

GIS와 3차원 소음지도를 이용한 소음 노출 인구 산정 방법에 관한 연구 - 공장 소음을 중심으로 -

Efficient Method to Estimate the Number of Exposed People to Industrial Noise Using the GIS and Three Dimensional Noise Mapping - Focusing on the Industrial Noise -

고 준 희* · 전 형 준* · 장 서 일†

Joon-Hee Ko, Hyung-Joon Chun and Seo-Il Chang

(2007년 2월 13일 접수 ; 2007년 5월 25일 심사완료)

Key Words : Industrial Noise(공장소음), Exposed Population(노출인구), GIS, Three Dimensional Noise Mapping(3차원 소음지도)

ABSTRACT

Reasonably accurate estimation of the exposed population to the distinct levels of noise is essential to the efficient management of urban environmental noise. This study proposes a method of calculating the number of exposed people to industrial noise by using GIS tool and noise mapping. The exposed population of noise based on estimation of the number of people that lived in each building in urban area is compared with the one based on density of population. This study suggests the five step method that consists of gathering the fundamental data, extracting the property from the digital map, noise mapping based on the three dimensional topography, estimating population that lives in each building, merging the various results with GIS tool, and estimating exposed population to industrial noise through analyzing the noise map with GIS tools.

기 호 설 명

PDM : 인구밀도를 이용한 소음노출인구 산정 방법
(population density method)

PBM : 주거건물에서의 소음노출인구 산정방법
(population in building method)

1. 서 론

인구가 밀집되어 있는 대도시에서 산업활동으로 발생하는 소음은 스트레스, 피곤함, 혈압변화 및 수

면방해 등의 공공건강상의 영향뿐만 아니라 소음으로 인한 민원의 증가, 삶의 질 저하를 유발하고 있기 때문에 소음 환경의 질적인 향상을 위하여 도시 환경소음의 정량적인 평가와 저감방안 수립의 중요성이 증대 되고 있으며, 이와 같은 이유로 인하여 평가 방법에 대한 연구의 필요성이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

현재 국내에서 시행되고 있는 도시 환경소음의 평가 방법으로는 도시의 소음 대표지점을 선정하여 분기별 소음도를 측정하여 도시소음을 평가하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다⁽¹⁾. 이러한 분기별 수동 상시 소음 측정망을 이용한 방법으로는 계절별 측정 지점의 소음도를 주기적으로 파악할 수 있다는 장점이 있지만 본래의 취지인 소음 저감 대책의 수립에 있어서 기초자료로서의 기능을 발휘하고 있지 못한

† 교신저자 : 정희원, 서울시립대학교 환경공학과

E-mail : schang@uos.ac.kr

Tel : (02) 2210-2177, Fax : (02) 2210-2877

* 정희원, 서울시립대학교 대학원 환경공학과

현실이다. 또한 이러한 현실을 보완하기 위하여 소음 원별 소음지도를 제작하여 대도시내의 환경소음의 현황을 파악하려는 노력이 시도 되고 있으나⁽²⁾, 소음의 측정 및 소음지도를 이용한 평가방법은 개별 소음도만을 파악하고 있을 뿐 실제로 거주민에 대한 노출정도를 정량화 하지 못한다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 도시의 노출 소음도에 따른 노출 인구수를 산정하려는 연구가 진행되어 왔다.

도시 환경 소음의 측정을 통한 소음 노출 면적의 예측과 인구밀도를 이용한 연구⁽³⁾와 소음지도와 인구밀도를 이용한 소음 노출인구 산정의 연구⁽⁴⁾가 선행되어 왔다. 선행 연구의 공통점은 인구 산정에 있어서 인구 밀도를 이용한 방법을 사용한 것으로 조사되었다. 이러한 인구 밀도를 이용한 방법은 계산방법이 쉽고 자료의 접근성이 매우 좋다는 장점이 있으나 나대지, 하천, 임야 등 거주민이 존재하지 않는 곳에 소음 노출 인구가 산정되어 도시 환경 소음의 정책 수립에 있어서 과대평가 혹은 과소평가 될 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다.

도시 환경 소음 노출 인구 산정에 있어서 가장 기본이 되어야 할 전제는 거주민이 거주하는 주거건물을 기반으로 산정되어야 할 것으로 판단된다. 소음 정책에 있어서 선진국이라고 할 수 있는 유럽연합의 회원국들이 추진하고 있는 소음지도를 통한 도시 소

음 평가 방법으로 주거건물 단위의 소음 노출 인구 산정⁽⁵⁾을 제안하고 있으며, 많은 연구가 진행되고 있다. 주거건물에서의 가장 정확한 인구 산정의 방법은 국가가 관리하는 주민등록 전산자료 및 5년 마다 시행되고 있는 전 국민 인구 통계조사의 자료를 이용하는 것이 가장 바람직하나 이는 사생활 보호라는 법적, 제도적인 제약이 따르기 때문에 해당지역의 인구통계 정보를 획득하기 매우 어려운 현실이다. 따라서 이 연구에서는 기존 자료를 이용하여 주거건물을 중심으로 인구를 추정하는 방법에 관한 연구와 함께 소음지도와 대응시켜 소음도별 소음노출인구 산정방법을 이용하게 되면 도시 환경 소음의 정량적인 평가에 있어서 매우 유용할 것으로 판단된다.

2. 연구 방법

2.1 소음 노출 인구 산정의 방법론

소음도에 노출되는 인구를 산정하기 위하여 5단계로 구성된 방법론을 설계하여 소음도별 노출인구를 산정하였다. 소음노출인구산정은 인구통계자료, 지형자료, 건물자료 등 여러 기초자료가 필요하며, 이를 가공하여 3차원 소음지도의 제작과 주거건물 단위의 인구를 산정하여 소음도별 노출 인구의 산정이 가능토록 하였다. Fig. 1은 소음도별 노출 인구 추정을 위한 절차도이다.

3. 소음 노출 인구의 산정

3.1 자료의 수집

대상지역에 있어서 소음지도 제작 및 인구추정을 위하여 필요한 기본 자료를 수집하였다. 우선 3차원 소음지도 제작을 위한 지형을 구축하기 위하여 Fig. 2와 같이 대상 지역의 수치지도를 이용하였으며, 대상 지역의 인구 및 행정구역 통계정보는 통계청 및 해당 지방자치단체의 인구 및 단위 행정구역에 관한 통계자료를 수집하여 분석한 자료는 Table 1과 같다.

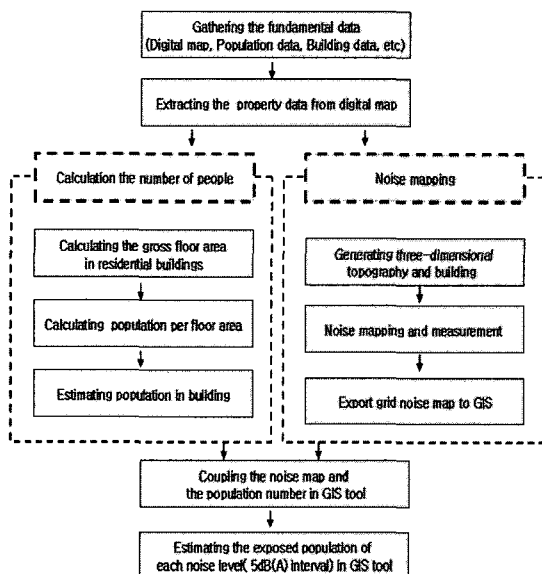


Fig. 1 Proposed methodology for estimation of the population exposed to industrial noise

Table 1 Population data in object area

Dong	Population (person)	Population density (person/km ²)	Area (km ²)
Heado	29,189	14,433	1.94
Songdo	21,705	30,217	1.86

이 연구의 대상지역은 Fig. 2와 같이 경상북도 포항시의 공장소음으로 인한 영향이 예상되는 송도동과 해도동을 대상으로 하였다. 소음원인 제철공장의 운영으로 인하여 발생하는 소음의 영향 지역은 해도동 및 송도동 지역인 것으로 현장 조사 되었으며, 타지역의 경우 공업지역으로서 이 소음원의 영향보다는 다른 소음원의 영향이 큰 것으로 조사되어 본 두 개의 동을 연구대상 지역으로 선정하였다. 소음원인 제철공장 중 대상 지역에 영향을 미치는 여러 가지 공정이 결합이 되어 있는 것으로 조사되었다. 특히 제철공정 중 원료를 생산하는 고로 공정 및 주

변의 부대시설(펌프시설, 가스 및 유체 이동시설, 펜 등)으로 인한 소음이 복합적으로 발생하는 것으로 조사되었다. 소음원인 공장과 소음예상지역 사이에 넓이 약 500m의 형산강 하류가 존재하며, 주요 소음원으로는 각종 제철 공정의 단위 설비에서 소음이 발생하는 것으로 조사되었다.

3.2 수치지형도로부터 속성 인자 추출

대상지역의 3차원의 실제세계를 구현하기 위하여 수치지형도에 포함된 속성자료를 이용하였다. 수치지형도로부터 지형, 건물, 하천 등의 기본 속성자료를 추출하였다.

(1) 수치지형도의 구성

수치지형도는 축척(scale)에 따라 여러 형태의 레이어(layer)들로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용된 1:5000 축척의 수치지형도의 레이어별 구성을 살펴보면 Table 2와 같다.

지형의 경우 해발고도를 기준으로 5m, 10m간격의 등고선이 있으며 속성으로는 개별 객체에 위치좌표와 해발고도 높이 정보가 포함되어 있다. 또한 건물의 정보는 Table 2와 같이 단독주택, 공동주택, 상업건물 등이 개별 레이어(layer)로 구분되어 각각의 위치정보를 담고 있다. 그러나 수치지형도의 경우 높이 정보는 포함되어 있지 않아 건물의 높이에 관한 정보는 다른 여러 가지 방법을 이용하여 속성정보를 획득하여야 한다.

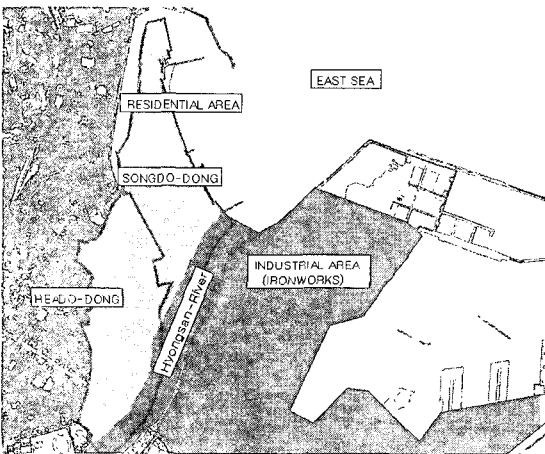


Fig. 2 Location of the industrial area and the residential area

Table 2 Standard layer code in digital map

Code	Contents	Code	Contents	Code	Contents
1	Railway	41	Boundary	6	Facility
11	Railway-line	411	Building boundary	7	Topography
12	Railway-facility			71	Contour line
2	River	4111 4112 4113 4115	Ordinary building Attach building Row house Apartment	7111 7112 7113	Intermediate contour Half interval contour Quarter interval contour
21	River-bed				
22	River-facility				
23	River-topography				
3	Road	42	Administration office	8	Administration boundary
31	Road-boundary	43	Industry		
		44	Culture, education		
		45	Service		
32	Road-center	46	Medical, welfare		
33	Road-facility				
4	Building	51	Boundary	9	Annotation
		52	Symbol of green area		
		53	The other symbol		

(2) 건물 높이 정보

대도시의 경우 매우 다양한 높이의 건물이 혼재하며 향후 건물의 높이는 고층화 되는 경향이 있으므로 여러 가지 방법을 강구하여 건물 높이에 관한 데이터베이스를 구축해야 하지만 국내의 현실은 구축을 위한 초기 단계인 것으로 알려져 있다.

3.3 3차원 소음지도 제작

(1) 대상지형 및 건물의 3차원 구성

3차원 소음지도의 기초가 되는 지형은 수치지형도에서 추출된 지형의 위치와 높이 속성자료를 이용하여 3차원의 지형을 구현하였다. 3차원의 지형 구현 방법으로는 등고선내의 위치와 높이 정보를 갖는 인접 3개점을 연결하여 삼각형의 면을 구성하고 삼각형 면들을 연결하여 3차원 지형을 구현하였다⁽⁶⁾. 또 건물은 수치지형도의 건물위치와 함께 높이 정보 데이터베이스(database)는 대상지역에서 사진 촬영 및 현장조사를 통하여 개별 건물의 층수를 조사하여 대상지역의 건물 데이터베이스를 구축하였다.

(2) 3차원 소음지도 제작

소음지도 제작을 위하여 Fig. 3과 같이 건물 및 지형을 3차원으로 구성하여 다중 회절 및 다중 반사를 고려하여 실제 소음의 전파과정과 최대한 유사하도록 하였으며, 이를 바탕으로 소음지도를 제작하였다. 대상지역의 주변 건물이 대부분 2층 이내의 단독주택 및 5층의 빌라로 구성되어 소음 예측 지점은 지상에서 3m로 예측하였다.

소음지도의 제작과 검증에 있어서 주변의 도로교통소음 및 생활소음의 영향을 배제하고, 공장소음의 특성상 시간적으로 소음레벨이 일정하므로 야간소음을 대상으로 소음의 예측 및 실측을 실시하였다.

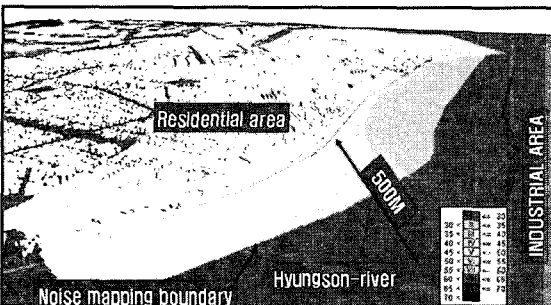


Fig. 3 Noise mapping with three dimensional topography and buildings

Fig. 4는 야간시간대에 있어서 소음의 측정지점을 나타낸 것이며, 소음지도 제작 프로그램으로는 소음예측에 있어서 검증이 이루어진 SoundPlan ver. 6.3을 이용하여 예측을 실시하였고, 예측에 사용된 소음 예측식은 ISO 9613-2를 사용하여 소음예측을 실시하였다.

(3) 예측소음도의 검증

발생소음원은 제철공장의 각각의 공정으로 인한 발생 소음으로서 단위 공정의 규모가 매우 크고 다양하며, 이러한 단위 공정들이 두 개의 동과 평행하게 일렬로 배치되어 소음이 발생되고 있는 것으로 조사되었다. 또한 발생소음원은 직접 소음원을 조사하기 어려운 시설이라는 특수성 때문에 소음 발생원으로 인한 소음예측에서는 연구대상지역에서의 소음을 측정 후 소음원을 조절하여 측정소음도에 근사한 값이 되도록 조절하여 소음원을 산정하였다. 측정 소음도는 Fig. 4와 같이 공장소음을 비교적 정확히 측정할 수 있는 소음영향 예상 지역에서 소음원에서 가장 근접한 지점에 14개의 지점을 선정하여

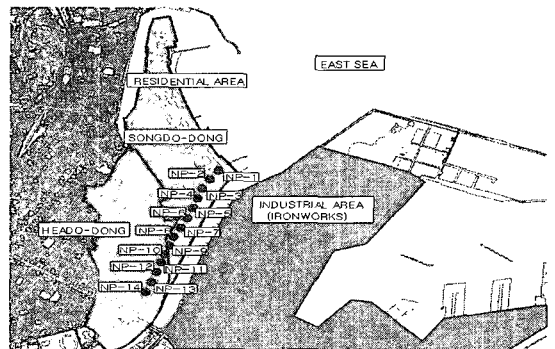


Fig. 4 Location where the noise was measured to verify the noise prediction

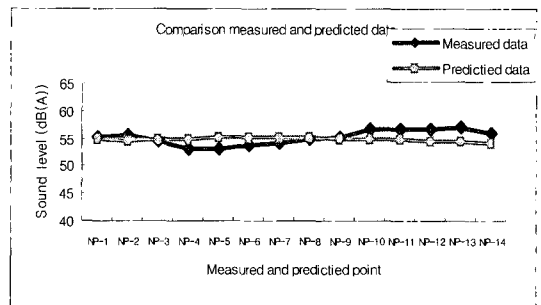


Fig. 5 Comparison of measured and predicted data

각각의 소음도를 측정하였으며, 소음 실측 위치와 같은 위치에서 소음 예측을 실시하여 검증하였으며, 측정 시간대는 교통량이 없는 심야 시간대를 이용하여 측정을 실시하였다.

Fig. 5는 소음 영향예상 지역에서 실측 소음도와 예측 소음도를 비교한 것이다. 공장지역의 소음도를 조사한 결과 52.9 dB(A) ~ 57.2 dB(A)로 소음도가 측정되었으며, 예측 소음도는 54.1 dB(A) ~ 55.1 dB(A)로 예측되었으며, 14개 지점에서의 실측소음도와 예측 소음도의 차는 0.1 dB(A) ~ 2.8 dB(A)인 것으로 조사되었다. 한편, ISO9613-1,2에 의한 예측 소음도는 100 m에서 1,000 m까지는 약 ±3 dB(A)의 정확도를 가지는 것으로 알려져 있다⁽⁷⁾.

3.4 소음도별 소음 노출인구의 산정

주거인구의 추정 방법으로는 크게 두 가지로 분류될 수 있다. 첫 번째로는 인구밀도를 이용하는 방법이다. 인구밀도를 이용하는 방법은 단위행정구역의 총인구를 행정구역 면적으로 나누어 산정하는 것으로서 이러한 인구밀도는 지방자치단체의 인구 통계 정보로부터 확인 할 수 있다. 두 번째 방법으로는 주거건물별 인구 추정방법이 있다. 건물별 인구 추정방법은 단위 행정구역의 총인구수를 해당 행정구역에 존재하는 건물의 총 연면적으로 나누어 단위 건물 연면적당 거주 인구를 추정하여 이를 각각의 건물의 총 면적을 곱하여 개별 건물의 거주 인구수를 추정하는 방법이다. 이 연구에서는 합리적인 소음도별 소음 노출 인구를 산정하기 위하여 소음도별 인구밀도를 이용한 방법(PDM: population density method)과 주거건물별 인구 추정방법(PBM: population in building method)의 비교를 통한 합리적인 방법론을 수립하고자 하였다.

노출 소음도와 거주 인구수를 결합하기 위하여 공간분석을 실시하였으며, 공간분석 도구로는 지리정보시스템 (GIS, geography information system)을 이용하였다. 소음도별 노출 위치와 추정인구의 위치를 중첩시켜 개별 소음도에 대한 소음의 노출 인구를 산정토록 하였다. 또한 지리정보시스템을 이용한 공간분석방법으로는 다음과 같은 방법이 사용되었다.

(1) 인구밀도에 의한 소음노출 인구 산정(PDM)

대상지역에서의 소음지도 제작 프로그램을 이용한 소음지도를 제작한 후 공간분석을 위하여 GIS 프

그램을 이용 소음지도를 재구성 한 후, 각각의 행정구역별 소음도에 해당하는 면적을 산출하였다. Fig. 6은 소음원으로부터 발생하는 소음의 영향권을 5 dB(A)간격으로 표시한 것이다.

Fig. 6의 소음지도를 분석하여 보면 55 ~ 60 dB(A) 지역 및 50 ~ 55 dB(A) 지역의 일부는 하천 지역인 것을 알 수 있으며, 이러한 현상이 발생하는 것은 하천을 인접하는 지역의 경우 하천을 기준으로 행정구역을 구분하기 때문이다. 또한 Table 3은 단위행정구역별 소음노출 면적을 산정한 결과이다.

GIS프로그램을 이용한 재구성 소음지도를 Fig. 6과 같이 제작한 후 각각의 소음도 면적을 산정한 결과 Table 3과 같이 면적이 산정되었다.

식 (1)을 이용하여 Table 3에서 산정된 소음도 면적과 행정구역별 인구밀도의 관계에서 소음 노출인구를 산정하였다. 인구밀도는 해당 지자체의 주민등록현황에 기초한 인구밀도 통계를 이용하였다.

$$N_{EPI} = A_{Ni} \times PD_A \quad (1)$$

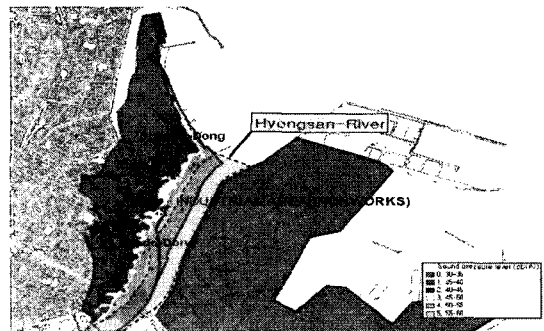


Fig. 6 Reconstructed noise map for the industrial noise

Table 3 Result of field calculation for each noise level

Sound level dB(A)	Heado-Dong (m ²)	Songdo-Dong (m ²)
30~35	2,432	12,409
35~40	332,521	655,093
40~45	1,013,245	541,358
45~50	210,899	141,306
50~55	258,695	92,676
55~60	124,020	360,353

여기서 N_{EPi} 는 각각의 해당하는 소음 노출인구, A_{Ni} 는 Table 3에서 산정된 소음지역의 면적, PDA는 해당 행정구역의 인구밀도이다.

Fig. 7은 소음 노출 면적과 인구밀도에 기초한 소음노출 인구를 산정한 결과이다. 산정결과를 살펴보면 행정구역에 포함된 하천이나 바다와 같은 곳에도 노출 인구가 산정되어 불합리한 부정확한 소음 노출 인구 산정이 되는 결과를 확인할 수 있다. 이와 같은 방법은 도로교통 소음이나 철도 소음원에 의한 소음의 평가에 있어서 사람이 실제 거주하지 않는 나대지, 임야, 도로 등과 같은 곳에서도 노출인구가 산정되는 부정확한 결과가 도출될 수 있다.

(2) 주거 건물별 소음 노출 인구 추정 방법(PBM)

일반적으로 소음영향이 예상되는 지역에는 다양한 용도의 건물과 학교, 나대지, 도로 등이 혼재하여 존재한다. 이러한 지역에서의 소음 노출 인구의 정량적인 산정을 위해서는 소음도 면적과 인구밀도에 의해 산정되는 노출 소음은 실제로 거주하지 않는 지역에서의 노출 인구가 산정되는 문제점이 발생하기 때문에 주거 건물을 통한 소음 노출 인구 산정이 매우 중요하며, 이러한 이유로 인하여 유럽의 소음지도 제작을 통한 도시 환경 소음 평가를 위하여 소음 노출 인구 산정 시 주거 건물 기준의 여러 가지 소음 노출 인구 산정 방법을 제시하고 있다⁽⁵⁾.

Fig. 8은 GIS 프로그램에서 소음도의 정보와 건물정보는 공간분석(spatial analysis)중 중첩분석(overlay analysis)⁽⁸⁾을 이용하여 건물의 총 연면적과 인구를 산정을 통하여 면적과 인구의 속성을 건물 중심으로 결합하여 각각의 건물에 노출되는 소음도를 나타낸 것이다.

건물에 거주하는 인구의 산정은 식 (2)를 이용하여 산정하였다.

$$N_{EP} = \sum(P_{NBi}) = \sum\left(\frac{P_{TN}}{A_{TB}} \times A_{NBi}\right) \quad (2)$$

여기서 N_{EP} 는 소음도에 노출된 인구수, P_{NBi} 는 소음도에 노출된 건물에 거주하는 인구수, P_{TN} 는 해당 행정구역의 총 인구수, A_{TB} 는 해당 행정구역의 건물의 총연면적, A_{NBi} 는 개개 건물의 연면적이다.

식 (2)에 의한 방법으로 건물에 노출되는 소음도에 따른 노출인구수의 산정은 Fig. 9와 같다.

(3) 소음도별 소음노출 인구 산정결과와 비교

소음도 지역과 노출 인구 인구밀도의 관계를 통한 소음 노출 인구 산정방법(PDM)과 주거용 건물에 노출되는 소음도와 건물에 주거하는 인구 추정에 의한 노출 인구 산정 방법(PBM) 소음 노출 인구를 비교한 결과는 Fig. 10과 같다.

각각의 방법에 의한 소음 노출 인구 산정 결과 55~65 dB(A)의 소음도 노출 지역에서 PBM에 의한 노출 인구 산정시에는 4명이 산정되었으며, PDM에 의한 소음노출 인구는 6,202명인 것으로 산정되었다.

소음지도에서 이 지역은 Fig. 6과 같이 소음원과

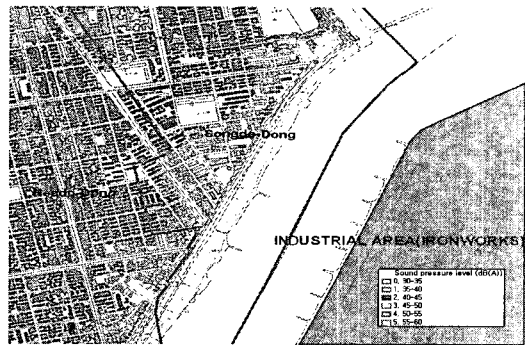


Fig. 8 Building footprints assigned to each noise level

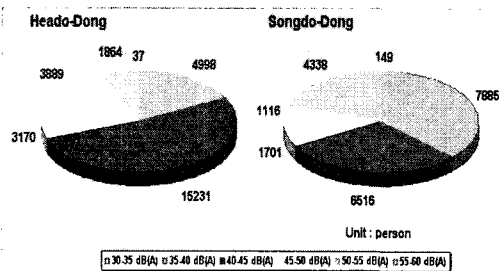


Fig. 7 Estimation of the population exposed to industrial noise according to Eq. (1)

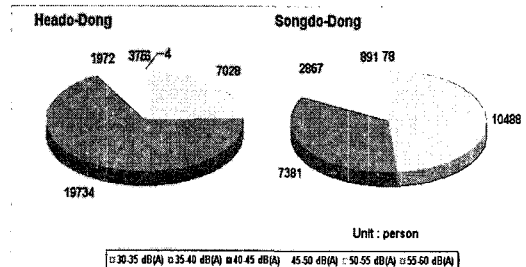


Fig. 9 Estimation of the population exposed to industrial noise according to Eq. (2)

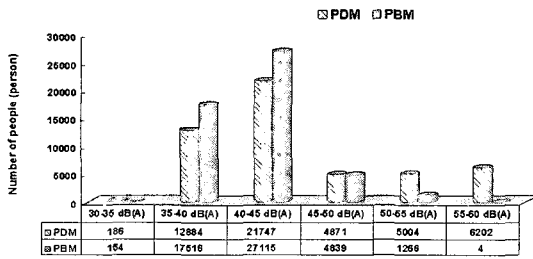


Fig. 10 Comparison PDM with PBM

인접한 형산강 및 고수부지 지역으로 조사되었다. 따라서 소음 노출인구의 산정에 있어서 인구밀도를 이용한 인구 산정방법인 PDM보다는 주거건물을 이용한 인구산정 방법인 PBM이 실제 주거위치를 정확히 반영하기 때문에 소음 노출 인구 산정에 있어서 합리적인 방법인 것으로 판단된다.

4. 결 론

이 논문은 소음도에 따른 소음 노출인구의 정량적인 산정 방법에 관한 연구이다. 보다 정확한 소음 노출 인구 산정을 위한 인구의 전수 조사 또는 주민 등록 전산망을 이용한 데이터베이스 구축이 필요하지만, 여러 가지 정보의 수집이 용이치 않은 조건에서 소음 노출 인구 추정을 위한 연구를 진행하였다. 소음 노출 인구 산정을 위하여 필요한 정보의 수집에서부터 소음 지도의 제작 및 GIS프로그램을 이용한 노출 인구 산정을 위한 절차도를 작성하였다. 또한 소음 노출 인구 산정에 있어서 인구 밀도를 사용한 방법과 건물 단위의 소음노출 인구 산정방법을 비교한 결과 후자의 방법이 소음노출인구를 실제 소음 노출 인구를 더욱 합리적으로 평가할 수 있는 방법인 것으로 연구되었다. 향후 공장 소음뿐만 아니라 주요 소음인 도로교통 소음, 철도소음, 항공기소음, 생활소음 등을 대상으로 정량적인 소음 노출 인구 산정과 함께, 과밀화된 도시에서 고층 건물의 높

이에 따른 소음 노출 인구 산정 방법에 관한 연구를 시행하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2006년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었으며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Park, Y. M., 2001, "Study on the Environment Policy of Noise and Vibration in the 21 Century", Korea Environment Institute.
- (2) Kim, J. T., 2005, "Improving the Mitigation Measurements for Living Noise", Ministry of Environment Republic of Korea.
- (3) Jang, S. K., Kang, D. J., Lee, W. S., Lee, J. W., 2001 "A Study on the Calculation of Population Exposed to Transportation(II)", National Institute of Environmental Research, pp. 69~70.
- (4) Park, I. S., Park, S. K., 2005, "A Study on the Assessment Method of Noise Exposure Population Using the Over-ride Value Noise Map", Transactions of the Korea Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 7, pp. 859~864.
- (5) European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise, 2006, "Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure". WG-AEN.
- (6) "SoundPlan User's Manual", SoundPlan.
- (7) Margeet Beuving, Paul de Vos, 2004, "Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment", IMAGINE.
- (8) Scott Hutchinson, 2004, "Inside ArcView GIS 8.3", Thomson Delmar Learning.