

도로 재비산먼지의 체계적인 관리방안 연구

진용균*, 최종규, 이진숙, 여인환, 심우형, 권다솔, 방준상, 허점건, 권문주
인천광역시보건환경연구원 환경조사과

A Study on the Systematic Management of Re-suspended Road Dust

Yong-Gyun Jin*, Jong-Kyu Choi, Jin-Sook Lee, In-Hwan Yeo, Woo-hyung Shim,
Da-sol Kwon, Joon-Sang Bang, Jeom-Geon Heo, Mun-Ju Kwon

Division of Environmental Research, Incheon Research Institute of Public Health and Environment

Abstract

According to CAPSS(Clean Air Policy Support System), suspended dust accounted for the high proportion of PM-10 emissions, approximately 40 %. Especially, Re-suspended dust occurrence is caused by deposited dust on the road scattered into the atmosphere by the movement of vehicles.

The aims of this study are drawing up pollution levels of roads and major pollution characteristics by regions. Pollution levels of roads were analyzed by an automobile that measures re-suspended dust.

In addition, in order to identify the types of major pollutants of road dust, deposited dust on heavily polluted roads were analyzed. The collected dust was classified into four parts according to particle size and analyzed; ions, heavy metals, and PAHs. When comparing the results of re-suspended and deposited dust by regions, Jung-gu and Seo-gu were found to be high pollution level. That is because there are large number of businesses and operations of trucks in Incheon, high proportion of PM-10 emissions are occurred. It was measured that the highest ion concentrations in ; Sudokwon Landfill, heavymetals: Dong-gu, PAHs: Gyeyang-gu were measured using component analysis, respectively. It was revealed that concentrations of ions, heavy metals, and PAHs were high in dust with a diameter of less than 75 μm , which is easily scattered by traffic.

Based on these results, this study suggests that arrangement of routes for analyzing road re-suspended dust by considering the measurement conditions of the road site, the degree of pollution level of road re-suspended and deposited dust, and spatial distribution and location representativeness. A select 70 are main roads, 8 are Sudokon landfill.

As above, this study identified the pollutants on roads and prepared basic data for systematic management research on road dust.

Key words : Re-suspended dust, Deposited dust, PM-10, Heavymetal, PAHs

I. 서론

먼지는 대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질로, 보통 0.1~1000 μm 입경범위를 가진다. 주로 화석연료를 사용하는 각종 연소시설 및 소각시설, 열처리시설, 석유정제 및 석유화학제품 제조시설 중 소성, 건조, 가역 및 탈황시설, 비포장도로 및 나대지, 석탄 및 연탄 제조시설 등에서 발생한다.

대기정책지원시스템(Clean Air Policy Support System, CAPSS)에 따르면 비산먼지는 전국 미세먼지(PM-10) 배출량에서 가장 높은 비율을 차지하며, 도로 재비산으로 인한 미세먼지 배출량은 비산먼지 배출량의 약 40 %로, 미세먼지 배출량에 상당한 기여를 하는 것으로 알려져 있다.

특히 도로 재비산먼지는 자동차 배기가스, 타이어 마모, 브레이크 패드 마모 등에 의해 도로 위에 침적된 먼지가 차량의 이동에 의해 대기 중으로 재비산 되는 입자상 물질로, 중금속 등 유해한 성분을 포함하고 있기 때문에 일반 먼지에 비해 인체에 영향을 미칠 가능성이 매우 크다.

따라서 본 연구에서는 관내 도로를 대상으로 지역별 도로 오염도와 주요 오염특성을 도출하고자 하였다.

도로 오염도는 이동측정차량을 통해 도로 재비산먼지(PM-10)를 측정하여 분석하였고, 도로 먼지의 주요 오염물질의 종류를 파악하기 위하여 도로 재비산먼지 고농도 지점에 대한 침적먼지의 정밀 성분조사를 실시하였다.

도로변에 침적된 먼지를 채취 후 입경별로 4개 영역(20 μm 미만, 20 ~ 75 μm , 75 ~ 150 μm , 150 ~ 1000 μm) 으로 분류하여 이온 6항목, 중금속 14항목, PAHs(Polycyclic aromatic hydrocarbons) 16항목을 분석하였다.

지역별 도로 오염도 분석과 성분분석한 결과를 기반으로 도로별 주요 오염 특성을

도출하여 도로 먼지의 체계적인 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

2.1. 연구대상

본 연구에서는 (Fig. 1.)과 (Table 1.)에서와 같이 기존 측정도로 간선도로 67개로, 고속도로 8개로, 매립지 및 주변도로 8개로, 계절관리기간 집중도로 구간 23개 등 중복 13개로를 제외한 93개로와 더불어 주변 배출원, 교통량, 현장상황 등을 고려하여 신규 간선도로 30개로를 추가하여 총 123개 도로를 대상으로 선정하였다.

기존 간선도로와 신규 간선도로의 주변현장, 오염도를 고려하여 도로 재비산먼지 측정 노선 조정(안)을 도출하였으며, 도로 재비산먼지 고농도 도로 20개를 대상으로 도로 침적먼지 시료채취 및 성분조사를 진행하였다.

2.2. 실험항목 및 방법

2.2.1. 도로 재비산먼지 조사

도로 재비산먼지는 차량 내에 광산란 방식으로 먼지 측정이 가능한 장비(DustTrack)를 탑재한 이동식 측정차량을 이용하여 조사하였다. 123개 도로에 대해 1월부터 12월까지 재비산먼지(PM-10)를 조사하였다.

Table 1. List of roads for examining re-suspended dust

No.	Category	Road
1	Arterial road(existing)	67
2	Arterial road(Additionally)	30
3	Expressway	8
4	Sudokwon Landfill	8
5	Seasonal management	23
Subtotal		136
Overlapping roads		13
Total		123

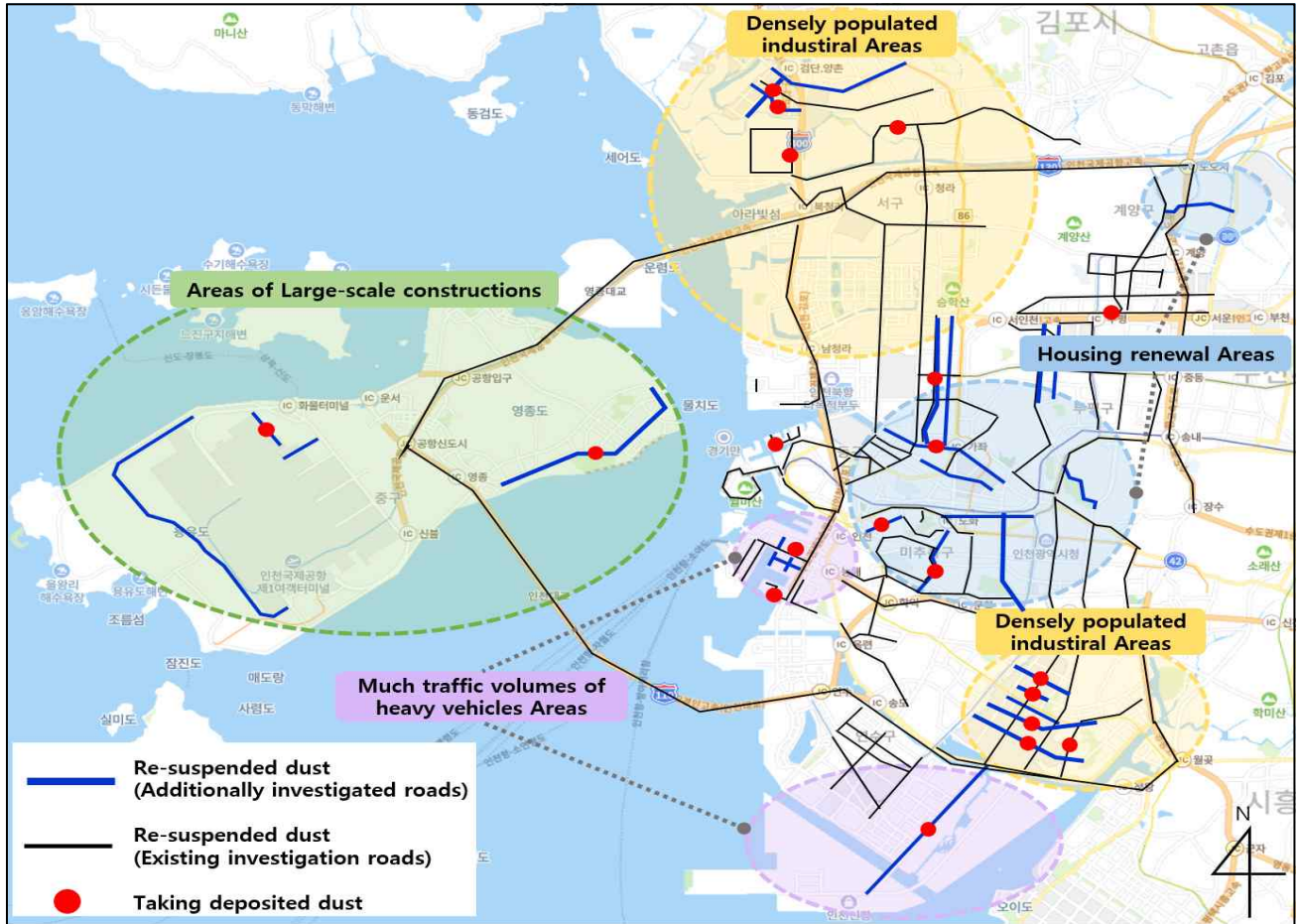


Fig. 1. Map of investigation roads

2.2.2. 도로 침적먼지 조사

도로 재비산먼지 오염도가 높은 도로 중 20개 도로를 선정하여 도로표면 또는 도로 갓길 등에 모인 침적먼지를 채취하였다. 0.5m×0.5m 구획을 진공청소기를 이용하여 3회 채취하여 하나의 시료로 혼합하였다. 채취된 시료는 실온에서 1주일 동안 건조한 후 디지털 체진동기로 20 μm , 75 μm , 150 μm , 1000 μm 로 분리하여 무게를 측정하였다. 20 μm 미만, 20 ~ 75 μm , 75 ~ 150 μm , 150 ~ 1000 μm 의 4개의 영역으로 분리된 침적먼지를 분석용 시료로 하였다.

2.2.3. 도로 침적먼지 입경분포 분석

채취된 침적먼지를 디지털 체진동기(Octagon 200, Endecotts, GB)를 이용하여 20 μm 미만, 20 ~ 75 μm , 75 ~ 150 μm , 150 ~ 1000 μm 의 4개의 영역으로 분리하여 각각 저울(AG285, Mettler Toledo, US)로 칭량후 무게분율을 산출하였다.

Table 2. List of roads for examining deposited dust

No.	District	Road
1	Jung-gu	Seohae-daero 93beon-gil
2		Chukhang-daero 211beon-gil
3		Yeongjonghaeanbuk-ro 702beon-gil
4		Yeongjong-daero
5	Dong-gu	Bose-ro
6	Michuhol-gu	Jangcheon-ro
7		Hannaru-ro
8	Yeonsu-gu	Songdo bio-daero
9	Namdong-gu	Nonhyeongojan-ro
10		Cheongneung-daero
11		Aenggogae-ro
12		Eunbong-ro
13	Gyeyang-gu	Hambangmoe-ro
14		Anaji-ro
15	Seo-gu	Baekbeom-ro
16		Yeomgok-ro
17		Dodam-ro
18		Bodeum-ro
19	Sudokwon	Dream-ro
20	Landfill	Gyeryangdaeilju-ro

2.2.4. 도로 침적먼지 성분조사

(1) 이온

도로 침적먼지의 이온물질 6종(Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})은 디지털 체진동기로 분리한 4개의 영역 별로 침적먼지 0.1 g을 취하여 정제수 30 mL에 넣고 80 °C에서 1시간 동안 초음파로 파쇄한 후 공극 0.2 μm 의 PTFE(Polytetra fluoroethylene) 필터로 여과하여 IC(ICS-6000, Thermo Fisher Scientific, US)로 분석하였다.

(2) 중금속

도로 침적먼지의 중금속 14종(Al, Ca, Mg, Cd, Pb, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As) 분석은 디지털 체진동기로 분리한 4개의 영역 별로 침적먼지 0.1 g을 취하여 5.5 % 질산 500 mL과 16.7 % 염산 500 mL를 1:1로 혼합한 용액 10 mL을 넣고 마이크로파 산분해하였다. 이 용액을 공극 0.2 μm 의 PTFE 필터로 여과하여 최종액량을 25 mL로 정량한 후 ICP-OES(5110, Agilent, JP)로 분석하였다.

(3) PAHs

도로 침적먼지의 PAHs 16종(Table 3.) 분석은 디지털 체진동기로 분리한 4개의 영역 별로 침적먼지 0.3 g을 취하여 1:1 디클로로메탄과 헥산 용액으로 가속 용매 추출기(ASE 350, Thermo Fisher Scientific, US)로 추출한 후 질소농축기(AS1310, Biotage, SE)를 이용하여 최종액량을 1 mL로 하였다. 내부표준물질 첨가 후 GC-MS(7890b-5977b, Agilent, JP)로 분석하였다.

Table 3. PAHs

No.	Substances	No.	Substances
1	Naphthalene	9	Benz(a)anthracene
2	Acenaphthene	10	Chrysene
3	Acenaphthylene	11	Benzo(b)fluoranthene
4	Fluorene	12	Benzo(k)fluoranthene
5	Phenanthrene	13	Benzo(a)pyrene
6	Anthracene	14	Dibenz(a,h)anthracene
7	Fluoranthene	15	Benzo(g,h,i)perylene
8	Pyrene	16	Indeno(1,2,3-cd)pyrene

2.2.5. 중금속 성분의 농축계수 산정

대기오염 모델은 오염물질의 확산, 대류, 화학반응, 침적 등을 고려하여 해당지역의 오염 농도, 침적량, 체류시간 등을 추정하고, 최종적으로 오염원의 효율적인 제어와 방지대책, 대기질 관리방안 수립 등을 제시하는 종합적인 도구이다 (황인조 등, 2013).

이중 오염원이 대기환경에 미치는 영향을 파악하기 위해 가장 많이 사용되는 기법은 수용모델이다. 수용모델은 각종 응용통계학을 기반으로 한 계량 화학적 분석기술이다. 일반 대기 중 수용체에서 가스상 및 입자상 오염물질의 물리·화학적 특성을 분석한 후, 대기질에 영향을 미치는 오염원을 일차적으로 확인하고 그 기여도를 정량적으로 파악하여 합리적 대기오염 관리방안을 제시하는 통계적, 수학적 방법론(methodology)이다. 이중 농축계수법은 특정원소를 특정오염원과 1:1로 대응시켜 그 영향을 정성적으로 평가하는 방법론으로 오염원의 수가 한정적일 경우 유용하게 활용될 수 있다(황인조 등, 2013).

본 연구에서는 수용모델 중에서 농축계수법을 이용하여 침적먼지 중 중금속의 농축계수(EF, Enrichment factor)를 산정하였다(식 1).

$$EF = \frac{(C_i / C_{Fe})_{sample}}{(C_i / C_{Fe})_{crust}} \quad (1)$$

여기서, $(C_i / C_{Fe})_{sample}$ 은 채취된 침적먼지 중 중금속 함량을 나타내며, $(C_i / C_{Fe})_{crust}$ 는 Mason and Moore(1982)가 제시한 평균 지각 함량을 Fe을 기준으로 나타낸 것이다. C_{Fe} 는 기준원소로, 일반적으로 지각 기원 지표물질로 사용되는 Fe을 사용하였다(Deely et al., 1994).

EF값이 1보다 낮으면 지각으로부터의 배출에 기반을 둔 원소이며, 10보다 크면 인위적 기원으로부터의 배출되는 기여도가 상당한 부분을 차지한다는 것을 나타낸다(변진여 등, 2018; 심인근 등, 2017).

III. 결과 및 고찰

본문 일부에서는 지역명을 약어로 표기하였다. 중구(내륙)는 J, 중구(영종)는 JY, 동구는 D, 미추홀구는 M, 연수구는 Y, 남동구는 N, 부평구는 B, 계양구는 G, 서구는 S, 수도권 매립지 SL로 나타내었다.

3.1. 대기오염물질 배출원 조사

3.1.1. 인천시 대기오염물질 배출량

미세먼지(PM-10) 배출량 중 서구, 중구의 배출량은 인천 전체의 약 43%로 높은 비중을 차지하며, 전체 배출량 중 비산먼지, 이동오염원(비도로·도로)의 배출량이 약 90%로 대부분을 차지한다.(Table 4.)

Table 4. Emissions of PM-10 (2020CAPSS)

(unit : kg/yr)

District		Total	Dust Scattering	Mobile source
1	J	918,295	508,860	385,714
2	D	161,565	70,759	6,351
3	M	472,499	414,419	42,141
4	Y	460,131	416,553	20,081
5	N	845,724	756,445	65,169
6	B	640,159	570,394	52,791
7	G	618,303	570,360	36,413
8	S	1,988,032	1,478,351	321,757

3.1.2. 인천시 사업장 종류

인천광역시에는 인천항과 인천국제공항이 위치하여 이를 중심으로 제조업과 물류와 산업이 발달하였다. 총 11개의 일반산업단지와 3개의 국가산업단지, 1개의 첨단산업단지가 존재하며, 지역별로 각기 다른 종류의 산업단지가 있다. 중구에는 사료, 목재, 동구에는 주물·금속, 미추홀구에는 기계, 전자, 연수구에는 바이오, 남동구는 화학, 금속, 계양구에는 금속, 기계, 서구에는 아스콘, 폐기물처리시설 등이 있다(Table 5.).

Table 5. Major industries by district

District		Type of industry
1	J	Feed, Wood
2	JY	Housing construction
3	D	Casting, Metal
4	M	Mechanical, Casting, Electrical and Electronic
5	Y	Bio
6	N	Chemical, Plating, Metal, Painting
7	B	Automobile
8	G	Metal, Mechanical
9	S	Wastewater consignment, Asphalt
10	SL	Waste disposal

3.2. 도로 재비산먼지 조사

3.2.1. 지역별 도로 재비산먼지 조사

도로 재비산먼지의 농도는 사업장과 화물차 운행이 많아 미세먼지(PM-10)배출량이 많은 중구와 서구에서 가장 높게 조사되었다. 세부적으로는 중구(내륙)과 수도권매립지에서 더 높은 값을 나타냈다.

Table 6. Concentration of Re-suspended dust

(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

District		Existing road	New road	Avg.
1	J	72	51	64
2	JY		30	30
3	D	31	-	31
4	M	34	10	25
5	Y	13	24	14
6	N	36	13	26
7	B	15	11	14
8	G	19	31	21
9	S	13	59	36
10	SL	55	-	55

Table 7. Concentration of Re-suspended dust on Expressway

(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Road		PM-10
1	Sudogwon Je1sunhwan Expressway	9
2	Sudogwon Je2sunhwan Expressway	13
3	Gyeongin Expressway	6
4	Je2gyeongin Expressway	26
5	Je3gyeongin Expressway	8
6	Yeongdong Expressway	10
7	Incheondaegyo Expressway	6
8	Incheongukjegonghang Expressway	7

PM-10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0~50	51~100	101~150	151~200	201≤
legend					

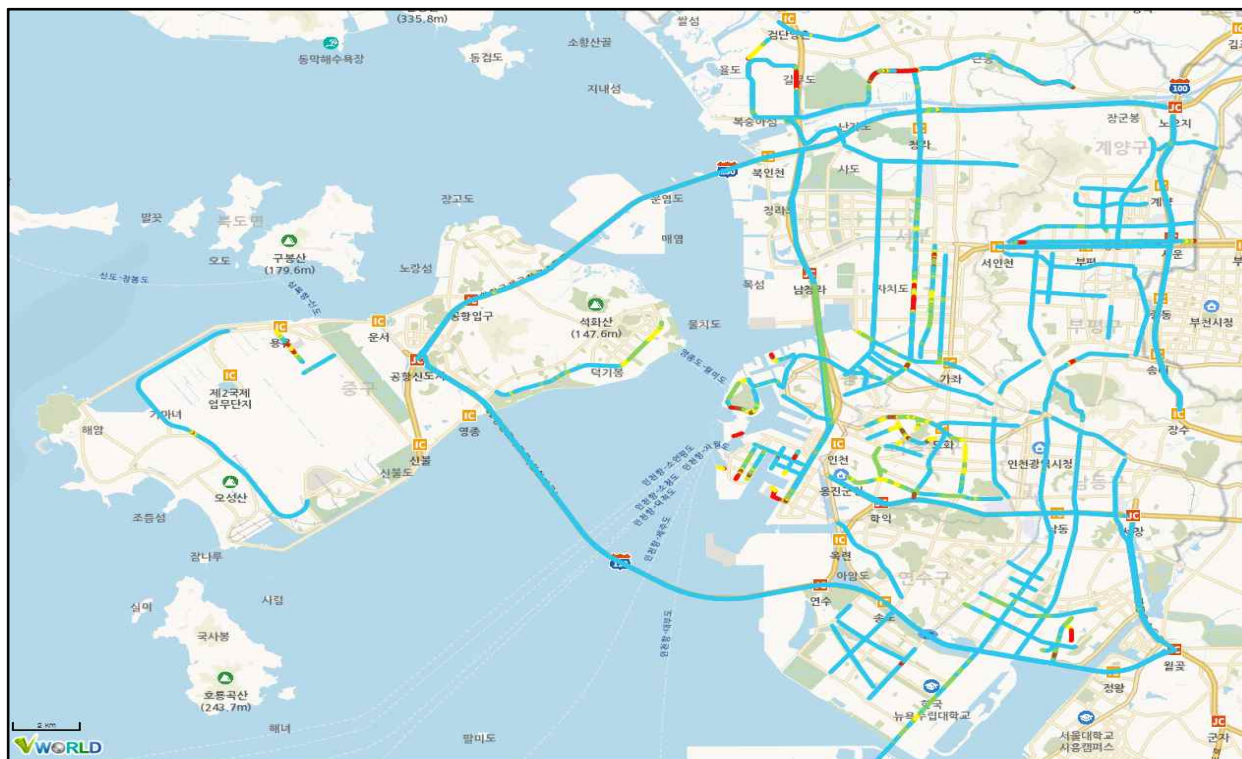


Fig. 2. Map of Re-suspended dust(1Q)

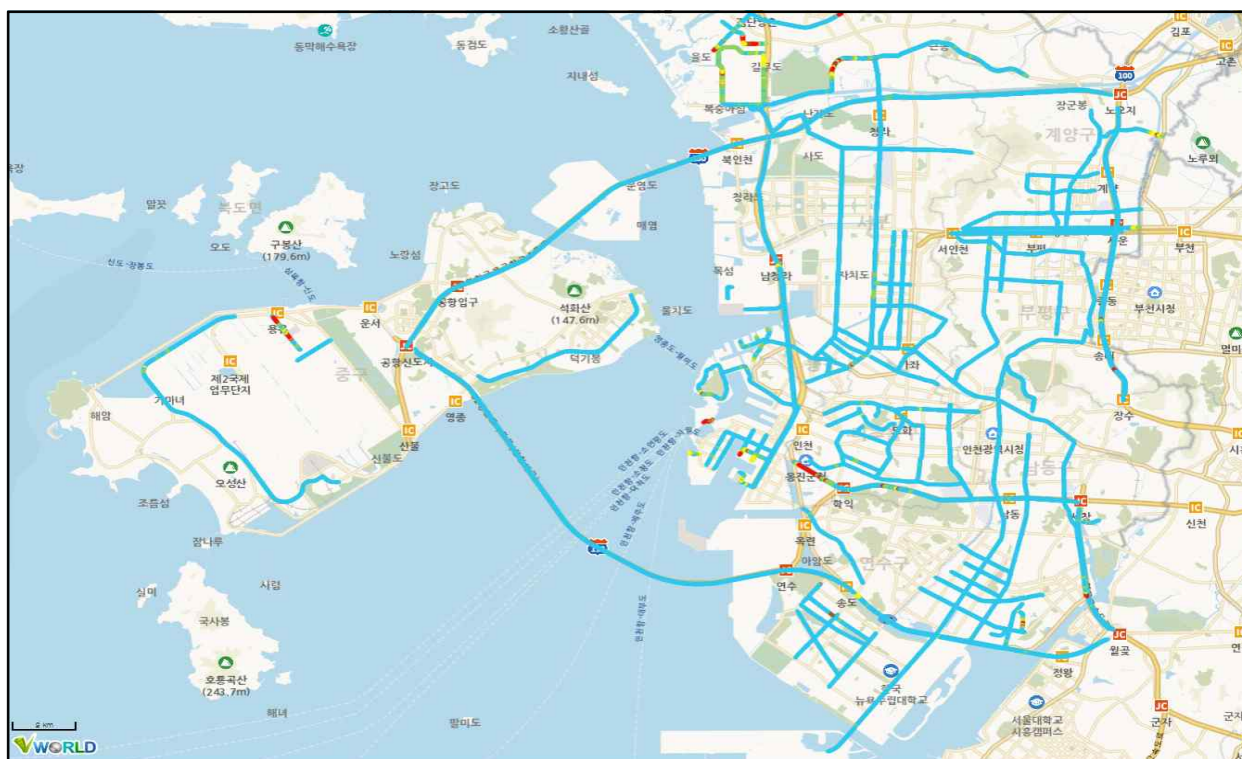


Fig. 3. Map of Re-suspended dust(2Q)

PM-10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0~50	51~100	101~150	151~200	201≤
legend					

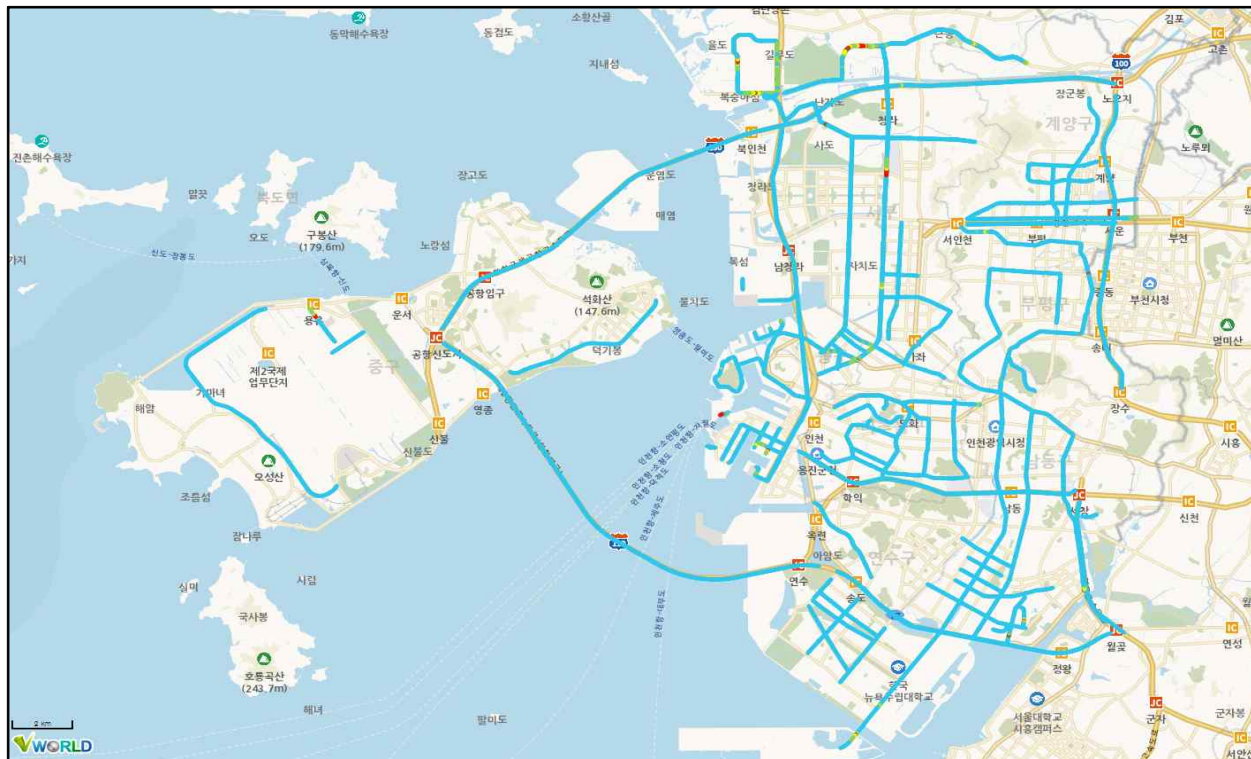


Fig. 4. Map of Re-suspended dust(3Q)

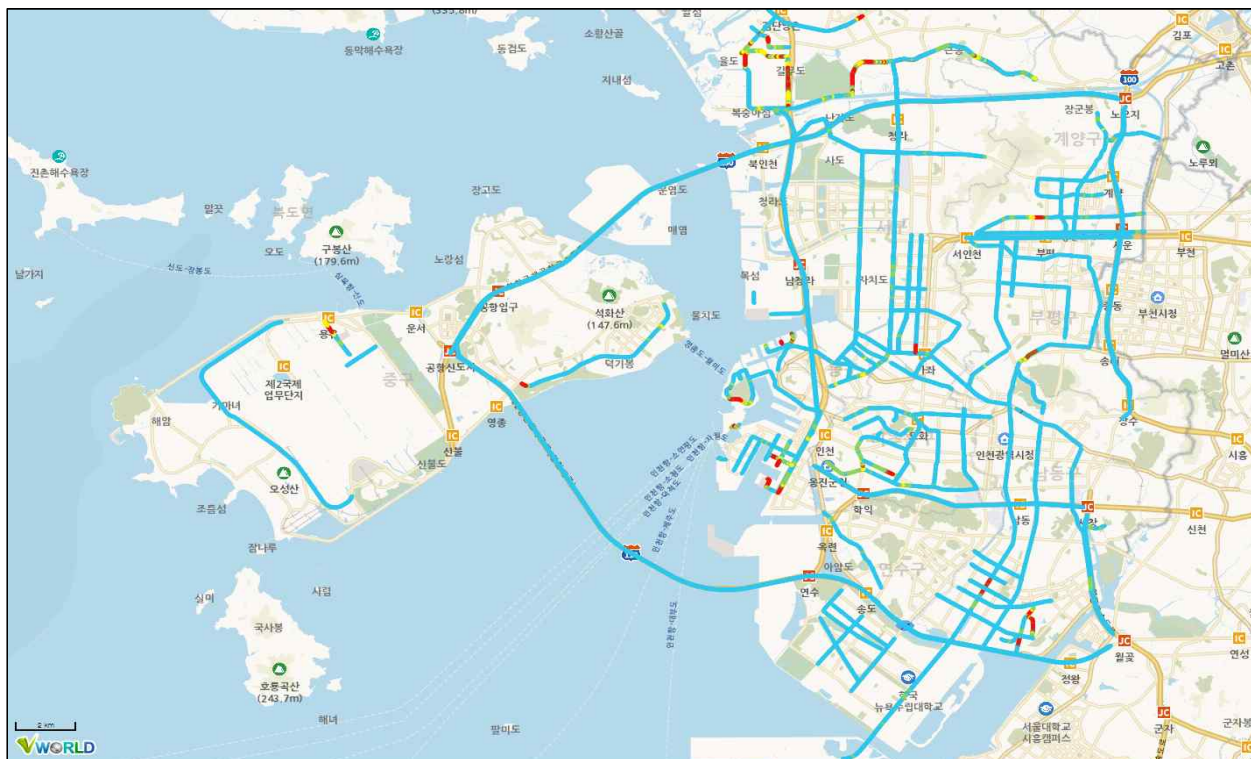


Fig. 5. Map of Re-suspended dust(4Q)

3.3. 도로 침적먼지 조사

3.3.1. 지역별 도로 침적먼지 특성

단위면적당 침적먼지 농도는 중구(내륙)에서 가장 높게 조사되었고, 그 뒤로 서구, 연수구, 남동구, 수도권매립지, 동구, 중구(영종), 계양구, 미추홀구 순이었다(Fig. 6.). 물질별로는 중금속이 가장 높은 농도를 보였고, 다음으로는 이온, PAHs 순으로 나타났다.

단위무게당 침적먼지 농도는 동구에서 가장 높게 나타났고, 그 다음으로는 남동구, 연수구, 서구, 계양구, 미추홀구, 중구(내륙), 수도권매립지, 중구(영종) 순으로 나타났다(Table. 9).

물질별로는 이온은 수도권매립지에서 가장 높게 나타났고, 중금속은 동구에서 높은 값을 나타냈으며, PAHs는 계양구에서 가장 높게 조사되었다.

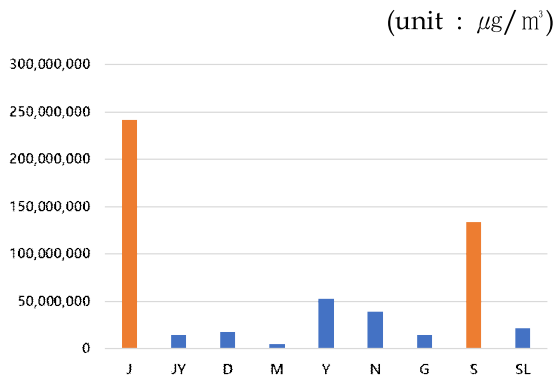


Fig. 6. Concentration of deposited dust

Table 8. Concentration of components

(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^2$)

District		Ion	Heavy metals	PAHs
1	J	14,914.51	502,216.85	6.06
2	JY	848.19	27,146.95	0.20
3	D	4,227.70	103,407.75	1.07
4	M	750.91	18,396.46	0.21
5	Y	6,160.46	201,907.46	2.94
6	N	5,816.33	192,748.36	2.39
7	G	2,129.78	51,002.56	0.62
8	S	9,360.64	437,699.62	7.21
9	SL	7,173.42	68,644.44	1.77

Table 9. Concentration of components

(unit : $\mu\text{g}/\text{g}$)

District		Ion	Heavy metals	PAHs
1	J	190.55	3,864.98	0.04
2	JY	124.87	2,654.39	0.02
3	D	338.99	6,141.28	0.07
4	M	248.27	4,147.09	0.05
5	Y	223.47	4,676.29	0.08
6	N	213.68	4,904.51	0.06
7	G	215.83	4,219.45	0.09
8	S	178.22	4,373.10	0.06
9	SL	673.75	3,206.14	0.07

3.3.2. 지역별 침적먼지 입경분포 특성

미추홀구, 중구(내륙)에서 150 μm 이상의 큰 입경의 먼지가 각각 73.07 %, 73.37 %로 다른지역에 비해 높은 비율을 보였고, 연수구와 계양구에서 20 μm 미만의 미세한 입경의 먼지가 각각 3.03 %, 2.12 %로 다른 지역에 비해 높은 비율로 조사되었다. 차량운행으로 도로 재비산의 가능성이 높은 75 μm 미만의 분포는 연수구에서 31.66 %로 가장 높게 조사되었고, 그 다음으로 수도권매립지, 동구, 계양구, 남동구, 중구(영종), 서구, 미추홀구, 중구(내륙) 순으로 나타났다(Table 10.).

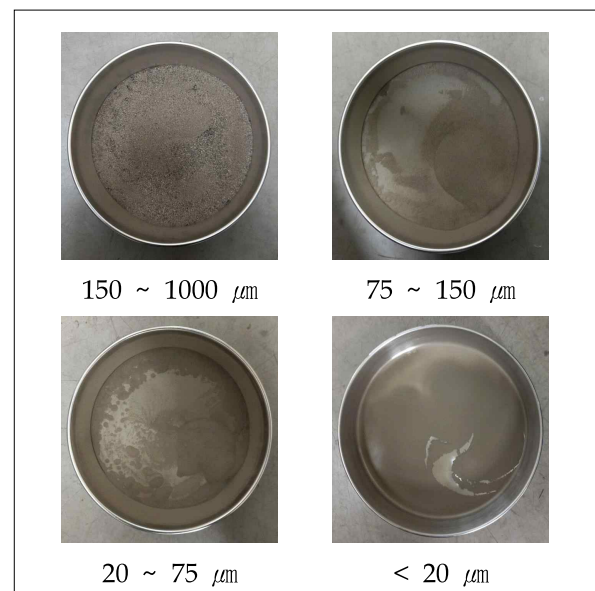


Fig. 7. Separation of particle size

Table 10. Distribution of particle size
(unit : %)

District		150~1000 μ m	75~150 μ m	20~75 μ m	< 20 μ m
1	J	73.07	17.19	9.50	0.23
2	JY	56.72	21.50	20.36	1.43
3	D	54.83	20.68	23.77	0.71
4	M	73.37	13.84	12.49	0.30
5	Y	42.07	26.27	28.63	3.03
6	N	56.57	20.63	21.33	1.46
7	G	54.12	22.80	20.96	2.12
8	S	59.15	23.46	16.65	0.74
9	SL	49.70	25.00	24.56	0.75

3.3.3. 입경별 침적먼지 성분 특성

전체 채취된 침적먼지 중 75 μ m미만의 입경에서 이온, 중금속, PAHs 각각 66 %, 62 %, 64 %로 높은 비중을 나타냈다(Fig. 8).

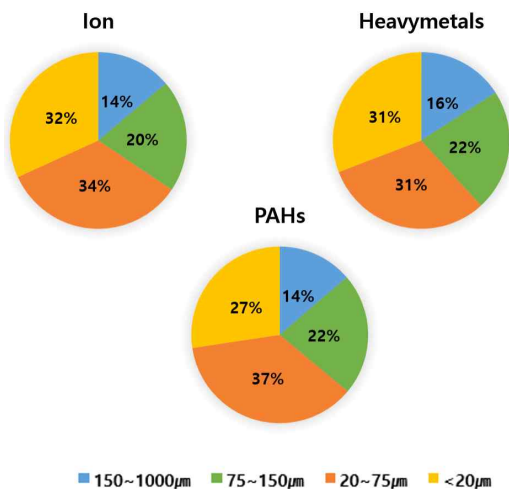


Fig. 8. Proportion of particle size by components

3.3.4. 도로 침적먼지 주요 성분

도로 침적먼지의 성분별로는 이온은 Cl⁻가 가장 높았고, 그 뒤로 Na⁺, SO₄²⁻, K⁺, NO₃⁻, NH₄⁺ 순으로 조사되었고, 중금속은 Mg, Fe, Ca, Al 등 지각 구성원소들이 높게 조사되었다. PAHs는 Benzo(g,h,i)perylene, Pyrene, Anthracene, Chrysene, Fluoranthene 등 자동차 배기가스에서 검출되는 항목이 높은 값을 나타내었다(Table 11.).

지역별로 가장 높은 성분은 중구(내륙)은 Acenaphthene, 동구는 As, Ca, Cd, Cu, Fe, Pb, Acenaphthylene, Benzo(b)fluoranthene,

미추홀구는 NO₃⁻, Mn, 연수구는 Al, Mg, Ti, V, Fluorene, Phenanthrene, Fluoranthene, Benz(a)anthracene, 남동구는 Cr, Ni, 계양구는 NH₄⁺, Zn, Naphthalene, Anthracene, Pyrene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Benzo(g,h,i)perylene, 서구는 Chrysene, 수도권매립지는 Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Dibenz(a,h)anthracene이다(Table 12.).

Table 11. Average concentraion of components
(unit : μ g/g)

Component		Concentraion
1	Ion	Cl ⁻
2		844.52
3		NO ₃ ⁻
4		27.99
5		SO ₄ ²⁻
6		282.01
7	Heavy metals	Na ⁺
8		310.79
9		NH ₄ ⁺
10		13.02
11		K ⁺
12		31.99
13		Al
14		7776.95
15		As
16		3.72
17		Ca
18		18427.10
19		Cd
20		2.03
21	PAHs	Cr
22		167.78
23		Cu
24		189.21
25		Fe
26		26665.22
27		Mg
28		4411.99
29		Mn
30		557.97
31		Ni
32		69.88
33		Pb
34		50.63
35		Ti
36		497.33
37		V
38		18.58
39		Zn
40		519.62
41		Naphthalene
42		0.01
43		Acenaphthylene
44		0.01
45		Acenaphthene
46		0.00
47		Fluorene
48		0.01
49		Phenanthrene
50		0.07
51		Anthracene
52		0.11
53		Fluoranthene
54		0.08
55		Pyrene
56		0.15
57		Benzo(a)anthracene
58		0.03
59		Chrysene
60		0.10
61		Benzo(b)fluoranthene
62		0.05
63		Benzo(k)fluoranthene
64		0.02
65		Benzo(a)pyrene
66		0.03
67		Indeno(1,2,3-cd)pyrene
68		0.04
69		Dibenz(a,h)anthracene
70		0.01
71		Benzo(g,h,i)perylene
72		0.20

Table 12. Concentration of components

(unit : $\mu\text{g/g}$)

Componuts			J	JY	D	M	Y	N	G	S	SL
1	Ion	Cl^-	653.02	490.80	1,386.07	866.42	789.66	779.84	712.68	489.18	2,062.81
2		NO_3^-	8.34	21.29	30.62	58.11	18.90	23.52	28.97	31.22	31.69
3		SO_4^{2-}	157.88	91.52	361.54	301.71	141.50	204.91	220.75	290.04	814.77
4		Na^+	280.57	133.46	202.60	214.96	367.08	231.01	279.47	218.55	1,039.72
5		NH_4^+	11.31	2.85	11.68	20.03	4.33	18.37	21.10	14.55	2.47
6		K^+	32.16	9.27	41.40	28.38	19.37	24.44	32.00	25.76	91.03
7	Heavy metals	Al	6,164.59	5,651.37	7,312.40	7,039.21	9,533.40	8,991.34	6,900.08	8,821.23	6,920.58
8		As	3.50	3.37	5.13	2.54	3.71	4.42	4.85	3.59	2.71
9		Ca	16,258.15	11,959.99	28,368.42	22,105.02	19,520.48	19,196.09	16,413.91	18,809.96	16,186.35
10		Cd	1.78	1.14	2.97	1.72	2.02	2.52	2.31	2.18	1.34
11		Cr	65.33	49.92	123.67	91.86	54.60	388.25	264.32	109.74	59.29
12		Cu	99.66	38.12	401.32	118.38	82.89	378.70	193.03	133.09	84.38
13		Fe	25,768.74	15,065.60	43,950.43	21,660.45	28,973.56	33,135.82	28,864.14	26,583.18	17,257.46
14		Mg	4,143.19	3,399.10	3,627.33	5,133.92	5,369.14	4,553.72	4,485.20	5,006.77	3,305.06
15		Mn	795.55	287.80	982.21	966.48	762.45	448.86	439.85	505.38	304.68
16		Ni	19.40	13.70	23.24	24.20	23.85	168.97	160.82	46.74	21.65
17		Pb	48.80	26.23	70.30	32.74	42.32	66.30	42.08	62.29	30.86
18		Ti	403.82	391.90	410.38	459.90	622.72	543.07	527.87	562.97	453.58
19		V	15.95	12.59	21.46	16.27	23.21	20.73	18.03	20.40	17.06
20		Zn	321.21	260.66	678.71	406.63	453.73	764.30	755.79	555.90	241.04
21	PAHs	Naphthalene	0.005	0.005	0.008	0.006	0.010	0.009	0.017	0.012	0.007
22		Acenaphthylene	0.005	0.007	0.015	0.007	0.013	0.008	0.013	0.008	0.006
23		Acenaphthene	0.007	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
24		Fluorene	0.007	0.006	0.007	0.009	0.010	0.007	0.007	0.010	0.006
25		Phenanthrene	0.049	0.030	0.101	0.079	0.102	0.075	0.091	0.078	0.078
26		Anthracene	0.079	0.031	0.163	0.102	0.081	0.112	0.226	0.107	0.120
27		Fluoranthene	0.088	0.021	0.056	0.074	0.146	0.091	0.111	0.083	0.105
28		Pyrene	0.125	0.036	0.174	0.119	0.205	0.168	0.284	0.155	0.167
29		Benz(a)anthracene	0.019	0.009	0.036	0.036	0.058	0.034	0.013	0.038	0.053
30		Chrysene	0.053	0.022	0.110	0.065	0.131	0.111	0.065	0.135	0.117
31		Benzo(b)fluoranthene	0.032	0.012	0.081	0.055	0.071	0.049	0.048	0.055	0.065
32		Benzo(k)fluoranthene	0.010	0.006	0.022	0.020	0.024	0.026	0.018	0.026	0.035
33		Benzo(a)pyrene	0.024	0.006	0.051	0.034	0.045	0.031	0.044	0.037	0.051
34		Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.033	0.011	0.053	0.038	0.050	0.048	0.073	0.042	0.062
35		Dibenz(a,h)anthracene	0.010	0.004	0.012	0.009	0.013	0.010	0.011	0.016	0.023
36		Benzo(g,h,i)perylene	0.129	0.042	0.153	0.129	0.256	0.229	0.351	0.220	0.267

* J: Jung-gu, JY: Jung-gu(yeongjeong), D: Dong-gu, M: Michuhol-gu, Y: Michuhol-gu, N: Namdong-gu, G: Gyeyang-gu, S: Seo-gu, SL: Sudokwon Landfill

3.3.5. 중금속 성분의 농축계수 산정

주요 중금속 중 카드뮴은 산업에서 아연, 납, 구리를 녹일 때 부산물로 얻어지며, 주로 배터리, 색소, 금속도금, 플라스틱 등에 많이 사용되며, 아연은 석탄 연소나 소각시설, 자동차 등 연소와 관련된 배출원에서 발생되며, 산화 아연의 제조, 금속아연의 용융, 아연도금, 청동의 주조 가공에 사용된다. 또한, 도로변 퇴적물의 카드뮴은 타이어에 함유된 아연의 불순물에서 기인된 것으로 알려져 있다(강병욱 등, 2017).

구리는 전선, 구리광산, 제련소, 도금공장, 구리식기, 농약 제조에 사용되며, 도로변 퇴적물의 구리는 주로 브레이크 마모가 주 발생원으로 알려져 있다(박현우 등, 2017).

본 연구에서 조사한 20개 지점의 중금속 분석결과, 토양 조성비를 근거로 산출한 농축계수의 값은 0.1 ~ 20.5의 범위를 보였으며, 농축계수값이 10이상으로 높게 측정된 중금속은 주로 전기전자, 기계, 도금업종에서 검출되는 성분인 카드뮴(Cd), 아연(Zn), 구리(Cu)로 조사되었다.

카드뮴은 지역별로 모든 지역에서 10이상의 농축계수 값을 보였고, 서구와 계양구에서 높은 값을 나타냈다.

아연은 중구(내륙)를 제외하고 모두 10이상의 농축계수 값을 나타냈고, 계양구와 남동구에서 높게 조사되었다.

구리의 농축계수는 남동구에서만 10이상으로 타지역에 비해 높게 측정되었다.

Table 13. Average of EF

Heavy metals		J	JY	D	M	Y	N	G	S	SL
1	Al	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
2	As	3.8	6.2	3.2	3.3	3.6	3.7	4.7	3.8	4.4
3	Ca	0.9	1.1	0.9	1.4	0.9	0.8	0.8	1.0	1.3
4	Cd	17.3	18.9	16.9	19.9	17.4	19.0	20.0	20.5	19.4
5	Cr	1.3	1.7	1.4	2.1	0.9	5.9	4.6	2.1	1.7
6	Cu	3.5	2.3	8.3	5.0	2.6	10.4	6.1	4.6	4.4
7	Fe	0.5	0.3	0.9	0.4	0.6	0.7	0.6	0.5	0.3
8	Mg	0.4	0.5	0.2	0.6	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5
9	Mn	1.6	1.0	1.2	2.3	1.4	0.7	0.8	1.0	0.9
10	Ni	0.5	0.6	0.4	0.7	0.5	3.4	3.7	1.2	0.8
11	Pb	7.3	6.7	6.2	5.8	5.6	7.7	5.6	9.0	6.9
12	Ti	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
13	V	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4
14	Zn	8.9	12.4	11.0	13.4	11.2	16.5	18.7	14.9	10.0

* J: Jung-gu, JY: Jung-gu(yeongjeong), D: Dong-gu, M: Michuhol-gu, Y: Michuhol-gu, N: Namdong-gu, G: Gyeyang-gu, S: Seo-gu, SL: Sudokwon Landfill

Table 14. Average concentration of deposited dust by particle size - 1.

(unit: $\mu\text{g/g}$)

District		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Al	As	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Ti	V	Zn
150~1000 μm	J	554.44	11.21	98.63	143.15	18.67	37.91	2686.30	1.11	6235.93	0.93	37.14	37.32	13004.83	1990.01	417.48	8.30	13.88	237.93	7.59	112.64
	JY	188.06	12.58	52.96	77.63	1.16	4.22	3400.59	0.76	8140.93	0.63	90.87	9.71	8996.02	2276.27	163.08	6.29	10.52	274.76	7.57	169.04
	D	490.14	16.84	292.61	118.62	2.06	24.51	3579.31	4.05	22453.51	2.46	121.15	334.27	33604.21	1624.76	1012.85	9.56	85.75	287.80	21.29	670.70
	M	330.33	30.05	104.01	84.48	16.21	15.58	3916.80	1.72	16554.67	1.12	156.00	40.42	15789.13	3705.98	903.26	10.81	13.37	334.38	10.92	139.37
	Y	455.18	13.61	79.35	230.54	0.12	12.14	3910.57	1.51	10732.85	1.43	34.58	35.57	22270.71	3051.93	645.13	12.05	10.57	346.38	12.50	200.56
	N	390.81	17.85	147.18	130.02	11.87	18.03	4598.32	1.97	12928.04	1.51	186.39	399.70	21261.27	3043.43	278.43	71.74	46.66	407.65	11.31	550.97
	G	322.62	21.33	65.06	132.95	10.08	18.84	3227.57	1.63	9001.54	1.25	121.41	128.25	19731.37	2713.34	261.36	29.11	15.91	438.13	8.67	279.24
	S	227.96	17.29	199.64	117.11	4.77	19.38	4630.33	1.22	10612.93	1.08	44.07	55.54	15071.19	3121.37	330.67	17.11	46.08	406.14	11.84	212.10
	SL	1306.53	19.08	518.90	709.00	0.62	55.85	3664.62	1.17	10065.61	0.91	109.26	52.10	13432.10	2257.22	253.90	13.12	22.56	262.19	10.29	101.83
75~150 μm	J	416.42	5.89	97.40	214.49	4.71	18.86	4534.58	1.97	10996.04	1.65	68.78	97.24	24450.31	3343.01	794.31	16.31	40.12	323.64	13.08	254.00
	JY	295.33	16.95	87.86	119.16	4.03	6.77	4776.90	1.73	10168.09	0.85	28.60	21.72	11177.56	3248.39	208.69	11.48	16.49	389.77	11.17	171.83
	D	1526.04	25.96	235.29	228.38	18.48	43.42	5935.19	4.83	23605.31	2.90	89.47	304.29	45380.47	3176.77	834.25	20.73	51.37	336.45	16.02	503.83
	M	737.69	53.22	249.88	191.73	29.99	22.37	6980.53	2.32	21118.94	1.93	72.26	111.69	24637.66	5627.20	1125.42	27.15	32.09	490.34	17.73	405.93
	Y	416.12	17.27	100.70	227.60	3.45	13.12	6598.86	2.58	16072.97	1.62	47.62	67.41	28452.22	4727.14	621.04	17.23	29.23	514.99	17.75	324.32
	N	589.26	19.86	143.56	178.43	13.36	19.46	7272.12	3.47	17432.37	2.35	511.95	281.93	31778.30	4495.09	422.11	203.17	60.75	497.26	18.83	666.89
	G	428.00	17.43	105.77	170.82	19.03	16.68	4598.18	2.72	13367.22	1.61	192.55	155.55	24604.42	4170.58	352.54	71.36	30.96	456.74	13.40	538.30
	S	280.06	19.01	139.75	134.16	9.19	14.01	6823.43	2.25	14830.03	1.77	79.01	108.97	22282.95	4557.86	417.23	36.86	43.68	525.67	17.98	406.49
	SL	2157.56	27.33	728.25	1124.27	1.49	100.31	5918.24	2.41	14741.48	1.20	47.35	101.13	16335.77	3236.64	289.42	22.80	24.15	435.23	16.62	206.42
20~75 μm	J	786.30	7.78	173.70	379.30	8.06	34.12	7156.63	4.34	18281.99	2.09	69.88	117.54	28596.65	4829.09	1103.33	24.51	60.66	477.37	19.86	385.48
	JY	579.39	26.07	137.45	167.03	3.32	10.23	6975.54	4.38	14705.08	1.48	47.04	52.14	19016.16	4479.61	363.25	18.32	30.29	465.54	15.77	303.67
	D	2116.90	38.04	375.13	296.44	18.31	57.17	9986.24	6.15	33540.57	3.81	211.36	485.22	59282.49	4341.10	1008.82	28.53	64.05	458.00	21.90	702.72
	M	1376.71	94.51	476.16	358.76	25.51	39.76	10200.17	3.15	30489.58	2.40	88.16	198.67	30260.45	6809.53	1348.67	35.22	46.01	634.73	22.64	624.94
	Y	961.99	19.75	143.03	435.24	5.21	20.38	10762.83	3.46	18878.94	2.01	48.26	78.39	25427.72	5881.83	747.53	25.95	43.12	722.55	26.52	509.21
	N	930.41	26.83	220.03	268.77	22.67	27.82	11490.83	5.92	22816.94	3.27	496.93	383.67	40898.41	5443.50	553.62	243.23	74.21	652.35	26.45	864.33
	G	787.87	28.83	260.98	328.72	22.48	35.87	8989.75	6.34	22216.72	2.71	642.74	209.01	42240.42	5740.03	519.63	251.02	47.49	548.27	21.60	928.29
	S	585.01	33.01	317.91	252.11	18.18	26.65	10013.39	4.28	21318.59	2.60	207.32	159.74	31318.97	5818.90	581.67	65.65	62.96	606.20	23.22	668.19
	SL	3190.54	43.58	1216.02	1562.81	3.85	146.17	10494.13	4.35	23400.77	1.89	51.16	112.64	23274.85	4901.27	424.99	31.45	44.90	695.88	26.54	376.54
<20 μm	J	854.94	8.48	261.79	385.35	13.79	37.75	10280.83	6.59	29518.63	2.44	85.52	146.53	37023.19	6410.67	867.10	28.49	80.54	576.34	23.28	532.73
	JY	900.42	29.57	87.80	170.04	2.90	15.86	7452.44	6.61	14825.86	1.61	33.17	68.92	21072.63	3592.15	416.17	18.73	47.64	437.51	15.86	398.10
	D	1411.22	41.63	543.14	166.95	7.85	40.51	9748.86	5.51	33874.28	2.71	72.72	481.49	37534.56	5366.69	1072.93	34.15	80.03	559.27	26.62	837.59
	M	1020.96	54.65	376.79	224.88	8.40	35.81	7059.35	2.99	20256.88	1.45	51.02	122.72	15954.55	4392.98	488.57	23.61	39.50	380.15	13.79	456.28
	Y	1325.34	24.95	242.91	574.95	8.52	31.86	16861.33	7.28	32397.14	3.01	87.95	150.18	39743.58	7815.67	1036.11	40.18	86.38	906.95	36.06	780.82
	N	1208.88	29.56	308.86	346.84	25.60	32.45	12604.09	6.31	23607.00	2.95	357.75	449.48	38605.30	5232.87	541.27	157.74	83.57	615.03	26.34	975.02
	G	1312.22	48.29	451.18	485.40	32.83	56.60	10784.81	8.72	21070.16	3.66	100.59	279.32	28880.33	5316.83	625.88	291.79	73.94	668.32	28.43	1277.33
	S	863.69	55.59	502.85	370.83	26.08	43.01	13817.77	6.60	28478.29	3.27	108.56	208.09	37659.60	6528.95	691.94	67.32	96.44	713.85	28.55	936.80
	SL	1596.60	36.75	795.91	762.81	3.92	61.79	7605.33	2.89	16537.54	1.35	29.37	71.66	15987.11	2825.11	250.41	19.25	31.82	421.02	14.77	279.35

*J: Jung-gu, JY: Jung-gu(yeongjeong), D: Dong-gu, M: Michuhol-gu, Y: Michuhol-gu, N: Namdong-gu, G: Gyeyang-gu, S: Seo-gu, SL: Sudokwon Landfill

Table 15. Average concentration of deposited dust by particle size - 2.

(unit: $\mu\text{g/g}$)

District		Naphthalene	Acenaphthylene	Acenaphthene	Fluorene	Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benz(a)anthracene	Chrysene	Benzo(b)fluoranthene	Benzo(k)fluoranthene	Benzo(a)pyrene	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Dibenz(a,h)anthracene	Benzo(g,h,i)perylene
150~1000 μm	J	0.0016	0.0014	0.0079	0.0041	0.0460	0.0262	0.0390	0.0548	0.0154	0.0270	0.0126	0.0061	0.0073	0.0115	0.0062	0.0490
	JY	0.0067	0.0136	0.0009	0.0053	0.0329	0.0205	0.0189	0.0235	0.0080	0.0183	0.0076	0.0069	0.0030	0.0071	0.0049	0.0248
	D	0.0039	0.0016	0.0011	0.0070	0.1072	0.1134	0.1291	0.1458	0.0569	0.0515	0.0896	0.0291	0.0692	0.0769	0.0195	0.1317
	M	0.0030	0.0015	0.0018	0.0048	0.0846	0.1729	0.1316	0.1387	0.0734	0.0824	0.0833	0.0300	0.0593	0.0502	0.0121	0.0717
	Y	0.0018	0.0017	0.0007	0.0019	0.0168	0.0339	0.0261	0.0442	0.0248	0.0282	0.0100	0.0038	0.0083	0.0083	0.0042	0.0497
	N	0.0046	0.0023	0.0007	0.0031	0.0265	0.0312	0.0371	0.0579	0.0123	0.0330	0.0142	0.0177	0.0105	0.0169	0.0045	0.0890
	G	0.0061	0.0061	0.0010	0.0034	0.0278	0.0866	0.0229	0.1007	0.0070	0.0290	0.0141	0.0118	0.0110	0.0174	0.0046	0.0904
	S	0.0097	0.0052	0.0015	0.0055	0.0494	0.0469	0.0574	0.0926	0.0307	0.0740	0.0329	0.0203	0.0268	0.0197	0.0117	0.1352
	SL	0.0048	0.0018	0.0012	0.0026	0.0234	0.0354	0.0389	0.0622	0.0372	0.0498	0.0237	0.0084	0.0225	0.0233	0.0129	0.1349
75~150 μm	J	0.0046	0.0038	0.0066	0.0056	0.0621	0.0836	0.1013	0.1490	0.0200	0.0504	0.0420	0.0166	0.0316	0.0371	0.0092	0.1409
	JY	0.0026	0.0017	0.0010	0.0044	0.0301	0.0234	0.0134	0.0265	0.0086	0.0177	0.0075	0.0033	0.0037	0.0065	0.0013	0.0274
	D	0.0126	0.0239	0.0034	0.0060	0.1006	0.1783	0.0403	0.1899	0.0479	0.1618	0.1065	0.0278	0.0665	0.0507	0.0119	0.1325
	M	0.0039	0.0044	0.0015	0.0083	0.0640	0.0516	0.0429	0.0804	0.0185	0.0502	0.0299	0.0135	0.0177	0.0226	0.0065	0.1134
	Y	0.0041	0.0051	0.0013	0.0053	0.0425	0.0757	0.0437	0.0970	0.0125	0.0640	0.0269	0.0090	0.0227	0.0280	0.0084	0.1345
	N	0.0107	0.0063	0.0020	0.0064	0.0798	0.1060	0.1155	0.1806	0.0302	0.1250	0.0550	0.0560	0.0400	0.0485	0.0103	0.2534
	G	0.0195	0.0122	0.0010	0.0057	0.0789	0.2249	0.0852	0.2706	0.0114	0.0431	0.0379	0.0104	0.0392	0.0482	0.0074	0.2889
	S	0.0097	0.0082	0.0015	0.0072	0.0478	0.0853	0.0536	0.1051	0.0321	0.0901	0.0422	0.0335	0.0333	0.0344	0.0155	0.1830
	SL	0.0043	0.0047	0.0011	0.0067	0.1071	0.0942	0.1423	0.1753	0.0710	0.1131	0.0691	0.0699	0.0588	0.0612	0.0237	0.3164
20~75 μm	J	0.0106	0.0085	0.0030	0.0118	0.0666	0.1222	0.0934	0.1595	0.0172	0.0664	0.0365	0.0087	0.0298	0.0424	0.0102	0.1722
	JY	0.0072	0.0043	0.0060	0.0075	0.0337	0.0523	0.0352	0.0602	0.0086	0.0318	0.0180	0.0080	0.0121	0.0211	0.0050	0.0811
	D	0.0097	0.0120	0.0025	0.0075	0.1010	0.1855	0.0291	0.1862	0.0296	0.1414	0.0610	0.0132	0.0362	0.0292	0.0075	0.1544
	M	0.0158	0.0162	0.0043	0.0179	0.1376	0.1345	0.1138	0.2081	0.0423	0.1067	0.0823	0.0273	0.0467	0.0639	0.0138	0.2728
	Y	0.0268	0.0209	0.0081	0.0222	0.3010	0.0969	0.4389	0.5323	0.1083	0.2917	0.1897	0.0686	0.1198	0.1170	0.0276	0.6464
	N	0.0103	0.0125	0.0021	0.0094	0.1104	0.1477	0.1189	0.2276	0.0272	0.1351	0.0649	0.0145	0.0402	0.0662	0.0114	0.3082
	G	0.0193	0.0174	0.0025	0.0093	0.1314	0.3237	0.1505	0.4033	0.0126	0.0755	0.0619	0.0187	0.0640	0.1034	0.0127	0.5017
	S	0.0143	0.0105	0.0025	0.0129	0.0900	0.1425	0.1054	0.2009	0.0416	0.1633	0.0664	0.0175	0.0464	0.0631	0.0181	0.3009
	SL	0.0122	0.0131	0.0025	0.0088	0.0907	0.1589	0.1225	0.2071	0.0383	0.1389	0.0764	0.0422	0.0658	0.0863	0.0256	0.3312
<20 μm	J	0.0034	0.0079	0.0124	0.0051	0.0225	0.0858	0.1170	0.1371	0.0219	0.0692	0.0385	0.0095	0.0255	0.0422	0.0154	0.1548
	JY	0.0039	0.0084	0.0026	0.0052	0.0226	0.0292	0.0167	0.0319	0.0099	0.0211	0.0130	0.0045	0.0060	0.0094	0.0033	0.0357
	D	0.0067	0.0210	0.0020	0.0094	0.0957	0.1742	0.0255	0.1741	0.0103	0.0839	0.0651	0.0174	0.0336	0.0553	0.0099	0.1942
	M	0.0025	0.0066	0.0013	0.0039	0.0313	0.0504	0.0091	0.0506	0.0084	0.0197	0.0243	0.0082	0.0112	0.0149	0.0035	0.0586
	Y	0.0069	0.0242	0.0026	0.0092	0.0476	0.1179	0.0738	0.1464	0.0854	0.1406	0.0587	0.0155	0.0298	0.0458	0.0134	0.1948
	N	0.0086	0.0116	0.0021	0.0103	0.0850	0.1629	0.0932	0.2043	0.0652	0.1506	0.0621	0.0170	0.0324	0.0623	0.0124	0.2635
	G	0.0212	0.0155	0.0025	0.0116	0.1278	0.2690	0.1852	0.3595	0.0215	0.1133	0.0777	0.0324	0.0600	0.1229	0.0199	0.5227
	S	0.0159	0.0091	0.0023	0.0128	0.1237	0.1515	0.1160	0.2206	0.0476	0.2109	0.0770	0.0335	0.0400	0.0511	0.0196	0.2602
	SL	0.0061	0.0061	0.0015	0.0073	0.0915	0.1910	0.1178	0.2221	0.0670	0.1646	0.0892	0.0199	0.0587	0.0759	0.0283	0.2857

*J: Jung-gu, JY: Jung-gu(yeongjeong), D: Dong-gu, M: Michuhol-gu, Y: Michuhol-gu, N: Namdong-gu, G: Gyeyang-gu, S: Seo-gu, SL: Sudokwon Landfill

3.4. 측정 노선 검토

측정 노선의 선정 기준은 측정도로의 환경, 도로 재비산먼지와 침적먼지의 오염도, 공간 분포상 위치 대표성을 기준으로 하였다.

기존 측정 간선도로 67개와 신규 측정 30개로 중 27개로를 제외하여 70개로를 선정 하였다. 또한, 수도권매립지 기존 측정 9개로 중 1개로를 제외하였다.(Table 17. ~ 18.)

3.4.1. 측정 노선 제외 도로

차량 주·정차, 물품적재 등으로 인해 측정환경이 부적합한 기존 측정도로 12개, 신규 측정도로 3개의 간선도로를 제외하였고, 수도권매립지 1개 도로를 제외하였다(Fig. 9).

또한, 오염도가 낮은 기존 측정도로 중 4개, 신규 측정도로 중 8개의 간선도로를 제외하였다.

기존 측정, 신규 측정 간선도로 총 97개 도로 중 제외된 도로는 중구(내륙)이 4개, 중구(영종)이 2개, 동구가 3개, 미추홀구가 3개, 연수구가 1개, 남동구가 6개, 부평구가 2개, 계양구가 2개, 서구가 4개이며, 수도권매립지 9개로 중 1개로를 제외하였다.

3.4.2. 측정 노선 추가 도로

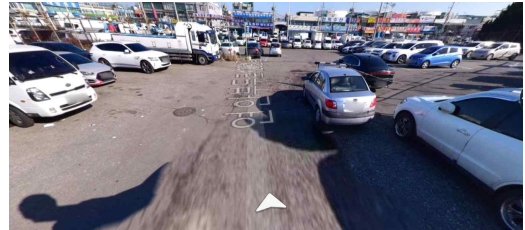
신규측정 30개 도로 중 오염도가 높고 공간 분포상 오염 사각지대를 해소하기 위해 적합한 19개로를 선정하였다. 지역별로는 중구(내륙)이 5개, 중구(영종)이 2개, 미추홀구가 4개, 남동구가 3개, 서구가 5개이다.

Table 16. Adjustment of routes

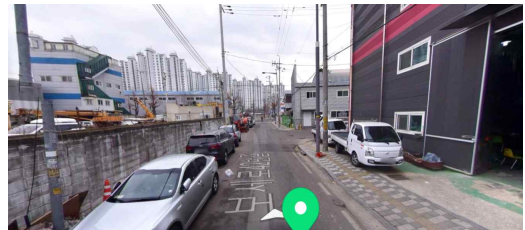
District		Existing route	Exclusion (Existing road)	Addition	rerouted route
1	J	9	4	5	10
2	JY	-	0	2	2
3	D	10	3	0	7
4	M	10	2	4	12
5	Y	7	0	0	7
6	N	9	3	3	9
7	B	8	0	0	8
8	G	7	1	0	6
9	S	7	3	5	9
10	SL	9	1	0	8



Chukhang-daero 22beon-gil



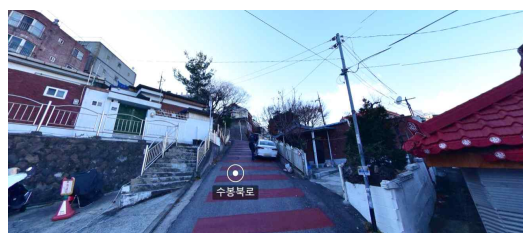
Yeonanbudo-ro 128beon-gil



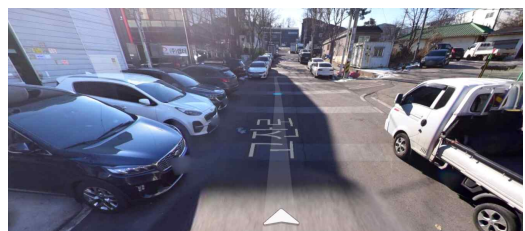
Bose-ro 42beon-gil



Manseokbudo-ro



Subongbuk-ro



Gojan-ro

Fig. 9. Roads in bad condition

Table 17. Adjustment plan of routes for main roads and sudokwon landfill-1

[(unit : RSD($\mu\text{g}/\text{m}^3$), DD(g/m^3)]

Road		EB	RSD	DD	Check	Road		EB	RSD	DD	Check
J	Chukhang-daero		19	-		D	Manseokbudu-ro	B	53	-	×
	Chukhang-daero 22beon-gil	B	236	-	×	M	Gyeongin-ro		33	-	
	Chukhang-daero 86beon-gil	B	47	-	×		Michuhol-daero		30	-	
	Yeonanbudu-ro 128beon-gil	B	88	-	×		Maesohol-ro		31	-	
	Chukhang-daero 118beon-gil	B	32	-	×		Dokbae-ro		47	-	
	Seohae-daero 93beon-gil		120	4458			Inju-daero		23	-	
	Seohae-daero		45	-			Hannaru-ro		16	-	
	Injung-ro		19	-			Soseong-ro		61	-	
	Wolmi-ro		43	-			Subongnam-ro	B	31	-	×
	Chukhang-daero 165beon-gil		13	-			Subong-ro		36	-	
	Chukhang-daero 166beon-gil		36	-			Subongbuk-ro	B	35	-	×
	Seohae-daero 209beon-gil		61	-			Juan-ro		8	-	
	Chukhang-daero 211beon-gil		38	1723			Hannaru-ro	L	8	72	×
	Chukhang-daero 212beon-gil		106	-			Gyeongwon-daero		9	-	
JY	Yeongjonghaeanbuk-ro 702beon-gil		77	393			Bangchuk-ro		8	-	
	Gonghangyeongyeol-ro	L	9	-	×		Jangcheon-ro		16	50	
	Gonghangdong-ro 465beon-gil		13	-		Y	Neungheodae-ro		19	-	
	Yeongjong-daero	L	22	74	×		Convencia-daero		11	-	
D	Injung-ro		21	-			Songdogukje-daero		14	-	
	Bongsu-daero		40	-			Haedoji-ro		13	-	
	Bangchuk-ro		18	-			Art center-daero		10	-	
	Jungbong-daero		16	-			Central-ro		11	-	
	Songnim-ro		20	-			Incheon tower-daero		11	-	
	Yeomjeon-ro		20	-			Songdo bio-daero	B	24	635	×
	Saetgol-ro		11	-		N	Aam-daero		12	-	
	Bose-ro	B	30	241	×		Nonhyeongojan-ro		62	269	
	Bose-ro 42beon-gil	B	78	-	×		Sorae-ro		23	-	

* EB: Exclusion basis(B: Bad condition of road, L: low pollution level or spatial distribution) /
RSD : Re-suspended Dust / DD : Deposited Dust / Check(×: exclusion)

Table 18. Adjustment plan of routes for main roads and sudokwon landfill-2

[(unit : RSD($\mu\text{g}/\text{m}^3$), DD(g/m^3)]

Road		EB	RSD	DD	Check	Road		EB	RSD	DD	Check
N	Baekbeom-ro		12	-		G	Gyeongmyeong-daero		18	-	
	Namdong-daero		20	-			Jangje-ro		17	-	
	Hogupo-ro		12	-			Jubuto-ro		20	-	
	Aenggogae-ro 654beon-gil	B	22	-	×		Dongyang-ro	B	31	-	×
	Gojan-ro	B	136	-	×	S	Yeomgok-ro(going up)		20	-	
	Seochangnamsunhwan-ro 160beon-gil	B	21	-	×		Gilju-ro	L	14	-	×
	Manwol-ro	L	8	-	×		Geonji-ro	L	11	-	×
	Cheongneung-daero		16	672			Janggogae-ro	L	8	-	×
	Aenggogae-ro		15	298			Bukhang-ro 177beon-gil		10	-	
	Euncheong-ro	L	12	-	×		Bukhang-ro 309beon-gil		15	-	
	Eunbong-ro		16	449			Bukhang-ro 363beon-gil		16	-	
	Hambangmoe-ro	L	13	683	×		Baekbeom-ro		29	2756	
	Pyeongcheon-ro		18	-			Gajeong-ro		26	-	
B	Subyeon-ro		18	-			Dodam-ro		152	1588	
	Gyeongin-ro		24	-			Geomdan-ro		27	-	
	Baekbeom-ro		13	-			Yeomgok-ro(going down)	B	30	-	×
	Gyeongwon-daero		13	-			Bodeum-ro		90	1927	
	Majang-ro		11	-		SL	Bongsu-daero		33	-	
	Gilju-ro		12	-			Geowol-ro		52	-	
	Jangje-ro		10	-			Gyeryangdaeilju-ro	B	99	81	×
	Majang-ro	L	11	-	×		Dream-ro(going up)		177	441	
	Annam-ro	L	11	-	×		Dream-ro(going down)		58	-	
G	Anaji-ro		26	173			Gyeongmyeong-daero		16	-	
	Bongo-daero		26	-			Geocheom-ro		27	-	
	Gyesansae-ro	L	16	-	×		Hwangyeong-ro		15	-	
	Gyesan-ro		13	-			Jungbong-daero		18	-	

* EB: Exclusion basis(B: Bad condition of road, L: low pollution level or spatial distribution) /
RSD : Re-suspended Dust / DD : Deposited Dust / Check(×: exclusion)

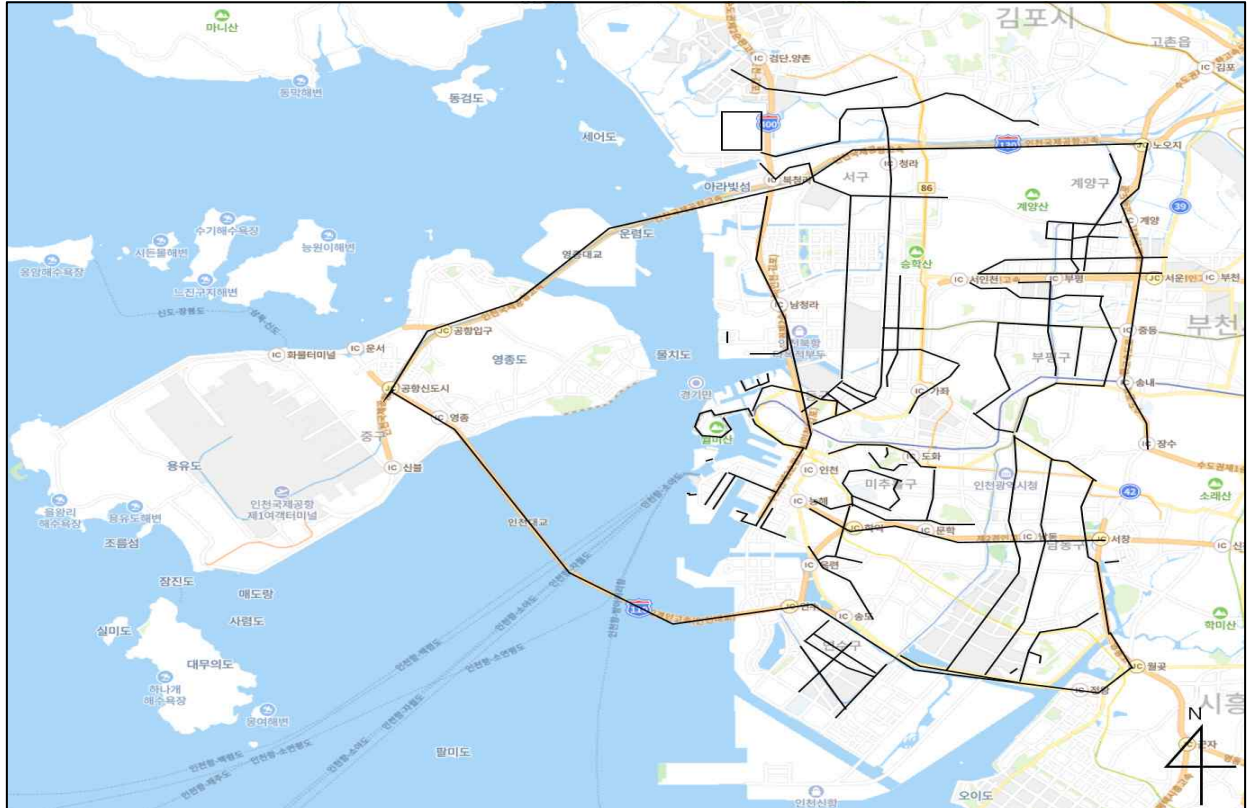


Fig. 10. Existing routes

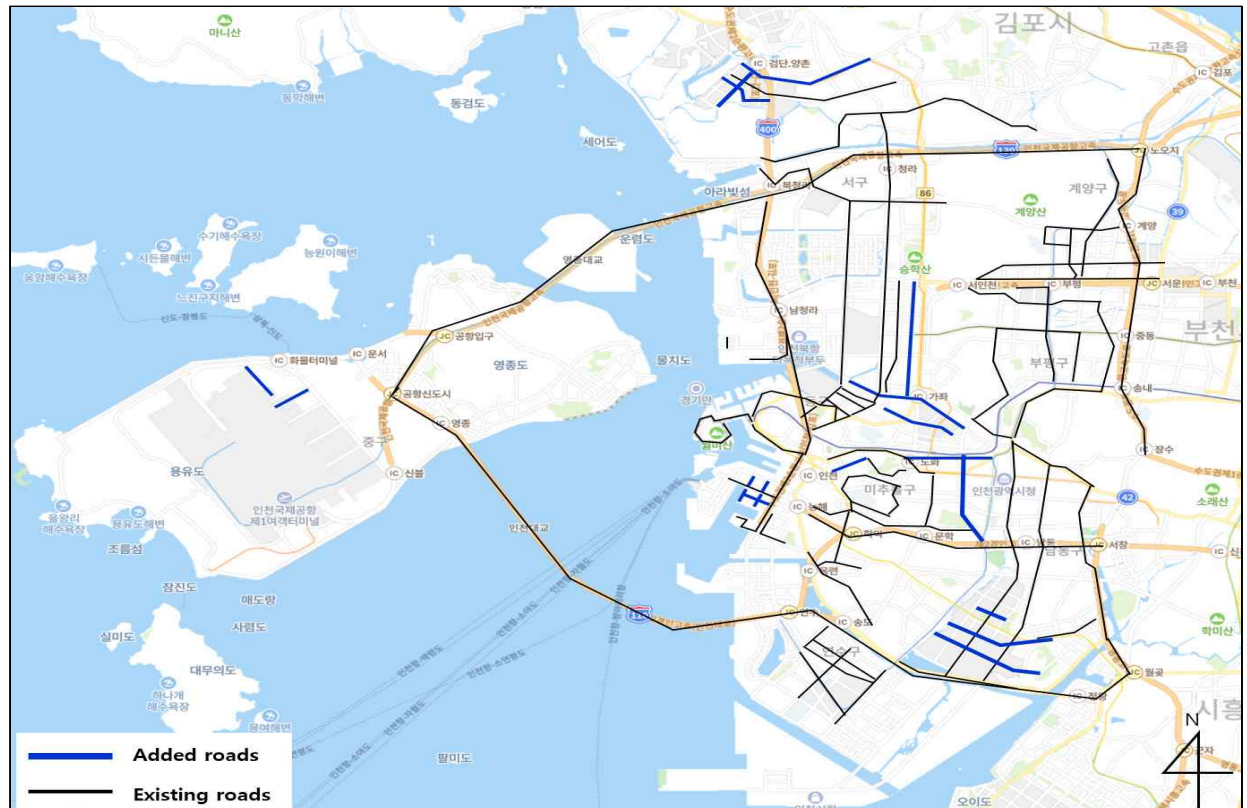


Fig. 11. Changed routes

IV. 결론

본 연구는 도로 123개를 대상으로 도로의 오염을 유발하는 지역별 도로 재비산먼지의 오염도를 조사하고 도로 침적먼지를 성분분석하였다. 또한, 분석한 결과를 토대로 지역별 주요 오염원을 파악하고 도로 재비산먼지의 측정 노선을 정비하여 체계적으로 관리하고자 하였다. 연구의 수행을 통해 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 도로 재비산먼지 조사결과를 지역별로 비교하였을 때, 사업장과 화물차 운행이 많아 미세먼지 배출량이 인천내에서 높은 비중을 차지하고 있는 중구의 내륙지역과 서구에서 높게 조사되었다. 또한, 수도권매립지 주변 도로에서도 높게 측정되었는데, 이는 매립지 복토운반차량과 건설폐기물 운반 차량의 영향으로 사료된다.
2. 도로침적먼지의 단위면적당 농도는 도로 재비산먼지와 동일하게 중구(내륙)와 서구에서 높게 조사되었다. 침적먼지의 성분분석 결과 동구는 중금속, 수도권매립지는 이온, 계양구는 PAHs가 상대적으로 높게 조사되었다.
3. 침적먼지의 입경분포 분석결과 차량 통행으로 비산되기 쉬운 75 μm 미만의 입경에서 이온, 중금속, PAHs 모두 높게 조사되었고, 이온은 Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} 가 높게 조사되었고, 중금속은 Al, Fe, Ca, Mg 등 지각 기반 원소들이 높게 조사되었다. PAHs의 경우 안트라센, 플루오란텐, 피렌, 크리센, 벤조(g,h,i)페릴렌 등 자동차 배기가스에서 검출되는 항목이 높게 조사되었다.

4. EF값으로 산정한 인위적 요인에 의해 배출된 중금속은 주로 도금, 기계, 전기전자 등 도로 주변에 위치한 사업장이나, 타이어, 브레이크 패달등 차량에 의해 배출되는 중금속으로, Cd, Zn, Cu 등이 높게 측정되었다.

5. 조사 결과를 토대로 도로 현장 상황의 측정 여건, 도로 재비산먼지와 도로 침적먼지의 오염도, 공간분포상 위치 대표성을 고려하여 도로 재비산먼지 측정 노선 조정(안)을 도출하였다. 간선도로는 기존 측정 도로 67개로에서 16개를 제외하고, 신규 측정 도로 30개로 중 19개를 추가하여 총 70개 도로를 선정하였고, 수도권매립지는 9개 도로 중 1개 도로를 제외한 8개 도로를 선정하였다.

위와 같이 본 연구에서는 도로 에서 발생하는 오염물질의 실태를 파악하여 도로 재비산먼지의 체계적인 관리 연구를 위한 기초자료를 마련하였다. 오염도 분석을 통해 도출한 자료는 도로 재비산 측정 노선 조정 등 도로 먼지 관리의 정책 자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

V. 참고문헌

1. Mason, B., & Moore, C. B. (1982). Principles of Geochemistry, Wiley, New York.
2. Deely J. M. and J. E. Fergusson, (1994), Heavy metal and organic matter concentrations and distributions in dated sediments of a small estuary adjacent to a small urban area. Sci. Total Environ. 153, 97-111.
3. 이의상, (2004), 고속도로변 퇴적물의 중금속 오염에 관한 연구, 서울도시연구 5(4), 61-72
4. Lihui Han, Guoshun Zhuang, Shuiyuan Chenga, Ying Wang, Juan Li, (2007), Characteristics of re-suspended road dust and its impact on the atmospheric environment in Beijing, Atmospheric Environment 41, 7485 - 7499.
5. 김종범, (2010), 자동차 배기가스 중 미세먼지의 탄소성분분석에 의한 PAHs의 추정에 관한 연구, 서울시립대학교
6. 국립환경과학원, (2010), 도시지역 PM_{2.5} 생성 과정에 관한 연구.
7. 국립환경과학원, (2010), 자동차에 의한 도로 재비산먼지의 성분 및 환경성 평가를 위한 기초 연구.
8. 국립환경과학원, (2012), 도로 비산먼지 배출 계수 신뢰도 향상에 관한 연구.
9. 국립환경과학원, (2013), 수용모델에 의한 도로변 미세먼지의 배출원별 기여도 평가 연구
10. 박명진, (2014), 도로노면 및 건물옥상 PAHs의 축적분포 특성, 경남기술대학교
11. 박다정, 조인환, 이광열, 박기홍, 이영재, 안준영, 배민석, (2016), 공간 측정에 의한 도로변 발생 다환방향족탄화수소 연구, 목포대학교
12. 환경부, (2016), 미세먼지, 도대체 뭘까?.
13. 이석환, (2017), 타이어와 브레이크 마모에 의해서 발생하는 미세먼지 특성, 한국기계연구원
14. 박현우, 김민섭, 박재선, 윤숙희, 김명진, 김지영, 신현상, 최종우, (2017), 화학적 조성과 안정동위원소 비 분석을 이용한 PM_{2.5} 발생원 추적, 국립환경과학원.
15. 심인근, 권명희, 원수란, 지현아, 이유미, 류정민, 이정섭, 이재원, 김성미, 조양석, 강운경, 정준식, 김아롱, 권아슬, 김가현, 김경영, 유주희, 정현미, (2017), 다중이용시설 실내 미세먼지(PM_{2.5}) 발생원 및 기여도 조사(II), 국립환경과학원.
16. 강병욱, 김민지, 백경민, 서영교, 이학성, 김종호, 한진석, 백성욱, (2018), 국내 주요 산업단지 대기 중 중금속농도 분포에 관한 연구, 한국교통대학교
17. Byun, J.Y., Cho, S.H., Kim, H.W., Han, Y.G., (2018), Long-term Characteristics of PM_{2.5} and Its Metallic Components in Chuncheon, Korea, journal of Korean Society for Atmospheric Environment 34(3), 406-417.
18. Zhi-Fang Li, (2019), Concentration and Size Distribution of Water Soluble Ions in Roadside Aerosols in Jeju City, JEJU NATIONAL UNIVERSITY
19. 이지현, 정혜령, 나공태, 최진영, (2020), 시화 산업단지 도로축적퇴적물의 입도분포 및 중금속 오염영향 평가, 환경영향평가 29(1), 8-25
20. 정혜령, 최진영, 나공태, (2020), 대불산업단지 도로먼지 내 중금속류 오염특성, 입도와 자성에 따른 구분, 환경영향평가 29(4), 252-271