

건설공사장 소음예측 프로그램 개발에 관한 연구

The study on the development of noise prediction program for construction sites

윤제원† · 김영찬* · 강희만** · 김철환** · 장태순** · 이기정**

Yoon Je-Won, Kim Young-Chan, Kang Hee-Man, Kim Chul-Hwan, Chang Tae-Sun, Lee Ki-Jung

Key Words : Construction noise prediction program(건설공사소음 예측프로그램), Temporary noise barrier(가설방음벽), Law of inverse square(역자승법칙)

ABSTRACT

본 연구에서는 건설 공사소음 예측 및 가설방음벽 설계를 위해 개발한 공사장 소음예측 프로그램에 대해 소개하고자 한다. 또한, 건설장비가 운영되는 동안 이격거리별 소음측정을 수행한 후 측정결과와 해석결과와의 비교검토를 통해 개발 프로그램의 타당성을 검증하고자 하며, 상용되고 있는 소음해석 전용 소프트웨어를 이용해 다양한 경우에 대한 소음해석을 수행한 후 해석결과를 개발 프로그램의 해석결과와 비교함으로써 개발 프로그램의 타당성을 검증하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

1. 서론

건설 공사장에서 발생하는 소음은 도로소음 또는 철도소음과 달리 건설공사 기간 내에만 발생하고 영속적이지 않은 특징이 있다. 따라서, 건설업체에서는 막대한 비용을 들여 방음시설에 투자하기를 꺼려하고, 또한 소음원이 이동음원이므로 고정된 방음시설을 설치하기에도 수월하지 않아 인근 지역에 민원 발생의 우려가 다분히 존재하게 된다. 또한, 방음벽 설계 시 건설장비의 소음원 크기를 정의하기 어렵고 방음벽의 높이 및 연장을 산정하기에도 수월하지 않은 것이 현실이다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 건설 공사소음 예측 및 가설방음벽 설계를 위해 개발한 공사장 소음예측 프로그램에 대해 소개하고자 한다. 또한, 건설장비가 운영되는 동안 이격거리별 소음측정을 수행한 후 측정결과와 해석결과와의 비교를 통해 개발프로그램의 타당성을 검증하고자 하며, 상용되고 있는 소음해석 전용 소프트웨어를 이용해 다양한 경우에 대한 해석을 수행한 후 결과를 개발 프로그램에 의한 해석결과와 비교함으로써 개발 프로그램의 타당성을 검증하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

2. 관련이론

2.1 적용범위

건설소음 예측을 위해 개발한 소음해석 프로그램은 ISO 9613-2를 근거로 하고 있는데, 이 규격은 각종 소음원으로부터 발생하여 옥외에 전파되는 음에 대해서 환경소음레벨을 예측하기 위한 계산방법이 나타나 있다. 그리고, 음이 전달되기 쉬운 기상조건을 전제로 하여 각종 물리적 메카니즘에 의한 감쇠를 개별적으로 계산한 후 수음점에서의 등가소음레벨을 구하고 있다. 음이 전달되기 쉬운 기상조건이란 바람과 같은 방향으로 음이 전파되는 순풍의 경우 혹은 보통 밤에 볼 수 있듯이 지표면에서 기인하는 기온 역전층이 중간 정도 발달한 조건하에서의 전파 등이 해당된다. 계산방법으로는 하나의 점음원에서 발생하는 소음감쇠에 대해 옥타브밴드마다 개별적으로 계산하여 최종적으로 전음압레벨(Overall SPL)의 등가소음레벨을 구할 수 있으며, 기하학적 확산 · 대기흡수 · 차폐현상을 고려할 수 있다.

2.2 계산방법

풍하측 수음점에서의 옥타브밴드 등가소음레벨은 각 점음원과 허음원(image source)에 대해서 (식 1)과 같이 계산할 수 있다. 식에서, 지향성 보정값은 음향파위레벨의 무지향성 점음원과 비교했을 때의 레벨 차로 정의하며 무지향성 음원이 자유공간에서 음을 방사하고 있는 경우 지향성

† 윤제원, 유니슨테크놀러지
E-mail : jwyoona@unisontg.com
Tel : (041) 577-3457, Fax : (041) 577-3458

* 유니슨테크놀러지

** 도로교통기술원

보정값(D_c)은 '0'이 된다. 또한, 'A'는 계산 대상의 점음원에서 수음점까지의 전파 중에 발생하는 감쇠량으로서 (식 2)와 같이 표현할 수 있다. 식에서 $L_{fT}(DW)$ 는 옥타브밴드별 등가소음레벨을, L_w 는 소음원의 옥타브밴드별 음향파워레벨을, D_c 는 음원의 지향성 보정값을 나타낸다.

$$L_{fT}(DW) = L_w + D_c - A \quad [\text{dB}] \quad (\text{식 1})$$

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} \quad [\text{dB}] \quad (\text{식 2})$$

① 기하학적 확산 효과에 의한 감음(A_{div})

점음원에 대해 자유음장에서의 기하학적 확산 효과에 의한 감음현상은 다음과 같이 계산 가능하다. 여기서 d 는 점음원으로부터 수음점까지의 거리를 의미하며, 정수 '11'은 무지향성 점음원에서 1m 지점의 음압레벨과 파워레벨을 관련짓는 상수이다.

$$A_{div} = 20 \text{Log}(d) + 11 \quad [\text{dB}] \quad (\text{식 3})$$

② 공기 흡음 효과에 의한 감음(A_{atm})

공기 흡음 효과에 의한 감음현상은 다음과 같이 계산 가능하다. 여기서 d 는 점음원으로부터 수음점까지의 거리를 의미하며, a 는 <표 1>의 공기흡음계수를 의미한다.

$$A_{atm} = ad/1000 \quad [\text{dB}] \quad (\text{식 4})$$

③ 지면 흡음에 의한 감음(A_{gr})

지면 흡음효과에 의한 감음현상을 계산하기 위해 ISO 9613-2에 근거한 옥타브밴드별 계산식을 이용하였는데, 음원 및 수음점이 모두 딱딱한 지면(hard ground)에 있는 경우 $G=0$ 을 대입하여 계산하였다.

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad [\text{dB}] \quad (\text{식 5})$$

④ 방음벽 의한 감음(A_{bar})

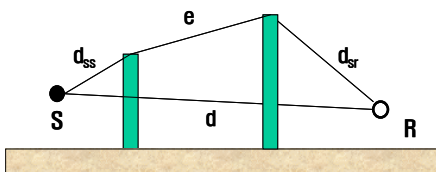
대상물이 ㉠면밀도가 적어도 10kg/m^2 이상인 경우, ㉡대상물에 큰 균열이나 틈새가 없는 경우에 장해물(방음벽)이라고 가정하며, 방음벽에 의한 감음현상은 아래의 식으로 계산 가능하다. 식에서, C_2 는 20으로 가정하였고, λ 는 파장을 의미하며, 단일 회절인 경우 C_3 및 z 는 다음과 같다.

$$A_{bar} = 10 \text{Log}[3 + (C_2/\lambda)C_3zK_{met}] \quad [\text{dB}] \quad (\text{식 6})$$

$$C_3 = 1, \quad z = [(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2]^{1/2} - d$$

$$K_{met} = \exp[-(1/2000)\sqrt{d_{ss}d_{sr}d/(2z)}] \quad \text{for } z > 0$$

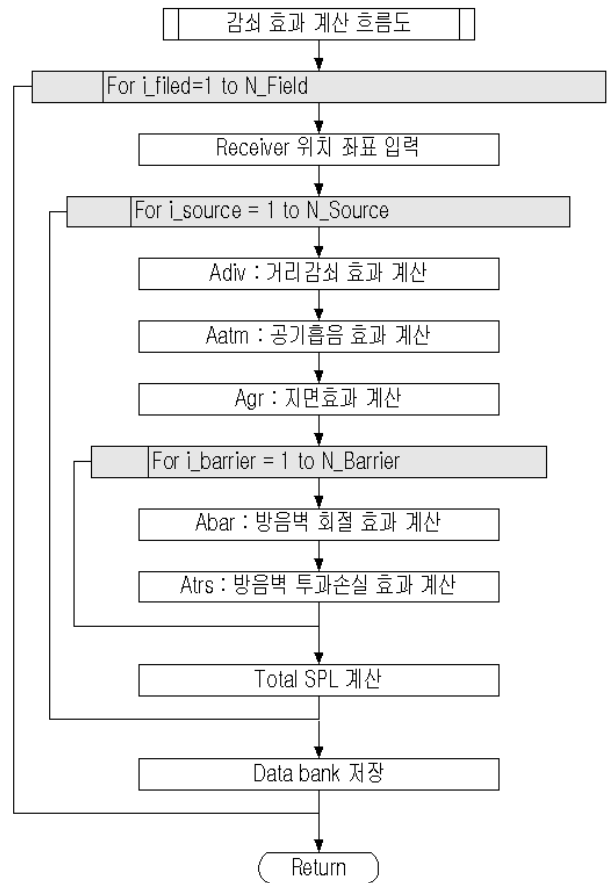
$$K_{met} = 1 \quad \text{for } z \leq 0$$



<그림 1> 회절 경로 수에 따른 경로차 산정 방법

<표 1> 공기흡음계수(a)

온도 [°C]	습도 [%]	공기 흡음계수(a) [dB/km]							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
10	70	0.1	0.4	1.0	1.9	3.7	9.7	32.8	117
20	70	0.1	0.3	1.1	2.8	5.0	9.0	22.9	76.6
30	70	0.1	0.3	1.0	3.1	7.4	12.7	23.1	59.3
15	20	0.3	0.6	1.2	2.7	8.2	28.2	88.8	202
15	50	0.1	0.5	1.2	2.2	4.2	10.8	36.2	129
15	80	0.1	0.3	1.1	2.4	4.1	8.3	23.7	82.8



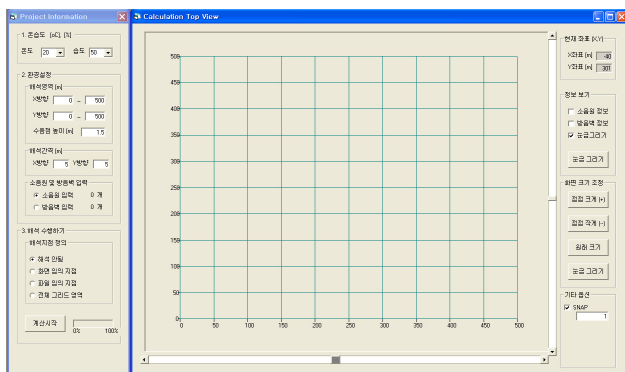
<그림 2> 소음해석 프로그램의 흐름도

3. 개발 프로그램의 구성

3.1 개발 프로그램의 개요

본 소음해석 프로그램은 건설공사장에서 발생하는 소음을 예측하기 위해 개발한 것으로 Microsoft사의 "Visual Basic 6.0"으로 작성하였다. 이 프로그램은 옥외 환경소음 예측의 국제표준규격인 ISO 9613-2에서 제시한 식에 근거하여 작성되었으며, 대화상자 입출력 방식에 기초한 GUI 기능을 이용하여 소음원 및 방음벽에 대한 정보 입력이 가능하고 주요 기능은 다음과 같다.

- ① 온습도의 지정이 가능
- ② 해석영역의 지정 및 해석간격의 정의 가능
- ③ 소음원의 정의 가능 : 옥타브밴드별 입력, 청감보정 가능, 데이터베이스 활용 가능
- ④ 방음벽의 정의 가능 : 방음벽의 높이 및 위치 입력
- ⑤ 해석결과를 프로그램 내부의 텍스트 파일 형태로 열람
- ⑥ 화면상에서 방음벽 및 소음원에 대한 정보 확인 가능
- ⑦ 화면의 배율 조정(화면확대·축소기능 및 원래 상태로 보기) 및 마우스의 현재 위치 확인 가능
- ⑧ 외부에서 작성한 입력파일을 프로그램 내부로 불러들여 소음해석이 가능하도록 함. : 프로젝트 이름, 해석영역, 소음원 및 방음벽 정보 등 포함



<그림 3> 개발 프로그램의 구성

3.2 개발 프로그램의 주요 기능

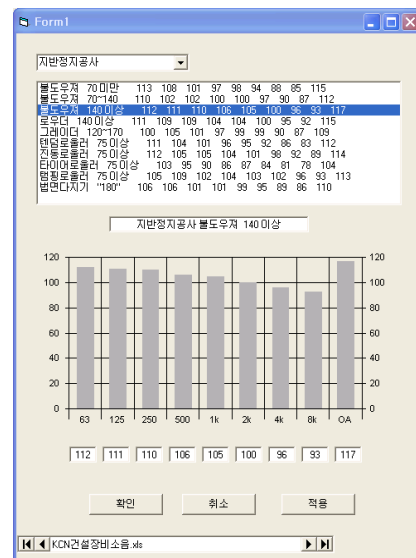
- ① 해석영역의 지정 및 눈금그리기 기능 : 개발한 소음예측 프로그램은 해석영역과 해석간격을 임의로 조절할 수 있으며, ‘눈금그리기’를 통하여 입력 좌표를 확인하기에 편리하도록 구성하였다.
- ② 소음원의 정의 : 건설장비의 소음원에 대한 설명을 기입할 수 있고 소음원의 좌표 및 옥타브밴드별 음향파워레벨의 입력이 가능하며 전음압레벨(Overall SPL)의 계산이 가능하도록 하였다. 또한, 소음원의 음향파워레벨은 개발 프로그램에 내장된 데이터베이스 파일로부터 ‘소음원 가져오기’를 이용하여 결정하거나 측정값으로 ‘SPL을 PWL로 환산하기’를 이용하여 결정할 수 있다. 우선 프로그램에 내장된 데이터베이스 파일로부터 음향파워레벨을 결정하는 방법은 해당 공종을 선택하거나 해당 장비를 선택하면 되고, 측정자료를 이용하고자 하면 측정 이격거리 및 측정 음압레벨을 해당 주파수대역에 입력하여 소음원의 음향파워레벨을 결정할 수 있다.
- ③ 방음벽의 정의 : 방음벽을 정의하기 위해서는 방음벽의 설치 위치 및 방음벽 높이를 입력하고 옥타브밴드별 흡음률 및 투과손실을 입력하면 된다. 단, 시작점에서 종료점까지의 방음벽 높이는 동일한 높이로만 정의되므로 만일 단차가 있는 방음벽을 모델링하기 위해서는 새로운 ID를 부

여한 후 방음벽을 새롭게 정의하면 된다.

- ④ 해석지점의 정의 : 해석지점을 정의하는 방법으로는 임의의 지점에 대해서만 해석을 수행하거나 전체 영역을 입력한 해석간격으로 해석하는 방법이 있다. 이 중 임의의 지점에 대해서 해석을 수행하기 위해서는 텍스트 파일 형태로 저장된 해석지점의 파일을 불러오면 되고, 텍스트 파일은 해석지점의 좌표를 (X,Y,Z) 좌표로 저장해 놓으면 된다.
- ⑤ 기타 기능 : 사용자의 편의성을 위해 소음원에 대한 좌표값이 화면상에 나타나도록 하였으며, 방음벽에 대한 좌표값 및 높이, 연장 또한 화면상에 나타나도록 하였다. 그리고, 줌 기능이 가능하도록 하였으며 현재 마우스의 위치를 확인할 수 있도록 하였다. 또한, 스냅기능을 두어 해석결과를 화면상에 나타내하고자 할 때 마우스를 클릭하면 정의한 스냅간격에 따라 나타나도록 하였으며, 해석한 결과를 프로그램 내부로 불러 들어 확인할 수 있도록 하였는데 텍스트 형태로 나타나는 순서는 좌표값 및 ‘A’청감보정 한 해석결과를 의미하며 [좌표값(X,Y,Z), Overall SPL, Octave band SPL(63,125,250,500,1k,2k,4k,8kHz)] 순으로 정렬되어 있다.



<그림 4> 방음벽 정의를 위한 입력창



<그림 5> 데이터베이스를 이용한 소음원 입력창

4. 개발 프로그램의 검증

4.1 측정결과와의 비교검토

개발 프로그램의 검증을 위하여 향타기 및 주요 토공장비에 대한 측정결과와 해석결과를 비교하여 보았다. 검토 결과 해석결과와 측정결과가 비슷한 소음레벨을 갖는 것으로 평가되어 비교적 정확한 예측이 가능함을 확인하였다.

<표 2> 향타기 소음에 대한 해석 및 측정결과 비교

이격거리 [m]	40	80	100	160	200
해석결과 [dB(A)]	88	82	80	75	73
측정결과 [dB(A)]	89	82	-	76	-

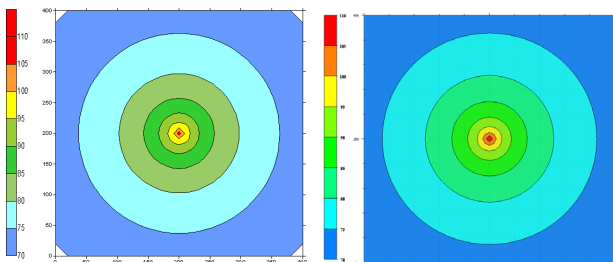
*) 이격거리(r)란 소음원에서 수음점까지의 거리를 의미함.

<표 3> 토공장비에 대한 해석 및 측정결과 비교

장 비 명	도우저		브레이커		로울러	
	r=30m	r=55m	r=30m	r=50m	r=40m	r=70m
측정결과[dB(A)]	65.7	61.0	80.6	76.6	64.2	60.0
해석결과[dB(A)]	65.7	60.2	80.6	75.8	64.2	59.2

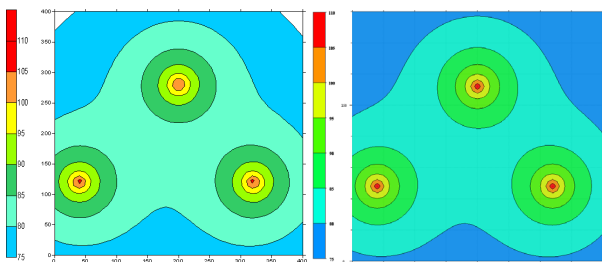
4.2 상용 소프트웨어와의 비교검토

상용 소프트웨어와도 비교해 보았는데 소음원이 3개인 경우에 대해서도 소음분포 및 소음레벨이 상용 소프트웨어와 매우 유사하게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서, 지향성의 영향이 없고 역자승법칙이 성립하는 점음원의 음원 형태를 갖는 소음원에 대한 예측이 비교적 정확하게 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.



(a) 개발 프로그램 (b) 상용 소프트웨어(ENPro)

<그림 6> 소음원이 1개인 경우에 대한 비교 검토



(a) 개발 프로그램 (b) 상용 소프트웨어(ENPro)

<그림 7> 소음원이 3개인 경우에 대한 비교 검토

4.3 방음벽의 설치형태에 따른 소음해석결과

개발 프로그램의 검증을 위해 방음벽의 설치형태에 따른 소음해석을 수행하였다. 본 해석의 목적은 방음벽과 방음벽이 접하는 부분에서 누음(漏音) 현상이 발생하는지의 여부를 판단하기 위함으로 방음벽의 설치형태는 아래의 표에서 보는 바와 같이 길이 80m의 방음벽을 한 개로 설치하는 경우(CASE_01)와 (30+20+30)m의 3개로 나누어 설치하는 경우(CASE_02)에 대해 살펴보았다. 소음해석결과 표에서 보는 바와 같이 방음벽을 한 개로 설치하는 경우나 3개로 나누어 설치하는 경우 비슷한 소음분포를 나타내고 있음을 확인하였으며, 따라서 방음벽이 접하는 부분에서의 누음(漏音) 현상이 발생하지 않도록 프로그램이 잘 구현되어 있음을 확인하였다. 또한 높이 2m 및 4m의 방음벽이 인접하여 설치된 경우(CASE_03)에 대한 소음해석을 수행하였다. 소음해석결과 표에서 보는 바와 같이 방음벽이 낮은 쪽으로 소음이 더욱 전달되고 있어 서로 다른 높이의 방음벽이 인접하는 경우에 대해서도 프로그램이 잘 구현되어 있음을 확인하였다.

<표 4> 방음벽의 설치형태에 따른 해석결과 비교

CASE	해석모델의 개요	해석결과
CASE_01		
CASE_02		
CASE_03		

참 고 문 헌

- (1) ISO 9613-2, Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2 : General method of calculation
- (2) 건설기계류 소음특성, 국립환경연구원, 2003
- (3) ENPro V3.01
- (4) 대한주택공사 주택연구소, 1998, 건설공사장 소음도평가 및 예측기법 개발연구
- (5) 건설공사소음의 예측모델 "ASJ CN-Model 2002", 일본 음향학회 건설공사소음 예측 조사연구위원회 보고