

## 곡선진동원에서의 진동전파문제 연구

### Study of the propagation problem in the curved source of vibration

오장현\* · 허영\*\*

Jang haun Oh · Young Huh

**Key Words** : wave Propagation(진동전파), curved source of vibration(곡선 진동원)

#### ABSTRACT

Recently, KTX start service 2004 and speed up the Chung-ang line and Ho-nam line using tilting train. When the train speed up at curve the vibration environment are changed. It is the reason of the wave propagation problem in the curved source. In this research, using SSI program SASSI, predict the vibration propagation around the curved source of vibration. The curved source of vibration propagation is different from straight source of vibration propagation. In this study, made a curved vibration source model and compared with straight model.

#### 1. 서 론

##### 1.1. 연구배경 및 연구목적.

현재 국내철도 분야는 2004년 경부 고속철의 개통과 함께 기존 선로의 고속화 작업이 진행 중이다. 기존선로의 고속화 작업에는 현재 중앙선, 장항선, 호남선등의 운행속도 80km에 이르는 열차의 속도를 단계적으로 증진시켜 2010년에는 최고속도 시속 200km/h에 이르도록 하는 것이 주요 사업 목적이다.

기존 노선에서의 열차 속도 증가는 기존에는 발생하지 않았던 새로운 진동문제를 발생시킨다. 곡선구간에서의 진동문제는 직선 구간에서와는 달리 진동 전파가 원호의 중심으로 집중하는 현상이 발생한다. 이러한 곡선가진원에서 지반진동 전파문제의 진동 전파문제의 예측이 필요하다.

##### 1.2. 연구범위.

지반을 통해 전파되어 가는 진동의 특성에 영향을 미치는 인자는 진동의 주파수 성분 및 진폭의 크기를 들 수 있다.

곡선진동원의 지반 진동을 예측하기 위해서는 반경 R과 곡선진동원 효과를 별만한 길이의 곡선진동원 모델이 필요하다. 이를 위하여 지반 진동 해석프로그램인 SASSI를 이용하여 곡선진동원을 모델링 하고 지반 진동을 예측하고자 한다.

#### 2. SASSI 프로그램 및 적용 이론

##### 2.1. SASSI 프로그램

SASSI 프로그램은 System for Analysis of Soil-Structure Interaction의 약자로 미국의 버클리 대학에서 개발 되었으며 미국에서 원자력 발전소의 내진설계와 교량, 플랜트의 구조물-지반진동문제 해석과 동적 설계에 쓰이고 있다. 해석에 사용된 버전과 컴퓨터는 SASSI2000 Academy 버전과 AMD Opeteron 242 듀얼 CPU를 사용하였다.

##### 2.1. SASSI에 사용된 이론.

##### 1.2.1. Flexible Volume Method.

Flexible volume substructuring method는 Total soil-structure system을 그림2.1처럼 3부분으로 나눈 개념이다. Substructure a)는 free-field site로 구성되어 있고, b)는 excavated soil volume, c)은 구조물로 이루어져 있다.

\* 수원대학교 토목공학과 석사과정  
E-mail : jeaous21@hotmail.com  
Tel : (031)220-2522, Fax : (031)220-2522

\*\* 수원대학교 토목공학과 정교수

기초는 excavated soil volume으로 대체된다. Substructure a), b), c)를 합쳐지면 원 SSI system이 된다. Flexible volume method는 Free field site와 excavated soil volume 상호작용으로 가정한다.

$$[M](\ddot{U})+[k](\dot{u}) = \{Q\} \quad (2.1)$$

[M],[k]는 각각 전체 질량 행렬과 강성행렬이고 (u)는 절점에서의 변위, {Q}는 외력이다.

Harmonic excitation에서 load와 변위 벡터들은

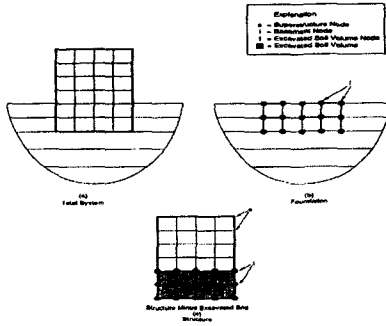


그림 2.1 Flexible volume method

$$\{Q\}=\{Q\}exp(i\omega t) \quad (2.2)$$

$$\{\ddot{u}\}=\{u\}exp(i\omega t) \quad (2.3)$$

로 나타낼수 있다.

{Q}와 {u}는 주파수 ω일때 complex force와 변위 벡터이다. 반면 각 주파수에 대해 각 운동방정식은

$$[C]\{u\}=\{Q\} \quad (2.4)$$

[C]는 complex frequency-dependent dynamic stiffness matrix이다.

$$[C]=[k]-\omega^2[M] \quad (2.5)$$

이에 운동방정식은 (2.6)식과 같다.

$$\begin{pmatrix} C_{ii}^c - C_{ii}^b + X_{ii} & -C_{iw}^b + X_{iw} & C_{is}^c \\ -C_{iw}^b + X_{wi} & -C_{ww}^{b2} + X_{ww} & 0 \\ C_{si}^c & 0 & C_{ss}^c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_i \\ U_w \\ U_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_i \\ 0 \\ P_s \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} X_{ii}U_i' + X_{iw}U_w' \\ X_{wi}U_i' + X_{ww}U_w' \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

a), b), c)는 3가지 superstructures를 뜻한다. complex frequency에 의존하는 stiffness matrix는 간단히 표시한다.

외력이 동적 하중일 경우 { U\_i' }은 무시되고 방정식

(2-6)은 다음과 같이 쓰여 진다.

$$\begin{pmatrix} C_{ii}^c - C_{ii}^b + X_{ii} & -C_{iw}^b + X_{iw} & C_{is}^c \\ -C_{iw}^b + X_{wi} & -C_{ww}^{b2} + X_{ww} & 0 \\ C_{si}^c & 0 & C_{ss}^c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_i \\ U_w \\ U_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_i \\ 0 \\ P_s \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

a, b, c 는 3개의 Substructures를 의미한다.

### 3. 해석모델의 결정

#### 3.1. 해석모델 비교.

곡선궤도를 모델링 하기 위해서는 일정길이 이상의 궤도모델이 필요한데 3차원 궤도모형으로는 일정길이 이상의 해석 수행이 불가능 하여 궤도모델과 기타 모델들과의 비교를 통하여 다른 모델로 대치가 가능한지 알아보았다.

해석 모델의 종류는 다음 <표 3-1>과 같다.

모델명	지반	도상	패드	침목	레일
궤도	○	○	○	○	○
도상	○	○	×	×	×
지표+rail	○	×	○	○	○
지표	○	×	×	×	×

<표 3-1>

궤도 모델과 도상모델은 침목 개수를 기준으로 8개, 10, 12, 14개로 설정 하였다. 최소 침목 개수 설정에 대해서는 참고 문헌[1]을 참조 하였다. 물성치와 해석모델의 길이는 다음과 같다.

	지반	Cs(m/sec)	Cp(m/sec)	단위무게 (kg/m³)
균질	지표	125	216.5	1700
	H	125	216.5	1700
층진	지표	125	216.5	1700
	H	200	346.4	1700

H : half space

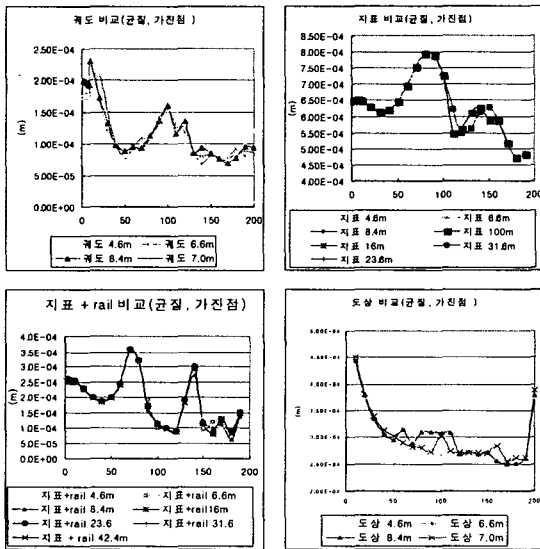
도상(자갈 도상)		침목	
두께	0.3m	길이	2.4m
폭(위/아래)	2.4/ 3.36 m	폭	0.2m
단위 무게	1700kg/m³	높이	0.2m
v	0.25	간격	0.6m
레일		패드	
UTC 60		K	6.0×10³ N/m
		C	2.0×10⁴ Ns/m

<표 3-2>

모델명	모델 길이m (침목 개수)							
	4.6 (8)	6.6 (10)	7 (12)	8.4 (14)	16 (26)	23.8 (39)	31.6 (52)	42.4 (70)
궤도	○	○	○	○	×	×	×	×
도상	○	○	○	○	×	×	×	×
지표 + rail	○	○	×	○	○	○	○	○
지표	○	○	×	○	○	○	○	○

<표 3-3>

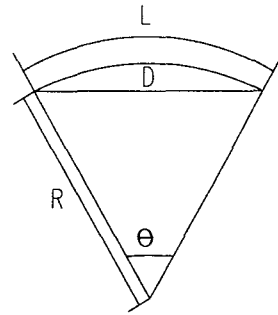
적용 하중은 도상, 지표+rail모델에는 레일의 1/2 지점에, 지표모델과 도상모델도 동일한 지점에 하중을 10KN 씩 2개를 재하 하였다. 이에 대한 결과는 다음과 같다. 다음은 균질지반에서의 가진점에서의 1-200Hz까지 주파수별 변위 값이다.



이를 보면 모델의 가진점에서의 변위는 모델의 길이 보다는 모델의 특성에 따라 지배됨을 알 수 있다.

### 3.2. 해석모델

해석모델이 실제 곡선진동원 효과를 내기 위해서는 일정길이 이상의 모델이 필요하다. 그러나 궤도모델이나 도상모델의 경우 10m 이상의 모델은 PC상에서는 해석이 불가능하다. 또한 곡선진동원 모델이 작을 경우 직선 모델과 차이가 없기 때문에 일정 길이 이상의 모델이 필요하다. 따라서 지표 모델을 이용하여 일정 길이 이상의 곡선진동원 모델을 작성하였다. 다음 표는 반경 R일때의 호의 길이(L)와 반지름 양끝을 이은 직선길이(D)를 계산하였다.

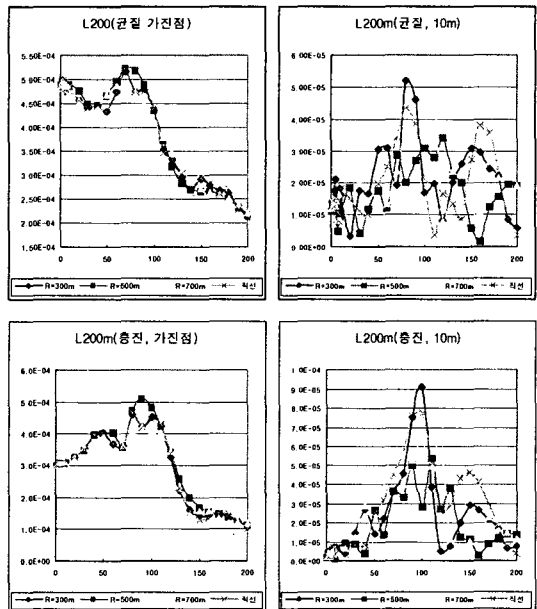


R : 반지름  
L : 호의 길이  
D : 변위 길이

반경(R)	호의 길이(L)	직선길이(D)	L-D
300	200	196.32	3.68
400	200	197.92	2.08
500	200	198.67	1.33
600	200	199.08	0.92
700	200	199.32	0.68
800	200	199.48	0.52

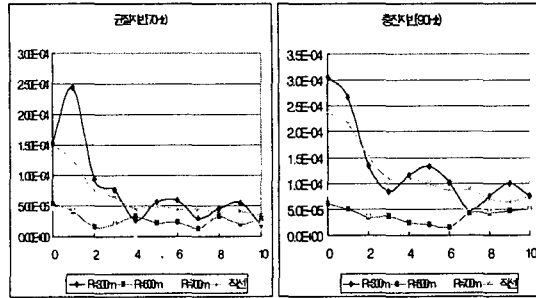
[단위 : m]

해석 모델은 1)R:300m, 호의 길이 200m, 2)R:500m, 호의 길이 200m, 3)R:700m, 호의 길이 200m 3가지로 해석하였다. 적용 하중은 10KN하중 6개(3×2)로 호의 양끝단과 중앙에 적용하였다.



가진점에서의 주파수에 따른 변위값은 모델의 반지름

보다는 지반 물성치에 지배 되었다. 변위 최대값을 나타내는 주파수에서 거리에 따른 변위값을 보면 다음과 같다.



R=300m 모델과 직선 모델의 경우 거리에 따른 감쇠 효과가 나타나는데 R=500m, R=700m 모델은 일정거리 이후 변위값이 증가됨을 알 수 있다. 또한 동일한 하중에 대하여 층진지반이 균질지반보다 변위값이 크게 나옴을 알 수 있다.

	가진	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
300	0.82	1.99	1.10	1.43	1.11	4.29	2.33	1.68	1.60	1.68	1.83	3.92
500	0.97	1.14	1.21	2.22	1.87	0.71	0.92	0.62	3.24	1.32	2.20	1.74
700	0.86	1.76	1.46	1.04	1.07	3.58	5.79	2.55	2.27	2.54	2.36	2.22
직선	0.81	1.58	1.74	1.99	1.71	2.43	1.98	1.98	1.97	1.77	1.59	2.23

층진지반 최대값/ 균질지반 최대값

#### 4. 결론

곡선진동원에서의 진동전파는 거리에 따른 감쇠뿐만이 아니라 곡선 모델에 따른 영향도 함께 받는다. 거리에 따른 변위값의 변화는 직선모델과는 달리 일정하게 감쇠되지 않고 균질 지반에서는 4m 이후 층진 지반에서는 6m 이후 변위값이 증가되어 10m 지점에서는 직선 모델과 근사한 값을 나타낸다. 직선모델에 비해 수직 진동영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 차후에 수평하중의 증가와 이를 반영하는 모델의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

#### 5. 참고 문헌

- (1) 허영, 박진형, "인공구조물 지반진동 저감방안," 한국소음진동공학회 1999년도 추계학술대회 서울 한국소음진동공학회 1999.
- (2) John Lysmer의 1, 1999 "SASSI 2000 Theoretical Manual", Ch 2.