국토연구 제31권: 53~68 (2001. 4)

환경친화적 도시공간구조를 위한 도로교통소음계산 연구

A Study on Road Traffic Noise Immission Calculation for Sustainable Urban Form

이승일 국토연구원초빙연구원

목 차

* 이 논문은저자가 1998년 독일 도르트문트(Dortmund)대학 공간계획학과(Fakultät Raumplanung)에서 취득한 박사학위 논문(Umweltverträgliche räumliche Stadtentwicklung für Kwangju in Südkorea)의 일부를 발췌하여수정, 보완한것임.

Ⅰ. 서론

지난 반세기 동안 우리나라는 경제분야에 있어서 괄목할 만한 성장을 이루었다. 그러나 무분별한 개발로 인한 환경피해 역시 그에 못지 않게 심각한 수준에 이르렀다. 특히 소음은 소득수준의 향상에 따른 생활환경에 대한 가치의 변화로 말미암아 중요한 환경공해의 하나로 인식되고 있다. 소음의 종류는 다양하지만 그 중에서도 도로교통소음을 대표적인 것으로 꼽을 수 있다. 도로교통소음은 도로연장의 확대와 자동차보급의 증가로 인해 교통용량이 급증하면서 심각한 수준에 이르렀고, 도로주변에 사는 주민에게 신체적인 피해를 입힐 뿐 아니라 주택가격의 하락에 따른 재산상의 피해를 야기시키고 있다(임영태. 2000. pp77-79).

심각한 소음공해 문제를 해결하기 위해서는 도시단위로 소음 현황을 파악하여 소음공해가 심각한 지역에 우선적으로 소음방지시설을 설치할 수 있도록 도시소음방지계획을 마련하는 것이 필요하다. 도로교통소음 현황을 파악하는 일반적인 방법은 도로주변지역에 대해 소음샘플지점을 설정하여 실제로 소음을 계측하는 것이다. 그러나 도시전체지역에 대하여 동일한 조건으로 동시에 소음을 계측하는 것이 현실적으로 어려울 뿐 아니라 도로구간별로 최다통행시간대가 다르기 때문에 주민 모두가 납득할만한 소음계측시간대를 정하는 것역시 힘들다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 소음의 계측대신에 구간별 1일 통행량에 대해 소음의 발생을 계산하는 방법이 필요하다. 선진국 중에서도 특히 환경문제 해결을 위해 많은 노력을 기울이고 있는 독일에서는 1990년 초부터 도로교통소음계산기준(Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, RLS-90을 법적으로 마련하여 소음방지대책 마련을위해사용하도록하고있다.

소음계산은 도시전체지역에 대한 소음의 현황을 파악하기 위하여 사용될 수 있을 뿐만 아니라 미래에 설치될 교통시설의 소음공해영향을 평가하기 위해서도 필요하다. 도로를 건설하기 전에 그로 인해 발생될 소음을 미리 계측하여 평가할 수 없기 때문에 그 도로에서 예측되는 통행량을 바탕으로 도로교통소음을 계산하는 것만이 가능하다. 그뿐 아니라 도로교통의 소음을 계산하게 되면 도로의 노선을 결정할 때에 주거지역의 분포를 고려하여 소음으로 인한 피해를 최소화할 수 있는 노선을 선정할 수도 있다. 나아가 이를 통하여 지속가능한 도시발전을 위한 환경친화적(또는 교통발생저감형) 도시공간구조(Lee, Seungil. 1998; 이승일. 2000)를 설정하고자 할 때에도 도로교통의 소음으로 인한 피해를 최소화하는 도시공간구조를 평가할 수 있다. 따라서 도로교통소음의 계산은 도로교통소음문제를 해결하기 위한 대책을 마련하는 데 중요한 역할을한다고할수있다.

이와 같은 배경 아래 본 논문의 목적은 선진국의 사례를 바탕으로 도로교통소음의 계산방법을 살펴보고, 도시공간구조를 개선하여 도로교통소음의 피해를 줄이고자 하는 사용목적에 적합하도록 도로교통소음계산모델을 구현하고 적용함으로써, 도로교통소음문제해결에기여하는데있다.

이 연구를 수행하기 위하여 다음과 같은 방법과 절차를사용하였다.

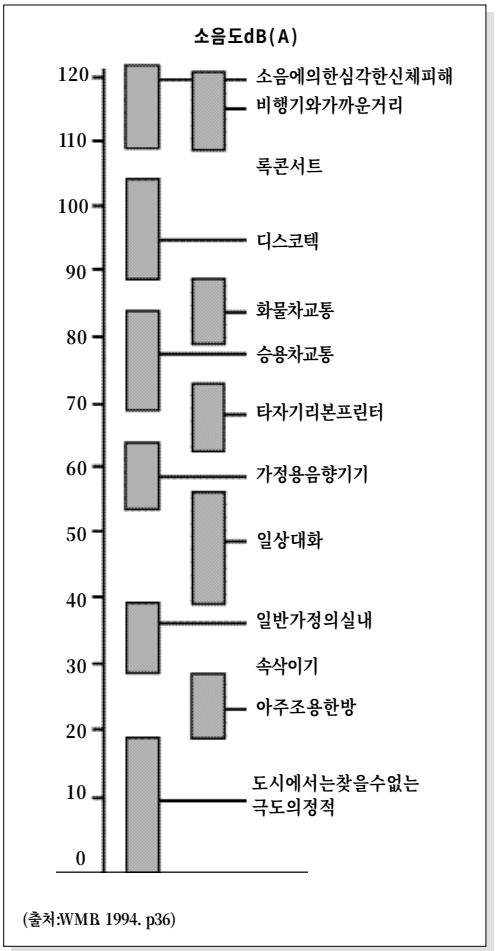
첫째, 소음의 물리적 특성과 소음의 종류별 특성에 대하여 알아본다. 둘째, 법적인 소음계산기준의 필요성을 살피고 독일의 도로교통소음계산의 기준을 소개한다. 셋째, 도시공간구조의 개선을 통하여 도로교통소음 피해를 줄이기 위한 목적으로 독일의 도로교통소음계산의 기준을 바탕으로 하고, Raster- GIS를 이용하여 개발한 도로교통소음계산모델을 제시한다. 넷째, 광주대도시권을 연구사

례로 하여 환경친화적 도시공간구조 시나리오를 설정하고, 이 모델을 이용해서 도로교통소음피해를 계산함으로써 도로교통소음 피해를 최소화할수 있는 도시공간구조를 모색한다. 마지막으로 본 연구를 통해 얻은 결과들을 종합하고 앞으로의 연구방향을논의한다.

Ⅰ. 소음의 특성

1. 소음의물리적특성

사람이 감지할수 있는음의진동범위는대략 20에서 2만hertz(초당 진동수)이고, 이 범위에서 소리의강도가0.00002pascal 이하이면들을수없고 200pascal 이상이면 고막이 손상을 입게 된다. 사람이 들을수 있는 소리강도의 범위를 최소치를 기준으로 상대화하여 로그로 환산하면 0에서 140dB(데시벨)의 범위를 얻을 수 있다. 여기에 진동수에 따라 음의 강도를 달리 인식하는 것을 고려하여 수정한 값이 소음도의단위인 dB(A)이다. <그림 2-1은 소음도별로 사람이 느끼는 정도를 예시한 것인데 개인적으로 민감한 정도에 따라 차이는 있지만 소음도가 대략 60 dB(A) 이상이 되면 일반적으로소음의피해를느끼게된다.



<그림2-1> 소음도별피해정도

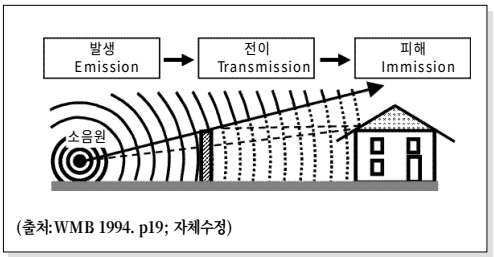
소리는 에너지의 일종[1]이기 때문에 전달되는 거리에 비례하여 강도가 감소한다. 게다가 전달과정에서 장애물에 의해 차단이 될 경우 소리의 크기는 급격히 줄어든다. 따라서 도시의 소음문제를 다루기 위해서는 발생(Emission)과 전이(Transmission)와 피해(Immission)의 단계[2]로 구분해서 접근해야 한다(<그림 2-2> 참조).

1) 화학물질인 대기오염물질과는 달리 소음은 물리적 에너지이기 때문에 발생된 소음은 주변으로 확산되면서 점차 강도가 줄어들다가사라진다.

2) 독일연방환경공해법(Bundesimmissionsschutzgesetz)의정의에 따르면 발생소음(Emission)은 시설 자체에서 발생하는 소음을 말하며, 피해소음(Immission)은 실제로 사람에게 도달하여 피해를 입히는 소음을 뜻한다. 발생소음은 전이과정(Transmission)을 통해서 줄어들기 때문에 사실상 피해소음이 중요한 의미를 가진다. 발생-전이-피해의 과정은 대기오염물질을포함한모든환경공해에 해당된다.

2. 소음의종류별특성

소음의 종류는 소음을 발생시키는 개체에 따라 다양할 뿐 아니라 소음강도와 발생주기에 있어서 서로다른특성을 지니고있다. 그러므로소음의종류에 따라 그 특성에 맞는 방지대책이 필요하다(Lee, Seungil. 1993. pp51-56). 도시지역에서발생하는 대표적인 소음의 종류로는 교통소음과 산업소음을 꼽을 수 있고, 그밖에도 점차 비중이 높아지는여가소음을들수있다.



(출처:WMB 1994. p19; 자체수정)

<그림2-2> 소음의발생-전이-피해

교통소음은 자동차, 기차, 비행기 등 교통수단의 운행을 통하여 발생한다. 교통소음은 선 형태의 교통시설에서 발생하여 주변으로 확산되는데, 도로교통소음은 통행량에 비례하여 일정한 강도와 주기로 발생하는데 반해 철도교통과 항공교통의 소음은 운행주기에 따라 시간간격을 두고 심한 소음강도의 차이로 발생한다. 특히 항공교통소음은 공중에서 발생하기 때문에 장애물이 전혀 없이 전달됨으로써 저공으로 비행하는 공항 주변에는 확산범위가 넓고 피해정도도높다.

산업소음은 생산시설가동, 건설현장 등 각종 산업행위를 통하여 발생하며 교통소음과는 달리 점 또는 면의 형태로 발생하여 주변으로 확산된다. 토지이용계획을 통해 주거지역과 공업지역이 분리되기 때문에 공장소음은 발생소음도가 매우 높음에도 불구하고 피해정도는 낮다. 반면에, 산업행위가 임시적이고 위치도 가변적인 건설현장에서 발생하는 소음은주변주민에게큰피해를입힌다.

여가소음은 스포츠 및 문화행사를 통해 발생하는데 행사의 성격에 따라 소음발생의 양상과 시간이 다르다. 여가소음은 주로 주민의 휴식시간인 야간과 주말에 발생하기 때문에 행사시설 주변의 주민들에게심각한소음피해를입힌다.

그밖에도 학교나 공공시설 등 많은 사람이 운집하는 장소에서는 다양한종류의 소음이 발생하는데 이들은 생활소음으로 분류할 수 있다. 생활소음은 주로 낮 시간대에 주변 주민들에게 적지 않은 피해를입힌다.

본 연구에서는 가장 기본적인 도시활동에 속하는 교통, 그 중에서도 교통량 측면에서 가장 비중이 높은 도로교통으로 인해 발생하는 소음에 대해서 자세히다루고자한다.

Ⅰ. 도로교통소음계산

1. 법적소음계산기준의필요성

소음이 혈관수축으로 인한 심장병을 유발시킬 수 있고생체리듬뿐아니라폐및두뇌활동에나쁜영향을 미칠 수 있다는 의학적 연구결과(Jansen. 1991. p9)에 의존하지 않더라도 일상생활을 통해 이미 심각한 환경공해의 하나로 인식되어가고 있다. 특히 도로교통소음은 가장 심각한 소음공해로서 이에 대한대책마련이시급히요구되고있다.

도로교통소음에 대해 세 단계의 방지대책이 마련되어야 한다(WMB. 1994. pp15-20). 첫째, 도시전체의 소음발생현황을 파악하여 소음피해가 심각한 지역에 대해 우선적으로 대책을 마련하도록 소음방지계획을 수립해야 한다. 둘째, 토지이용계획과 교통시설계획을 수립 또는 변경할 때 소음으

로 인한 영향을 사전에 평가하여 소음피해를 예방해야 한다. 셋째, 자동차교통발생을 억제(Vermeiden ; avoidance)하는도시공간구조를 통하여 소음피해를 사전에 방지할 수 있도록 해야 한다(Lee, Seungil. 1993; 이승일. 2000).

그러나 이와 같은 소음방지대책을 수립하기 위해서는 무엇보다도 소음피해의 기준치와 소음계측 및 계산방법이 법적으로 마련되어야 한다. 특히 소음계산방법은 두 번째와 세 번째의 방지대책을 위해 반드시 필요하다. 물론 도시공간구조의 변화를 통한 소음방지대책이 법적으로 수립될 수 있는 성격의 것은 아니지만 도로교통소음을 줄일 수 있는 근본적인 대책으로서 지속가능한 도시개발정책 차원에서 추진되어야 한다(Breheny1992; LT et al. 1998). 소음방지대책을 위하여 본 연구에서는 법적인 장치가 체계적으로 잘 정비된 독일의 사례를 바탕으로 도로교통소음을 평가하기 위한 계산방법을살펴본다.

2. 소음계산기준(독일사례)

독일연방환경공해법(Bundesimmissionsschutzgesetz) §37a에 따르면 주민에게 심각한 소음피해를 입히고 있는 지역과 입힐 것으로 예상되는 지역에 대해 지방자치단체 또는 주정부의 관련 행정부처는소음방지계획을 수립하도록 되어 있다. 소음방지계획에서는 해당지역의 현재 또는 장래의 소음원으로부터 발생하는 소음공해의 정도를 파악하고, 그로 인한 소음피해를 감소시키거나 증가를 막을 수 있는 대책을 마련하도록 하고 있다. 이와 함께 동법의 시행령(Verkehrslärmschutzverordnung)에서는 특히 문제가 되는 도로교통과 철도교통으로 인한 소음피해의 정도를 법적으로 판정할 수 있도록 소음피해판정기준치[3](<표 3-1> 참조)와 간략한소음계산방법을마련하였다.

동법의 시행령은도심과같이복잡한토지이용의 경우에 RLS-90(Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen)을 따라 소음을 계산하도록 명시하고 있다. 따라서 RLS-90은 독일의 표준도로교통소음 피해 계산방법이라고 할 수 있다. <그림 3-1>은 이 계산방법을간략히도식화한것이다.

<표 3-1> 토지이용별소음피해판정기준치

토지이용종류	낮시간대 (6:00~22:00)	밤시간대 (22:00~6:00)
병원, 학교, 휴양소, 양로원주변지역	57 dB(A)	47 dB(A)
전용주거및 일반주거지역	59 dB(A)	49 dB(A)
상업, 촌락, 혼합지역	64 dB(A)	54 dB(A)
공업지역	69 dB(A)	59 dB(A)

출처: 독일연방환경공해법-16. 시행령. 1990.

RLS-90에 따르면 계산과정은 크게 소음의 발생-전이-피해의세단계로구분된다.

① 소음의발생단계: 소음원(i)에서발생한 평균소음(L_{mEi}, dB(A))은 도로구간의 평균 교통발생량(M_i, 대/h)과 화물차의 구성비(P_i, %)와 실주행속도(D_{vi}, dB(A))를 고려하여 계산된다(<식-1> 참조).

② 소음의 전이단계 : 목적지(j)에 전달되는 소음(I_j)은 구간의 길이(D_i, m)와 전달거리(s)에 따

3) 판정소음도(Beurteilungspegel)를 의미한다. 이는 주어진 시간대의 소음도를 동일하게 간주하여 계산하는 평균소음도(Mittelungspegel)에 신호등과교차로 주변의소음을 추가로고려한 값을 뜻한다.

른 소음감소량(D_s(<식-3> 참조), dB(A))과 전달과정 중 건축장애물에 의한 소음의 증감량(D_B, dB(A)) 등을 고려하여 계산된다(<식-2> 참조). 특히 건축장애물에 의한 소음의 증감량(DB, dB(A))[4]은 다중반사효과(D_{refl}, dB(A))와 차단효과(D_z, dB(A))[5]의 차이에 의해 계산된다(<식-4>와 <표 4-2> 참조).

③소음피해 계산단계 : 일반적으로 한 소음피해 장소(j)에는 여러 소음원(i)에서 발생한 소음이 동시에 도달하는데, 이는 파동에너지의 합산법(<식-5> 참조)에 의하여 계산되고, 여기에 신호제어와 교차로에 의한 추가소음도(K, dB(A))를 반영하면 판정소음도(L_{rStr}, dB(A))가 계산된다(<식-6> 참조).

$$L_{mEi} = 37.3 + 10 \cdot \lg[M(1 + 0.082p)] + D_v \quad \text{<식-1>}$$

$$L_j = L_{mEi} + D_{ti} + D_s + D_B \quad \text{<식-2>}$$

$$D_s = 11.2 - 20 \cdot \lg(s) - 0.005s \quad \text{<식-3>}$$

$$D_B = D_{ref} - D_z \quad \text{<식-4>}$$

$$L_{tj} = 10 \cdot \lg \sum_i 10^{(0.1L_{ij})} \quad \text{<식-5>}$$

$$L_{rStr} = L_{tj} + K \quad \text{<식-6>}$$

RLS-90에 의한 소음의 계산방법은 해당 지역의 모든 도로구간을 소음원으로 간주하고, 역시 해당 지역의 모든 지점을 소음의 피해장소로 간주하되, 각 소음원에서 발생한 소음이 모든 피해장소로 전달될 때에 전이과정에서 생기는 소음도의 증감효과를 고려하여 피해장소별로 판정소음도를 계산하는 방식으로 진행된다. 따라서 해당지역이 도시규모로 클 경우 무수히 반복해서 소음을 계산해야 하기 때문에 전산의 도움을 받아야 한다. 또한 전이과정에서 지형 및 건축장애물의 상황을 고려하여 계산됨으로써 공간정보를 다루는 지리정보시스템(GIS)의 도움이 절대적으로 필요하다(Altenhoff and Lee. 1993; ESRI. 1988). 다음장에서는 GIS를 이용하여 RLS-90의 계산과정을 전산화한 도로교통소음 계산모델을 소개한다.

Ⅳ. 도시공간구조와 도로교통소음 계산모델

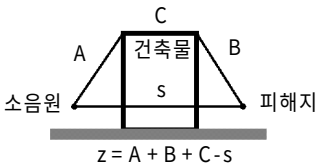
1. 도시공간구조와 도로교통소음

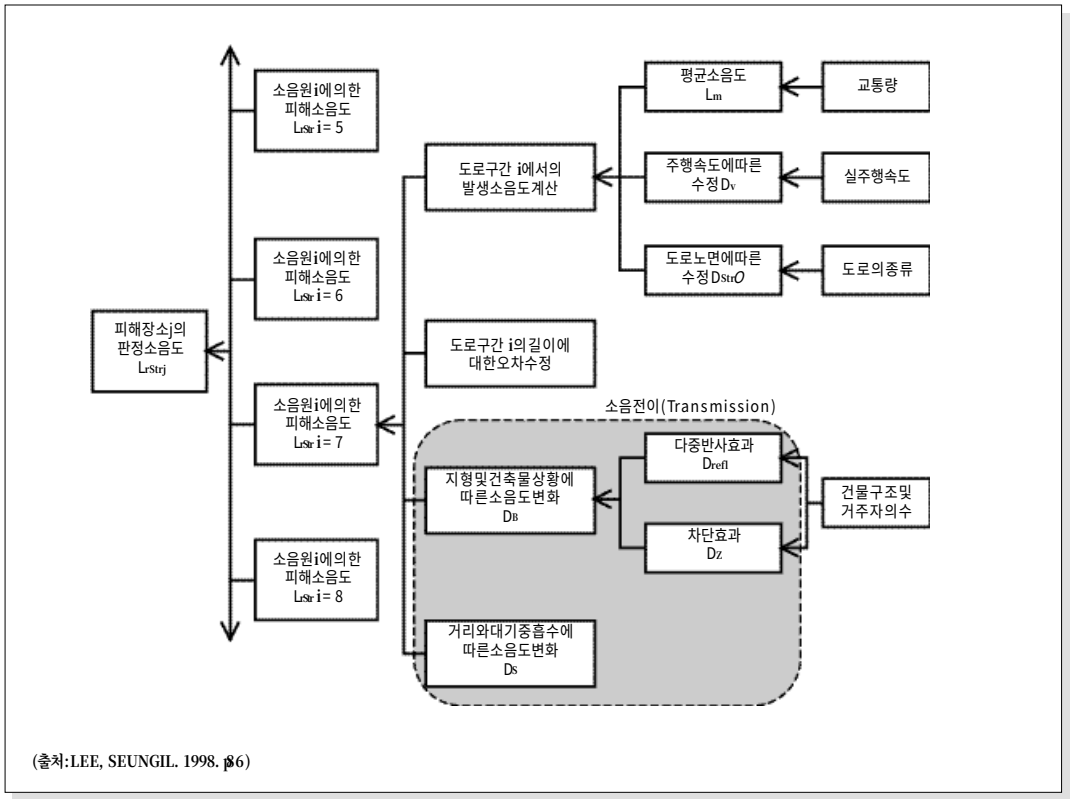
4) 다중반사효과는 도로구간의 양편으로 건축물이 평행하게 위치할 때 소음이 반사되며 증폭되는 효과를 말한다. RLS-90는 건물전체길이와 건물사이의간격거리의합의비례가 최고 30%까지최고3.2 dB(A)의 소음증가치를부여하였다.

5) 건축장애물에 의한 차단효과는 건축물의 높이가높을수록 소음원과 피해장소가 건축물에 가까울수록커진다. RLS-90는 소음원과 피해지의 사이에 위치한 건축장애물에 의한 차단효과의 값(Dz,dB(A))을 굴곡거리(z, m)와 날씨에 따른 파장굴곡 수정값(Kw)에 의하여계산하도록 정하였다(식(1)과 (2) 참조).

$$D_z = 10 \cdot \lg(3 + 80 \cdot z \cdot K_w)$$

$$K_w = \exp\left(-\frac{1}{2000}\sqrt{\frac{A \cdot B \cdot s}{2 \cdot z}}\right)$$





(출처:LEE, SEUNGIL. 1998. p86)

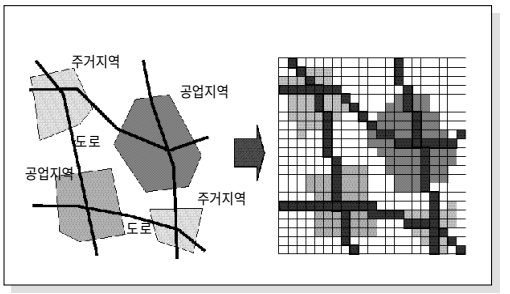
<그림3-1> 독일의표준도로교통소음피해계산방법

앞에서 살펴본 도로교통소음피해 계산방법에 따르면 도로교통소음의 발생은 교통발생량과 주행속도와 노면의 거침에 비례하여 증가한다(<그림 3-1> 참조). 그러나 우리나라에서는 비포장도로를 제외한 대부분 도로의 노면종류가 같기 때문에 도로교통소음발생의 결정적인 역할은 교통발생량과 실주행속도라고 볼 수 있다(<식-1> 참조). 또한 교통발생량과 실주행속도는 도로용량에 따라 밀접한 관계가 있다. 즉 한 도로구간의 주어진 용량에 대해 교통발생량에 비례하여 지체시간이 증가하고 실주행속도는 감소한다. 이에 앞서 교통발생량은 해당 도로가 연결시키는 지역의 토지이용의 종류와 밀도에 밀접하게 관련되어 있다[6]. 따라서 교통소음의 발생은 토지이용의 종류와 밀도를 비롯한 교통망의 공간적 배치에 의해 결정되는 도시공간구조(Wegener and Spiekermann. 1996; Wegener and Fürst. 1999; 이승일. 2000)에의해 결정된다고할수있다.

그러므로 도시계획을 통하여 도시공간구조를 계획할 때에는 다른 여러 계획요소와 함께 소음피해를 최소화할 수 있도록 구상되어야 하고, 도로교통으로 인한 소음피해를 궁극적으로 해결하기 위한

6) 토지이용과 교통의밀접한 상관관계(Land-Use and Transport Interaction)는이미 일반화된 사실이므로인용을 생략한다.

소음방지대책은 도시공간구조를 환경친화적(또는 교통발생저감형)으로 개선함으로써 마련될 수 있다(이승일. 2000). 본 연구에서는 도시공간구조와 도로교통소음의 상호 밀접한 연관관계를 고려하여 현재 또는 장래의 도시공간구조를 도로교통소음의 피해에 대하여 평가할 수 있는 도로교통소음계산모델을 Raster-GIS를 이용하여 구현하고자 한다.



<그림 4-1> 토지이용과 도로망의 격자전환

2. Raster-GIS를 이용한 계산모델[7]

각 도로구간에서 발생하는 소음은 주변지역으로 확산(diffusion)하게 된다. 이때 소음은 주변의 지형 및 토지이용에 따라 증감되며 전달되기 때문에 매우 불규칙한 확산모형을 이루게 된다. 또한 각 피해장소에서는 여러 소음원에서 확산하여 전달된 소음이 합해져서 최종 소음피해도(<그림 3-1>과 <식-5> 참조)가 결정되기 때문에 소음피해도를 계산하기 위해서는 각 소음원의 불규칙한 확산모형들을 서로 중첩시켜야 한다. 따라서 불규칙한 확산모형을 계산하고 확산모형들간의 중첩을 판정하기 위해서는 소음원뿐 아니라 전이지역과 피해장소의 공간을 세분하고 각각의 위치를 정확히 구분할 수 있어야 한다. 이와 같은 계산과정을 수행하기 위해서는 전체공간을 각기 자신의 위치가 부여된 작은 격자(raster; grid; cell)로 세분하여 다룰 수 있는 Raster- GIS를 이용해야한다.

<표 4-1> 교통시뮬레이션과 도로교통소음계산

	교통시뮬레이션모델(외부)	도로교통소음계산모델
계산결과	- 도로구간별통행량 - 도로구간별실주행속도	- 판정소음도의공간적분포 - 소음피해인구의공간적분포
입력정보	- 토지이용의공간적분포 - 토지이용밀도의공간적분포 - 교통망및교통서비스시설	- 도로구간별통행량 - 도로구간별실주행속도 - 토지이용의공간적분포 - 토지이용밀도의공간적분포 - 교통망

Raster- GIS를 이용하여 도로교통소음계산모델을 구축하기 위해서는 소음계산에 필요한 모든 공간 및 속성정보를 벡터기반에서 격자기반으로 전환(rasterization)해야 한다(<그림 4-1> 참조). 이때 부분적으로 정보의 손실[8]이 발생하지만 모든 정보는 세분화된 공간단위로 구분되어 다루어질 수 있게된다.

---

7) 본 도로교통소음계산모델은 미국 ESRI의 ARC/INFO와 Fortran을 이용하여 개발하였다.

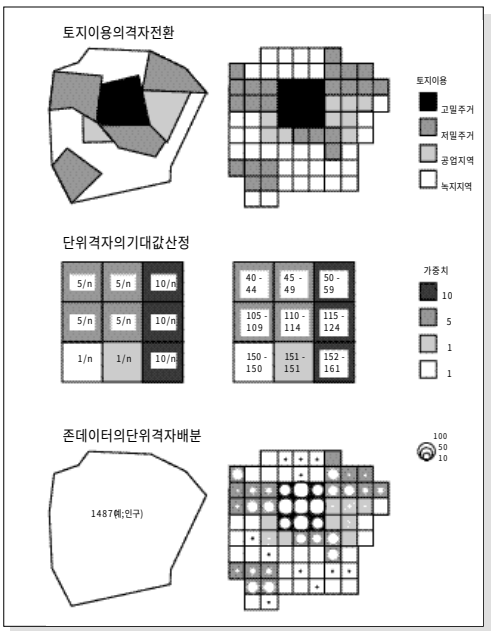
8) 정보의 손실정도는 격자의 크기와 비례한다. 격자가 작으면 작을수록 벡터데이터와의 차이가 적다.

9) 본 연구에서 사용한 교통시뮬레이션모델은 독일 도르트문트대학 부속 공간계획연구소(IRPUD)에서 개발한 IRPUD-Model이다(Wegener 1999; 이승일. 2000. pp26-27). 이 모델을 사용한 주요 이유는 확대개발의 가능성에 있다. IRPUD-Model은 원래 토지이용-교통모델로서 서브모델의 추가가 가능하도록 개발되어 소음계산모델과 같은 환경모델을 추가할 경우 지속가능한 도시개발정책의 평가를 위하여 필요한 토지이용-교통-환경모델로 확대개발될 수 있다. 그러나 IRPUD-Model은 화물교통발생량을 계산하지 못하기 때문에 본 소음계산모델은 소음발생계산단계에서 화물차의 구성비의 계산을 위해 현재 도로유형별 평균 화물차구성비를 사용하였고 이를 승용차대수로 환산하였다. 따라서 IRPUD-Model을 화물교통발생량도 계산할 수 있도록 확대개발되어야 한다. 이모델의 확대개발을 위한 연구는 저자의 장래 연구방향이다(이승일. 2000. p32).

본 연구에서 도로교통소음계산모델의 개발목적은 도로교통소음의 피해에 대하여 도시공간구조를 평가하는 데 있기 때문에 우선 해당지역에 대해 그 지역의 도시공간구조로 인한 도로구간별 통행량과 도로용량을 고려한 실주행속도가 먼저 계산되어져야 한다. 그러나 본 도로교통소음계산모델은 이를 위한 계산을 직접 수행하지 않고 <표 4-1과 같이 교통시뮬레이션모델[9]을 이용하여 선행시키고, 시뮬레이션의 결과와 토지이용 및 토지이용밀도의 공간적 분포와 교통망의 정보를 바탕으로 판정소음도와 소음피해인구의 공간적 분포를 계산하게 된다. 여기서 도로교통소음계산모델은 모든 입력정보를 우선격자기반으로 전환하여 이를 바탕으로 소음발생-전이-피해의 단계로 소음을 계산한다(<그림 3-1> 참조).

도로교통소음계산모델은 소음의 발생을 최소화하는 도시공간구조를 평가하기 위한 것인 만큼 대상지역의 공간적 범위가 매우 크다. 따라서 소음의 전이단계에서 건축장애물에 의한 다중반사효과와 차단효과(<식-4> 참조)를 고려하기가 어렵다. 이와 같은 이유로 도로교통소음계산모델은 건축장애물의 정보를 대신하여 토지이용의 종류와 밀도를 이용하여 다중반사효과와차단효과를 계산한다. 그러나 토지이용의 종류와 밀도는 행정구역, 교통존, 단위토지이용 등 벡터를 기반으로 하기 때문에 이를 격자기반으로 전환해야 한다. 특히 토지이용밀도는 행정구역별 인구와 근로자의 수를 토지이용의 종류에 따라 가중치에 따른 기대값을 적용하고, 무작위 추출함수(random function)를 이용하여 격자단위로 배분하게 된다. <그림 4-2>는 이와 같이 도로교통소음계산모델에 적용된 토지이용의 종류와 밀도의 격자단위 세분화 과정을 도식적으로 설명한 것이다.

도로교통소음계산모델은 건축장애물을 대신하



<그림4-2> 토지이용의종류와밀도의세분화

출처:Wegener and Spiekermann. 1996. p9.

<표4-2> 토지이용상황에따른소음도변화

토지이용상황		다중반사효과	차단효과
토지이용종류	토지이용밀도		
주거지역 주상혼합 공업지역	200 ≤dE 300 ≤dG 100 ≤dB	3.2 dB(A)	50 dB(A)
주거지역 주상혼합 공업지역	100 ≤dE < 200 150 ≤dG < 300 50 ≤dB < 100	1.6 dB(A)	25 dB(A)
주거지역 주상혼합 공업지역	50 ≤dE < 100 60 ≤dG < 150 20 ≤dB < 50	1.0 dB(A)	10 dB(A)
주거지역 주상혼합 공업지역 오픈스페이스	dE < 50 dG < 60 dB < 20 -	0 dB(A)	0 dB(A)

비고: dE = 거주인구수/ha(총밀도)
dG = 종사자수/ha(총밀도)
dB = (거주인구수+종사자수)/ha(총밀도)

출처: Lee, Seungil. 1998. p88.

여 격자단위로 배분된 토지이용의 종류와 밀도를 바탕으로, <표 4-2>[10]에 정리된 바와 같이 다중반사효과와차단효과를계산하도록하였다.

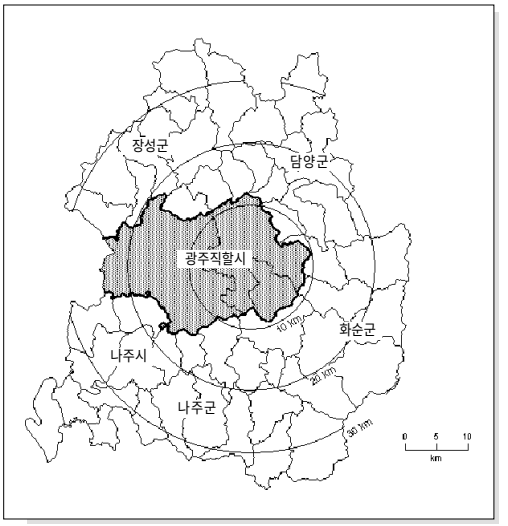
도로교통소음계산모델은 최종적으로 모든 소음피해장소의 판정소음도를 계산하여 해당지역 전체에 대하여 소음도의 공간적인 분포를 보이고, 격자별 토지이용밀도를 바탕으로 주어진 판정소음도에 의해 피해입는 주민의 수를 파악하여 공간적 분포와 함께 전체 통계를 제시한다. 이를 바탕으로 주어진 도시공간구조를 도로교통소음의 피해정도를 기준으로평가할수있다.

다음에는 도로교통소음 계산모델을 이용하여 광주대도시권을 대상으로 현재의 도시공간구조와 미래의 도시공간구조 대안에 대하여 도로교통소음의 피해정도를 기준으로 평가하여 비교한 사례를 소개한다.

Ⅴ. 광주대도시권 적용사례

1. 연구대상지

광주대도시권은 광주직할시를 비롯하여 경제, 문화, 사회 및 정치적으로 광주직할시의 영향권내에 있는 광주직할시 주변의 나주시와 담양군, 화순군, 나주군 그리고장성군으로 구성되어 있다. 광주대도시권에 속해 있는 행정구역은 본 연구의 기준연도인 1990년[11]을 기준으로하고있고, 이들은광주직할시의 중심으로부터 약30km 반경 이내에위치하고있다(<그림5-1> 참조).



<그림5-1> 사례도시, 광주대도시권(1990년)

지금까지 광주대도시권의 인구증가율은 다른 대도시권에 비하여 비교적 낮은 편이지만 광주대도시권에 한정해서 볼 때 광주대도시권의 인구성장은 공간구조적으로 지역간에 매우 심한 차이를 보이고 있다(이승일. 2000. p28). 광주직할시의도심지역 인구는 계속 감소하고 있는 반면에 도심인접지역은 인구가 큰 폭으로 증가했으나 점차 증가율이 낮아지고 있고, 도심인접지역을 에워싸고 있는 배후지역은 계속 인구가 증가하고있는 추세다. 이와는 대조적으로 광주직할시의 행정경계 밖에 있는 인접지역과 근교지역(이하 ' 도시주변부 }은 지속적으로 인구가감소되고있다.

10) 이 표는 토지이용종류와 밀도를 이용하여 건축장애물로 인한 차단효과를 계산하기 위하여 독일의 사례연구를 종합하여 산출하였다(Lee, Seungil. 1998. pp87-88). 이를한국의상황에맞추기 위해서는한국도시의 사례로재검토되어야한다.

11) 사례연구의 현재시점이 1990년인 이유는 연구착수 당시(1995년) 광주시 2011년 도시기본계획의 계획수립연도와 가장 가까운 센서스(전수조사) 자료의 사용에 기인한다. 이제 2000년 센서스자료를 사용할 수 있게 되었고, 그동안 광주광역시도 도시기본계획을 수정하였으므로이를바탕으로사례연구를재검토할필요가 있다.

광주대도시권의 인구변화를 분석하면 다음과 같다(이승일. 2000. p28). 광주직할시가 경제적, 사회적, 교육적, 문화적으로 계속 성장함으로 인하여 점차 인구의 흡입력이 커지고, 그로 말미암아 주변지역의 인구는 지속적으로 광주직할시로 유입되었다. 꾸준히 인구가 성장중인 광주직할시의경우, 우선 도심지역은 인구의 집중으로 인하여 지가가 상승하게 되고 주거지역으로서 부적합해지므로 가까운 도심인접지역이 주거지역으로 더 선호하게 되었다. 이와 같은 현상이 계속됨에 따라 도심인접지역은 점차 포화되고, 최근에 고밀도의 택지개발이 이루어지면서 배후지역의 인구가 급속히 증가하게 되었다. 도심에서 외곽 방향으로 인구성장이 이동되었으나 직장과 서비스시설은여전히 도심에 위치하므로 도시지역내의 교통발생은 급격히 증가하게 되었다. 새로운 주거지역이 도심에서 점차 떨어져 개발됨에 따라 교통거리 역시 크게 증가하였다. 이와 같은 도시발전 추세는 앞으로도 계속 지속될 것으로 보이며, 그로 말미암아 미래의 광주대도시권의 교통문제는 더 심각해지고, 이에 따른 도로교통소음피해도더욱커질것으로예상된다.

2. 도시공간구조시나리오와교통시뮬레이션

미래에 상당한 도로교통소음피해를 야기시킬 것으로 예상되는 광주대도시권의 도시공간구조를 교통발생을 감소시키는 도시공간구조로 개선함으로써 도로교통소음피해를근본적으로 줄이기 위하여, 제2차 광주도시기본계획 및 제2차 전라남도종합개발계획에서 정한 미래의 인구성장과 도시개발계획을 바탕으로 대표적인 교통발생저감형 도시공간구조(이승일. 2000)라고할 수 있는 단핵집중형 공간구조(Compact city)와 분산집중형 공간구조(Decentralized concentration, Breheny. 1992)를 설정하였다(<표 5-1> 참조). 여기서 각 공간구조시나리오의목표년도는 2011년이고, 목표인구성장은 1990년을 기준으로 약 70% 증가하는 것으로 보았다. 이밖에도 일자리의 수는 약 170% 늘어나고, 대학생 수는 약 60% 증가하며, 병원의 병상 수는 약 330% 늘어나는것으로보았다.

도시의 인구가 주거기능을 중심으로 외연적으로 확산될 것으로 보이는 미래의광주대도시권의 도시공간구조(현 추세의 연장시나리오)에 대하여 이를 교통발생저감형 도시공간구조로 바꾸기 위해서는 무엇보다도 도시기능을 자족적으로 배분해야 한다. 우선 광주대도시권에 해당하는 공간계획들을

<표5-1> 광주대도시권의공간구조시나리오

	기준년(1990년)		현추세의연장		단핵집중형		분산집중형	
	광주직할시	도시주변부	광주직할시	도시주변부	광주직할시	도시주변부	광주직할시	도시주변부
인구(천명)	1,139	381	1,595	977	2,170	402	1,595	977
일자리(명)	336,245	20,181	851,515	102,185	924,492	29,210	767,585	186,16
대학생(학생)	89,051	3,271	145,103	3,703	145,103	3,703	116,823	31,983
병원(병상)	2,810	266	12,126	1,070	12,126	1,070	9,221	3,975
교통망	방사선도로망, 철도대중교통수단부재		3개도시순환도로망, 지하철2개노선		2개도시순환도로망, 지하철5개노선		1개도시순환도로망, 지하철5개노선(3개전철노선을까지연장)	

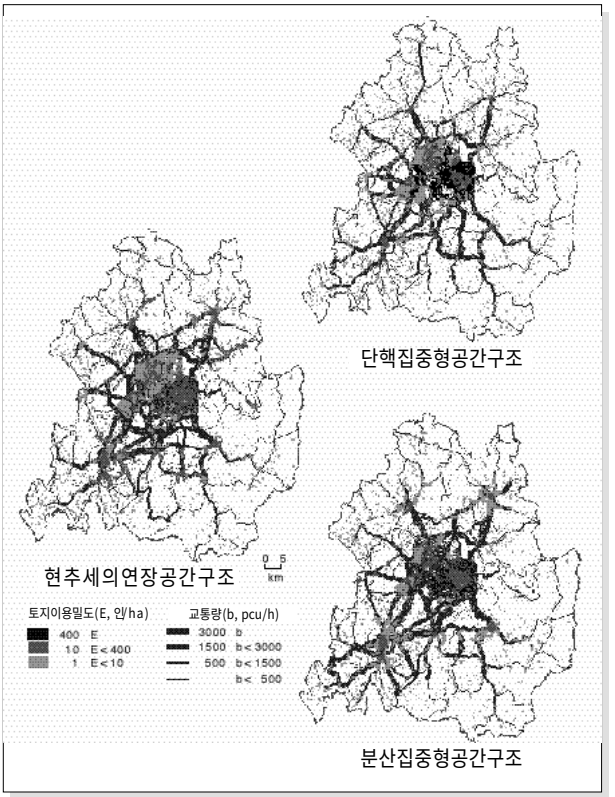
출처: 2011년 광주도시기본계획; 제2차전라남도종합개발계획; 제3차국토종합개발계획; 자체추정.

일부수정하여 인구의 외연적 확산 부분을 도심의 재개발을 통해서 흡수하는 공간구조 즉, ' 단핵집중형 시나리오 '가 수립될 수 있는데 여기서는 인구와 함께 대부분의 도시기능도 도심을 중심으로 입지하도록 하였다. 이와는 달리 ' 분산집중형 시나리오 는 나주시와 3개의 읍을 주변생활권의 중심으로 하여 인구 및 도시기능을 기존의 계획보다 광주 주변부에 더 많이 배분하되, 현 추세의 연장시나리오와는 달리 기존의 주변생활권중심을 중심으로 밀집하여입지하도록하였다.

각 시나리오의 교통망 역시광주대도시권의 공간계획을 통해 계획된내용(3차 도시순환도로, 확정된 2개의 지하철노선, 구상중인 3개의 지하철노선)을 기본으로 작성되었는데, 현 추세의 연장 시나리오에서는 도로망의 건설에 높은 비중을 둔 반면에 교통발생저감형 시나리오는 지하철교통망을 중심으로 한 대중교통망에 더 큰 비중을 두었다. 특히 분산집중형 시나리오에서는 3차 도시순환도로의 건설 대신에 구상된 전철노선을 모두 현실화시키고 그 일부를 연장해서 주변생활권중심과 도심 그리고 주변생활권중심들을 서로 연결시켰다.

이 세 개의 도시공간구조 시나리오에 대해 외부의 교통시뮬레이션모델(<표 4-1> 참조)을 이용하여 교통시뮬레이션이 실행되었다(이승일. 2000. pp29-30). <그림 5-2>은 각 시나리오에 대한 교통시뮬레이션의 결과로서 오전 첨두시(6:00-10:00 am)의 평일 교통발생의 공간적 분포를 각기 도식화한 것이다. 이에 따르면 각 도시공간구조는 교통발생의 공간적 분포에 있어서 큰 차이를 보이고 있다. 현 추세의 연장시나리오에서는 광주직할시 내부와 가까운도시주변부를 연결하는 교통망에서 대부분 교통량이 예측된 반면에, 단핵집중형 시나리오에서는 주로 광주직할시 행정경계내에 있는 교통망에서 많은 교통이 발생하였고, 분산집중형 시나리오는 도심과 주변생활권 중심을 연결하는 도로망에서교통발생이현저하게관측되었다.

교통시뮬레이션의 결과를 종합적으로 분석해보



<그림5-2> 도시공간구조와교통시뮬레이션결과

<표5-2> 승용차교통발생및거리(오전첨두시)

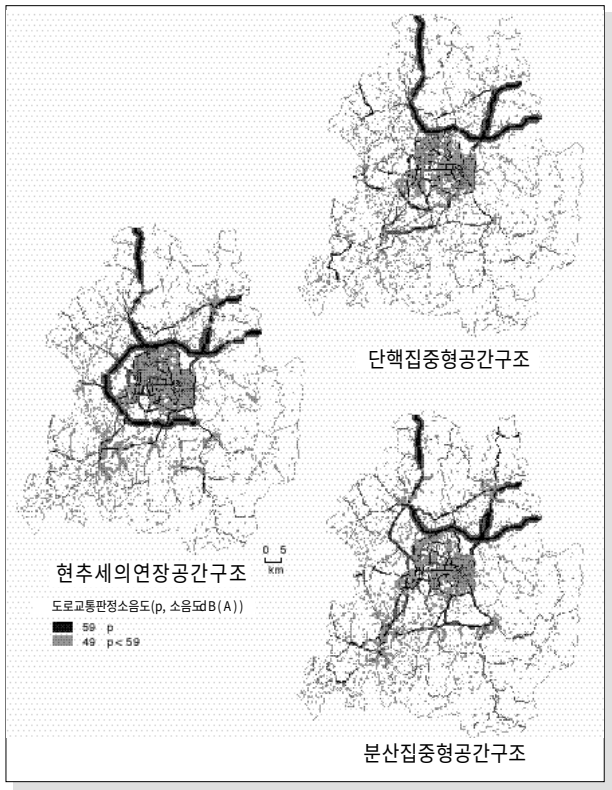
	현추세연장	단핵집중형	분산집중형
총승용차 교통발생(대)	768,915	470,855	689,224
총승용차 교통거리(km)	14,494,466	9,064,653	12,681,192

면(<표 5-2> 참조), 도시가 외연적으로 확산될 경우 승용차에 대한 의존도가 높아지고 승용차로 인한 평균교통거리도 길어지는 것으로 나타났고, 단핵집중형 공간구조와 분산집중형 공간구조에서는 자족적 도시기능 배분과 기능간 거리의 단축으로 인하여 도보나 대중교통을 많이 이용할 수 있도록 함으로써 승용차에 의한 교통거리가 상당히 줄어들었음을볼수있다.

3. 도시공간구조시나리오와 도로교통소음계산

교통시뮬레이션을 통하여 얻은 각 시나리오에 대한 도로구간별 통행량과 실주행속도의 계산결과를 바탕으로, 이제는 도로교통소음계산모델을 이용하여 각 시나리오의 도로교통소음피해를 계산하여 비교할 수 있도록한다.

도로교통소음계산모델은 대상지인 광주대도시권을 150 x 150m[12] 단위의 격자기반으로 전환하고 세 단계의 계산과정에 필요한 정보(<표 4-1> 참조)를배분하였다. 이를 바탕으로 격자단위의 각 피해장소에 대하여 피해소음도(<그림 5-3> 참조)를 계산하고 해당 피해장소에 배분된 토지이용밀도를 이용하여 소음피해인구를 계산하였다. 여기서 소음피해판정기준치는 낮 시간대에 대하여 59 dB(A)(<표 3-1> 참조)로 정하였다. 그러나 소음에 대해서는 사람마다 차이



<그림5-3> 도시공간구조와도로교통소음계산결과

<표5-3> 도로교통피해소음도와피해인구율

낮시간대(6:00 22:00)		밤시간대(22:00 6:00)	
피해소음도	피해인구율	피해소음도	피해인구율
57 dB(A) 이하	0%	47 dB(A) 이하	0%
58 59 dB(A)	35%	48 49 dB(A)	20%
60 64 dB(A)	45%	50 54 dB(A)	30%
65 69 dB(A)	65%	55 59 dB(A)	40%
70 dB(A) 이상	80% 이상	60 dB(A) 이상	45% 이상

비고: 피해인구율은 VDI(독일 산업표준)에서 각 피해소음도에 대해 해당인구를 대상으로 실시한 설문조사의 결과치를 바탕으로 제시된 값이며, 이는 법적 기준치로 인정받고 있다.
출처: VDI(독일산업표준) 3722 Blatt 1. 1988.

12) 격자의 크기를 정하는 기준이 특별히 정해진 것은 없다. 격자의 크기가 작으면 작을수록 정밀한 계산이 가능하지만 그만큼 필요한 정보의 양과 계산시간이 증가한다. 약 30 x 40km 규모의 광주대도시권에 대해 도로교통소음을 최소화하는 도시공간구조의 평가목적을위해서는 150 x 150m의격자단위면적당하다고 본다.

(<표 5-3> 참조)가 있기 때문에 판정기준치에 해당하는 피해대상인구와 함께 심리적인 요인을 감안한 실제 소음피해인구의 수를 계산하였다. 여기서 소음피해인구율은 판정소음도가클수록크다.

<그림 5-3>에서 볼 수 있듯이, 광주대도시권의 각 격자마다 도시공간구조의 변화에 따른 도로교통의 피해소음도가 계산되어 표시되었다. 주로 교통량이 많은 도로주변에 높은 피해소음도가 분포되었지만 토지이용이 조밀한 곳은 소음확산이 차단되어 소음분포의 폭이 좁은 것을 볼 수 있다. 따라서 광주의 도심지역은 소음이 많이 발생하지만 소음의 확산 폭이 좁고 외곽지역의 도로에서 발생하는 소음은 넓게 확산된다. 각 시나리오의 교통발생 분포와 피해소음도 분포간의 차이는 소음차단효과에서 발생함을 알 수 있다. 모든 격자에는 피해소음도의 분포뿐 아니라 거주인구가 분포되어 있기 때문에 각 격자마다 피해대상인구를 쉽게 파악할 수 있다. 심리적인 요인에 의한 실제소음피해인구도 이를 통해 계산될 수 있다. 도로교통소음계산모델을 이용하면 모든 공간단위로 피해인구가 집계될 수 있는데 광주직할시와 도시주변부로 분리 집계하여 도시공간구조로 인해 발생한 실제소음피해를 비교할 수 있다(<표5-4> 참조).

광주대도시권을 광주직할시와 도시주변부로 구분할 경우 단핵집중형 시나리오에서는 교통발생의 정도가 가장 낮음에도 불구하고 교통발생이 많은 도시지역에 많은 인구가 집중되어 분포하고 있어서 소음의 피해가 크다. 그러나 소음차단효과로 인하여 소음의 강도가 낮아지므로 실제 소음피해인구는 오히려 제일 적다. 분산집중형 시나리오에서는 판정소음도가 도시지역과 도시주변부 모두에 대하여 낮고 인구밀도가 그렇게 높지 않기 때문에 소음차단효과가 높지는 않지만 실제소음피해인구도 낮은 편이다.

따라서 실제소음피해인구를 기준으로 볼 때 단핵집중형 시나리오가 소음피해를 가장 적게 입히는 광주대도시권의 환경친화적 도시공간구조라고 할 수있다.

Ⅵ. 결론

본 연구에서는 도로교통소음의 방지대책을 수립하기 위해 필요한 방법론으로써 소음의 계산에 대해 살펴보았고, 이를 실제로 이용할 수 있는 도로교통소음계산모델을 개발하였다. 도로교통소음계산모델은 현재의 도로교통량에 따라 발생되고 있는 소음피해뿐 아니라 새로운 도로의 건설이나 택지의 개발로 인해 야기될 수 있는 미래의 소음피해를 계산하는데 사용될 수 있다. 본 연구에서는 이 도로교통소음계산모델을 이용하여 광주대도시권을 대상으로 교통발생을 줄임으로써 도로교통의 소음피해를 최소화하는 교통발생저감형 도시공간구조를 모

<표5-4> 도시공간구조시나리오와소음피해인구

(단위: 명)

	현추세연장		단핵집중형		분산집중형	
	광주직할시	도시주변부	광주직할시	도시주변부	광주직할시	도시주변부
피해대상인구	263,686	57,306	302,217	23,931	233,384	74,705
	320,992		326,148		308,089	
피해인구	108,016	29,198	118,734	10,892	96,169	35,656
	137,214		129,626		131,825	

색하였다. 이를 통하여 도로교통으로 인한 소음의 피해는 단순히 도로교통량의 발생에만 비례하는 것이 아니라 이와 함께 도로주변의 토지이용밀도의 분포에 의해서도 결정됨이 검증되었다. 이에 따라 광주대도시권에 대한 단핵집중형 공간구조에서 도로교통소음으로 인한 피해대상인구가 다른 도시공간구조보다 월등히 많았음에도 불구하고 실제피해인구는 가장 적었던 소음계산의 결과가 설명될 수 있었다. 즉, 토지이용밀도의 분포에 의한 소음피해인구는 격자공간단위를 정보기반으로 하여 실제소음피해인구를 계산할 수 있는 도로교통소음계산모델을 이용함으로써 가능하였다. 그러므로 피해대상인구가 제일 적은 광주대도시권의 분산집중형 공간구조에 대하여 토지이용과 도로망계획을 부분적으로 수정하면서 이 모델을 이용하여 차례로 소음피해의 결과를 확인해 나간다면 단핵집중형 공간구조보다 실제피해인구가 더 적은 광주대도시권의 도시공간구조를찾을수있다고본다.

본 연구의 학문적 기여는 도로교통소음계산모델의 개발을 통하여 도로교통으로 인해 발생하는 소음의 방지대책을 수립할 수 있는 방법론을 제시한 데서 찾을수도 있지만, 해당 도시에 대하여 소음발생을 최소화하는 환경친화적 도시공간구조를 구체화시킬 수 있는 방법을 제시한 데서 찾을 수 있다. 이를 통하여 환경적으로 건전하고 지속가능한 도시발전정책을 실현해 나갈 수 있는 계기가 마련되기를기대한다.

본 연구를 통하여 개발된 도로교통소음계산모델은 앞으로 개선되어야 할 점이 있다. 이 모델은 독일의 도로교통소음계산기준(RLS-90)을 바탕으로 개발되었기 때문에 우리나라의 도로여건 및 도로주행습관과 교통발생의 양상 등을 고려하여 우리의 상황에 적합하도록 계산식이 수정되어야 한다. 또한 도로교통소음계산모델에서 소음차단효과를 계산하기 위해 설정된 토지이용상황에 따른 소음도의 변화표(<표 4-2> 참조)도 우리나라의 용도별 토지이용현황에 적합하도록 수정되어야 한다. 앞으로의 연구방향은 본 모델이 도시환경의 개선을 위한 환경모델로서 지속가능한 도시정책의 실현에 활용될 수 있도록 이와 같은 문제를 해결하고 개선해나가는데중점을두고자한다.

참고문헌

이승일. 2000. "교통발생저감을 위한 환경친화적 도시공간구조 연구". 「국토계획」 제35권 제6호 : pp21-33. 서울 : 대한국토도시계획학회지.

임영태. 2000. "도로교통소음의 화폐계측에 관한 실증분석: 서울 강남지역을 사례로". 「국토연구」 통권 제30권 : pp69-80. 경기: 국토연구원.

Altenhoff, D. and S. Lee. 1993. "A decision support system for the simulation of noise propagation and noise abatement measures using ARC/INFO." Paper presented at the 3rd Int. Conf. in Computers in Urban Planning and Urban Management. Atlanta. GA. (25. July).

Breheny, M. J. 1992 Sustainable Development and Urban Form : An Instruction. In M. J. Breheny (ed.). *Sustainable Development and Urban Form*. London: Pion. pp1-23.

ESRI: Gesellschaft für Systemforschung und Umweltplanung mbH. 1988. *SLAERM in ARC/INFO*. Handbuch.

Jansen, G. 1990. Zum Stand der Wirkungsforschung. In Koch, H.-J. (eds.). *Schutz vor Lärm*. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft. pp9-19.

Lee, Seungil. 1993. *Die Berechnung der Lärmausbreitung von Straßen als Teil eines kommunalen*

Informationssystem. Diplomarbeit. Dortmund : Universität Dortmund.

Lee, Seungil. 1998. *Umweltverträgliche räumliche Stadtentwicklung für Kwangju in Südkorea*. Promotionsschrift. Dortmund : Universität Dortmund.

LT, ME&P, MECSA, IRPUD and TRT. 1998. *DELPHTA CUS, System for Planning and Research in Towns and Cities for Urban Sustainability*. Final Report. Helsinki.

Wegener, M. 1996.6. Das IRPUD-Modell: Überblick, http://irpud.raumplanung.uni-dortmund.de/irpud/pro/mod/mod.htm.

Wegener, M. and K. Spiekermann. 1996. Efficient, Equitable and Ecological Urban Structures. In D.A. Hensher and J. King(eds.). *World Transport Research*. North-Holland : Elsevier. 1-15.

Wegener, M. and F. Fürst. 1999. *Land-Use Transport Interaction: State of the Art*, Berichte aus dem

ABSTRACT

A Study on Road Traffic Noise Immission Calculation for Sustainable Urban Form

Seungil Lee

Road traffic noise results in a great deal of environmental and economic losses. As such, it has become one of the most important issues in urban and transport planning.

In advanced countries, the efforts to reduce the noise impacts from road traffic have been practically realized in their planning systems. For an instance, Germany, one of the most faithful countries to put environmental matters in practice, has already introduced a legislation that the noise immission after completion of every major urban road improvement project has to be assessed to prepare proper noise abatement measures. The german federal immission protection act specifies calculation methods to compute noise immission based on information about road alignment, adjacent buildings and their spatial relationships. The results are to be compared with threshold values to determine wether or not noise abatement measures need to be taken.

In fact, the noise calculation methods are indispensible for the reduction of road traffic noise, because the expected noise immission from planned roads can not be measured. From this reason, sustainable urban forms which could mitigate environmental problems including road traffic noise through reducing car traffic could be only investigated in case of using the methods.

In this study, a road traffic noise calculation model was developed as an environmental assessment model for the evaluation of sustainable urban forms. This model using Raster-GIS was applied for the region of Kwangju, the selected study area, in order to evaluate alternative sustainable urban forms resulting in minimum road traffic noise immission. Lastly, the model used for this study and the results of the scenario simulations using the model combined with a transport simulation model are presented.

Institut für Raumplanung. Dortmund : Universität Dortmund.

WMB: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg. 1994. *Städtebauliche Lärmfibel* Baden-Württemberg : WMB.