

Computer Simulation을 이용한 SIP 항타소음의 예측에 관한 연구

A Study on the Prediction of SIP Piling Noise by Computer Simulation

이병윤*

윤해동**

김재수***

Lee, Byeong-Yun

Yun, Hae-Dong

Kim, Jae-Soo

ABSTRACT

Recently, with the increasing of construction works, large construction equipment are used to reduce the term of work and labor cost in construction field. Therefore, construction equipment noise has caused much annoyance for a number of dweller in nearby construction field and it has become a very serious problem in our living environment. Nevertheless, in our country, adequate guidelines for the construction equipment noise are very deficiency because of the lack of basic data and insufficient research works. From this point of view, this study attempts to survey the characteristics and prediction of SIP piling noise. On the basis of measurement value, we analysed about prediction possibility of SIP piling noise by computer simulation.

1. 서 론

건설현장에서 사용되고 있는 각종 건설기계들은 소음과 진동 및 분진을 유발하여 생활환경 오염원중 가장 강력한 민원의 대상이 되고 있다. 특히 기초공사에 사용되고 있는 항타기, 착암기, 브레이커등은 대부분 음압레벨이 아주 높을 뿐만 아니라 충격적, 파열적 특성을 갖기 때문에 현장 작업자 및 인근 주민들에게 많은 영향을 주고 있다. 따라서 도심에서 기초공사를 하기 위해서는 저소음·저진동을 목적으로 하고 있는 SIP공법에 의한 항타작업이 대부분 이루어지고 있지만 국내의 경우 정확한 실태파악 및 항타소음의 전달특성이 파악되어 있지 않아 민원 발생시 효과적이고 체계적인 차음대책 수립이 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 SIP공법을 이용한 항타 작업시 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠특성을 파악해 보고, 이를 Computer Simulation

* 정회원, 순천청암대 건축디자인과 조교수

** 정회원, 원광대 대학원 건축공학과 박사과정

*** 정회원, 원광대 건축공학과 부교수. 공학박사

을 통하여 비교·분석해보고자 하며, 향후 효율적인 차음대책 수립을 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

2. SIP항타소음 측정결과

2.1 SIP 항타장비의 종류와 제원

SIP(Soil-cement Injected Precast Pile)공법은 공법 분류상 대변위 말뚝(large displacement pile)공법인 pre-drilled 공법과 무변위 말뚝(none displacement pile)공법인 시멘트몰탈 주입공법(cement mortar injected into drilled hole)을 합한 것으로 1968년 日本의 貝戸俊一에 의해 고안된 공법이다. 이 공법은 지층을 어스오거(earth auger)로 穿孔할 때 원지반에 시멘트 페이스트를 주입하여 교반하므로 양생후에는 주변 지층의 강도가 증대되어 말뚝주변의 마찰력을 크게 증대시키고 선단부에도 교반된 soilcement가 완전히 충전되어 파일의 침하량을 최소화 시키는 공법으로 저소음·저진동을 목적으로 하고 있다. SIP공법은 파일링공사에 사용되는 기계 및 발전기, 공기압축기등과 같은 보조기계류를 주변에 배치하여 사용하고 있다.

본 연구에서 사용된 SIP 항타작업에 사용되는 장비의 제원과 특성은 표 1과 같으며 작업 장면은 그림 1과 같다.

표 1. SIP 항타기의 제원과 특성

장비 제원				Pile(PC)	
본 체		램		직경	길이
중 량	정격출력	중 량	타격높이		
56.7ton	100HP/1800rpm	7ton	1m	400 ϕ	10m



그림 1. SIP 항타 작업 장면

2.2 조사지역의 지질현황

SIP 항타소음의 조사지역으로는 배경소음(background noise)이 낮은 아파트 신축현장을 대상으로 각각 3회에 걸쳐 SIP 항타소음의 주파수별 소음레벨을 측정하였으며 토질주상도는 그림 2와 같다.

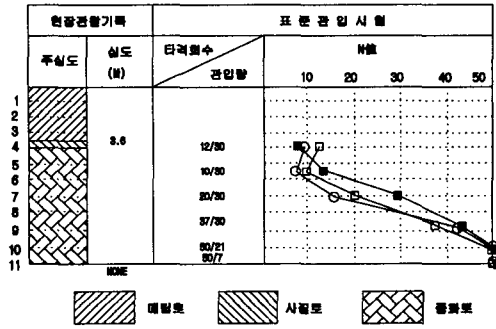


그림 2. 토질 주상도

그림 2에서 보면 3군데에서 측정한 토질주상도가 모두 유사하게 나타나고 있으며, 사질토층은 연약한 지질상태를 보이고 있고 풍화토층은 실트 및 모래층으로서 깊이가 깊어짐에 따라 급격하게 N치가 증가하고 있음을 알 수 있다.

2.3 항타작업시 발생하는 건설소음

(1) 항타

항타시 소음을 측정한 결과 측정거리에 따른 주파수별 음압레벨의 특성은 그림 3과 같고, 이를 단일 평가지수인 dB(A)와 NR곡선으로 비교해 보면 그림 4와 같다.

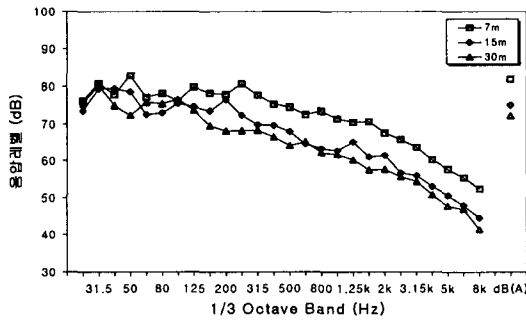


그림 3. SIP 항타소음의 주파수 특성

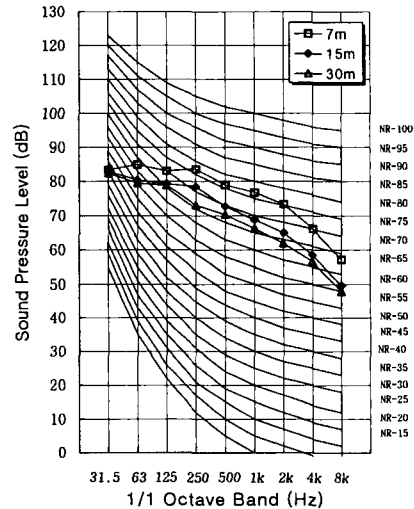


그림 4. NR곡선에 의한 평가

그림 3에서 보면 항타시 발생하는 소음은 아주 높은 소음레벨을 보이고 있으며 고음역으로 갈수록 일정한 감쇠를 보이고 있다. 또한 NR곡선으로 평가해 보면 차음등급을 결정하는 주파수는 250Hz~500Hz로서 이 주파수 대역의 사람에게 가장 큰 불쾌감을 일으키는 주파수임을 알 수 있다.

(2) 음압레벨의 변동특성 및 시간응답(Time Response)

15m지점에서 측정한 음압레벨 변동특성을 파악해보면 그림 5과 같고, 시간응답(Time Response)의 변화곡선은 그림 6과 같다.

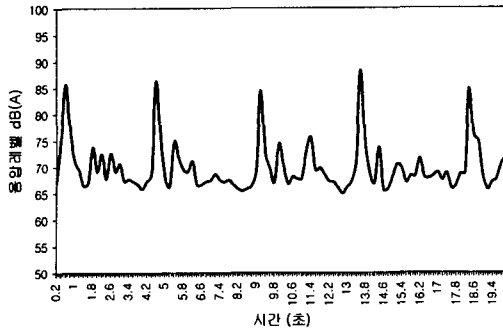


그림 5. SIP항타공법 파형

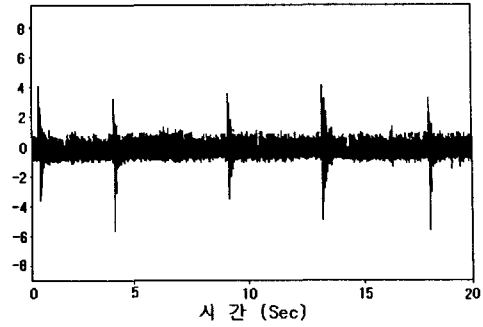


그림 6. 시간응답(Time Response) 변화

그림에서 보면 SIP항타시 소음은 65~88dB(A) 사이를 4~5초 단위로 왕복하는 극히 짧고 반복적이며 진폭의 변화가 아주 급격히 일어났다가 없어지는 충격적 소음의 특성을 나타내고 있다.

3. SIP 항타소음의 예측

3.1 음향파워레벨(PWL)을 이용한 음압레벨 예측

대부분의 건설기계의 경우 외측면은 복잡한 형상을 하고 있으며 그 표면에서 방사되는 음에너지도 일정한 분포를 갖지는 않지만 건설기계의 크기가 한정되어 있기 때문에 어느 정도 이격되면 점음원으로 취급하여 해석한다.

∴ $PWL = SPL + 10 \log S$ 이다.

측정거리 r_0 에서 음의 확산면적이 음원의 면적보다 충분히 클 경우 점음원이라 한다.

거리 r 인 점에서 소리의 세기 I 는

$$I = \frac{P_e^2}{\rho C} = \frac{W}{S} (\text{Watt/m}^2)$$

$S = 4\pi r^2$ 이므로 $I = \frac{W}{4\pi r^2}$ 이다.

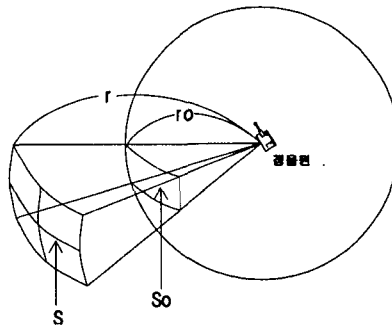


그림 7. 점음원의 거리감쇠

음원이 항타기와 같이 자유공간에 있을 때는

$$S = 4\pi r^2 \text{ 이므로}$$

$$SPL = PWL - 10 \log S$$

$$= PWL - 20 \log r - 11dB$$

$$PWL = SPL + 20 \log r + 11dB$$

이러한 식을 이용하여 SIP항타 소음에 대한 음압레벨(SPL)과 음향파워레벨(PWL)을 산정하기 위해서 본 연구에서는 15m지점에서 SPL을 20회 측정하였으며, 이렇게 측정된 SPL값을 산술평균 하여 PWL을 산정하였고 그 결과는 표 2와 같다.

표 2. SIP 항타소음의 PWL

단위 : dB(A)

항타작업시 SIP항타기에서 발생하는 음향파워레벨
112 dB(A)

표 2에서 산출된 PWL과 SIP 항타소음을 점음원으로 간주하여 실측에 의한 음압레벨과 각 거리에 따른 음압레벨을 예측하여 비교해 보면 그림 8과 같다.

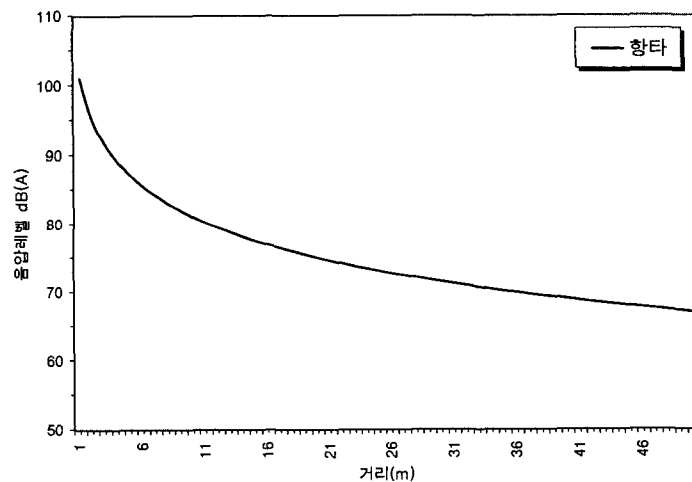


그림 8. 항타소음의 예측치

그림 8과 실측치의 결과를 비교해 보면 0.2~1dB(A)미만의 차이를 보이고 있어 아주 신뢰성 있는 예측치를 제안하고 있음을 알 수 있으며, 가까운 거리에서는 음압레벨이 아주 높으나 거리가 멀어지면 지수함수적으로 감소하는 특성을 보이고 있다.

3.2 Computer Simulation을 통한 SIP 항타소음의 예측

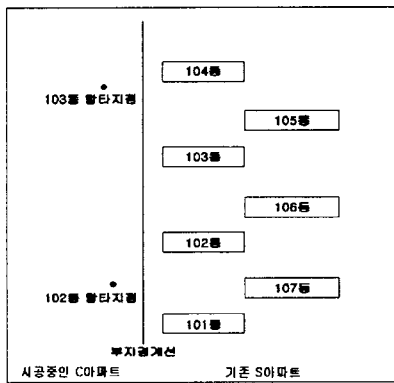
(1) 시뮬레이션의 개요

건설소음의 영향을 평가하기 위해 해석용 소프트웨어로 사용한 RAYNOISE는 강당, 극장, 야외 음악당, 음악녹음실 등과 같은 건축물이나 도로변에 위치한 주거지역, 공항 근처의 소음 측정, 공장 및 기계소음에 의한 소음레벨 등 비교적 체적이 큰 밀폐공간 또는 열린 공간에 대한 해석을 수행하는 벨기에의 LMS사에서 제작한 순수 음향해석 소프트웨어이다. 이 프로그램은 기하음향학(Geometrical acoustics)의 원리를 이용하고 있으며, 이것으로부터 유도된 모든 수학적 모델은 빛의 ray와 동일한 반사법칙(reflection law)를 추구하고 sound wave들을 ray로서 다루고 있다. Ray Tracing Method(RTM)와 Mirror Image Source Method(MIOR)는 잘 알려진 알고리즘으로 RAYNOISE는 RTM과 MIOR방법 양쪽의 이점들을 조합한 Conical과 Triangle Beam Method를

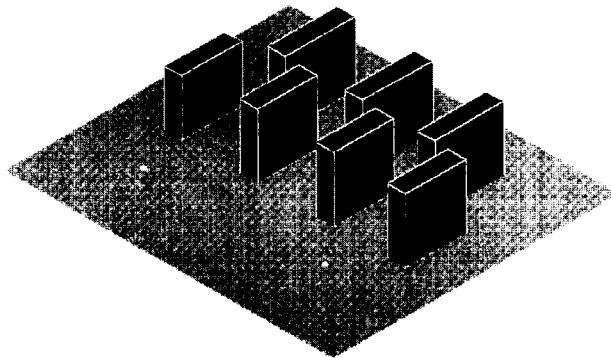
포함하고 있다. 또한, 투과(Transmission)의 계산, 간편한 회절(Reflection edge)의 설정이 명령어 방식과 GUI의 지원등을 통하여 쉽게 수행된다. 이 프로그램은 대부분 CAD 프로그램과의 연계를 통하여 편리하게 모델 파일을 불러들일 수 있으며, 잔향시간(Reverberation Time), 명료도(Clarify), 기하경로(Ray Path)등의 결과를 산출하고 동시에 다양한 형태로 출력이 가능하다. 음원은 점음원, 선음원, 면음원 등의 생성이 가능하며, 1/1옥타브밴드별 음향과위레벨로 입력되고, 또한 지역별 또는 위치별 흡음별 및 투과손실의 정의가 가능하다.

(2) AutoCAD로 모델링(Modelling)

SIP항타소음을 예측하기 위해서는 AutoCAD를 이용하여 항타지점과 기존 S아파트의 각 동을 정확히 모델링할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 AutoCAD를 이용하여 이러한 상황을 그림 9와 같이 정확하게 모델링하였다. 항타지점은 시공중인 C아파트의 102동과 103동의 중앙부로 가정하여 설정하였다.



(a) 2차원(평면)

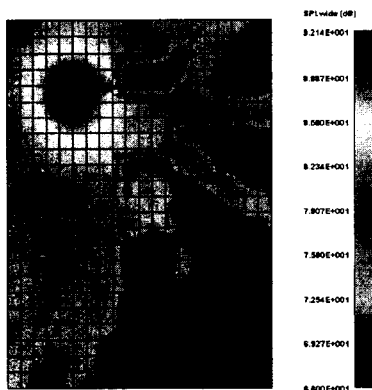


(b) 3차원(조감도)

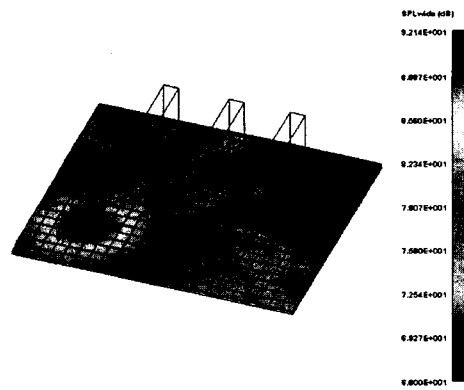
그림 9. AutoCAD를 이용한 모델링

(3) 시뮬레이션 결과

시공중인 C아파트 103동 중앙부분에서 SIP항타시 기존 S아파트에 미치는 건설소음의 영향범위를 파악해 보면 그림 10과 같다.



(a) 평면



(b) 조감도

그림 10. 시공중인 C아파트 103동 중앙부분에서 항타시 소음의 영향범위 시뮬레이션

또한 102동 중앙부분에서 SIP항타시 기존 S아파트에 미치는 건설소음의 영향범위를 파악해 보면

그림 11과 같다.

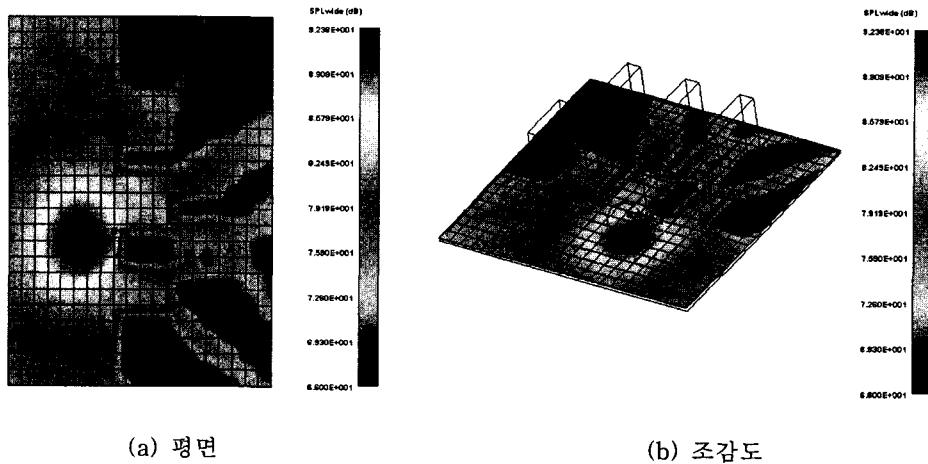


그림 11. 시공중인 C아파트 102동 중앙부분에서 향타시 소음의 영향범위 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션의 결과 향타작업시 발생하는 소음이 인근 S아파트 주민들에게 많은 영향을 미치고 있으며 특히 현장과 인접한 101동~104동 주민에게 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 예측이론을 이용한 예측치와 컴퓨터 시뮬레이션의 결과가 거의 일치하고 있어 시공전에 기하음향학의 원리를 이용한 시뮬레이션을 통하여 거리에 따른 음압레벨을 쉽게 예측할 수 있다.

4. 결 론

본 연구를 통해 분석된 결과를 종합하여 정리하면 다음과 같다.

1. SIP 향타소음의 주파수별 음압레벨의 특성을 파악해 보면 전주파수대역에 걸쳐 아주 높은 음압레벨을 보이고 있으며, 고음역으로 이동할수록 서서히 감소하는 특성이 있다. 이를 NR곡선으로 평가해 보면 향타시에 차음등급을 결정하는 주파수 대역은 250~500Hz에서 결정되고 있어 주로 저중음역에서 사람에게 가장 큰 불쾌감을 일으키고 있다. 또한 시간에 따른 음압레벨의 변동특성을 살펴보면 SIP 향타소음은 65~88dB(A) 사이를 4~5초 단위로 왕복하는 극히 짧고 연속적이며 진폭의 변화가 아주 급격히 일어났다가 없어지는 충격소음의 특성을 나타내고 있다.
2. 실측자료를 토대로 음향파워레벨(PWL)을 정확히 구하면 향타소음은 쉽게 예측할 수 있으며 이러한 자료를 토대로 기하음향학적인 예측이론을 도입한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 SIP 향타소음의 영향범위와 전달 감쇠특성을 쉽게 파악할 수 있다. 이러한 결과는 향후 도심에서 발생하는 SIP향타소음에 대한 민원 해결시 유용한 도구로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

이상은 SIP 향타소음에 대한 주파수별 전달특성을 파악해보고 PWL과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 거리별 음압레벨을 예측해 보았으며, 향후 방음벽 및 지형조건의 변화에 대한 예측을 병행하면 보다 신뢰성있는 예측이 가능하리라 사료된다.

참고문헌

1. 김재수의 5인 ; 건설소음 진동, 서우, 2001.9
2. 이병윤의 5인; “건설현장에서 발생하는 유압식 항타소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 15권 2호, 1999.12, pp 249~256
3. 이병윤의 3인; “Casing부착 SIP공법에 의해 발생하는 항타소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 연구”, 한국소음진동공학회지 9권 5호, 1999.10, pp 899~905
4. 김재수의 1인; “건설현장에서 발생하는 건설기계소음에 대한 현장직원의 주관적 반응에 관한 연구”, 한국주거학회지 7권 2호, 1996.10, pp 99~107
5. 김재수의 5인; “SIP공법에 의한 항타작업시 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠 특성에 관한 실험적 연구”, 한국주거학회지 9권 2호, 1998. 6, pp 67~78
6. 김재수의 5인; “건설현장에서 발생하는 건설공사소음의 전달 및 감쇠 특성에 관한 실험적 연구”, 한국음향학회지 17권 3호, 1998.3, pp 78~89
7. 김재수; “건설소음·진동의 기초이론과 영향”, 한국소음진동공학회 건설공사장 소음·진동 저감 방안 세미나, 1997.7.4, pp 3~31
8. 김재수; “건설현장에서 발생하는 건설기계소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 13권 6호, 1997.6, pp 405 ~417
9. 이병윤의 2인; “건설현장에서 발생하는 브레이커소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구”, 한국음향학회 하계학술발표대회 논문집 16권 1(s)호, 1997.7.4, pp 439~445
10. 김재수; “건설소음 실태와 대책”, 대한건축학회 & 한국음향학회 제3회건축음향 Work shop, 1995.2, pp 131~164
11. 동아건설산업주식회사; 현장기술지도서(건설환경관리-소음.진동), 동아건설산업주식회사 기술연구소, 1993.7
12. 두성건설; SIP 기초공법, 두성건설주식회사, 1987.12
13. 太田 한국음향학회 제3회건축음향 Work shop, 1995 .2, pp 宏, 境 友昭; 建設騒音の測定と豫測, 森北出版株式會社, 1983
14. 建設機械研究會; 建設機械ハンドブック, 鹿島出版社, 1992
15. Theodore J. Schultz; Community Noise Rating, 2nd Edition, 1982
16. S.A. Petruszewicz & D.K. Longmore; Noise and Vibration Control for Industrialists, Elek Science, 1974
17. Michael Rettinger; Handbook of Architectural Acoustics and Noise Control, TAB, 1988
18. Z.Maekawa; Environmental and Architectural Acoustics, E&FN Spon, 1994