

공사 중 발생하는 소음·진동 저감을 위한 설계단계 체크리스트

Checklist of Design Phase for Reducing the Noise and Vibration occurring in Construction

오 경 택* 안 정 민** 정 재 수*** 정 인 수**** 이 찬 식*****
Oh, Kyung-Taek Ahn, Jeong-Min Jeong, Jae-Soo Jung, In-Su Lee, Chan-Sik

요 약

건설과정에서 발생하는 소음·진동에 대한 민원은 꾸준히 증가하고 있지만 공사 중 발생하는 소음·진동은 대부분 시공단계에서만 관리되고 있다. 이는 시공단계에서 발생하는 소음·진동 관리의 한계라고 판단되며, 공사 중 발생하는 소음·진동을 저감하기 위해 설계단계에서의 관리가 필요하다는 것을 의미한다. 본 논문의 목적은 공사 중 발생하는 소음·진동 관리의 효율성을 높이기 위해 설계단계에서 고려할 수 있는 공사 중 발생하는 소음·진동의 관리항목을 제시하고 이를 설계자가 직접 평가할 수 있는 평가시트와 관리 항목의 이해를 돕기 위한 매뉴얼을 개발하는 것이다. 이를 위해 기존 연구문헌을 검토·분석하여 설계단계에서 고려해야 할 공사 중 소음·진동의 관리항목을 식별하였고, 항목의 적정성을 검증하기 위해 환경전문가와 면담을 실시하여 9개 항목을 확정하였다. 항목간의 중요도 산정과 우선순위 식별을 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process)기법을 적용하였다. 그 결과 설계단계에서 공사 중 발생하는 소음·진동을 관리하는데 가장 효율적인 항목들은 저소음·저진동 공법선정, 발파공사에 의한 소음·진동 저감방안, 소음·진동방지시설 설치 및 배치계획 순으로 나타났다. 본 연구의 성과는 공사 중 발생하는 소음·진동을 효율적으로 관리하여 환경분쟁 및 민원을 사전에 예방하고, 성공적인 건설사업을 위해 유익하게 활용될 것으로 기대된다.

키워드 : 설계단계, 소음·진동, 관리항목, AHP(Analytic Hierarchy Process), 체크리스트

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설사업은 인간이 편리한 삶을 영위하는데 필수적인 사업이지만, 건설과정에서 생태계 파괴, 소음·진동, 수질오염, 대기오염 등 환경문제를 발생시킨다. 건설과정에서 발생하는 환경분쟁 및 민원은 건설현장에서 꾸준히 증가하고 있고, 환경분쟁을 해결하는 것은 성공적인 건설사업을 위해 필수적이다. 현재, 건설과정으로 인한 소음·진동, 대기오염, 수질오염 등에 대한 환경분쟁은 매년 증가하고 있는 추세이다. 중앙환경분쟁조정위원회는 1991년 7월부터 2009년 5월까지 총 2,500건의 민원을 접수

하여 2,086건을 처리하였다. 이 중 소음·진동으로 인한 피해가 1,790건(86%)으로, 환경관리에 있어서 소음·진동이 가장 중요하다는 것을 알 수 있다. 건설사업 초기단계인 설계단계는 프로젝트 진행 중에 기울이는 노력보다 훨씬 파급효과가 크며, 전체 프로젝트 단계 중 가장 높은 영향력을 나타낸다(Kaplan and Norton 1992). 결과적으로 설계단계에서 환경문제를 줄이기 위한 노력은 시공단계에서 발생할 수 있는 환경문제를 사전에 방지함으로써 프로젝트의 성공가능성을 높일 수 있다. 설계자들의 공사 중 소음·진동 관리현황을 파악하기 위해 설문조사를 한 결과 공사 중 발생하는 소음·진동 관리는 설계단계에서 거의 반영되지 않고 있었다(오경택 외 2인 2009). 본 논문의 목적은

* 일반회원, 인천대학교 일반대학원, oktaxii@nate.com

** 일반회원, 인천대학교 일반대학원, jmahn@incheon.ac.kr

*** 일반회원, 인천대학교 일반대학원, jsjeong11@hanmail.net

**** 일반회원, 한국건설기술연구원 건설정보연구실 팀장, 공학박사, jis@kict.re.kr

***** 종신회원, 인천대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자), cslee@incheon.ac.kr

시공단계에서 발생할 수 있는 공사 중 소음·진동을 효과적으로 관리하기 위해 설계단계에서 관리해야 할 소음·진동의 관리항목을 도출하고, 설계자들이 활용하기에 적합한 평가시트와 매뉴얼을 제시하는 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 설계자 관점에서 고려해야 하는 공사 중 소음·진동 저감을 대상으로 하였으며, 경제성 등 다른 외부요인을 고려하지 않았다.

다음과 같은 절차와 방법으로 연구를 진행하였다.

(1) 연구문헌을 통해 소음·진동에 관한 이론적 고찰을 실시한다.

(2) 설계단계에서 고려해야 할 공사 중 소음·진동의 관리항목을 식별하고, 환경전문가의 면담을 통해 관리항목의 적정성을 검증한다.

(3) AHP기법 적용을 위해 설계사무소, 건설사, 환경관련연구원 등 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하고 관리항목별 중요도를 산출한다.

(4) 설계자들이 설계단계에서 직접 사용할 수 있는 소음·진동 관리 평가시트와 매뉴얼을 제시한다.

2. 이론적 고찰

2.1 소음·진동의 기초 이론

2.1.1 소음·진동의 정의

소음이란 기계·기구·시설, 그 밖의 물체의 사용으로 인하여 발생하는 강한 소리를 말하고, 진동이란 기계·기구·시설, 그 밖의 물체의 사용으로 인하여 발생하는 강한 흔들림을 말한다.¹⁾

2.1.2 건설소음·진동의 영향 및 특성²⁾

최근 각종 진동원에 노출되는 정도와 시간이 증가 추세에 있기 때문에 소음·진동에 의해 인체에 영향을 미치는 문제가 심각해지고 있다. 심리적 영향으로는 주의력저하와 수면 및 작업 방해 등이 있다. 생리적 영향으로는 혈압상승, 호흡증가, 신진대사의 기능저하 등이 있고 신체적 영향으로는 일시적 청력손실과 영구적 청력손실 등이 있다. 건설소음·진동은 공장소음, 도로 교통소음, 철도소음 및 항공기소음 등과는 달리 건설공사의 기간 내에서만 발생한다. 이는 서로 다른 음색을 갖는 복합된 소음이며, 충격소음을 포함하는 경우가 많다. 건설공사에서는 여러 종류의 건설기계가 투입됨에 따라 소음·진동이 다양하게 변화

고, 음원의 위치가 고정되어 있지 않아 소음의 영향권이 더욱 넓어지는 경향이 있다.

2.2 관련 법령과 분쟁조정사례 검토

2.2.1 관련 법령 검토

환경법은 단일법인 환경보전법에서 1991년에 복수법체제로 전환하면서 환경정책기본법과 대기환경보전법, 수질및수생태계보전에관한법률, 토양환경보전법 등의 환경요소별 개별법으로 법체계가 개편되었다. 환경부 소관의 관련 법령으로는 소음·진동분야의 개별법인 소음·진동규제법과 환경영향평가법이 있다. 본 논문은 직접 규제법인 소음·진동규제법을 중심으로 분석하였다. 소음·진동규제법에서는 공장·건설공사장·도로·철도 등으로부터 발생하는 소음·진동으로 인한 피해를 방지하고 소음·진동을 적정하게 관리·규제하기위해 공장 소음·진동, 생활 소음·진동, 교통 소음·진동 및 항공기 소음에 대해 규정하고 있다. 주요 규제사항³⁾은 표 1, 표 2와 같다.

표 1. 생활소음 규제기준

(단위 : dB(A))

대상 지역	소음원	시간대별		
		아침, 저녁 (05:00~07:00, 18:00~22:00)	주간 (07:00~ 18:00)	야간 (22:00~ 05:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구 등	공사장	60 이하	65 이하	50 이하
그 밖의 지역	공사장	65 이하	70 이하	50 이하

표 2. 생활진동 규제기준

(단위 : dB(V))

대상 지역	시간대별	주간	
		(06:00~22:00)	심야 (22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구 등		65 이하	60 이하
그 밖의 지역		70 이하	65 이하

생활 소음·진동 규제기준은 2009년 1월 개정되었으며, 개정된 규제기준을 살펴보면, 아침, 주간 시간대별 기준이 각각 기존 05:00~08:00, 08:00~18:00에서 05:00~07:00, 07:00~18:00로 변경되었고, 공사장의 소음·진동 배출허용기준이 시간대별로 5dB 씩 낮아져 공사장에서의 규제기준이 강화되었다는 것을 알 수 있다.

2.2.2 분쟁조정사례 현황파악

중앙환경분쟁조정위원회(2009)는 1991년 7월19일부터 2009년 5월30일까지 환경관련 환경분쟁 및 민원을 총 2,500건 접수

1) 소음·진동규제법 제2조(정의)

2) 김재수, 건설소음·진동 실무론, 2007

3) 소음·진동규제법시행규칙 별표8

하여, 2,086건을 처리하였으며, 오염분야별 분쟁현황을 살펴보면 그림 1과 같다.

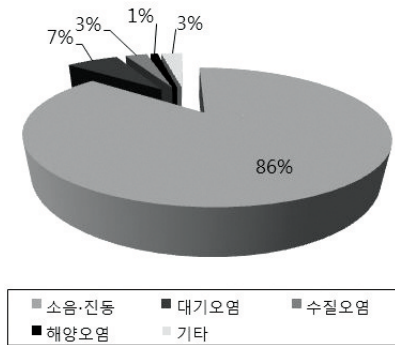


그림 1. 오염분야별 환경분쟁 조정현황

그림 1에서와 같이 소음·진동분야가 전체 2,086건중 1,790건(86%)으로 가장 많았고 대기오염 147건(7%), 수질오염 65건(3%)으로 나타났다. 이를 통해 국내에서 발생하는 환경 분쟁원인으로 가장 많은 부분을 차지하는 것이 소음·진동분야라는 것을 알 수 있다. 발생원별로 분석한 결과, 전체민원 중 생활소음이 차지하는 부분이 42,458건(94.8%)으로 가장 많은 부분을 차지하였고, 생활소음을 주요 원인별로 살펴보면 도심지역에서의 아파트재건축 등으로 인한 공사장 소음민원이 29,651건(66.2%), 사업장 6,716건(15%), 화성기 2,692(6%), 이동소음 631건(1.4%), 기타 2,768건(6.2%) 순으로 나타났다(환경부, 2009). 따라서 소음·진동 관련 민원의 대부분은 건설공사 현장에서 발생하는 소음·진동이라는 것을 알 수 있다(그림 2 참조).

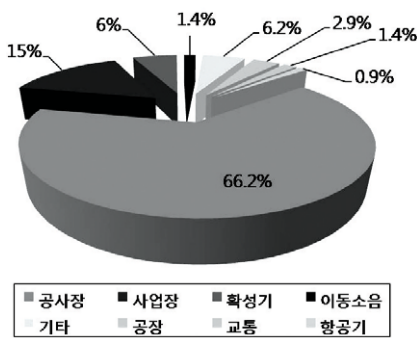


그림 2. 생활소음 발생원별 민원발생 현황

2.3 선행 연구 고찰

2.3.1 국내 연구동향

인천대학교(2009)는 건설사업에 영향을 미치는 환경관련 법규와 규제 내용을 사전에 확인하여 환경성을 제고할 수 있는 체크리스트와 매뉴얼 개발 및 이를 지원하기 위한 웹기반 시스템을

을 개발하였다.

환경부(2006)는 건설공사 시 발생하는 소음과 진동 문제에 관한 다양한 지식들을 체계적으로 정리하여 환경에 대한 요구에 대응할 수 있는 효율적인 자료를 제공하였다.

박현수 등(2007)은 택지개발사업을 수립·시행함에 있어 지구 지정단계, 기본 및 실시설계단계, 공사단계, 유지관리단계로 구분하여, 생활환경측면의 대기질, 수질, 토양, 소음·진동, 폐기물 분야에 대한 환경을 고려할 수 있는 관리항목을 제시하였다.

고광일 등(2004)은 소음·진동 관련 기존 연구문헌 및 법령을 정리·분석하여 건설사업과 관련된 관리항목을 도출하였다. 사전환경성검토·환경영향평가 항목과 분쟁조정제에 관한 통계자료를 검토·분석하여 건설사업의 추진단계별 소음·진동 관리방안을 제시하였지만, 이론적인 연구에 국한되어있고, 설계자들에게 유용한 평가시트 및 매뉴얼 개발에 관련한 연구는 다루지 않고 있다.

2.3.2 국외 연구동향

Creed S. J. Eom(2009)은 환경관리전략시스템, 현장프로젝트평가시스템, 환경모니터링시스템으로 구성된 리스크지표에 기초하여 환경분쟁을 해결하기 위해 건설현장에서 일반 도급자들을 위한 환경리스크지표를 개발하였다.

Erich Thalheimer(2000)은 소음관리 프로그램을 이용함으로써 건설공사 시 발생하는 소음으로 인해 인접 지역으로 주는 피해를 최소화하여 이로 인한 비용의 절감이 지역주민과 업체 모두에게 이득이 되었다고 말하였다.

Zhen Chen(2000)은 중국 도시계획에서의 문제점을 평가하거나 조절하기 위한 질적인 접근과 건설오염지수(CPD)를 산출하기 위한 방법을 제시함으로써 오염 혹은 위험들의 환경관리에 대한 체계적인 접근을 보여주었다.

선행연구는 대부분 이론적인 연구에 집중되어 있고, 실무자에게 필요한 관리항목과 구체적인 지침에 관련한 연구는 미흡한 실정이다. 또한, 환경분쟁 및 민원의 수를 감소시키기 위해 대부분 건설사업단계 중 시공단계에서의 관리방안을 제시하고 있지만 이는 계속적으로 늘어나고 있다. 따라서 시공이전단계인 설계단계에서 관리할 수 있는 공사 중 소음·진동의 관리방안을 제시하는 연구가 필요하다.

2.4 설계단계의 소음·진동 관리인식 및 문제점

현재 건설공사의 환경관리에 대한 인식과 필요성이 점차 증대되는 추세이지만, 국내에서 이루어지고 있는 설계단계에서의 소음·진동 관리는 대부분 입주 후 발생하는 층간·벽간 소음관리를

에 국한되어 있는 실정이다. 또한 설계단계에서의 공사 중 발생하는 소음·진동 관리를 위하여 저소음·저진동 공법을 제안하지만 발주처와 협의단계에서 경제성 등의 이유로 반영이 제대로 안 되고 있다. 턴키공사 또는 BTL 사업과 같이 설계사와 시공사의 협력으로 이루어지는 프로젝트에 한하여 공사 중 소음·진동 관리가 수행되고 있지만, 이는 극히 일부이며, 소규모 건설사업은 전혀 이루어지고 있지 않다.

현재 설계단계에서 이루어지고 있는 공사 중 소음·진동 관리는 중요성에 비해 소홀히 다루지고 있고, 지속적으로 발생하는 환경분쟁 및 민원을 저감하기 위해서는 설계단계부터 체계적으로 관리되어야 할 것이다.

3. 설계단계의 소음·진동 관리항목 분석

3.1 관리항목 식별

본 절에서는 설계단계에서의 소음·진동 관리항목들을 도출하기 위해 기존연구문헌을 검토하였다. 기존 연구들은 소음·진동 관리를 설계단계로 한정하지 않고 건설사업 전(全)단계를 적용하여 소음·진동 관리방안을 제시하고 있어, 본 논문에서는 설계단계로 한정하여 관련 문헌을 검토·분석하였다. 설계단계에서 공사 중 소음·진동 관리가 선행된다면 소음·진동의 환경분쟁 및 민원발생을 효과적으로 저감할 수 있을 것이다. 표 3은 앞서 기술한 문헌들을 검토 및 분석하고 식별한 내용을 정리하여 나타낸 것이다(안정민 외 3인, 2009).

3.2 관리항목 도출

기존 연구문헌을 검토·분석하여 1차로 식별된 24개의 항목들 중 서로 연관되고 통합될 수 있는 11개 항목을 2차로 식별하였고, 2009년 5월 18일부터 2009년 5월 22일까지 환경관련전문가 6명과 개별면담을 실시하여 최종 9개 항목을 도출하였다. 최종 소음·진동 관리항목은 각각 다음과 같은 항목들을 포함하였다. ‘저소음·저진동 공법선정’은 주변현황을 고려한 저감대책, ‘발파공사에 의한 소음·진동 저감방안’은 발파공사로 인한 건축물의 균열발생 및 주민들의 정신적 피해 저감, ‘건설기계의 소음·진동 저감방안’은 건설기계 자체의 개선 또는 방음커버의 적용 등 건설기계로 인한 소음·진동발생에 대한 대책을 포함하였다. 또한 ‘공사공정별 소음·진동 저감방안’은 공사 시 발생하는 소음·진동에 대한 저감대책, ‘소음·진동 방지시설 설치

및 배치계획’은 전달경로상의 차단방법으로 방음·방진시설의 설치고려, ‘인접건축물 상향조사’는 공사장 주변영향 예측 및 사전조사실시를 포함하였다. ‘소음·진동 레벨예측’은 소음·진동의 규제기준 준수여부 확인, ‘지역주민 협력체계 구축’은 지역주민과 발주자 사이의 협의 및 의견교환, ‘환경관리 조직계획’은 환경담당 관리자 지정 등을 포함하였다.

표 3. 설계단계의 소음·진동 관련문헌 검토·분석

구분	내용
박현수 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 운영 시 저감대책 <ul style="list-style-type: none"> · 방지시설 및 공동방지시설의 설치 · 방음·방진시설의 설치 ■ 공사 시 저감대책 <ul style="list-style-type: none"> · 규제기준 만족 가능여부 확인 · 주변에 미치는 영향 예측 및 최소화 · 공법·기계의 선정 · 작업공정 및 작업시간의 결정 · 소음·진동이 되는 건설기계의 적정배치 · 운반로 설정 · 발파공사에 대한 대책 · 방음·방진시설의 설치 고려
고광일 (2004)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 운영 시 소음·진동에 대한 저감대책 수립 <ul style="list-style-type: none"> · 방지시설 및 공동방지시설의 설치 · 방음·방진시설의 설치 ■ 공사 시 소음·진동에 대한 저감대책 수립 <ul style="list-style-type: none"> · 규제기준 만족 가능여부 확인 · 저소음·저진동 공법·장비의 선정 · 작업공정 및 작업시간의 결정 · 건설기계의 적정배치 · 운반로 설정 · 발파공사에 대한 대책 · 방음·방진시설의 설치 ■ 민원대책의 수립 <ul style="list-style-type: none"> · 지역주민과 협의 · 사전조사
공사장 소음·진동 관리지침서 (2006)	<ul style="list-style-type: none"> · 건설기계 및 공법의 선정 · 소음·진동원 파악 · 전달경로 검토 · 목표점의 소음·진동레벨 예측 · 저소음·저진동 건설기계의 선정 · 전달경로상의 차단방법 검토
환경분쟁 조정사례집 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> · 발파진동으로 인한 건축물 균열발생 · 아파트 진도충격으로 인한 소음·진동 및 장비사용으로 인한 주·야간 소음·진동 발생 · 발파작업으로 인한 가옥의 균열발생 · 방음시설 미설치로 인한 소음·진동 발생 · 공사 장비 및 야간작업에 의한 주민들의 정신적 피해발생 · 공사장 진동으로 지반이 침하하여 주택의 균열발생
건설 소음·진동 실무론 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> · 공사장 진입으로 인해 발생하는 기계소음 · 발파작업 시 발생하는 발파소음과 지반진동음 · 기초공사에 사용되는 횡타기 소음·진동 · 작업준비를 위한 건설기계의 공회전으로 인한 소음현황 · 환경담당 관리자 지정 · 주변주민 및 발주자와의 의견교환

그림 3은 관리항목의 도출과정을 나타낸 것이다.

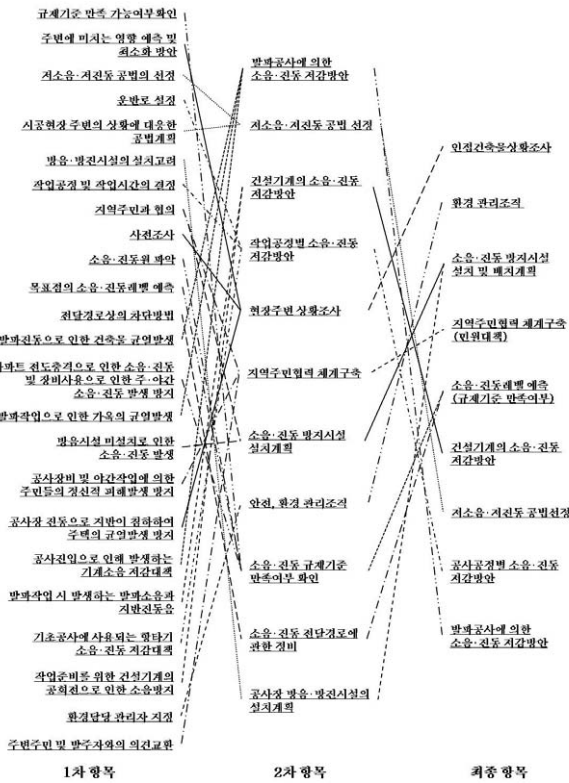


그림 3. 소음·진동 관리항목 도출과정

표 4는 전문가 면담을 통해 확정된 9개의 관리항목을 분석한 것이다.

표 4. 관리항목별 분석 내용

관리항목	내용
인접 건축물 상황조사	· 공사 중 소음·진동으로 인하여 인접 건축물에 직접적인 피해가 생기므로 상시적으로 인접 건축물의 피해상황을 파악해야 함.
환경 관리조직	· 공사 중 소음·진동 저감을 위해 환경관리 조직을 구성하여 보다 적극적으로 대처해야 할 필요가 있음.
소음·진동 방지시설 설치 및 배치계획	· 실제 공사현장에서 중요하게 고려되고 있는 항목으로, 사전에 소음·진동 방지시설을 설치 및 배치하여 1차적으로 공사 중 소음·진동을 저감해야 함.
지역주민 협력체계 구축 (민원대책)	· 공사 중 소음·진동 관련 민원이 해마다 증가 추세이므로 지역주민과의 협력체계를 구축하여 민원을 사전에 방지하려는 적극적인 노력이 필요함.
소음·진동 레벨예측 (규제기준 만족여부)	· 공사 중 소음·진동의 발생 정도를 체크하여 규제기준의 만족 여부를 확인하고 추후 공정에 반영해야 함.
건설기계의 소음·진동 저감방안	· 실제 현장에서 사용되는 건설기계들은 대부분 노후화되어 소음·진동을 발생시키므로 이에 대한 대책이 필요함.
저소음·저진동 공법선정	· 시공현장 주변의 상황에 맞는 공법선정이 중요하며 가장 뚜렷한 저감효과를 기대할 수 있음.
공사공정별 소음·진동 저감방안	· 공정별로 소음·진동정도가 상이하므로 이에 대한 공정별 저감대책이 수립되어야 함.
발파공사에 의한 소음·진동 저감방안	· 가장 큰 순간 소음과 진동이 발생하여 많은 민원이 발생하는 부분이므로 이에 대한 적절한 소음·진동 저감대책이 필요함.

4. 설문조사 및 AHP분석

4.1 설문조사

설문은 관리항목의 가중치를 산정하기 위해 실시되었고, 공사 중 소음·진동에 대한 기본적인 지식이 없는 경우 관리항목에 대한 정확한 결과를 얻기 어렵기 때문에 소음·진동 관련 전문가를 대상으로 실시하였다. 6명의 전문가에게 각각 1부씩을 발송하였고, 6부를 회수하였다. 설문 대상자 관련사항은 표 5와 같다.

표 5. 설문조사 대상

조사기간	2009. 6. 17 ~ 2009. 6. 28
성별	남(5명), 여(1명)
연령	36세 ~ 40세(2명), 41 ~ 45세(4명)
직업	설계사무소(2명), 건설사(2명), 환경전문가(2명)
근무기간	11 ~ 15년(2명), 15 ~ 20년(4명)

설문은 평가방법의 이해를 돕기 위해 사전 설명을 실시하였으며 쌍대비교를 통한 9점 척도 방식으로 실시하였다.

4.2 AHP 분석

AHP(Analytic Hierarchy Process)는 의사결정을 위한 기법의 하나로써 주관적인 판단기준을 보다 객관적, 정량적, 합리적으로 결정하기 위해 사용된다. 주요 요소는 그림 4와 같이 목적과 관리항목으로 구성된다. 최상위 단계(Level 0)는 설계단계에서 공사 중 소음·진동을 효율적으로 관리하는 것이다. 두 번째 단계(Level 1)는 소음·진동원 대책, 전파경로 대책과 주변현황 파악을 포함한다. 세 번째 단계(Level 2)는 공사 중 소음·진동을 최소화하기 위해 검토해야 할 관리항목들로 분류된다.

4.2.1 응답결과 및 중요도 산출

공사 중 소음·진동에 대한 관리항목의 중요도를 산정하고, 설문 결과에 대한 일관성을 검증하기 위하여 쌍대비교 행렬을 작성하였다. 주요 요인과 세부 요인들에 대한 개별비교를 통해 중요도를 결정하였다.

AHP를 이용한 쌍대비교 Matrix의 설문결과가 일관성이 있음을 증명하기 위하여 일관성 평가를 실시하였다. 일관성 비율(Consistency Rate, CR)은 일관성 지수(Consistency Index, CI)를 경험적으로 얻어진 평균무작위지수(Random Index, RI)로 나눈 값이다. 일관성 비율의 값이 10%이내일 경우 신뢰할 수 있는 결과임을 증명할 수 있다.

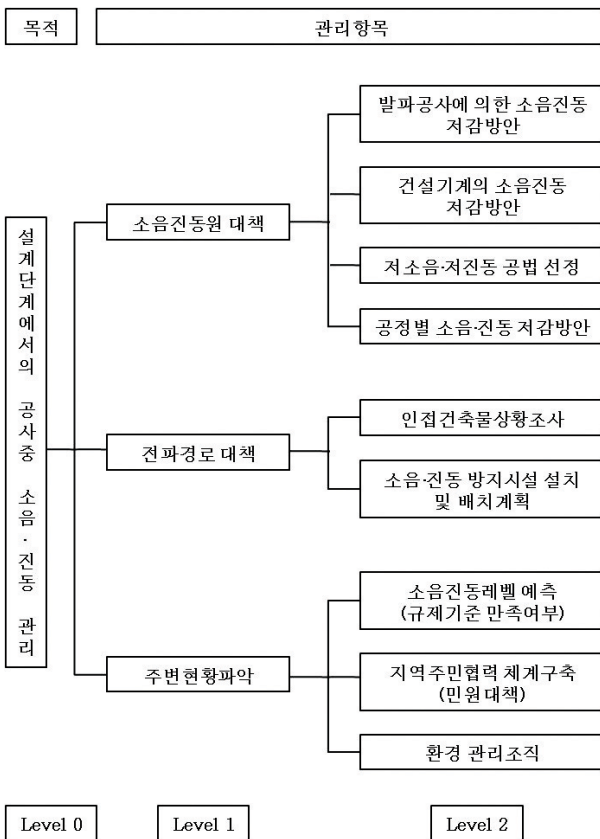


그림 4. 공사 중 소음·진동 관리항목 AHP 계층도

본 연구의 계층별 쌍대비교 Matrix는 일관성 비율(CR)이 0.1 이하로 유의하게 나왔다. 따라서 본 연구를 통하여 나온 중요도는 신뢰할 수 있다고 할 수 있다. 설문결과를 통하여 각 항목별 중요도를 계산하였으며, Level 1과 Level 2의 중요도를 산정한 결과는 표 6과 같다.

표 6. Level 1과 Level 2의 중요도

Level 1	중요도	Code	Level 2	중요도
소음·진동원 대책 (A)	0.696	A01	저소음·저진동 공법선정	0.529
		A02	발파공사에 의한 소음·진동 저감방안	0.165
		A03	건설기계의 소음·진동 저감방안	0.157
		A04	공사공중별 소음·진동 저감방안	0.149
전파경로 대책 (B)	0.1433	B01	소음·진동방지시설 설치 및 배치계획	0.773
		B02	인접 건축물 상황조사	0.227
주변현황 파악 (C)	0.161	C01	소음·진동 레벨예측(규제기준 만족여부)	0.48
		C02	지역주민 협력체계 구축(민원대책)	0.286
		C03	환경관리 조직계획	0.234

4.2.2 최종 중요도 산정

표 7은 Level 1과 Level 2에서 산정된 중요도를 전체적으로 종합한 항목별 전체 중요도와 중요도에 따른 우선순위를 나타낸다. 그림 5는 소음·진동 관리항목별 우선순위를 비교한 것이다.

표 7. 항목별 전체 중요도 및 우선순위

Level 1	Code	Level 2	전체 중요도	우선 순위
소음·진동원 대책 (A)	A01	저소음·저진동 공법선정	0.368	1
	A02	발파공사에 의한 소음·진동 저감방안	0.115	2
	A03	건설기계의 소음·진동 저감방안	0.109	4
	A04	공사공중별 소음·진동 저감방안	0.104	5
전파경로 대책 (B)	B01	소음·진동방지시설 설치 및 배치계획	0.111	3
	B02	인접 건축물 상황조사	0.033	9
주변현황 파악 (C)	C01	소음·진동 레벨예측(규제기준 만족여부)	0.077	6
	C02	지역주민 협력체계 구축(민원대책)	0.046	7
	C03	환경관리 조직계획	0.037	8

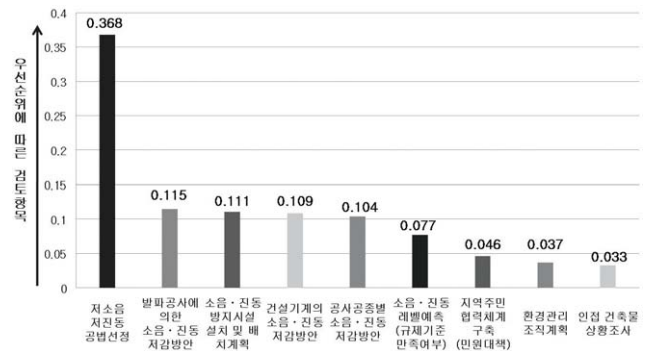


그림 5. 소음·진동 관리항목별 우선순위 비교

항목별 우선순위를 살펴보면 공사 중 소음·진동을 관리하는데 가장 높은 중요도를 가진 항목은 저소음·저진동 공법선정이었고, 발파공사에 의한 소음·진동 저감방안과 소음·진동방지시설 설치 및 배치계획 순으로 나타났다.

5. 관리항목의 활용방안

5.1 평가시트

평가점수(Evaluation Score)는 설계자가 평가시트를 작성하여 산출되는 값을 의미하며, 본 논문에서 제시한 평가시트는 1-10점 척도로 평가된다. 높은 점수는 소음·진동 관리의 중요성이 크다는 것을 의미한다. 평가점수는 관리항목의 표준화된 점수이고, 각 요인의 중요도를 곱함으로써 산출된다. 총 평가점수(Total Evaluation Score)는 다음 식(1)에 의해 계산된다.

$$\text{Total ES} = \sum_{i=1}^n w_i L_i \dots \dots \dots (1)$$

i =관리항목의 수, w =중요도, L =리커트척도

평가시트의 결과는 공사 중 소음·진동 관리가 잘 수행되는지에 대한 측정과 지표로써 사용될 수 있다. 예를 들어, A 프로젝트

가 B 프로젝트보다 더 높은 총 평가점수를 가진다면, A 프로젝트에서의 공사 중 소음·진동 관리가 더 잘 이루어졌다고 평가할 수 있다. 표 8은 본 논문에서 제시한 평가시트를 나타낸 것이다.

표 8. 평가시트

Code	중요도 (w)	리커트척도(LS)										평가점수 (ES)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A01	0.368											
A02	0.115											
A03	0.109											
A04	0.104											
B01	0.111											
B02	0.033											
C01	0.077											
C02	0.046											
C03	0.037											
총 평가점수(Total ES)												

하지만 총 평가점수의 기준이 없어 점수만으로 평가하기엔 그 한계가 있다.

향후 평가점수의 기준은 프로젝트 특성별, 위치별 상황별로 평가항목을 재분류하여 평가점수에 따른 기준이 제시되어야 할 것이다.

5.2 매뉴얼

문헌 및 법령을 분석하여 공사 중 소음·진동 관리항목의 매뉴얼을 작성하였고, 다양한 유형의 건설사업에 사용될 수 있는 지침서의 형태로 제시하였다. 매뉴얼의 구성은 표 9와 같다.

표 9. 매뉴얼 구성 및 내용

구 성	내 용
용어정의	· 설계자에게 다소 어렵다고 판단되는 전문 용어를 알기 쉽게 풀이함으로써 관련 내용에 대한 이해 및 활용 증진
관련법령	· 관리항목과 관련된 법, 시행령, 시행규칙 및 고시, 지침 등을 명시함으로써 실제 사업 수행 중 준수해야 하는 기본적인 사항 반영
기준 및 참고사항	· 관리항목과 관련된 사항을 보충 기술함으로써 세부사항에 대한 이해 증진

표 10은 '소음·진동원 대책'의 발파공사에 의한 소음·진동 저감방안에 관한 매뉴얼을 나타낸 것이다.

6. 결론

현재 건설과정에서 발생하는 소음·진동으로 인한 환경분쟁 및 민원은 건설현장에서 꾸준히 증가하고 있다. 본 연구의 목적은 설계단계에서 설계자들이 고려해야 할 공사 중 소음·진동의 관리항목을 제시하고 평가시트 및 매뉴얼을 제시하는 것이다.

연구결과는 다음과 같다.

표 10. 발파공사에 의한 소음·진동 저감방안 매뉴얼

Code	구성	내용													
A02	용어정의	· 발파: 광산·탄광·토목공사장 등에서 물체를 파괴하는 것을 일컫는 말이다. 콘크리트 구조물의 폭파도 있으나, 광산·채석장 등에서 암석을 파괴하기 위해서 실시하는 발파가 가장 많고 규모도 크다. : :													
	관련법령	· 소음진동규제법 제25조 폭약의 사용으로 인한 소음·진동의 방지 특별차지도지사 또는 시장·군수·구청장은 폭약의 사용으로 인한 소음·진동피해를 방지할 필요가 있다고 인정하면 지방경찰청장에게 「총포·도검·화약류 등 단속법」에 따라 폭약을 사용하는 자에게 그 사용의 규제에 필요한 조치를 하여 줄 것을 요청할 수 있다. 이 경우 지방경찰청장은 특별한 사유가 없으면 그 요청에 따라야 한다. (개정 2009.6.9) : :													
	기준 및 참고사항	발파 진동 규제기준 설정 국내의 자료 및 노동부 고시 제 94-26호의 발파작업 표준안전 작업지침을 적용할 때 사업지구 인근 주거지역건물의 경우 실금이 나타나 있는 정도의 아파트, 주택의 진동안전 기준인 0.5kine(cm/sec)적용이 적합한 것으로 판단되나, 안전율(40%)을 고려하고 환경분쟁조정위원회의 피해안전기준을 고려하여 0.2kine(cm/sec), 축사시설은 한국토지공사 시방기준에 의거 0.09cm/sec를 적용하여 비교·평가한다. (지반의 진동속도와 인체의 반응) <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>인체의 반응</th> <th>지반의 진동 속도(cm/sec)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>대단히 예민한 사람만 감지</td> <td>0.01 ~ 0.05</td> </tr> <tr> <td>느낄수 있을 정도</td> <td>0.20 ~ 0.50</td> </tr> <tr> <td>뚜렷이 느낌</td> <td>0.50 ~ 0.95</td> </tr> <tr> <td>불쾌감을 가짐</td> <td>0.95 ~ 2.00</td> </tr> <tr> <td>고통을 느낌</td> <td>2.00 ~ 3.25</td> </tr> <tr> <td>도저히 참을 수 없음</td> <td>3.25 ~ 5.00</td> </tr> </tbody> </table> 자료: 터널공사 표준안전작업지침(노동부고시 94-25), 발파작업 표준안전작업일지(노동부고시 94-26호)	인체의 반응	지반의 진동 속도(cm/sec)	대단히 예민한 사람만 감지	0.01 ~ 0.05	느낄수 있을 정도	0.20 ~ 0.50	뚜렷이 느낌	0.50 ~ 0.95	불쾌감을 가짐	0.95 ~ 2.00	고통을 느낌	2.00 ~ 3.25	도저히 참을 수 없음
인체의 반응	지반의 진동 속도(cm/sec)														
대단히 예민한 사람만 감지	0.01 ~ 0.05														
느낄수 있을 정도	0.20 ~ 0.50														
뚜렷이 느낌	0.50 ~ 0.95														
불쾌감을 가짐	0.95 ~ 2.00														
고통을 느낌	2.00 ~ 3.25														
도저히 참을 수 없음	3.25 ~ 5.00														

1) 제시한 공사 중 소음·진동 관리항목은 '소음·진동원 대책'의 저소음·저진동 공법선정, 발파공사에 의한 소음·진동 저감방안, 건설기계의 소음·진동 저감방안, 공사공정별 소음·진동 저감방안과 '전파경로 대책'의 소음·진동 방지시설 설치 및 배치계획, 인접건축물 상황조사와 '주변현황 파악'의 소음·진동 레벨예측, 지역주민 협력체계 구축, 환경관리 조직계획이다.

2) 관리항목의 중요도를 살펴보면 A01(저소음·저진동 공법선정)과 A02(발파공사에 의한 소음·진동 저감방안)가 가장 높은 중요도를 가졌다. 가장 낮은 중요도를 가진 항목은 C03(환경관리조직계획)과 B02(인접건축물 상황조사)로 나타났다.

3) 매뉴얼은 용어정의, 관련법령, 기준 및 참고사항으로 구성되며, 설계자가 알기 쉽게 풀이함으로써 관리항목의 내용을 정확히 인지하고 제시된 평가시트를 사용할 수 있다. 평가시트는 설계자가 스스로 평가하여 확인할 수 있다.

향후 관리항목은 건설프로젝트 특성별로 재식별되어야 하며 건설규모, 위치, 인접상황에 따라 항목의 가중치를 재산정하는 연구가 진행되어야 한다. 또한 본 논문에서는 항목 중 1개 항목의

매뉴얼을 제시하였지만 추후에 9개 항목의 매뉴얼을 제시하는 추가적인 연구가 이루어져야 한다. 본 논문의 한계는 평가점수의 기준 예를 제시하였지만 평가시트의 지속적인 사례적용을 통해 건설프로젝트 특성에 맞는 평가기준이 제시되어야 할 것이다.

Construction Engineering and Management, ASCE, vol, 126, No 4, pp. 320-324

논문제출일: 2009.10.30

논문심사일: 2009.11.06

심사완료일: 2010.02.22

참고문헌

김재수 (2007), “건설 소음·진동 실무론”, 기문당

고광일·김인호·서상욱·이찬식 (2004), “건설사업의 소음·진동 관리방안에 관한 연구”, 한국건설관리학회논문집, 한국건설관리학회, 제5권 제6호, pp. 110-117

박현수·정인수·이찬식 (2007), “환경친화적 택지개발사업을 위한 관리항목에 관한 연구”, 대한건축학회논문집(구조계), 대한건축학회, 제23권 제12호, pp. 157-164

안정민·정재수·정인수·이찬식 (2009), “설계단계에서 고려해야 할 공사 중 소음·진동 관리항목”, 한국건설관리학회, 추계학술발표대회

오경택·정인수·이찬식 (2009), “설계단계에서의 공사 중 소음·진동관리 실태조사”, 한국환경영향평가학회, 추계학술발표대회

인천대학교 (2009), “환경친화적 건설사업관리 시스템 개발”, 과학재단

중앙환경분쟁조정위원회 (2007). “환경분쟁조정사례집(제16집)”

중앙환경분쟁조정위원회 (2009). “환경분쟁 조정현황”

환경부 (2009). “2008년 소음·진동관리시책 시·도별 추진실적 평가”

환경부 (2006). “공사장 소음·진동 관리지침서”

Creed S. J. (2009), “Risk Index Model for Minimizing Environmental Disputes in Construction”, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 135, No. 1, pp. 34-41

Erich Thalheimer (2001), “Proactive and Reactive Construction Noise Control Strategy at the Central Artery/Tunnel Project”, Journal of Construction and Materials Issues, pp. 87-95

Robert S. Kaplan and David P. Norton (1992), “The Balanced Scorecard—Measures That Drive Performance”, Harvard Business Review, Jan-Feb, pp. 71-99

Zhen Chen (2000), “Environmental Management of Urban Construction Projects in China”, Journal of

Abstract

Although the environmental conflicts regarding noise and vibration are continually increasing during construction, noise and vibration occurring in construction are only managed in construction phase. Noise and Vibration occurring in construction are considered to be insufficient, so we find that noise and vibration management in design phase has to be operated for reducing. The objective of this paper is to present noise and vibration management lists to consider in design phase for enhancing efficiency in noise and vibration management and to develop the appraisal sheets for designers to evaluate and the manuals to easily use management lists. To achieve this, we identify the noise and vibration management lists to consider in design phase through analyzing the previous literatures and confirm the 9 lists through conducting a research with experts in environmental area for verifying the propriety of lists. Also, this study applies to AHP technique to identify the priority and the weight evaluation among the lists. Through this study, we identify the most efficient lists, including from the low noise and low vibration methods, the noise and vibration reduction by blasting works, the installment and the arrangement of noise and vibration control equipments, for noise and vibration management in design phase. The achievement of this study will help to prevent the environmental disputes and conflicts in advance and will consider utilizing for the successful construction project.

Keywords : *Design Phase, Noise and Vibration, Management Lists, AHP, Checklist*
