

仁川直轄市 大氣汚染 測定 MODEL의 開發

A Study on Air Pollution Measurement Model in Incheon City

김 윤 선*·이 동 인**
Yun-Seon Kim · Dong-In Lee

ABSTRACT

Urban air pollution has been gradually increasing by the increase of population and vehicles recently. There are shown larger effects of air pollution in Incheon city which has more than 2 million people and has heavy holding amounts ratio of transportation vehicles as compared with other cities. However, it is very difficult to predict the air quality condition of their moving pollutants.

Therefore, in this study air pollution measuring model was designed to estimate the air pollution level by line sources(transportation vehicles) of air pollutants and to detect the NO_x emission amounts in ordinary times, and it became clear that it is functionally operative.

1. 서 론

1.1 연구목적

근년과 같이 혁신적인 산업기술 혁명으로 공업 생산 규모나 지역 개발의 스케일이 거대화 되면 다량의 유해물질이 순환계에 방출되어 이에 대한 환경오염이 인간생활에 매우 심각한 영향을 끼치게 된다. 경제의 세계 경쟁시대에 있어서 산업의 급속한 발달은 농촌에서 도시로 끊임없는 인구 이동 현상을 낳았으며, 주요 산업시설의 대도시 집중 현상 특히 경제활동의 확대와 도시화의 진전 및 국

민생활 소득향상에 따른 자동차의 급격한 증가는 대도시의 대기질을 크게 악화시키는 주요인이 되고 있다.

특히 최근들어 상주인구 200만을 돌파한 인천직할시에는 각종 공업지대가 집중되어 있고 이에 따른 화물자동차의 보유대수 비율도 높아 대기오염 배출현황은 전국 그 어느 도시보다도 높은 오염수치를 나타내고 있다.

이에 본 연구는 인천 대도시권에 알맞는 이동 발생원에 의한 대기오염물질 예측 시스템을 모델화하여 인천직할시 대기오염 조기경보 모니터링 시

* 시립인천대학교 산업안전공학과

** 부산수산대학교 대기과학과

시스템을 구축하기 위한 연구이다. 즉, 인천직할시에 있어서 화물자동차로 부터 배출되는 대기오염량을 상시 산출해 낼 수 있는 인천직할시 이동발생원 대기오염 측정모델을 설계하는 것이 본 연구의 목적이며 동시에 본 연구의 타당성 여부를 검증하기 위하여 6개의 연구대상 지역중 1개 Zone에 본 연구에서 설계된 모델을 적용시켜 대기오염 배출량을 산출한다.

1.2 연구대상 교통수단 및 대상지역

본 연구의 대기오염 대상물질은 대도시권의 가장 전형적인 오염물질이며 전 세계적으로도 가장 문제시되고 있는 질소산화물을 대상물질로 설정하였으며, 연구대상 교통수단으로는 도시지역의 대기환경을 가장 악화시키는 화물자동차(소형, 중형, 대형)를 대상으로 정했다.

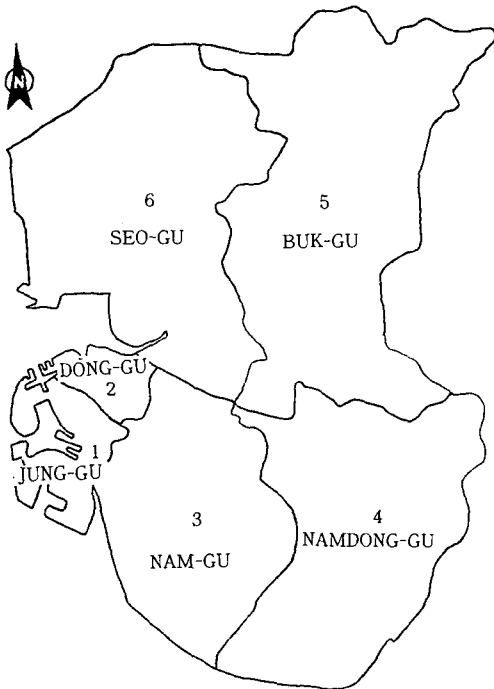


Fig. 1 The map showing the study area

또한 연구대상지역으로는 1990년의 행정구역으로써 6개의 Zone으로 구성되어 있는 인천직할시로서, 우리나라 전체면적의 약 0.3%에 해당하는 총면적 313.4km²의 광역도시권이며, 이 광역지역을

인천직할시 외각지역 등과의 교통 유동을 고려하여 현 행정구역상으로 구분되어 있는 중구, 동구, 남구, 남동구, 북구, 서구 등 총 6개 Zone으로 구분하여 이 지역을 연구대상지역으로 설정했다 (Fig. 1 참조).

1.3 연구방법

인천 대도시권에 있어서 이동발생원에 의한 대기오염물질의 산출 및 예측을 위한 대기오염 배출량 측정Model 설계의 핵심적인 연구부분은 「Link Table 설계」 「화물자동차 OD Table」 「Zone사이의 배분대상 Network설계」 「비용-거리 배분교통량 모델」 「가상배분 교통량 Percentage Table」 등 크게 5가지 정도를 들 수 있다. 이들 5가지를 근간으로 한 인천 대도시권의 대기오염 배출량 측정·예측 모델의 설계를 간략하게 표시하면 Fig. 2와 같다.

먼저 연구대상 교통수단의 OD table을 설계한 후 본 연구에 적합한 도로 Network를 구상해서 새로운 Network를 확정짓고, 이에 따른 각 Node및 Link를 설계한다. 또한 각 Link마다의 거리를 측정하고 도로평가 모델을 설계해서 각 Link마다의 거리, 속도, 비용 등을 나타내는 Link Table를 작성한다. 여기서 작성한 Link Table과 새로이 설계한 Zone사이의 배분대상 Network를 비용-거리 배분교통량 모델에 적용시켜 가상 배분교통량 Percentage Table을 작성해서 Zone Pair별 Link 교통량 Table을 새로이 만들어서 이 Table에 Link Table의 데이터를 입력시켜 Link별 대상교통수단 주행교통량을 구한다. 한편 대상교통수단 OD Table로부터 각각의 Zone 안에서의 대상교통수단 주행교통량을 구해서 Link별 Zone별 주행교통량에 배출계수를 곱하면 Zone별 대기오염 배출량이 산출된다. 본 연구에서 사용한 배출계수는 국립환경연구원 자동차 공해연구소에서 실험을 통하여 산출해 낸 결과치를 사용하였다⁴⁾.

2. 본 론

2.1 연구대상지역의 Network

1990년 인천직할시의 총면적은 313.4km²의 광역도시권으로 현 행정구역을 기준으로 6개 Zone으로 구분하여 이 지역을 대상지역으로 설정해서 각

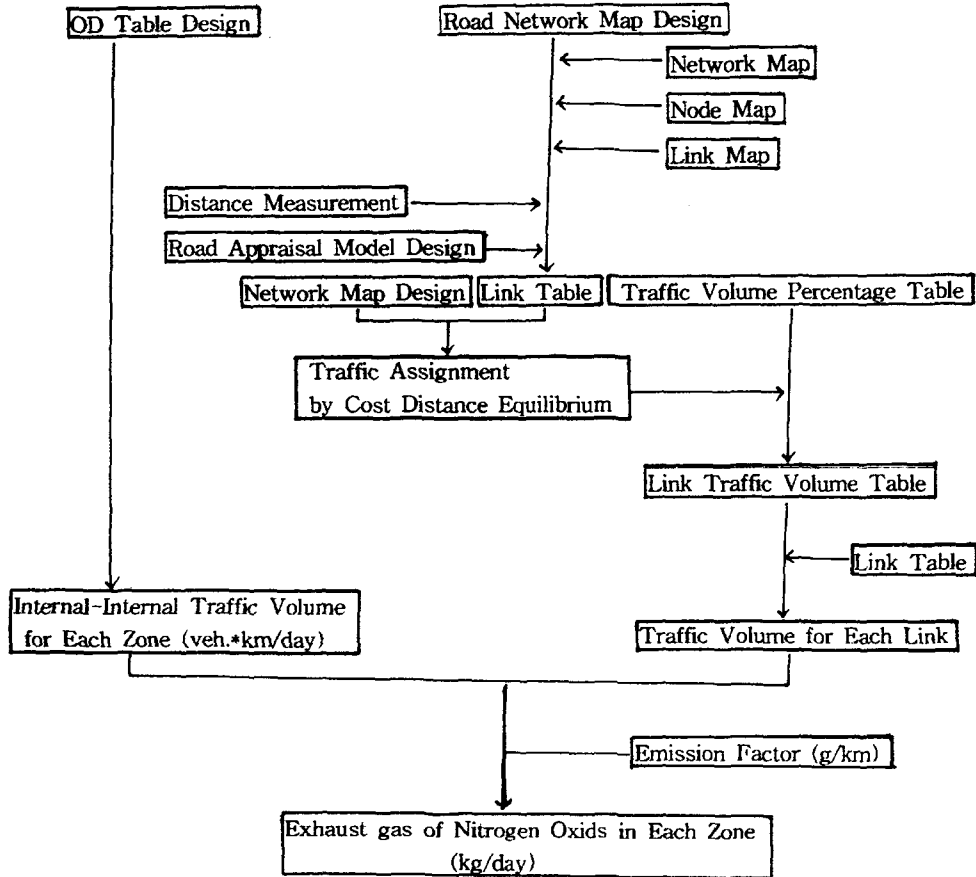


Fig. 2 The appraisal model of air pollution measurement

Zone마다 도로 Network Map, Node Map, Link Map을 각각 설계했다.

Network 설계에 있어서 1 Zone의 Node 수는 73 개이며, Link 수는 112개, 2 Zone은 32개, 44개, 그리고 3 Zone의 경우는 98개, 171개, 4 Zone은 91 개, 166개, 5 Zone은 100개, 173개, 6 Zone은 95 개, 174개이며 고속도로는 12개, 11개로서 연구대 상지역의 총 Node수는 489개이며 총 Link수는 840 개이다. 1 Zone의 Link Map Fig. 3과 같다.

2.2 도로평가 Model

도로평가치는 교통배분 해석의 가장 기본이 되는 값으로 그 값의 적부는 교통량 배분 계산결과에 커다란 영향을 끼친다. 따라서 도로평가치는 실제로 운전자의 경로선택을 가급적 정확하게 표현할

수 있는 값이 아니면 안된다고 생각된다.

목적지까지의 수많은 경로중 대부분의 운전자는 목적지까지의 거리가 최단거리이며 더욱이 쾌적해서 주행하기 좋은 거리를 최우선으로 꼽을 것이다. 즉 목적지까지의 경로선택에 대한 판단은 주행거리, 주행비용, 쾌적도 등의 종합적인 판단에 의해서 결정되어진다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 도로평가치로서 「거리·비용에 의한 방법²⁾을 채용했다. 이 거리·비용에 의한 도로평가치 방정식은 다음의 식 (1)과 같다.

$$E_{ij} = D_{ij} [FE + (DE + PE + S + TIE) / V] \dots\dots (1)$$

여기서, E_{ij} : Node i에서 j까지의 Link 통과비용 (won/km)

D_{ij} : Node i에서 j까지의 거리(km)

FE : 주행거리 1km 당 연료비(won/km)

DE : 감가상각비(won/h)

시스템을 구축하기 위한 연구이다. 즉, 인천직할시에 있어서 화물자동차로부터 배출되는 대기오염량을 상시 산출해 낼 수 있는 인천직할시 이동발생원 대기오염 측정모델을 설계하는 것이 본 연구의 목적이며 동시에 본 연구의 타당성 여부를 검증하기 위하여 6개의 연구대상 지역중 1개 Zone에 본 연구에서 설계된 모델을 적용시켜 대기오염 배출량을 산출한다.

1.2 연구대상 교통수단 및 대상지역

본 연구의 대기오염 대상물질은 대도시권의 가장 전형적인 오염물질이며 전 세계적으로도 가장 문제시되고 있는 질소산화물을 대상물질로 설정하였으며, 연구대상 교통수단으로는 도시지역의 대기환경을 가장 악화시키는 화물자동차(소형, 중형, 대형)를 대상으로 정했다.

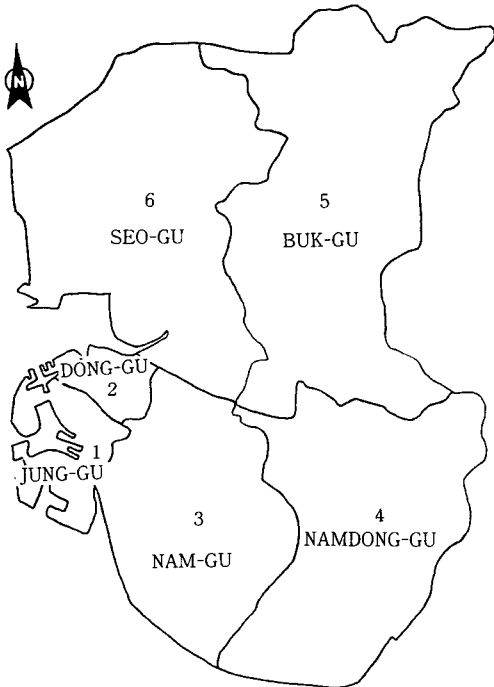


Fig. 1 The map showing the study area

또한 연구대상지역으로는 1990년의 행정구역으로써 6개의 Zone으로 구성되어 있는 인천직할시로서, 우리나라 전체면적의 약 0.3%에 해당하는 총면적 313.4km²의 광역도시권이며, 이 광역지역을

인천직할시 외각지역 등과의 교통 유동을 고려하여 현 행정구역상으로 구분되어 있는 중구, 동구, 남구, 남동구, 북구, 서구 등 총 6개 Zone으로 구분하여 이 지역을 연구대상지역으로 설정했다 (Fig. 1 참조).

1.3 연구방법

인천 대도시권에 있어서 이동발생원에 의한 대기오염물질의 산출 및 예측을 위한 대기오염 배출량 측정Model 설계의 핵심적인 연구부분은 「Link Table 설계」 「화물자동차 OD Table」 「Zone사이의 배분대상 Network설계」 「비용-거리 배분교통량 모델」 「가상배분 교통량 Percentage Table」 등 크게 5가지 정도를 들 수 있다. 이들 5가지를 근간으로 한 인천 대도시권의 대기오염 배출량 측정·예측 모델의 설계를 간략하게 표시하면 Fig. 2와 같다.

먼저 연구대상 교통수단의 OD table을 설계한 후 본 연구에 적합한 도로 Network를 구상해서 새로운 Network를 확정짓고, 이에 따른 각 Node 및 Link를 설계한다. 또한 각 Link마다의 거리를 측정하고 도로평가 모델을 설계해서 각 Link마다의 거리, 속도, 비용 등을 나타내는 Link Table을 작성한다. 여기서 작성한 Link Table과 새로이 설계한 Zone사이의 배분대상 Network를 비용-거리 배분교통량 모델에 적용시켜 가상 배분교통량 Percentage Table을 작성해서 Zone Pair별 Link 교통량 Table을 새로이 만들어서 이 Table에 Link Table의 데이터를 입력시켜 Link별 대상교통수단 주행교통량을 구한다. 한편 대상교통수단 OD Table로부터 각각의 Zone 안에서의 대상교통수단 주행교통량을 구해서 Link별 Zone별 주행교통량에 배출계수를 곱하면 Zone별 대기오염 배출량이 산출된다. 본 연구에서 사용한 배출계수는 국립환경연구원 자동차 공해연구소에서 실험을 통하여 산출해 낸 결과치를 사용하였다⁴⁾.

2. 본 론

2.1 연구대상지역의 Network

1990년 인천직할시의 총면적은 313.4km²의 광역도시권으로 현 행정구역을 기준으로 6개 Zone으로 구분하여 이 지역을 대상지역으로 설정해서 각

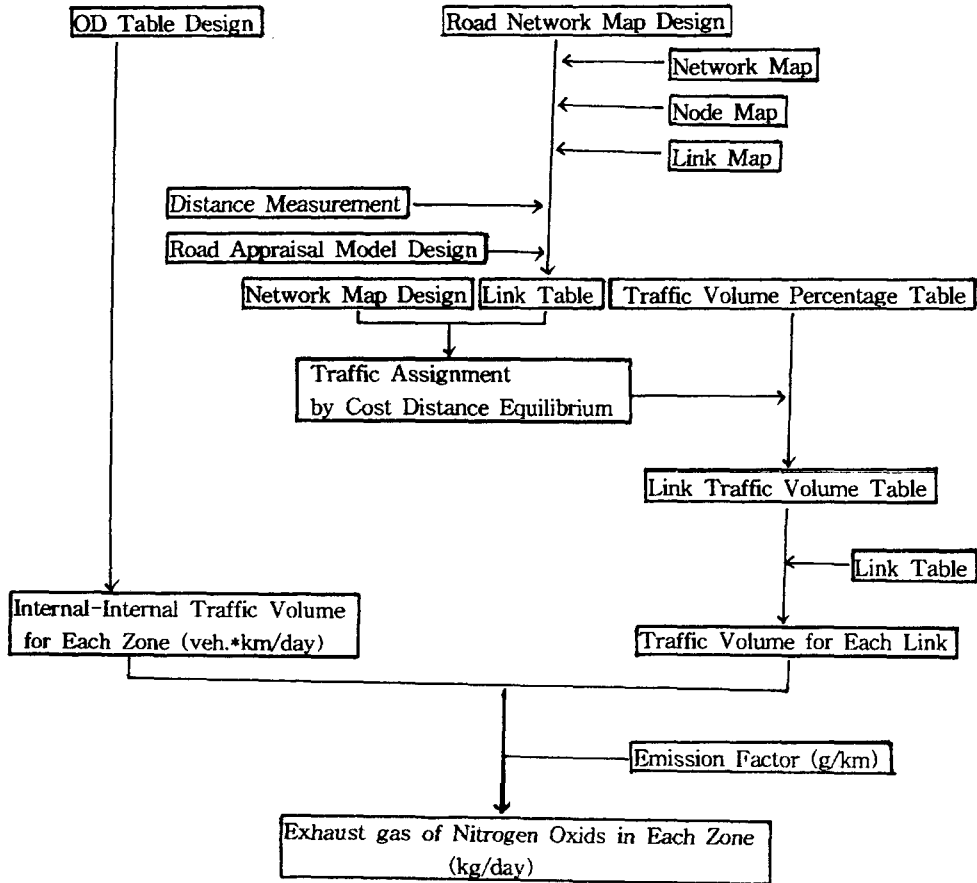


Fig. 2 The appraisal model of air pollution measurement

Zone마다 도로 Network Map, Node Map, Link Map을 각각 설계했다.

Network 설계에 있어서 1 Zone의 Node 수는 73 개이며, Link 수는 112개, 2 Zone은 32개, 44개, 그리고 3 Zone의 경우는 98개, 171개, 4 Zone은 91 개, 166개, 5 Zone은 100개, 173개, 6 Zone은 95 개, 174개이며 고속도로는 12개, 11개로서 연구대 상지역의 총 Node수는 489개이며 총 Link수는 840 개이다. 1 Zone의 Link Map Fig. 3과 같다.

2.2 도로평가 Model

도로평가지는 교통배분 해석의 가장 기본이 되는 값으로 그 값의 적부는 교통량 배분 계산결과에 커다란 영향을 끼친다. 따라서 도로평가지는 실제로 운전자의 경로선택을 가급적 정확하게 표현할

수 있는 값이 아니면 안된다고 생각된다.

목적지까지의 수많은 경로중 대부분의 운전자는 목적지까지의 거리가 최단거리이며 더욱이 쾌적해서 주행하기 좋은 거리를 최우선으로 꼽을 것이다. 즉 목적지까지의 경로선택에 대한 판단은 주행거리, 주행비용, 쾌적도 등의 종합적인 판단에 의해서 결정되어진다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 도로평가치로서 「거리·비용에 의한 방법」²⁾을 채용했다. 이 거리·비용에 의한 도로평가치 방정식은 다음의 식 (1)과 같다.

$$E_{ij} = D_{ij} (FE + (DE + PE + S + TIE) / V) \dots\dots (1)$$
 여기서, E_{ij} : Node i에서 j까지의 Link 통과비용 (won/km)

D_{ij} : Node i에서 j까지의 거리(km)

FE : 주행거리 1km 당 연료비(won/km)

DE : 감가상각비(won/h)

PE : 보험료(won/h)
S : 봉급(won/h)

TIE : 자동차 검사비(won/h)
V : 속도(km/h)



Fig. 3 The network and link map in inchon city

2.3 Zone 사이의 배분대상 Network

각 Zone별 Link별 교통량을 구하기 위해서는 비용-거리 배분교통량 모델이 설계되어야 하는데,

이 모델의 주요 입력데이터로서 Link Table의 데이터와 모두 30개의 Zone사이의 배분대상 Network의 설계가 필요한데 1 Zone(0100)에서 6 Zone(0600)사이의 배분대상 Network는 Fig. 4와 같다.

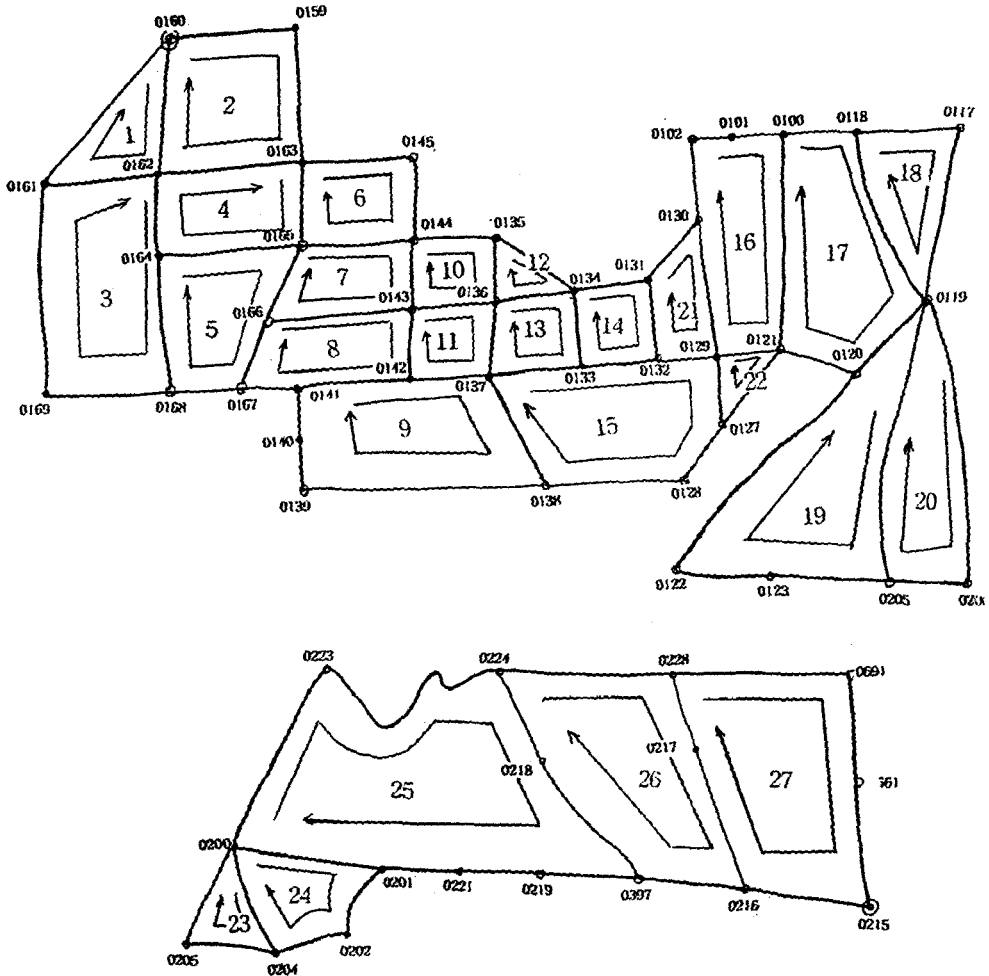


Fig. 4 The network map from Zone 0100 to Zone 0600

2.4 비용-거리 배분교통량 모델

Zone 사이의 교통량을 Network에 배분하기 위하여 개발된 대부분의 교통배분 모델은 기억용량이 매우 큰 대형전자계산기가 필수적으로 필요했다. 그러나, 대형컴퓨터의 구입은 막대한 비용이 들기 때문에 대도시권의 대기오염 문제를 해결하기 위한 교통수요 예측에 관한 연구는 국가수준의

연구에마였다. 그러나 본 연구에서는 분포교통량을 도로 Network에 배분할 때 개인용 컴퓨터만 갖추고 있다면 간단하게 배분교통량을 구할 수 있는 「비용-거리 배분교통량 컴퓨터 프로그램」을 개발해서 사용했다.

2.4.1 비용-거리 배분교통량 모델 이론

본 이론은 i Zone에서 j Zone까지의 가정교통량

과 Link 평가치로부터 각 Loop마다 보정 Link교통량의 합계가 균형을 이루었을 때의 Link교통량을 구하기 위한 배분이론으로 전제조건은 다음과 같다.

- 1) i Zone의 유출교통량과 j Zone까지의 유입교통량은 항상 같다. 즉 i Zone에서 유출하는 교통량은 도중에서 소멸하지 않고 전부 j Zone에 유입된다.

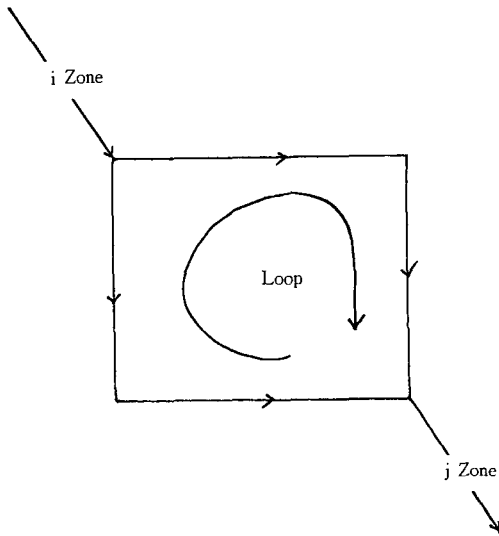


Fig. 5 Explanation figure premise condition

- 2) i Zone에서 j Zone으로의 최적배분은 각각의 Loop마다 총 Link 주행비용이 똑같아 졌을 때의 교통량이다. 즉 각각의 Loop마다 보정교통량의 합계가 0.00001이 될 때까지 반복계산(Fig. 6 참조)을 행한다는 의미이다.

2.4.2 비용-거리 배분교통량 컴퓨터 프로그램

Fig. 6은 비용-거리 배분교통량 모델에 의해 가상배분 Percentage교통량을 구하기 위한 「비용-거리 배분교통량 컴퓨터 프로그램」 Flow Chart인데, 이것을 간략히 소개하면 다음과 같다. 즉, 배분교통량의 계산을 간략화 시키기 위하여 먼저 i Zone에서 발생교통량 100대를 j Zone에 흐르게 한다. 이때 각 Loop마다의 가상교통량 $Q_1(i)$ 를 Table화(Fig. 7 참조) 시킨다.

또한 도로평가 방정식으로 부터 각 Link마다의 도로평가치 $T_1(i)$ 를 Table화시킨 후 이 두 Table을 입력데이터로 사용한다. 그리고 가정Link 교통

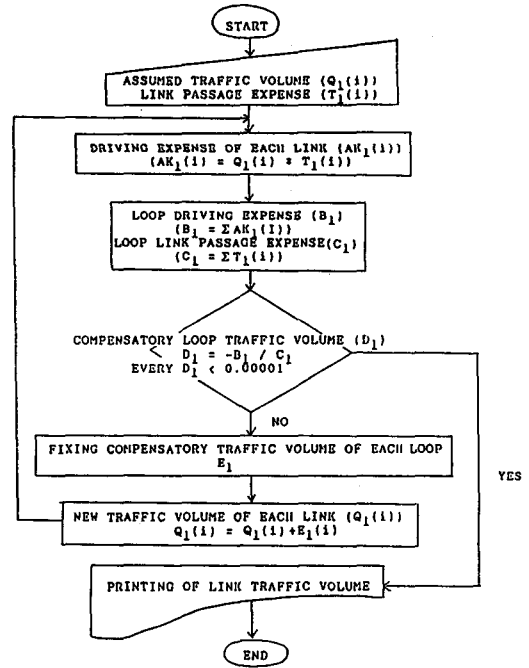


Fig. 6 Flow chart of traffic assignment program based on cost-distance equilibrium

from Zone i to j	Link Number	010201	010202	010103	010204
0100-0200		0.167			0.167	
0100-0300						
0100-0400		0.303		0.261	0.303	
0100-0500		0.530		0.382	0.530	

Fig. 7 Percentage table of each link traffic volume

량과 그 Link 도로평가치로부터 Link마다의 주행비용 $AK_1(i)$ 를 산출한 후 각 Link마다의 주행비용 $AK_1(i)$ 를 Loop마다 합산하면 Loop주행비용 B_1 이 산출된다. 또한 그때의 Link평균치 $T_1(i)$ 도 똑같은 방법으로 각 Loop마다 합산하면 Loop 도로평가치 C_1 이 구해진다. 한편 Loop마다의 보정교통량 D_1 은 다음과 같은 식 (2)로 구해진다.

$$D_1 = -B_1 / C_1 \dots\dots\dots (2)$$

즉 보정교통량 D_1 은 -Loop 주행비용 (B_1) / Loop도로평가치(C_1)로부터 산출되고 각 Loop마다의 보정교통량 D_1 이 10^{-5} 이 되면 가정교통량을 프린트한다. 그러나 보정교통량 D_1 이 10^{-5} 보

다 크면 Link마다의 고정보정교통량 $E_1(i)$ 를 구해서 Link마다 새로운 교통량 $Q_1(i)$ 를 산출해 내서 바로 이것이 새로운 교통량이 되어 다시 입력데이터쪽으로 Feedback(Fig. 6) 된다.

3. 분석 및 고찰

본 연구에서 설계된 인천직할시 이동 발생원 대기오염 측정system을 6개의 연구대상지역 중 1개 zone(중구)에 적용시켰다. 중구의 도로 Network를 설계하는데 Node수는 73개이며 Link수는 모두 112개로 설계했다.

중구의 Link별 화물자동차 일일 주행교통량은 5,922,269 Veh*km이며, 총배출 오염량은 23,826kg/day로 산출되었다. 그러나, Link별, 교통수단별 주행교통량을 산출하는데 가장 기본적인 데이터는 OD Table인데 인천직할시의 대기오염 배출량 산출 및 대기오염 방지대책을 확립하기 위해서는 하루 빨리 차종별 OD 조사가 필수적이다. 또한 교통수단별 대기오염 배출량을 산출하는데 있어서 배출계수의 결정은 매우 중요하다. 특히, 대기오염 배출물질은 차종별, 주행속도별, 주행모드별로 크게 영향을 받는다. 따라서, 차종별 배출오염계수의 산출이 시급하다.

4. 결 론

본 연구는 화물자동차에 의한 인천직할시의 대기오염 배출량 산출 및 신속하고도 장래예측이 가능한 대기오염 배출량 측정을 설계해서 인천지역의 대기오염예측 시스템을 확립하여 인천직할시의 대기오염 조기경보 모니터링 시스템을 구축하기 위한 연구이다.

본 연구의 결과 다음과 같은 두가지의 결론을 얻었다.

- 1) 분포교통량의 배분 모델인 「비용-거리 배분교통량 모델」에 의한 「인천직할시 대기오염 배출량 측정 시스템」이 설계되었다.
- 2) 교통수요예측을 위한 표준적인 수법으로 알려

져 있는 교통수요예측 4단계 추정법의 이용은 그 목적에 맞는 프로그램을 만들어 내든지 또는 막대한 비용을 들여서 하드웨어와 소프트웨어를 구입해야 하는 것이 현실이다. 그러나 본 연구에서 설계한 「대기오염 배출량측정 시스템」은 일반가정에도 널리 보급되어 있는 개인용 컴퓨터만 있으면 비교적 간단히 Simulation 결과를 산출해 낼 수 있어서 지금까지의 정부수준의 연구였던 것이 일개인의 연구로써 가능하게 되었으며 비용도 극히 저렴하여 인천직할시와 같은 중·대도시권에 적합한 모델이라는 점이다.

이 논문은 1994년도 교육부 학술연구조성비(지역개발연구)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- 1) Magnus Lenner, Nitrogen Dioxide in Exhaust Emissions from Motor Vehicles, Atmospheric Environment, Vol. 21, No. 1, 1987.
- 2) Yun Seon Kim and Etsuo Yamamura, A Study on Land-Use Appraisal Model in Seoul Metropolitan Area, Environmental Science, Vol. 11, No. 2, pp. 214~218, 1988.
- 3) 김윤선, A Study on Land Use Appraisal Model 1, 한국산업안전학회지, Vol. 7, No. 3, pp. 83~88, 1992.
- 4) 조강래 외 5인, 자동차에 의한 오염물질 배출계수 및 배출량 산출에 관한 연구, 韓國大氣保全學會誌, Vol. 9, No. 1, 1993.
- 5) 仁川地域의 大氣質 保全對策 樹立을 위한 實態調査 用役 報告書, 인하대학교 부설 산업과학기술연구소, pp. 131~136, 1993.
- 6) 仁川直轄市 地下鐵(電鐵) 建設 妥當性調査研究, 交通開發研究所, pp. 99~105, 1992.
- 7) 輕油自動車 汚染物質 低減對策에 관한 研究 (1), 국립환경연구소, pp. 298~303, 1986.