

교통소음관리를 위한 소음지도 구축

박 상 규* · 박 인 선
(연세대학교 환경공학부)



1. 머리말

자동차, 철도, 항공기의 운행이 증가함에 따라, 인구가 밀집되어있는 도시에서 교통소음 관련 민원이 급속히 증가하고 있다. 또한 아파트 및 다세대주택 같은 공동주택에 거주하는 사람이 많아지고 주택가 주변의 빈번한 건설 공사로 인하여 생활소음이 환경기준을 초과하는 지역이 넓어지고 있다. 이로 인하여 시민들이 도시환경에서 소음의 중요성을 인식하게 하였고, 소음환경의 질적 향상에 대한 욕구가 커지게 되었다.

최근 해외에서도 도시의 환경소음에 대한 민원이 많이 제기되고 있는 실정이며 이를 개선하기 위한 대책 수립에 지대한 관심을 기울이고 있다. 그 방안의 하나로 GIS를 이용한 소음지도를 제작하여 도로, 철로, 공항, 공장지역의 소음을 평가하여 그 심각성을 시민들에게 홍보하고, 이를 토대로 소음저감을 위한 정책을 수립하고 있다. 또한 유럽공동체에서는 각 국가별로 소음노출인구산정 및 소음 지도 작성을 요구하고 있으며 장기간의 연구사업으로 추진하고 있다.

소음지도(noise map)란 소음데이터를 지리정보시스템(GIS: geographic information system)과

연계시켜 계절별 소음의 변화, 주야간의 소음분포 차이, 행정지역별 소음도등에 관한 데이터를 분석 가공하여 제시하는 지도로서, 소음의 시각적, 공간적 표현이라 할 수 있다. GIS(geographic information system)는 인간생활에 필요한 지리정보를 효율적으로 활용하기 위한 정보 시스템으로서, 인간의 의사 결정에 필요한 지리정보의 관측과 수집에서부터 보존과 분석, 출력에 이르는 일련의 조작을 위한 시스템을 의미한다. 이러한 지리정보는 소음레벨 같은 속성정보와 함께 컴퓨터에 입력되어 저장, 관리됨으로써 각 지역에서의 환경 오염 현황을 지도 형태로 표현하는 것이다.

소음지도는 일반적으로 지역소음지도(local noise map), 도로교통소음지도(road traffic noise map), 철도소음지도(rail noise map), 항공소음지도(aircraft noise map)가 있으며, 지역소음지도를 제외한 나머지 소음지도는 운송수단에 따라서 제시된 지도이다.

지역소음지도는 어떤 지역의 측정된 소음을 바탕으로 현재 소음환경을 GIS를 이용하여 표현한 지도이다. 도로교통소음지도는 도로상에서 발생하는 소음도를 영향인자(교통량, 도로현황, 주위환경)와 수학적식을 통해 예측된 결과값을 이용하여 제작한 지도이다. 철도소음지도와 항공소음지도도 도로교통소음과 마찬가지로 각각의 영향인자와 예측식을 통해 제작된 지도이다.

* 우리 학회 감사

E-mail : skpark@dragon.yonsei.ac.kr

본 연구에서는 교통량조사와 도로현황을 조사하고, 이를 바탕으로 데이터베이스를 구축하였으며, 지리정보와 속성정보(영향인자)를 연결 후 수학적 예측을 통해 교통소음지도를 제작하였다. 또한 실제 소음측정값과 예측값의 비교를 통해 모델링의 타당성을 검증하였다.

2. 기본이론

2.1 도로교통소음 예측

대부분의 예측모델로 사용된 계산식은 매우 유사하다. 일반적으로, 소음레벨은 일정한 거리에서 현대의 차량이 주행할 때 발생하는 소음을 기준으로 하며, 많은 측정실험을 통해 모델을 위한 계산식을 결정한다. 보정요소는 차량의 유형, 교통량, 평균속도, 거리, 도로포장타입, 지면흡수, 교차로, 장애물의 스크린 효과 등의 영향을 고려하여 사용한다. 이러한 요소는 모델마다 적용되어지는 값과 요소의 개수가 다양하다. 그림 1은 도로교통소음 예측 모델링 과정이다.

2.2 Calculation of Road Traffic Noise(CRTN)

CRTN은 1975년 영국의 Department of Transport Welsh Office HMSO에서 처음으로 발표된 이후 보다 넓은 범위의 예측을 위하여 지속적인 연구를 통하여 개정판이 발표되었으며 도로 설계시의 환경평가, 고속도로 설계, 토지이용계

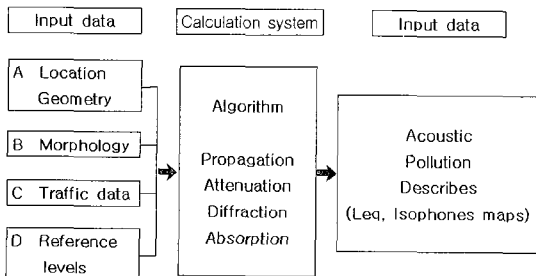


그림 1 Flow chart of prediction models

획수립을 위한 도로교통소음을 계산하는 적절한 방법을 제시하고자함에 목적이 있다.

도로에서 기본소음도계산은 도로 가장자리에서 10m의 거리에서 교통량, 차량속도, 차량구성, 도로 기울기, 도로포장상태로부터 얻어진다. 도로 교통량은 평균속도와 구성이 밀접한 관련이 있다. 예를 들면, 교통량 증가는 속도감소를 야기하고, 그 결과 소음도는 작아질 것이다. 이러한 효과는 구성의 변화에서도 볼 수 있다. 신설예정인 도로의 소음도를 예측할 때, 적절한 교통인자를 채택해야한다. 기존도로 예측에는 이러한 교통인자의 측정이 선행되어야한다.

(1) 교통량

일반도로에서 교통량은 양방향의 교통량을 합한 값이다. 그러나 양방향의 도로가 5m 이상 떨어져 있거나, 두 도로의 높이가 1m 이상 차이가 있을 경우에는 각각의 도로에서 발생하는 소음 레벨은 구별되어 평가된다.

그림 2는 대형 차량비(p)이 0%, 기울기(G)가 0°, 속도 75 km/h의 조건에서 1시간당 교통량 변화에 따른 기본소음레벨(L_{10}) dB(A)을 보여준다. 그림 3은 동일조건에서 교통량 변화에 대해 L_{10} (18-hour) dB(A)의 기본소음레벨을 보여준다.

(2) 대형차량비와 차량속도

대형 차량비(p)와 차량속도(V)의 보정은 그림 4에서와 같이 두 인자의 상관관계식을 바탕으로 결정된다. p 값은 다음 식으로부터 구한다.

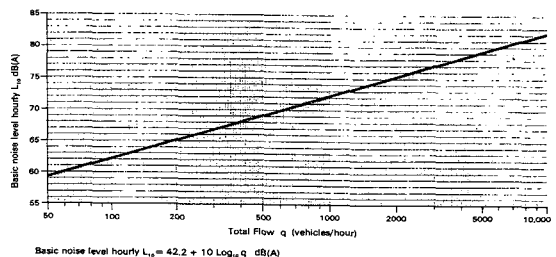


그림 2 Prediction of basic noise level hourly L_{10}

특집 교통소음 저감대책

$$p = \frac{100f}{q} \text{ or } \frac{100F}{Q}$$

f, F : 1시간 대형교통량, 18시간 대형교통량, 대/1h or 대/18 hour

q, Q : 1시간, 18시간동안의 전체교통량, 대/1h or 대/18 hour

(3) 경사도

백분율(percent)로 표현된 경사도(G)는 그림 5와 같이 경사도에 따라서 보정값을 결정하게 된다.

(4) 도로표면

도로 표면의 보정은 도로포장상태(재질, 공극, 자갈크기 등)에 의존한다.

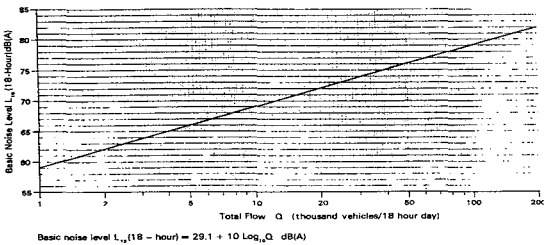
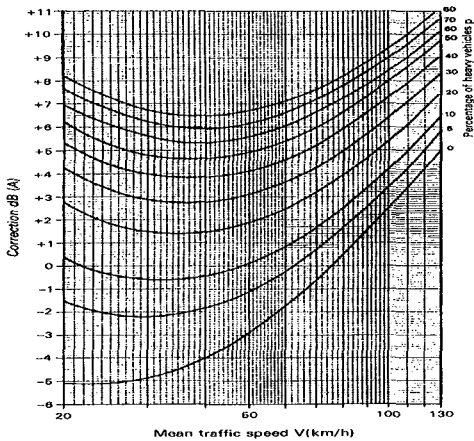


그림 3 Prediction of basic noise level $L_{10}(18 \text{ hour})$



$$\text{Correction} = 33 \text{ Log}_{10}(V + 40 + \frac{500Q}{V}) + 10 \text{ Log}_{10}(1 + \frac{p}{50}) - 69.8 \text{ dB(A)}$$

그림 4 Correction for mean traffic speed V and percentage heavy vehicles p

도로표면이 물에 영향을 받지 않고 속도(V)가 75 km/h를 초과하는 길에서, 기본 소음 레벨에 보정은 아래와 같다.

콘크리트 재질에서,

$$\text{Correction} = 10 \text{ log}_{10}(90 \text{ TD} + 30) - 20 \text{ dB(A)}$$

아스팔트에서,

$$\text{Correction} = 10 \text{ log}_{10}(20 \text{ TD} + 60) - 20 \text{ dB(A)}$$

TD : 포장면의 두께

또한 위와 같은 조건이 아닌 불침투성 도로 표면에서는 속도가 75 km 미만일 경우 그림 4의 보정값에서 1 dB(A)를 차감하여 계산하고, 물의 침투가 잘되는 쇄석(macadam)으로 포장된 도로는 소음도로부터 3.5 dB(A)를 차감하여야 한다.

(5) 거리보정

가까운 도로의 가장자리로부터 4m보다 멀거나 같은 거리에 위치한 수음점은 그림 5에 주어진 거리 보정을 한다. 도로 가장자리에서 4m보다 가까운 거리에 보정은 수음점이 도로가장자리에서 4m에 위치해 있다고 가정한다.

거리보정은 source line에서 수음점까지 최단사면거리(shortest slant distance)는 (d')로 표시

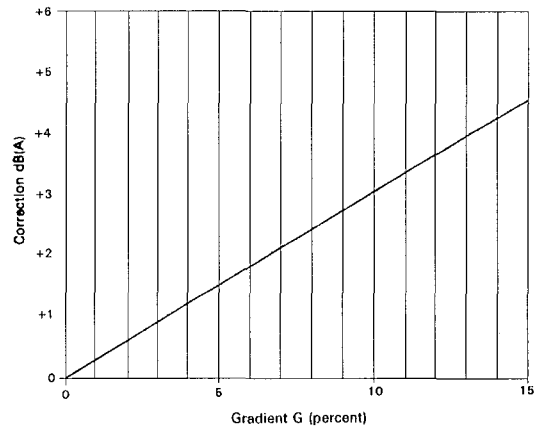


그림 5 Correction for gradient G

한다. 이 값은 도로 가장자리에서 수음점까지 최단 수평 거리, 수음점의 높이(h), source line의 소음발생원지점 S 와 수음점 R 의 연결선을 이용하여 구할수 있다. 그림 7은 최단사면거리에 대한 그림이다.

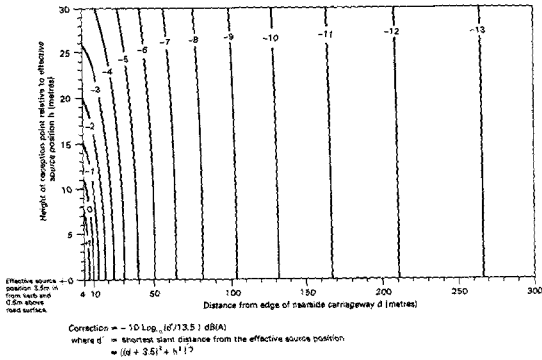


그림 6 Correction for distance as a function of horizontal distance from edge of nearside carriageway d and the relative height between the reception point and the effective source position h

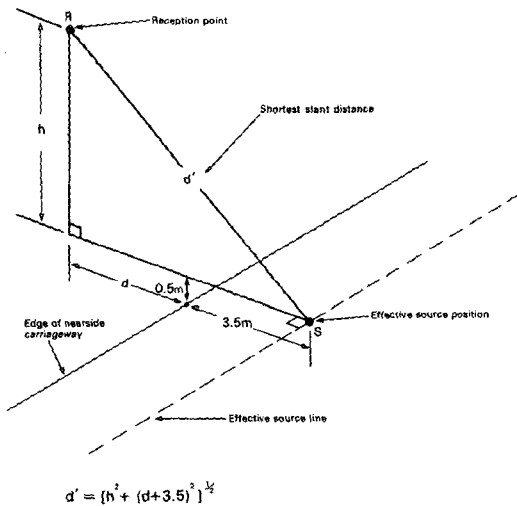


그림 7 Illustration of shortest slant distance d' for a reception point R at a horizontal distance $(d+3.5)$ and a relative height h from the effective source position S

3. 도로 및 교통량조사

3.1 도로현황

원주시의 도로현황을 보면, 총 연장 652,579 m이며 포장률은 85.7%이다. 이중 국도와 시도를 포함한 주요도로 19개 노선을 분석 대상으로 정하였다. 도로현황은 각도로의 명칭, 연장(km), 왕복 차로수, 도로폭(m), 평균속도(km/h)를 조사하였으며, 이를 표 1에 정리하였다. 그림 8은 노선도이며, 도로의 시작점과 끝점을 나타낸다.

3.2 교통량 현황

주요도로의 교통량을 파악하기 위하여 각각의 도로를 대표할 수 있는 지점을 선정하여 1시간씩 2회 측정을 하여 평균교통량(대/h)을 구하였으며, 차량을 소형과 대형으로 분류하여 대형 차량비

표 1 Road conditions in Won-ju city

노선 번호	노선명	연장 (km)	왕복 차로수	폭원 (m)	속도 (km/h)
1	무실로	1.7	2	15	60
2	봉산로	1.6	2	12~20	60
3	홍양로	1.6	2	12	60
4	서원대로	4.9	2~6	12~35	70
5	원일로	2.2	4	20	60
6	중앙로	1.2	일방1	12	50
7	평원로	2.0	4	20	60
8	북원로	5.1	6	35	70
9	치악로	1.3	2	20	60
10	봉학로	2.1	2~4	20~25	60
11	가현로	1.9	2	7	60
12	강변로	6.7	4	12~25	70
13	남산로	2.2	2	12~15	60
14	우산로	2.5	2	10~20	60
15	단계로	2.8	4	20~25	60
16	금대로	3.3	4	25~35	60
17	남원로	2.6	4	25~35	60
18	현충로	3.8	2~4	10~30	60
19	소일로	3.0	2	11	60

특집 교통소음 저감대책

(percentage heavy vehicles)를 구하였다. 대형차량은 공차중량이 1525 kg 이상인 상용차량 및 버스, 트럭을 조사하였다. 1999년에 비하여 2003년에는 택지개발, 중앙 고속도로 개통, 유입인구증가, 물류창고증가 등으로 인하여 교통량이 증가하였다.

4. 도로교통소음지도 제작

도로교통소음지도는 측정된 소음도를 이용하여 지도를 제작하는 방법과는 다르게 소음에 영향을 줄 수 있는 인자(교통량, 대형차량비, 연장, 왕복 차로수, 폭원, 도로포장상태, 평균속도 등)의 상관관계 및 물리적 특성을 사용하여 도로주변의 소음도를 예측하여 생성하는 지도이다. 그러나 기본적인

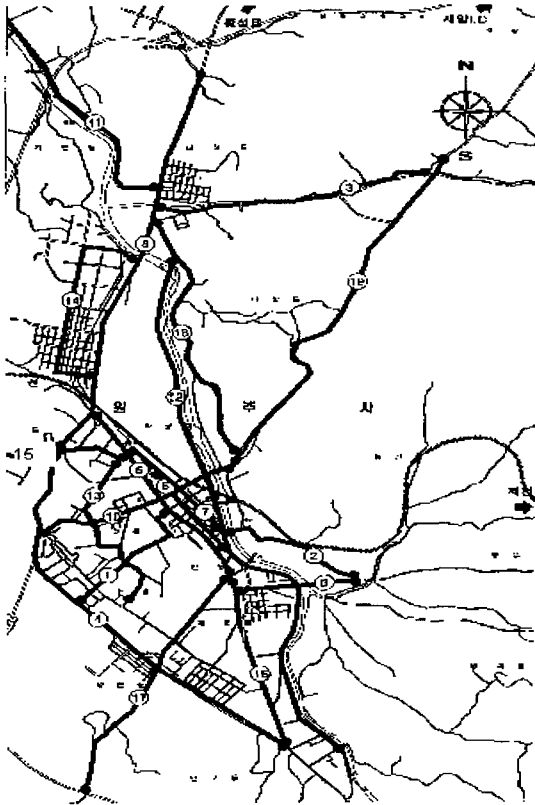


그림 8 Major roads in Won-ju city

으로 지리정보를 이용한다는 점에서는 공통점을 지닌다.

4.1 주요도로분석

원주시의 주요도로분석은 조사한 교통량과 도로현황을 영향인자로 설정하였으며, 지리정보는 축척 1/250000(면적 : 867.76 km²)의 원주시 수치지도(digital map)를 사용하였다. 수치지도는 행정구역, 도로, 건물 layer를 추출하여 파일변환을 하

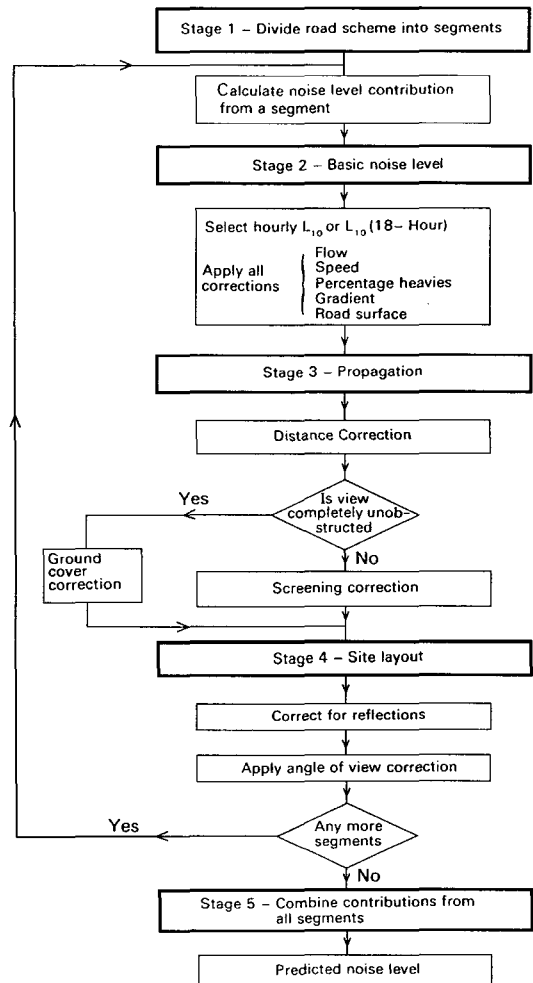


그림 9 Flow chart for predicting noise from road schemes

였다. 고도는 평면으로 가정하여 계산하였으며, 도로의 경사는 고려하지 않았다. 각 측정지점은 지속적인 update를 위해 GPS 장비로 측정하였다.

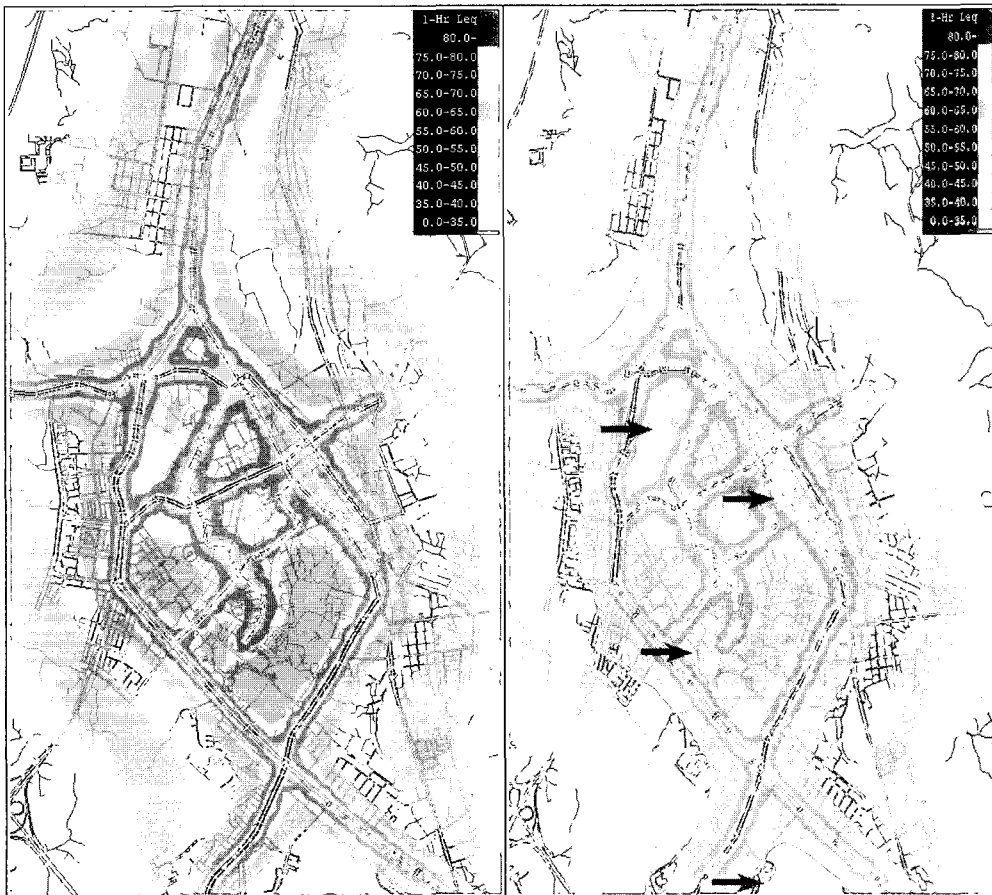
모델링은 우선 지리정보와 속성정보의 연관성을 정의하여야한다. 각각의 데이터는 ID를 부여하여 주요도로의 속성정보 데이터베이스를 생성하였다. 주요도로와 일반도로를 구분하기 위해 19개 주요도로에 segment layer를 생성하여 속성정보와 연결해주었으며, segment 주위의 ground contour를 정의했다.

모델링해석은 CRTN(calculation of road traffic

noise)에 의해 계산되어졌으며, 계산과정은 그림 9과 같다.

계산은 기본적으로 Leq calculation방법을 사용하며, COA(cut-off distance)는 1000 m로 하여 segment로부터 1000 m이상에서는 소음의 영향이 무시되게 하였다. 출력 디스플레이는 blue-red-green, ISO 1996-2 5 dB steps, ISO 1996-2 10 dB steps로 결과를 출력한다. 또한 over-ride value를 이용하여 소음규제법에서 정한 기준을 넘는 지역과 만족하는 지역을 분석하였다.

해석은 상요소프트웨어인 AutoCAD 2002



(a) 1999년 도로소음지도

(b) 2003년 도로소음지도

그림 10 Road traffic noise map of major road in Won-ju

특집 교통소음 저감대책

(auto-desk), Roadnoisemap 2000(WS Atkins), ArcGIS 8.1(ESRI)을 사용하였다.

4.2 교통량 변화에 따른 소음도 분석

그림 10은 1999년, 2003년 원주시 교통량을 이용하여 교통량 증가로 인한 소음의 변화를 알기 위해 제작한 소음지도이다. 1999년 교통량 자료와 동일한 조건으로 분석하기 위해 9개 도로에 대하여 분석을 하였다.

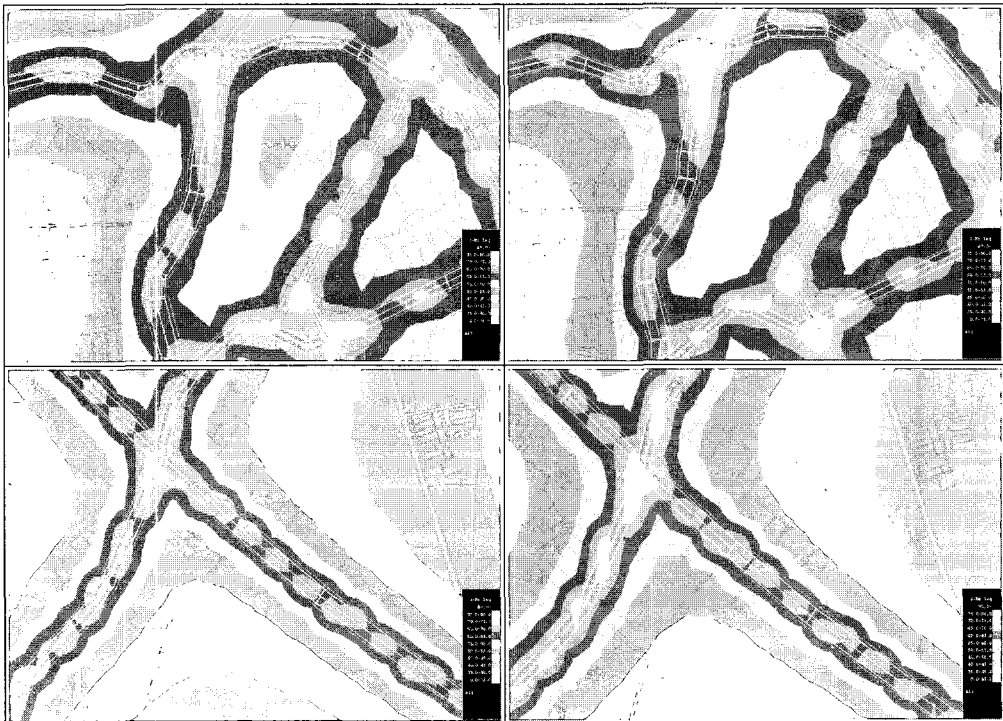
분석결과 그림 10에 표시된 부분에서 소음도가 증가한 것을 확인할 수 있으며, 그림 11에서 보다 자세한 지도를 볼 수 있다.

표 2과 그림 11, 12에 각 도로별 교통량과 예측 소음도를 비교하였다.

중앙로를 제외한 8개 주요도로에서 교통량 증가에 따라 소음이 증가하는 것을 확인하였으며, 이

표 2 Comparison of noise level in 1999 and 2003

노선명	1999년		2003년	
	교통량 (대/h)	소음도 (dB(A))	교통량 (대/h)	소음도 (dB(A))
무실로	598	70.0	1422	72.8
서원대로	1144	69.6	2034	73.0
원일로	1153	71.1	1224	75.6
중앙로	796	72.5	300	71.5
평원로	787	70.3	1308	70.6
북원로	1680	69.9	2262	72.2
봉학로	1112	72.2	1500	72.3
단계로	852	70.6	1446	71.5
남원로	950	71.3	1446	73.1



(a) 1999년 도로소음지도

(b) 2003년 도로소음지도

그림 11 Comparison of detail map

는 교통량이 소음도 예측에 주요영향인자임을 알 수 있다. 중앙로의 교통량과 소음도의 감소는 1999년 양방향 통행이었으나, 이후 일방통행으로 인해 속도제한 및 도로주차장 설치로 인하여 교통량이 감소되었으며, 소음도 또한 영향인자의 감소로 인하여 감소되었다.

4.3 주요 19개도로 소음 예측

주요도로 소음 예측은 도로교통소음으로 인해 도로주변지역에 미치는 영향과 측정값과 비교를 통해 모델링 방법의 타당성을 알고자함에 목적이 있다.

그림 14는 2003년에 측정된 교통량 데이터와 도

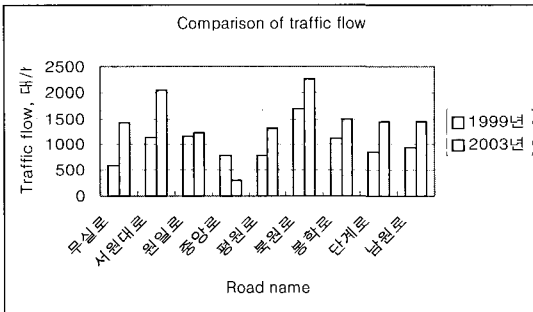


그림 12 Comparison of traffic flow

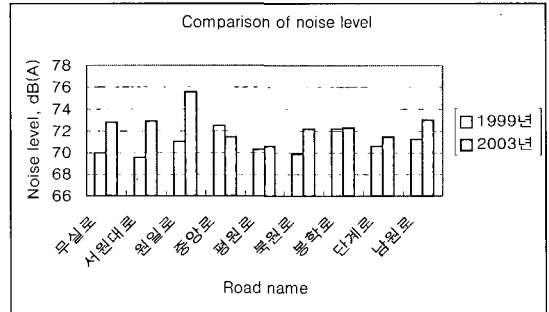
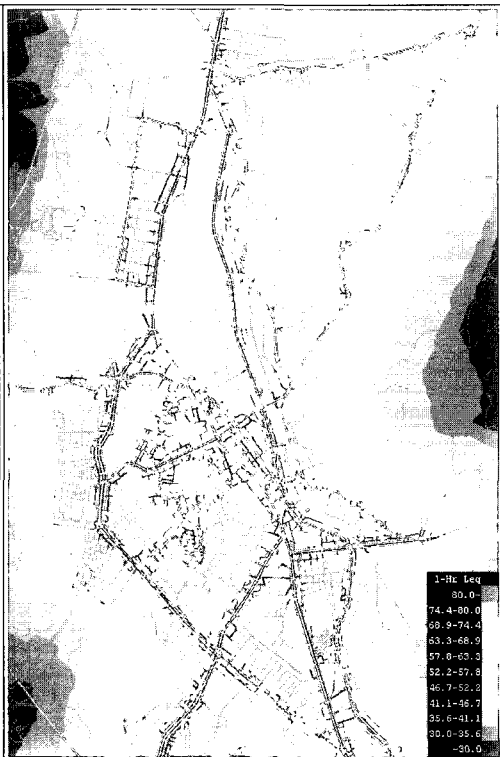


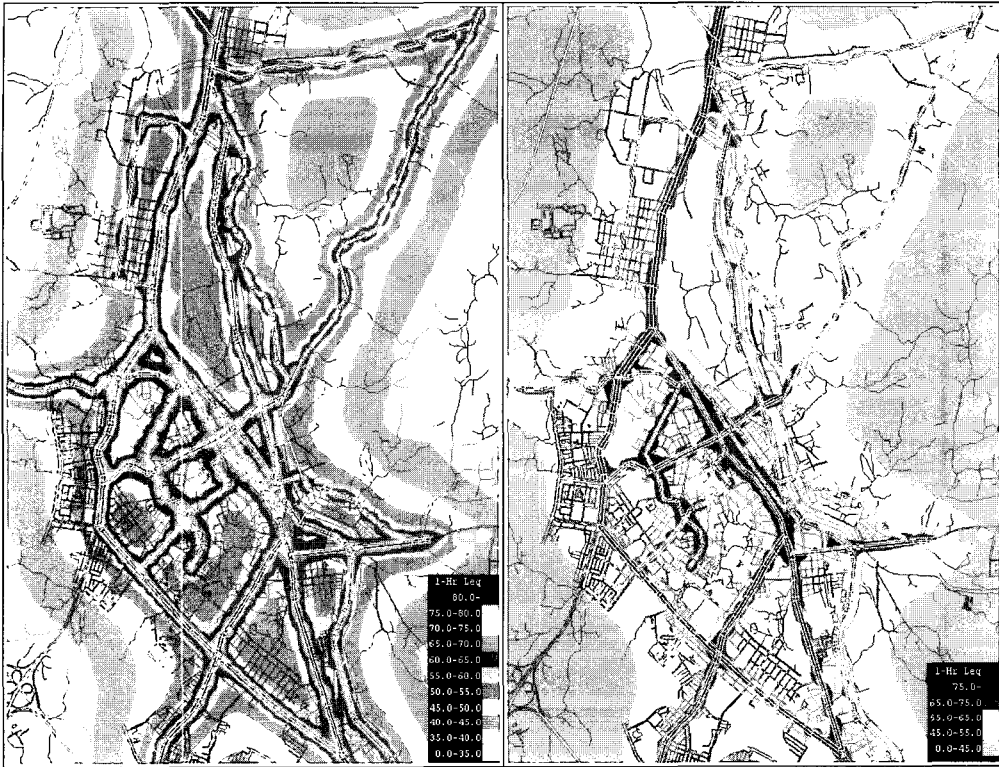
그림 13 Comparison of noise level



(a) Contour map



(b) RGB map



(c) 5 dB steps map

(d) 10 dB steps map

그림 14 Road traffic noise map of various spectrum type

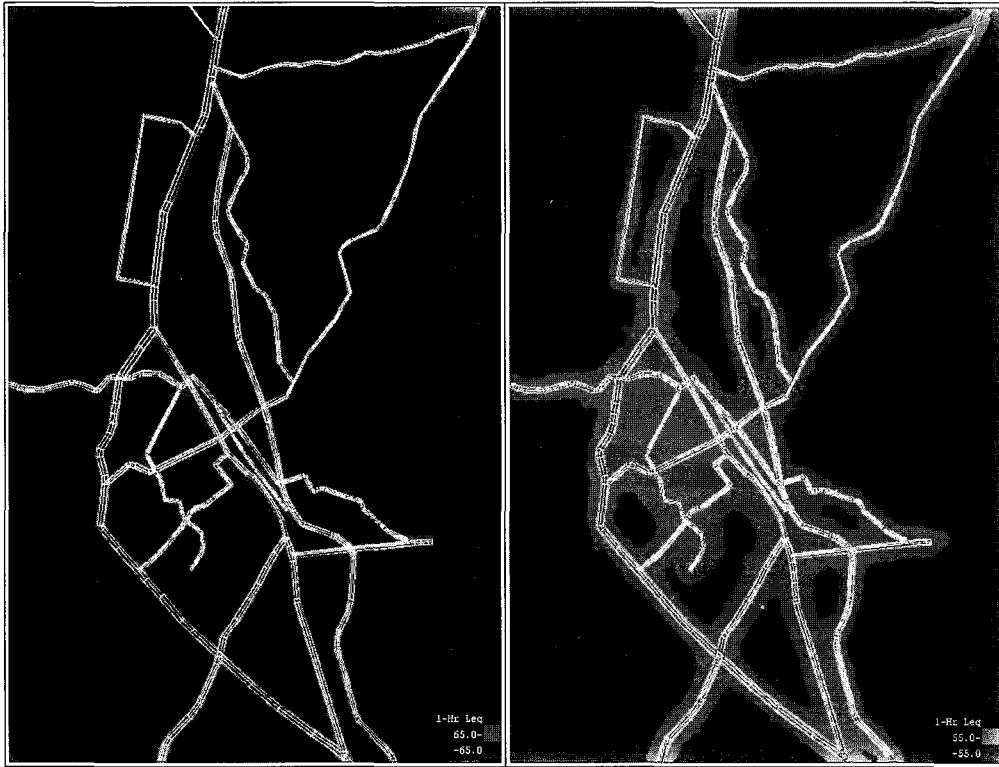
로현황 자료를 바탕으로 소음을 예측한 결과이다. 소음지도는 일반인을 대상으로 소음의 영향과 그 심각성을 알리기 위함에 목적이 있다. 이를 위해서 다양한 방식(contour map, RGB map 5 dB steps map(ISO 1996), 10 dB steps map(ISO 1996))의 소음지도를 작성하였으며, 적절한 방식을 제시하였다. 제작결과, contour map은 소음도 표시가 어려우며 시각적인 효과가 떨어진다. 또한 RGB map은 소음도 범위설정이 어렵다. 이와 반대로 5 dB steps map과 10 dB steps map은 소음규제 기준과의 비교와 시각적 분별력이 뛰어났다.

그림 15는 적용대상지역에 따른 소음환경기준과 소음규제기준의 기준을 만족하는 지역과 만족하지

못하는 지역의 경계를 나타내기 위해 제작하였으며, over-ride value에 따라서 분포의 차이를 볼 수 있다. 그림 15의 (a), (b)를 비교해보면 over-ride value가 작아질수록 분포지역이 넓어지는 것을 볼 수 있다.

이러한 소음지도를 이용하면 소음저감을 위한 정책 수립시 우선대상지역을 선정하기가 용이하며, 도시계획 및 국토이용관리에 지역에 따라 차별화된 정책을 수립할 수 있다.

표 3에 주요도로의 측정소음도, 예측소음도, 두 값의 오차를 정리하였다. 두 값의 비교결과 오차는 0~5.2dB(A)사이였으며, 이것은 예측값과 측정값이 유사한 결과를 보임을 의미한다.



(a) Over-ride value with 65 dB

(b) Over-ride value with 55 dB

그림 15 Road traffic noise map of over-ride value type

표 3 Noise level of measurement and prediction

노선 번호	노선명	측정소음도 (dB(A))	예측소음도 (dB(A))	오차 (dB(A))	노선 번호	노선명	측정소음도 (dB(A))	예측소음도 (dB(A))	오차 (dB(A))
1	무실로	72.8	72.8	-	11	가현로	65.3	68.5	3.2
2	봉산로	68.8	69.8	1.0	12	강변로	70.1	70.2	0.1
3	홍양로	65.7	60.5	5.2	13	남산로	70.2	73.5	3.3
4	서원대로	73.3	73.0	0.3	14	우산로	66.5	69.1	2.6
5	원일로	71.1	75.6	4.5	15	단계로	71.5	71.5	-
6	중양로	67.7	71.5	3.8	16	금대로	70.5	72.9	2.4
7	평원로	70.2	70.6	0.4	17	남원로	70.8	73.1	2.3
8	북원로	74.5	72.2	2.3	18	현충로	67.5	65.7	1.8
9	치악로	71.5	72.2	0.7	19	소일로	68.6	70.5	1.9
10	봉학로	72.8	72.3	0.5					

5. 맺음 말

이 글에서는 원주시를 대상으로 조사와 예측이 이루어졌으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 동일한 조건하에서 연도별 교통량 증가에 따라 소음이 증가하는 것과 일방통행으로 인한 속도제한 및 도로주차장 설치로 인한 교통량 감소가 소음감소로 나타남을 확인하였으며, 이는 교통량이 소음도 예측에 주요영향인자임을 알 수 있다

(2) 도로교통소음지도 제작은 일반인을 대상으로 소음의 영향을 알리는 것이 목적이므로, 데이터의 출력은 소음도 표시가 어려우며 시각적인 효과가 떨어지는 contour map과 소음도 범위설정이 어려운 RGB map보다는 5 dB steps map과 10 dB steps map은 소음규제 기준과의 비교와 시각적 분별력이 뛰어나움을 확인했다.

(3) CRTN method를 이용한 도로소음 예측은 측정소음도와 비교한 결과, 오차가 0~5.2 dB(A) 사이였으며, 예측값과 측정값이 유사한 결과를 보임을 확인하였다. 이것은 본 연구에서 사용한 모델링 방법의 타당성을 검증한다.

(4) 적용대상지역에 따른 소음환경기준과 소음규제기준의 기준을 만족하는 지역과 만족하지 못하는 지역의 경계를 나타내기 위해 over-ride value type의 소음지도를 제작하였으며, over-ride value가 작아질수록 분포지역이 넓어지는 것을 볼 수 있다.

(5) 기존에 연구에서 보여진 국소적인 예측과는 달리 지리정보와 속성정보(교통량, 도로현황)를

이용하여 광범위한 지역의 도로소음 현황을 확인할 수 있었다. 또한 이러한 소음지도를 이용하면 소음저감을 위한 정책 수립시 우선대상지역을 선정하기가 용이하며, 도시계획 및 국토이용관리에 지역에 따라 차별화된 정책을 수립할 수 있다.

(6) 지리정보를 기본으로 한 소음지도는 차후 주변지역의 소음지도 제작시 통합이 용이하며, 이를 web과 연결하여 일반 client에게 제공할 수 있다.

참고 문헌

(1) 박인선, 박상규, 2003, "정온한 도시환경을 위한 소음지도 개발 및 응용연구," 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 1182~1186.

(2) 박상규, 박인선, 2001, "정온한 환경유지를 위한 소음지도 활용연구," 강원지역환경기술개발센터.

(3) The European Parliament and of the Council, Relating to the Assessment and Management of Environmental Noise, Directive 2002/49/EC, Official Journal of European Communities, L189/12~L189/25, 2002.

(4) Department of Transport Welsh Office HMSO, Calculation of Road Traffic Noise, HMSO BOOKS, 1988.

(5) Laura Lang, Transportation GIS, ESRI Press, 1999.

(6) Tor Bernhardsen, Geographic Information Systems Second Edition, Wiley, 1999.