 경우 주거지역 주변의 화물통행수요는 없어지게 되며, 그 외의 차량 즉 승용차 및 버스의 평균통행속도는 향상되고 통행시간은 단축될 것이다. 또한, 화물전용차로를 건설할 경우 화물차량과 타 차량 간의 마찰이 없어지며 화물차량 및 그 외 차량들의 평균통행속도의 향상 및 통행시간 단축 등의 효과가 예상된다.

2. 저감방안의 적용

1) 화물통행제한구역

교통류특성조사결과와 오염물질의 공간적분포를 분석한 결과 타 지역에 비해 오염이 심각한 지역으로 나타난 10번 분석도로에 화물통행제한구역을 설정하였다.

화물통행제한구역은 도심의 교통체증 및 환경오염을 가중시키는 것을 방지하고 위험화물 운반차량

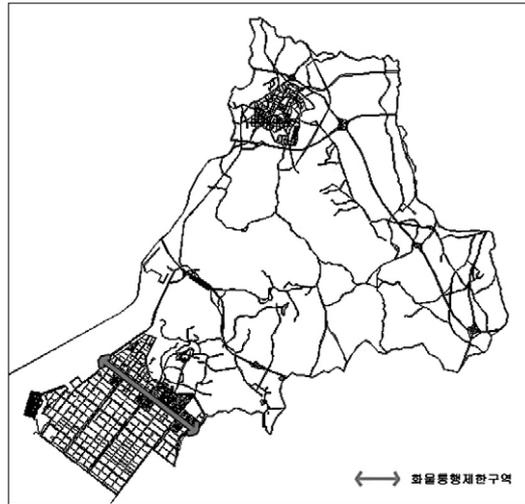


그림 6. 화물통행제한구역의 설정

의 위험으로부터 보호하기 위한 정책으로 도로교통법 및 도시교통정비촉진법 그리고 환경보전법 등에 근거를 두고 있다.

그림 6과 같이 화물통행제한구역으로 설정하게 되면 10번 분석도로 구간의 모든 화물차량은 통행이 불가능하게 되어 주변도로로 우회를 하게 된다. 이에 따른 교통량의 변화는 로짓모형을 이용하여 추정할 수 있으며, 화물통행제한구역 설정 후 10번 분석도로의 평균통행속도는 식 3의 다차로 도로의 구간별 평균통행속도 산정식을 이용하여 추정하였다.

$$S_{T2} = 80 - F_{WC} - F_H - F_A - F_S - (F_V) \quad \text{식 3.}$$

여기서,

S_{T2} = 중차량의 평균통행속도(km/h)

F_{WC} = 차로폭 및 측방여유폭 보정계수

F_B = 평면선형보정계수

F_H = 종단선형 보정계수

F_A = 유출입 지점수 보정계수

F_V = 차종별 신호등 밀도에 따른 교통량 보정계수

(vphpl5)이 500이상일 경우에만 해당)

자료 : 도로용량편람(2001, 건설교통부)

그 결과 화물통행제한구역을 가정한 10번 분석도로는 화물차량의 통행량이 없어지고 따라서 전체 교통량이 줄어들게 되어 약 4km/h의 속도가 향상 된다. 하지만 기존에 10번 분석도로를 통행하던 화물차

표 6. 화물통행제한구역에 의한 교통류 특성의 변화

분석도로	교통량 변화 ^{a),b)}			속도 변화
	소형 화물차	중형 화물차	대형 화물차	
9	+2,413	+450	+1,198	-4
10	-5,714	-1,128	-1,403	+4
11	+635	+131	+126	-
12	+720	+176	+120	-
13	+744	+176	+84	-
14	+792	+112	+132	-
15	-1,128	-97	-134	-
16	-144	-64	-36	-
17	-408	-80	-48	-
18	-240	-48	-60	-
19	-1,080	-96	-96	-
20	-648	-64	-96	-
21	-720	-176	-120	-

a) 1~8번, 22~27번 도로의 경우 화물통행제한구역 설정에 의한 교통류 특성에 변화가 없음.

b) 승용차 및 버스의 경우 교통류 특성에 변화가 없음.

들의 경우 주변의 산업단지 내부도로로 분산되어 우회 가능성이 높게 된다. 이에 따라 산업단지로의 진입로인 9번 분석도로의 경우 약 4km/h의 속도가 감소하게 되고, 산업단지 내부도로들의 경우도 전반적으로 통행량이 늘어나게 된다.

2) 화물전용도로의 설치

시흥시의 교통류특성 및 오염물질의 공간적 분포특성분석에 의하면 시화국가산업단지 및 시화신도시로의 진입로인 8번 분석도로와 9번 분석도로(월곡

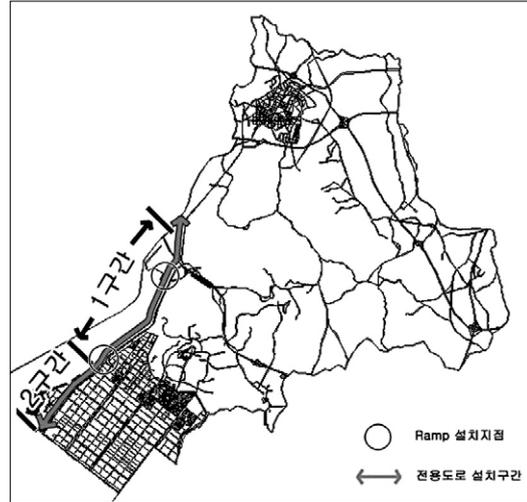


그림 7. 화물전용도로의 설정

I.C.~시화국가산업단지)에 가장 많은 교통량이 집중되어 있으며 평균 40km/h 대의 낮은 평균통행속도를 보이고 있다. 이러한 점을 고려하여 월곡 I.C.~시화국가산업단지에 이르는 구간에 화물전용도로를 설치하는 시나리오를 설정하였다. 단, 화물전용도로는 다음과 같은 가설을 따르게 된다. 먼저 첫째로 현재 8, 9번 분석도로의 교통량 중 화물자동차 교통량을 모두 수용하며 오직 화물차량만 통행이 가능하도록 한다. 둘째, 화물전용도로는 2구간으로 나누어 건설되며 제1구간은 진입로 및 신호기가 없는 연속류의 특성을 갖는 구간이고 이 점을 고려하여 진입로의 설치 시 램프를 이용하여 차량의 흐름에 영향이 없도록 한다. 셋째, 제2구간의 경우 산업단지의 각 도로에 진입할 수

표 7. 화물전용도로에 의한 교통류 특성의 변화

분석도로	교통량 변화 ^{c)}					속도	
	화물차			승용차	버스	전용도로속도	속도변화
	소형	중형	대형				
8	-23,432	-4,759	-4,251	0	0	-	+3
9	-4,601	-910	-2,846	0	0	-	-
28 ^{a)}	+23,432	+4,759	+4,251	-	-	75	-
29 ^{b)}	+4,601	+910	+2,846	-	-	-	-

a), b) 28번~29번 도로가 신설된 화물전용도로이며 28번도로가 1구간, 29번도로가 2구간을 나타냄.

c) 28번~29번 도로의 경우 화물전용도로이기 때문에 승용차 및 버스 교통량이 없음.

있도록 신호교차로를 설치(현재의 도로운영방식과 같지만 화물차만 이용)하도록 한다. 그리고 마지막으로 화물전용도로의 도로폭 및 차선 수는 화물차의 흐름에 영향을 주지 않도록 여유 있게 설계한다.

화물통행제한구역의 경우와 같은 방식으로 화물전용도로구간의 통행량 및 평균통행속도의 변화를 추정하였을 때 화물전용도로의 설치에 의해 해당도로구간의 화물차량과 승용차는 완전히 분리되게 된다. 이에 따라 승용차의 통행만 존재하는 기존 도로의 경우 약 3km/h의 평균통행속도가 증가하게 되며, 화물전용도로에서의 경우 화물차량의 평균통행속도가 약 75km/h로 추정되었다.

3. 저감방안별 효과분석

저감방안들에 의해 도출된 교통류 특성을 바탕으로 배출계수 및 배출량을 산정하고 ISCST3 Model을 적용시켜 공간적인 저감효과를 분석하였다. 이때, 분석범위는 오염물질이 밀집되어 있는 것으로 나타난 시화국가산업단지과 산업단지 주변 주거지역의 100km², 셀 100개를 대상으로 하였다.

각 저감방안별로 분석된 저감효과를 시각적으로 표현해 보면 표 9, 10과 같다.

두 가지 저감방안에 의한 공간적인 저감효과를 분

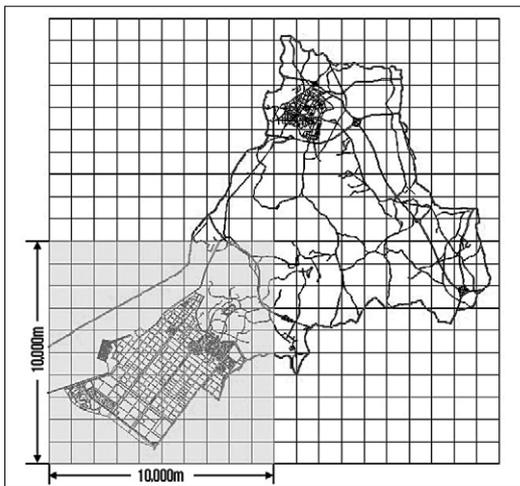
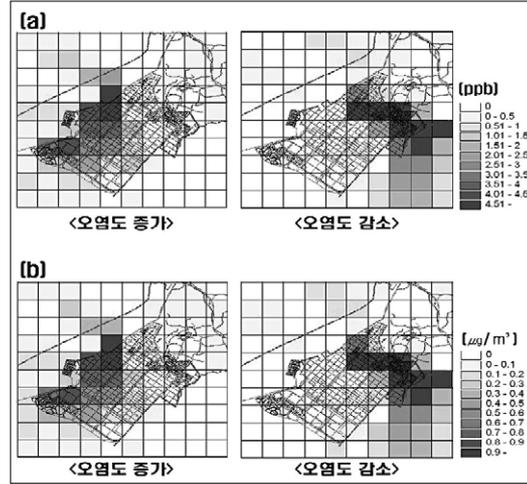
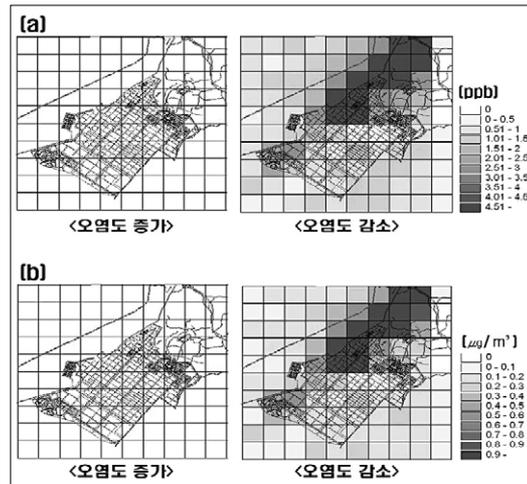


그림 8. 산업단지와 주거지역 주변 분석범위



(a) 이산화질소(NO₂), (b) 입자상물질(PM)

그림 9. 화물통행제한구역에 의한 저감효과도



(a) 이산화질소(NO₂), (b) 입자상물질(PM)

그림 10. 화물전용도로에 의한 저감효과도

석해본 결과, 주거지역 남쪽에 위치한 10번 분석도로에 화물차량제한구역을 설정한 경우 대체적으로 10번 분석도로 주변은 오염도가 감소한 것으로 나타났으나 산업단지로의 진입로인 9번 분석도로 즉, 할미로 구간은 오염도가 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 이는 10번 분석도로에 화물차량의 통행이 제한됨으로 인하여 산업단지로 우회하는 차량에 의한 9번 분석도로의 지체현상 때문인 것으로 파악된다. 이에

표 8. 시화국가산업단지과 주변 주거지역의 저감방안별 평균 오염도 및 저감효과 (단위 : ppb)

현황 전체		현황 화물차	현황 승용차+버스
NO ₂	19.84	16.04	3.85
PM	3.47	3.23	0.27
저감방안 1 ^{a)} 전체		저감방안 1 화물차	저감방안1 승용차+버스
NO ₂	19.77(-0.35%)	15.99(-0.31%)	3.85(0)
PM	3.45(-0.58%)	3.22(-0.31%)	0.27(0)
저감방안 2 ^{b)} 전체		저감방안 2 화물차	저감방안2 승용차+버스
NO ₂	18.16(-8.47)	14.45(-9.91%)	3.77(-2.08%)
PM	3.18(-8.36%)	2.94(-8.98%)	0.27(0)

a) 화물통행제한구역의 설정, b) 화물전용도로의 건설

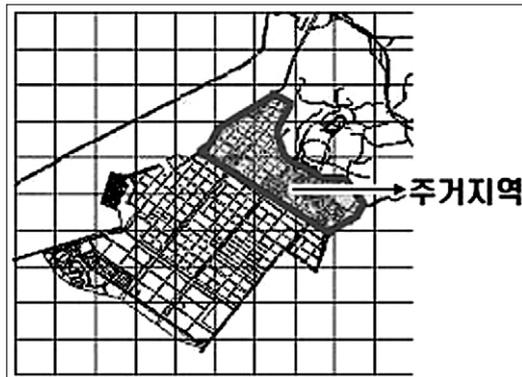


그림 11. 주거지역의 위치도

표 9. 주거지역의 평균오염도 및 저감효과 (단위 : ppb)

현황 전체		현황(화물차)	현황(승용차+버스)
NO ₂	33.28	25.97	7.41
PM	5.61	5.27	0.36
저감방안 1 ^{a)} 전체		저감방안 1 (화물차)	저감방안 1 (승용차+버스)
NO ₂	30.57(-8.14%)	23.47(-9.63%)	7.38(-0.40%)
PM	5.09(-9.27%)	4.75(-9.87%)	0.37(2.78%)
저감방안 2 ^{b)} 전체		저감방안 2 (화물차)	저감방안 2 (승용차+버스)
NO ₂	28.82(-13.4%)	21.70(-16.44%)	7.19(-2.97%)
PM	4.83(-13.90%)	4.48(-14.99%)	0.36(0)

a) 화물통행제한구역의 설정, b) 화물전용도로의 건설

비하여 산업단지의 진입로인 8, 9번 분석도로구간에 화물전용도로를 설정한 저감방안 2의 경우는 주변을 중심으로 고르게 저감효과가 나타났다.

각 저감방안별 시화국가산업단지와 주변주거지역의 평균 오염도⁶⁾ 및 저감효과를 산정해 보았다.

표 8에서 보듯이 화물통행제한구역과 화물전용도로의 저감방안 모두 전체적으로 현황에 비하여 대기 오염물질 배출량이 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 화물전용도로의 경우 화물통행제한구역과 비교하여 불 때 평균 2.27%의 더 높은 감소율을 보였으며 NO₂, PM 모두 고른 저감효과를 나타냈다.

산업단지로 인하여 대기오염영향을 많이 받는 것으로 나타난 주거지역에 대해서 평균 오염도를 산정해 보았다.

화물통행제한구역의 설정과 화물전용도로건설의 두 가지 저감방안에 의한 주거지역의 평균 오염도⁷⁾ 및 저감효과를 분석해본 결과 위의 산업단지 및 주거지역 주변의 저감방안별 오염도에 비하여 비교적 높은 저감효과가 나타났다. 특히 화물통행제한구역과 화물전용도로 모두 화물차의 NO₂가 9% 이상의 큰 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 또한, 산업단지 및 주거지역 주변의 오염도에서 낮은 저감효과가 나타났던 화물통행제한구역에서의 화물차에 의한 NO₂의 경우도 9.63%의 저감효과가 나타나 저감방안 1의 화물통행제한구역이 주거지역의 오염도 저감에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

한편, 화물전용도로를 이용한 저감방안의 경우 평균 11% 이상의 저감효과가 나타나 앞서와 마찬가지로 화물통행제한구역에 비하여 더욱 저감효과가 큰 것으로 나타났다.

V. 결론

본 연구에서는 국가산업단지가 입지하고 있는 시흥시를 사례지역으로 하여 산업단지에 의해 발생하는 화물교통에 의한 대기오염이 주변지역에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 또한, 그 영향을 최소화

하기 위하여 교통운영체계개선을 통한 두 가지 저감 방안을 제시하였으며 그 효과를 검증해 보았다.

이 연구에 의한 결론은 다음의 세 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 시흥시의 경우 화물차량통행에 의한 대기오염이 시화국가산업단지의 배후 주거지역에 많은 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 이는 산업단지 개발에 있어 시흥시의 기상조건 및 지형조건 등의 환경적 여건을 고려하지 않은 계획의 결과라 할 수 있다. 따라서 시흥시에 있는 산업단지 및 주거지역, 그리고 간선도로의 입지가 환경적 측면에서 문제가 있다고 볼 수 있다.

둘째, 본 연구에서 저감방안으로 제시한 화물통행 제한구역설정에 대한 효과를 보았을 때 주거지역을 통과하고 있는 10번 도로에 대해 화물통행을 제한한 결과 주거지역의 경우 NO_2 와 PM 이 각각 8.14%, 9.27% 감소하는 것으로 나타났다. 이런 점을 비추어 볼 때 10번 분석도로의 화물통행을 제한한다면 주거지역 주변의 대기오염저감에 효과가 있을 것으로 판단된다.

셋째, 본 연구에서 제시한 또 다른 저감방안인 화물전용도로의 효과를 보았을 때 주거지역 주변의 경우 NO_2 및 PM 모두 10%이상의 높은 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 산업단지 및 주거지역의 진입도로인 8번, 9번 분석도로의 교통흐름이 상당히 불안정하다는 것을 반증하는 것으로 반드시 화물전용도로의 설치가 아니라더라도 현재 할미로의 교통흐름을 원활히 할 수 있는 대안을 제시하고 실시할 경우 대기오염저감에 효과가 있을 것으로 기대된다.

註

- 1) 통계자료가 존재하는 고속국도 및 국도의 경우(도로교통량 통계연보, 2004)를 이용하였고, 통계자료가 존재하지 않는 산업단지 내부도로의 경우 실측하였음.
- 2) 주로 유기용매의 증발배출원에 적용되며, 용매의 순 사용량을 질량수지법으로 산출한 후 증발량을 구해내는 방법. 이 방법을 적용하기 위해서는 공정별로 사용되는 용매의 종류나 특성, 증발되는 물질의 종류, 사용량 등에 대한 정확한

조사가 선행되어야 하기 때문에 시간과 경비가 많이 소요된다는 단점이 있으나, 오염원별, 공정별로 이러한 정보가 구비된다면 높은 신뢰도를 얻을 수 있음(강영현, 2003).

- 3) $VTK(\text{대} \cdot \text{km}/\text{day}) = \text{차종별 자동차 보유대수} \cdot \text{차종별 일일 주행거리}$.
- 4) 질소산화물(NO_x)에서 이산화질소(NO_2)의 전환계수는 0.75를 적용하고 있음(국립환경연구원, 2001).
- 5) $vphpl = \text{Vehicle per Hour per Lane}$: 차선당 1시간 통행량.
- 6) 식 2와 같이 산정하며, 여기서 $n=100$ 이고, P_i 는 시화국가 산업단지와 그 주변의 주거지역 10km^2 를 100개의 셀로 나눈 $1,000\text{m} \times 1,000\text{m}$ 의 각 셀별 오염도를 나타냄.
- 7) 식 2와 같이 산정하며, 여기서 $n = \text{주거지역에 해당하는 셀의 개수}$ 이고 $P_i = \text{주거지역에 해당하는 각 셀의 오염도를 나타냄}$.

참고문헌

- 강영현 외 2인, 자동차 운행 시 터널에서 발생하는 대기오염물질의 저감방안, 2003. 12, 한국환경정책평가연구원, 2003, 29-86.
- 권우택, 주간선도로의 입지가 대기오염물질의 분포에 미치는 영향에 관한 연구, 경원대학교 박사학위논문, 2000, 15-18, 36-37, 49-59.
- 김석철, 사업특성별 환경영향평가에 적용되는 모델의 비교연구, 한국환경정책평가연구원, 1998, 12, 23-28.
- 김호정, 도심지역의 교통량 변화에 따른 대기오염 변화연구, 수원대학교 석사학위논문, 2002, 22-28.
- 수도권 자동차 대기오염물질 배출량추정 및 대기오염 저감정책방안 연구, 경기개발연구원, 2002. 11, 34-37.
- 유정복, 화물자동차 전용도로 및 전용차로의 도입을 위한 기초연구, 교통개발연구원, 2002, 3-6, 62-65.
- 유효상, ISCST3 모델을 이용한 시외 및 고속버스 터미널지역의 대기질 영향평가, 청주대학교 석사학위논문, 10-11.
- 윤대식, 교통수요분석 이론과 모형, 박영사, 2001, 200-203.
- 정희복, 부유분진확산 Modeling 중 TEM-8과

- ISCST3의 비교연구, 연세대학교 석사학위 논문, 2001, 38-45.
- 조경두, 자동차 대기오염 실태조사 및 개선방안, 인천개발연구원, 2002, 4-6, 87-89.
- 한화진, 자동차 배출가스 종합대책, 한국환경기술개발원, 1995, 48-53.
- 건설교통부, 도로용량편람, 2001, 138-143.
- 시흥시, 도시교통정비증기계획, 2001.
- User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) dispersion models volume I, II, January Wolfgang S. Hamburger, James H. Kell, David D. Perkins, Fundamentals of Traffic Engineering 13th Edition, University of California at Berkeley, 1992, 30-1-30-12.
- Introduction to Arc View GIS, ESRI, 1998.
- 환경부 홈페이지 <http://www.me.go.kr>
- 국립환경연구원 자동차공해연구소 <http://www.nier.go.kr/sub/index.php?homecd=06>
- 서울시 중차량 운행제한체계 연구, 시정개발연구원, 1998.
- 서울특별시 교통정비증기계획, 서울시, 2000. 11.