

교통하중에 인접한 콘크리트 건축물의 진동전달



전 호 민

1. 서 론

철도 및 도로교통은 전세계 여러나라에서 육상 운송수단으로 발달되어 왔으며, 국내에서도 이에 대한 의존도는 해안수송수단과 비교하여 대단히 크다고 할 수 있다. 철도에 대한 의존도는 점차 줄어들고 대신에 도로를 통한 운송수단이 도로보급율의 증가에 따라 크게 발전하였다. 특히 1970년대 초 경부고속도로의 개통에 뒤이은 수많은 고속도로의 시공, 국도 및 지방도로의 신설 등으로 인하여 도로교통에 대한 의존도는 더욱 심화되었다. 그러나 도로의 확충에 비하여 자동차의 증가는 폭발적으로 늘어나 도로의 체증이 나타나게 되었고 이에 대한 대체수단으로 고속철도의 부설이 제기되었으며 현재 시공중에 있다. 국내에서는 2000년대 초에 운행될 고속철도에 의해 차량과 철도에 의한 운송수단이 함께 발전할 단계에 이르렀다고 할 수 있다.

그러나 이와 함께 열차와 차량에 의해 발생하는 진동·소음문제가 생활수준이 향상됨에 따라 국민들이 적극적으로 대응하게 되면서 관심이 커지고 있다. 또한 철로와 도로주변에 신설되는 주

거지역 및 대단위 아파트 단지에서는 사전환경영향 평가시 진동 및 소음에 대한 영향을 주의 깊게 관찰하고 있으며 이에 대한 평가정도에 따라 주거지역에 대한 평가가 큰 영향을 받고 있다.

교통하중은 지반을 통해서 인접건물에 전달되며 최종적으로 건물에 미치는 영향이나 거주자가 느끼는 진동수준에는 교통하중의 가진특성, 지반 특성, 건물의 진동특성 등의 많은 변수가 있으며 건물의 동특성이 바뀌게 되는 것은 외부 가진원에 대한 동적응답이 변화하게 됨을 의미하기 때문에 대단히 중요한 변수라 할 수 있다.

진동문제의 중요한 특성중의 하나는 문제가 발생할 경우 사후대책이 어렵다는 것이다. 그러므로 철도진동에 있어서도 열차주행으로 인한 진동수준을 예측하는 것은 문제를 판단, 상징하고 대책을 수립해 나가는 과정에 있어서 필수적인 것이 된다.

국내에서는 교통하중이 작용하는 인접건물의 진동에 대한 평가는 근래에 들어 연구되기 시작하였으며 향후 건축될 신축예정건물에 대한 진동평가를 위해 필요한 예측프로그램에 대한 연구도 현재 이루어지고 있다. 본 기사에서는 이러한 진동

* 정회원 · 조당대학교 건축학과, 전임강사

예측프로그램 가운데 동강성행렬을 이용한 프로그램의 알고리즘과 이에 대한 검증실험에 대한 내용을 소개하고자 한다.

2. 연구동향

교통하중에 의한 진동에 관련된 연구는 어느 특정분야에 국한된 문제가 아니라 몇 개 분야에 걸친 복합적인 문제이며 이것은 일반적으로 진동원, 전달경로, 건물의 응답으로 분류된다. 따라서 교통진동의 전반적인 특성을 이해하기 위해서는 각 분야에 대한 종합적인 연구가 필요하지만 실제에 있어서는 각 분야별로 연구가 이루어지고 있는 경우가 많이 있다. 우선 진동원과 이에 따른 지반응답에 대한 연구방법으로는 실험적인 방법과 해석적인 방법으로 크게 분류가 된다. 실험적인 방법은 진동의 실측에서 구한 데이터를 회귀분석 등을 이용하여 하나의 모형식으로 제안하는 것이며 해석적인 방법은 교통하중의 진동원을 준정적하중, 조도하중으로 분류하여 가진원을 산정하여 진동전달을 연구하는 것이다. 건물의 응답에 대한 연구는 실험적인 방법, 유한요소해석법을 이용한 수치해석, 통계적 해석법을 이용해 이루어지고 있으며 본 기사에서는 건물의 진동전달에 대한 내용으로 국한하여 연구동향을 살펴보았다.

2.1 국외의 연구

1979년 Dawn과 Stanworth²⁴⁾는 주행하는 열차에 의하여 건물에 전달되는 진동은 지반의 탄성에 대한 특성, 건물 기초의 종류와 깊이, 건물의 설계와 시공, 그리고 건물내부의 가구 등의 배치 등에 따라 영향을 받는다고 하였다.

1995년 Y. Tanaka, M. Tonizawa, T. Matsumura와 T. Kobayashi¹⁴⁾는 교통진동을 받는 철골조 구조물에 대한 환경진동 평가에 관한 연구를 수행하였다. 같은 해 H. E. M. Hunt³⁰⁾는 열차진동으로 인한 인접건물의 진동을 예측하는데 적용할 수 있는 반무한 해석이론을 연구하여 제시하였다. 이와 관련하여 D. P. Cryer¹⁹⁾는 건물의 진동평가를 위해 동강성행렬을 이용한 모형화 기법을 제

안하였다. 동강성행렬을 이용한 기초와 구조물의 진동 연구는 Milos Novak²²⁾에 의해서 수행되었다.

1996년 Madhus, Bessason와 Harvik¹⁶⁾는 지반 상태, 열차의 종류, 선로의 상태 및 선로지반의 상태, 열차 속도, 궤도로부터 떨어진 건물까지의 거리, 건물 기초, 구조형식 및 바닥슬래브의 수 등에 의하여 건물진동에 영향을 준다고 하였다. 실제 실험을 실시하여 구한 자료를 이용하여 건물의 증폭계수를 제안하였다.

2.2 국내의 연구

도로교통과 열차하중을 진동원으로 하여 건물의 진동을 평가하는 연구는 국내에서 1994년 박보리 나라³⁾, 1995년 신효근⁵⁾등이 지하철의 진동특성과 구조물의 반응에 대해 연구하였다. 철도 인접건물에 대한 진동평가에 대한 연구는 1991년 이은길⁸⁾, 1997년 김유석¹⁾, 진호민³⁾ 등에 의해 연구가 수행되었으며, 1998년 홍갑표^{10,11)}, 진호민^{10,13)}, 윤현욱^{10,13)}은 철도 인접건물의 수직진동을 예측할 수 있는 증폭계수산정에 대한 연구, 지반의 진동전달식 산정에 관한 연구 및 진동예측모형에 관한 연구를 수행하였다.

3. 수직진동 예측프로그램

3.1 해석방법

구조물의 동적해석을 현재까지 FEM을 이용한 해석법, 동강성행렬을 이용한 해석법, 조합법을 이용한 해석법이 연구되었다. 이 가운데 본 기사에서는 동강성행렬을 이용한 해석방법에 대한 내용을 기술하였다. 다음은 각 연구방법에 대한 개요를 나타내었다.

3.1.1 FEM을 이용한 해석법

(1) 연구개요

- ① 가장 일반적이고 범용적인 해석 방법
- ② 대개 시스템을 지반과 기초, 암반, 상부구조물 등 여러 개의 부구조물로 나누어 해석한다.

(2) 장점

- ① 지반의 비균질성을 고려할 수 있다.
- ② 지반 혹은 상부 구조물에 대한 비선형 해석능력이 크다.
- ③ 각종 소프트웨어를 사용하기 쉽다.

(3) 단점

- ① 무한요소인 지반을 유한요소로 모델링해야 한다.
- ② 3차원 유한요소 해석시 해석시간이 오래 걸린다.
- ③ 지반의 방사감쇠를 모형화하는데 어려움이 있다. 지반을 광범위한 영역으로 이산화하거나 무반사 경계등을 만들어야 한다.

3.1.2 동강성행렬을 이용한 해석법

(1) 연구개요

- ① 반무한 이론을 적용하여 구조체를 모델링
- ② 구조물과 기초의 동강성행렬을 이용
- ③ 한 절점에 단위변위를 주어 가진하여 나머지 절점의 상대응답 측정
- ④ 기초파일의 하단부는 구속시킨 절점이며 상단부는 지반의 상호작용을 고려

(2) 특징

시간이력예의 응답을 구하는 것이 아니라 진동수영역에 대한 응답을 구함으로써 푸리에 변환이 필요하지 않다.

3.1.3 조합법을 이용한 해석법

(1) 연구개요

- ① 지반의 무한영역은 BEM을 적용하여 모델링하고 나머지 부분(기초, 상부구조 등)은 FEM을 적용하여 모델링한다.
- ② 다층매체는 균질매체와는 다른 거동을 보인다.
- ③ 강성 원형 기초가 아닌 연성 기초의 거동까지 고려해야 한다.

(2) 장점

- ① 방사조건이 기본해에 포함되어 있으므로 그 영향을 쉽게 해석에 포함시킬 수 있다.
- ② 지반과 기초사이의 접촉면에서 발생하는 응력과 변위를 쉽게 구할 수 있다.
- ③ 문제의 차원이 한 차원 줄어들고 실질적

인 3차원 해석이 가능하다.

(3) 단점

- ① 지반의 비균질성을 고려하기가 어렵다.
- ② 지반, 상부구조물의 비선형해석 능력이 떨어진다.

3.2 동강성행렬을 이용한 프로그램

본 기사에서는 D. P. Cryer에 의해서 제안된 2차원의 건물모형화 기법이론을 사용하였으며 이 모형화 기법은 건물을 동강성 행렬을 이용하여 보요소로 모형화하고 있다. 절점과 절점사이의 결합이나 행렬의 합성 부분은 매트릭스 구조해석의 개념을 이용하여 프로그램하였다.

진동수 1~200Hz 사이의 각각의 진동수에 대해 응답을 구하기 위해 200회 반복 실행하게 만들어졌으며 결과물은 (단위골조의 절점수×자유도의 수)×200의 배열 형태로 구해진다. 즉 열이 하나의 자유도에 대한 각각의 진동수에 대한 응답을 나타내며 행은 같은 진동수대의 각 자유도에 대한 응답을 나타낸다.

그림 1에 나타낸 예는 5층 건물에 19개의 절점과 19×3 즉 57개의 자유도를 가지고 있으며 기초를 고려한 모형이며 5번 자유도에 1의 변위를 주어 가진하여 5번 자유도에 대한 다른 절점의 상대변위를 구한다.

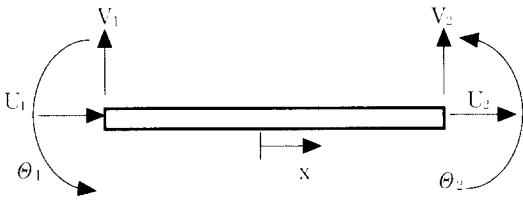
아래에 이 모형에 대한 유도 과정을 간략히 나타내었다.

46,47,48	49,50,51	52,53,54 5층
37,38,39	40,41,42	43,44,45 4층
28,29,30	31,32,33	34,35,36 3층
19,20,21	22,23,24	25,26,27 2층
10,11,12	13,14,15	16,17,18 1층
1,2,3	4,5,6	7,8,9

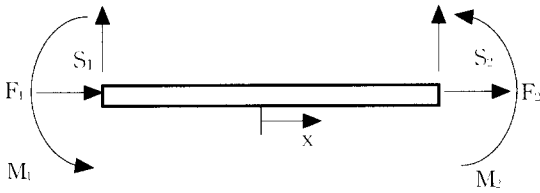
구속절점

그림 1 단위골조의 모델링

3.2.1 보의 동강성 행렬



(a) 변위



(b) 힘

그림 2 보의 힘과 변위

개별 보에 대한 힘과 변위의 관계를 동강성 행렬을 이용하여 나타내면 식 (1)과 같다.

$$\{ F_1 \ S_1 \ M_1 \ F_2 \ S_2 \ M_2 \}^T = [K] \{ U_1 \ V_1 \ \theta_1 \ U_2 \ V_2 \ \theta_2 \}^T \quad (1)$$

여기서, T는 전치행렬을 의미하며 행렬 K의 성분은 모두 진동수 ω 에 대한 함수이다.

3.2.2 전체 구조물의 행렬 구성

위에서 유도한 개별 보의 행렬을 이용하여 전체 구조물에 해당하는 행렬을 이끌어 낸다. 이 과정은 일반 강성행렬을 유도하는 것과 유사하다. 이렇게 하여 구성된 행렬은 식 (2)와 같다.

$$\{ \overline{F}_G \} = [K_G] \{ \overline{U}_G \} \quad (2)$$

\overline{F}_G 는 전체구조물에 있어서 각각의 절점에 작용하는 축력, 전단력, 모멘트를 나타내며, \overline{U}_G 는 이에대한 변위를 나타낸다. 행렬을 단순화시키기 위해서 고정되어 있는 절점과 자유로운 절점을 분리한 후 구속절점에 해당하는 행렬성분을 소거시키면 식 (3)과 같다.

$$\begin{pmatrix} \overline{F}_f \\ \overline{F}_c \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{ff}] & [K_{fc}] \\ [K_{cf}] & [K_{cc}] \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \overline{U}_f \\ \overline{U}_c \end{pmatrix} \quad (3)$$

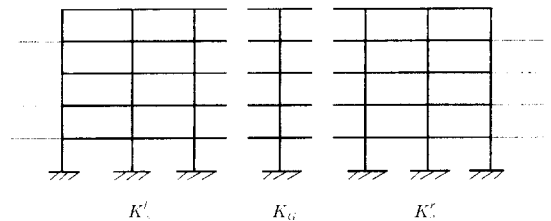
$$\overline{F}_f = [K_{ff}] \overline{U}_f \quad (4)$$

여기서, 윗첨자 f는 구속되지 않은 자유도를 나타내며 c는 구속된 자유도를 나타낸다.

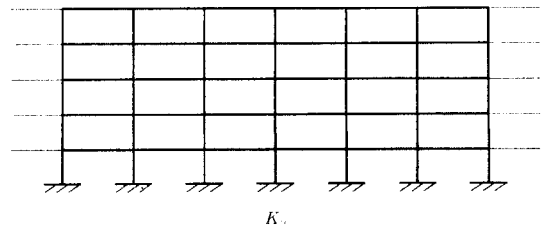
3.2.3 무한건물모형

많은 건물이 반복 유닛으로 반복되고 있는 평면의 형태를 취하고 있는 점을 감안하여 무한건물모형을 유도한다. 그림 3 (a)의 중앙부에 해당하는 것이 무한모형에 사용되는 반복 유닛이 된다. 이 유닛의 행렬을 내부절점(i), 왼쪽절점(l), 오른쪽 절점(r), 구속절점(c)별로 구성하면 식 (5)와 같다.

$$\begin{pmatrix} \overline{F}_i \\ \overline{F}_l \\ \overline{F}_r \\ \overline{F}_c \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} [k_{ii}] & [k_{il}] & [k_{ir}] & [k_{ic}] \\ [k_{li}] & [k_{ll}] & [k_{lr}] & [k_{lc}] \\ [k_{ri}] & [k_{rl}] & [k_{rr}] & [k_{rc}] \\ [k_{ci}] & [k_{cl}] & [k_{cr}] & [k_{cc}] \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \overline{U}_i \\ \overline{U}_l \\ \overline{U}_r \\ \overline{U}_c \end{pmatrix} \quad (5)$$



(a) 무한건물을 구성하는 부구조물



(b) 무한건물모형의 완성

그림 3 반복 단위로 구성된 무한건물의 개념도

역시 구속절점에 대한 성분을 소거시키면 식 (6)과 같이 단순화된다.

$$\begin{pmatrix} \overline{F}_i \\ \overline{F}_l \\ \overline{F}_r \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} [k_{ii}] & [k_{il}] & [k_{ir}] \\ [k_{li}] & [k_{ll}] & [k_{lr}] \\ [k_{ri}] & [k_{rl}] & [k_{rr}] \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \overline{U}_i \\ \overline{U}_l \\ \overline{U}_r \end{pmatrix} \quad (6)$$

여기서 내부 절점에 외력이 작용하지 않는다고 가정하면 다음과 같은 관계가 성립하여 위의 행렬은 식 (7), 식 (8)과 같이 더욱 단순화된다.

$$\overline{U}_i = -[k_{ii}]^{-1}[k_{il}]\overline{U}_l - [k_{ii}]^{-1}[k_{ir}]\overline{U}_r \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} \overline{F}_l^n \\ \overline{F}_r^n \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{ll}] & [K_{lr}] \\ [K_{rl}] & [K_{rr}] \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \overline{U}_l^n \\ \overline{U}_r^n \end{pmatrix} \quad (8)$$

여기서,

$$[K_{ll}] = [k_{ll}] - [k_{li}][k_{ii}]^{-1}[k_{il}]$$

$$[K_{lr}] = [k_{lr}] - [k_{li}][k_{ii}]^{-1}[k_{ir}]$$

$$[K_{rl}] = [k_{rl}] - [k_{ri}][k_{ii}]^{-1}[k_{il}]$$

$$[K_{rr}] = [k_{rr}] - [k_{ri}][k_{ii}]^{-1}[k_{ir}]$$

n : n번째 유닛

이웃하는 단위구조물들의 절점에서 성립하는 적합 방정식과 평형방정식을 이용하면 외력이 작용하지 않을 때 식 (9), 식 (10)과 같은 식이 성립한다.

$$\overline{U}_r^n = U_l^{n+1}, \quad \overline{F}_r^n + \overline{F}_l^{n+1} = 0 \quad (9)$$

$$\begin{pmatrix} \overline{F}_l^n \\ -\overline{F}_l^{n+1} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{ll}] & [K_{lr}] \\ [K_{rl}] & [K_{rr}] \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \overline{U}_l^n \\ \overline{U}_l^{n+1} \end{pmatrix} \quad (10)$$

윗식을 전개한후 힘과 변위의 관계가 아닌 이웃하는 반복 단위 구조물간의 관계로 다시 재배열하게 되면 식 (11)과 같다.

$$\begin{pmatrix} \overline{F}_l^{n+1} \\ \overline{U}_l^{n+1} \end{pmatrix} = [K_{LR}] \begin{pmatrix} \overline{F}_l^n \\ \overline{U}_l^n \end{pmatrix} \quad (11)$$

여기서,

$$[K_{LR}] = \begin{bmatrix} -[K_{rr}][K_{ll}]^{-1}[K_{rl}] & [K_{rr}][K_{ll}]^{-1}[K_{lr}] - [K_{rl}] \\ [K_{ll}]^{-1} & -[K_{ll}]^{-1}[K_{lr}] \end{bmatrix}$$

위의 행렬은 일반적인 고유치(eigenvalue)방정식을 만족하므로 단위 구조물의 왼쪽 변위 벡터 \overline{U}_i 와 다음 단위 구조물의 왼쪽 변위 벡터, \overline{U}_{i+1} 사이에는 $\overline{U}_{i+1} = \lambda_i \overline{U}_i$ 인 관계가 성립한다. 다시말해 모든 벡터의 성분들은 크기와 위상에서 같은 크기의 변화를 하게 된다. 여기서 고유치가 1보다 큰 경우에는 진동이 증폭되는 것을 의미하며 1보다 작은 경우에는 감소하는 것을 의미한다. 오른쪽으로 무한히 연장되는 구조물의 경우 1보다 작은 고유치만을 취하여 구조물의 왼쪽 끝의 자유도에 해당하는 변위벡터 \overline{U}_l^n 을 고유치에 해당하는 n개의 고유벡터(eigenvector)의 선형 조합에 의해서 다음 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $[K_{LR}]$ 의 크기가 $2n \times 2n$ 이다.

$$\overline{U}_l^n = [\overline{U}_1, \overline{U}_2, \dots, \overline{U}_{n-1}, \overline{U}_n] \overline{C} = [\overline{U}] \overline{C} \quad (12)$$

여기서 \overline{C} 의 i번째 성분이 i번째 고유벡터의 크기와 위상을 결정해준다. 마찬가지로 이 구조물의 왼쪽 끝에 해당하는 힘, \overline{F}_l^n 은 다음과 같다.

$$\overline{F}_l^n = [\overline{F}_1, \overline{F}_2, \dots, \overline{F}_{n-1}, \overline{F}_n] \overline{C} = [\overline{F}] \overline{C} \quad (13)$$

위의 두 개 식에서 \overline{C} 를 소거하면 오른쪽으로 향하는 반무한 구조물의 왼쪽 끝단에 해당하는 강성행렬을 다음과 같이 구하게 된다.

$$\overline{F}_l^n = [\overline{F}] [\overline{U}]^{-1} \overline{U}_l^n = [K_\infty] \overline{U}_l^n \quad (14)$$

같은 방법으로 왼쪽으로 무한히 연장하는 구조물의 오른쪽 끝단에 해당하는 반무한 행렬도 유도된다. 위의 과정을 거쳐서 유도된 양쪽 반무한 행렬과 중앙 단위구조물에 해당하는 행렬을 합성하여 무한 건물의 행렬 $[K_\infty]$ 을 얻게 된다.

구성된 무한건물모형과 전체건물을 행렬로 구성된 유한건물모형에 대한 비교를 통해서 얻은 결과, 두 모형사이에 어느정도의 차이를 보이고 있는데 이것은 진동이 지하로 감쇠하는 성질을 표현하여 주지 못하였기 때문에 기초과일을 이용하여 이 문제를 해결하였다. 파일에 대한 동강성 행렬은 Novak의 파일모형²²⁾을 이용하여 구성하였으며 파일의 행렬을 건물의 행렬성분과 합성하여 파일 건물에 대한 무한건물모형을 구성하였다.

3.2.4 프로그램의 흐름도

본 기사에서는 위에서 설명한 흐름을 Matlab 4.0 프로그램을 이용하여 다음 그림 4의 흐름도와 같이 작성하여 해석하였다.

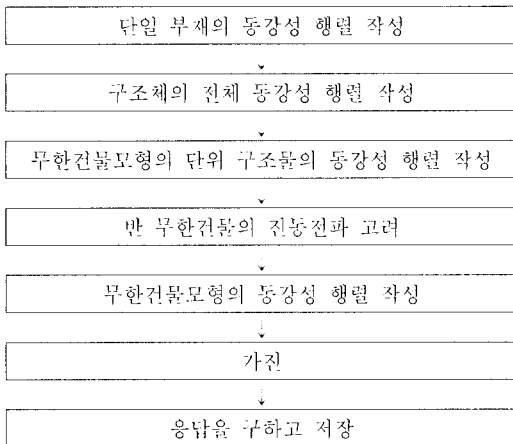


그림 4 동강성행렬 해석법의 프로그램 흐름도

3.2.5 프로그램의 특성

이 프로그램의 수행시간은 펜티엄II 셀러론233을 사용하였을 경우 약 10분 정도의 시간이 소요되는데 다음과 같은 특징이 있다.

- ① 이 프로그램은 동강성행렬을 사용하여 응답을 구한다. 따라서 시간영역에의 응답이 아닌 진동수 영역에 대한 응답을 구함으로써 푸리에 변환을 해야하는 번거로움이 줄어드는 장점이 있다.
- ② 이 프로그램은 C나 Fortran과 같은 Low_level 언어가 아닌 Matlab을 사용함으로써 코딩

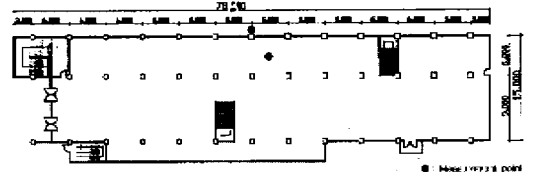
- 및 수정이 용이하며 데이터 전환이 자유롭다.
- ③ 동강성행렬의 구성형태나 행렬의 결합법이 매트릭스 구조해석, FEM과 유사하다.

4. 예측프로그램의 검증

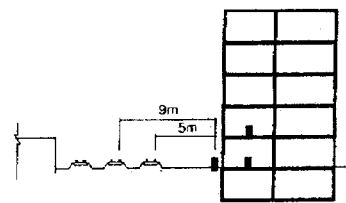
많은 차량이 통행하는 도로나 열차가 지나가는 철로변에 인접한 실제 건물의 진동측정을 통해서 동강성행렬과 무한 이론을 적용한 모형의 실제적인 적용가능성을 검증하고 모형의 진동전달 예측가능성을 확인하기 위하여 실험을 실시하였다. 건물의 지반에서 측정된 응답과 1층 기둥에서 측정된 응답을 건물모형의 하중으로 사용하였으며 이 하중에 의해서 무한 건물모형에서 나타나는 건물의 응답과 실측된 각 층의 응답값의 비교를 통해서 타당성을 검증하였다.

4.1 실험 대상 건물

건물을 동강성 행렬을 이용하여 모형화하는 방법 가운데에서도 본 연구에서 채택한 기법은 전체 건물을 행렬로 모형화하는 것이 아니라, 파의 전파를 행렬의 고유치이론을 이용하여, 축소된 행렬로서 전체 행렬로 구성된 모형과 유사한 특성을 갖도록 하였다. 이렇게 함으로써 모형화 시간과 해석시간을 줄일 수 있다는 것이 이 모형화 기법의



(a) 건물 평면도



(b) 건물 단면도

그림 5 대상건물의 평면도와 측정위치

표 1 진동실험의 건물대상 특성

위 치	서울시 구로구
구 조	철근콘크리트 라멘구조
구 모	지하 1층, 지상 5층, 횡방향 길이 74m
평 면	단위골조가 반복되는 구조
용 도	열차사무소
사무소	철로변으로부터 상행 5m, 하행 9m에 위치

특징이라고 할 수 있다. 하지만 이런 제한조건을 위해서는 건물의 조건에 많은 가정과 제약이 따른다. 이들의 조건을 만족시키는 건물을 선정하였다. 대상건물의 전경 및 평면, 단면을 그림 5에 나타내었으며 표 1에 대상건물의 제원을 설명하였다.

4.2 실험 방법

진동계측을 위한 가속도계는 열차진동의 영향이 가장 심하게 나타나는 철로변에 인접한 건물 측면의 슬래브 중앙에 설치한다. 사용할 가속도계는 총 3개로서 하나는 건물의 외부 기둥밑 지반에 설치하였고 나머지 2개는 각각 1층, 2층의 슬래브 중앙에 설치하여 열차통과시 3곳의 진동을 동시에 측정하였다.

동적 신호분석기인 SA390을 이용하여 열차 대상 건물 바로 앞을 통과하기 전과 통과 후 몇 초간을 두고 미동이 사라질 때 까지 열차의 진동을 측정하였다.

각각의 가속도계로부터 구한 데이터는 층별, 그리고 지반의 데이터로 분리하였으며 이 데이터는 모두 시간이력에 대한 가속도의 값이므로 이것을 푸리에(fourier)변환시켜서 진동수대역에 대한 가속도 단위로 환산하여 주었다. 이가운데 지반에 대한 응답은 모형해석시에 입력하중으로 사용되어야 하므로 가속도 단위로 되어 있는 값을 변위로 환산하였다.

4.3 실측응답과 모형응답과의 비교

4.3.1 대상건물의 모형화

대상건물을 모형화하는데 필요한 건물의 데이

표 2 해석에 사용된 건물의 물성치

	단면치수 (cm)	길이 (cm)	탄성계수 (t/m^2)	밀도 (t/m^3)
보	35×50	600	2.1×10^6	2.4
기둥	50×50	300	2.1×10^6	2.4
파일	30 (받지름)	500	2.1×10^6	2.4
	동적전단 탄성계수	프와송비	밀도	종류
지반	$5,762 t/m^2$	0.33	$1.9 t/m^3$	화강풍화토

터는 보, 기둥의 치수, 기초의 조건, 지반의 동적전단계수이다. 표 2에 해석에 사용된 값을 정리하여 나타내었다.

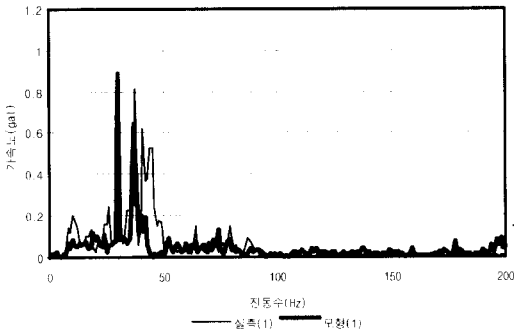
4.3.2 무한모형의 해석결과와 실측 결과 비교

대상건물을 무한건물모형으로 모형화한 후 지반의 실측결과를 해석모형에 변위 입력으로 사용하여 무한모형의 응답을 구하였다. 비교대상이 되는 지점은 실측 장소가 1층과 2층 2개소이므로 2곳의 해석응답과 실측응답을 normal band와 1/3 octave band대역에서 각각 비교하였다. 비교결과 실측응답과 모형응답사이에 비슷한 양상을 나타내고 있었으나 응답의 크기에 있어서는 해석응답이 작게 나타나고 있었으며 저 진동수 영역에서보다 고진동수 영역에서 두 개의 응답이 유사한 양상을 나타내었다. 그러나 진동수대역에 따른 가속도응답의 경향이 거의 비슷한 것으로 나타났다.

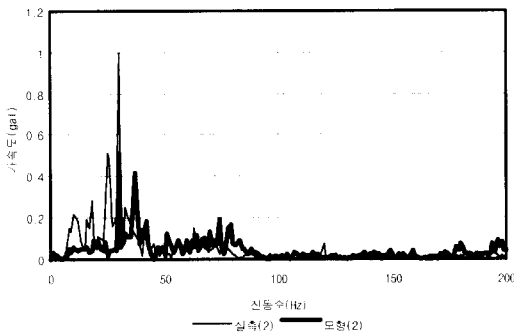
5. 결 언

본 기사에서는 D.P.Cryer에 의해서 제안된 건물의 모형화과정 이론을 이용하여 철로변 인접건물의 진동을 예측할 수 있는 프로그램에 대한 설명을 하였으며 진동측정대상 건물에 대한 실측을 통해서 프로그램 해석결과와 비교하였다.

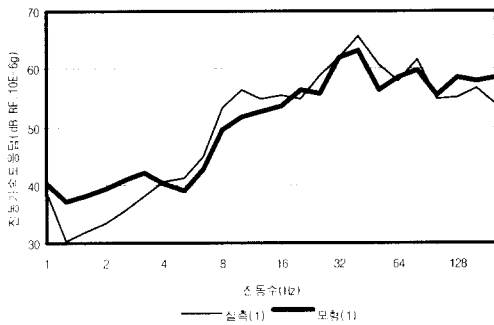
평면형태가 반복되는 건물은 건물전체를 모형화하는 대신 고유치를 이용한 반복단위구조물의 모형화를 이용하면 유한건물모형과 동일한 결과를



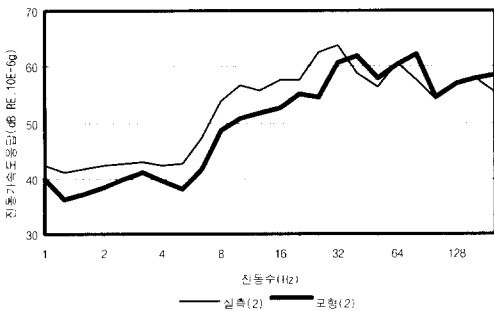
(a) 1층의 응답(normal band)



(b) 2층의 응답(normal band)



(c) 1층의 응답(1/3 octave band)



(d) 2층의 응답(1/3 octave band)

그림 6 실측응답과 모형응답의 비교

구할 수 있음을 확인하였다. 따라서 무한건물 모형화기법을 이용한 프로그램을 사용하여 전반적인 건물의 진동응답 특성을 파악하는 방법으로 이용될 수 있을 것이다.

* 본 학술기사는 참고문헌 1), 9), 10), 12), 13)의 내용을 주내용으로 하여 편집한 것임을 밝힙니다.

참고 문헌

1. 김유석, "철로변 인접건물의 진동예측을 위한 Cryer 모형의 적용성에 관한 연구", 연세대학교 석사학위 논문, 1997. 12
2. 김희철, 이동근, 민경원, "지하철 진동에 의한 건축구조물의 진동특성", 전산구조공학, 제 8권 제 1호, pp.95~106, 1995. 3
3. 박보리나라, "지하철 차량 진동의 수치해석적 연구", 고려대학교 석사학위논문, 1994
4. 박준철 외 4인, "차량통행으로 발생하는 도로 진동의 전파특성", 한국소음진동공학회지 소음·진동, 제 9권 제 1호, pp.25-32, 1999. 2
5. 신희근, "지하철 진동에 의한 구조물의 거동에 관한 연구", 경희대학교 석사학위논문, 1996
6. 윤정방 외 3인, "지하철 운행하중에 대한 인접 구조물의 진동해석", 대한토목학회논문집, 제 17권 제 I-1호, pp.25~34, 1997. 1
7. 윤종오, "지반진동에 대한 구조물의 응답특성에 관한 연구", 경희대학교 석사학위논문, 1995
8. 이운길, "철도구조물의 진동특성에 관한 연구", 한양대학교 석사학위논문, 1991
9. 전호민, "철도 인접건물의 진동예측모형에 관한 연구", 연세대학교 박사학위논문, 1997. 12
10. 홍갑표, 전호민, "건축물의 수직진동 증폭계수 산정에 관한 기초연구", 대한건축학회논문집, 제 14권 제 5호, pp.293~301, 1998. 5
11. 홍갑표, 전호민, "지반의 진동전달식 산정에 관한 연구", 한국소음진동공학회지 소음·진동, 제 8권 제 5호, pp.799~806, 1998. 8
12. 홍갑표, 전호민, 김유석, "철로변 인접건물의 진동예측을 위한 모형화 기법에 관한 연구",

- 대한건축학회논문집, 제 14권 제 1호, pp.353~360, 1998. 1
13. 홍갑표, 전호민, 윤현욱, "콘크리트건물의 수직진동 예측에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 제 14권 제 11호, pp.3~10, 1998. 11
 14. 富澤 외 3인, "交通振動を受けるS造建物の環境振動豫測手法", 日本建築學會論文集 第470号, pp.151~158, 1995年 4月
 15. 大崎順彦, 地震動의 스펙트럼解析 入門, 鹿島出版社.
 16. C. Madshus, B. Bessason & L. Harvik, "Prediction model for low frequency vibration from high speed railways on soft ground", *Journal of Sound and Vibration*, 193(1), pp.195~203, 1996
 17. D. E. Newland, *Mechanical Vibration Analysis and Computation*, Harlow and John Wiley, New York, 1989.
 18. D. E. Newland, *An Introduction to Random Vibrations and Spectral Analysis*, Longman, 1975
 19. D. P. Cryer, *Modeling of vibration in buildings with application to base isolation*, PhD Dissertation, University of Cambridge, 1994.
 20. H. E. M. Hunt, "Prediction of Vibration Transmission from Railways into Buildings using Models of Infinite Length", *Vehicle system dynamics Supplement*, Vol. 24, pp.234~247, 1995
 21. M. Heckel, "Structure-Borne Sound and Vibration from Rail Traffic", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 193(1), pp.175~184, 1996
 22. M. Novak, "Dynamic Stiffness and Damping of Piles", *Canadian Geotechnical Journal*, 11(4): pp.574~598, 1974.
 23. S. Jerath and M. M. Shibani, "Dynamic Stiffness and Vibration of Reinforced Concrete Beams", *ACI Journal*, pp.196~202, March-April 1985.
 24. T. M. Dawn & C. G. Stanworth, "Ground vibrations from passing trains", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 66(3), pp.355~362, 1979
 25. *MATLAB Reference Guide*, The MathWorks Inc, 1992, 8
 26. Scientific-Atlanta, Inc. *Dynamic Signal Analyzer Operator's Manual*, 1994 