

構造物の動的解析을 위한 韓半島의 人工地震波 作成

Generation of Artificial Acceleration - Time Histories for the Dynamic Analysis of Structures in the Korean Peninsula

金 元 培* · 劉 哲 秀**
Kim, Won Bae · Yu, Chul Soo

Abstract

The generation of artificial accelerograms considering the characteristic of earthquakes in the Korean peninsula for a time history analysis of structures is accomplished by the stochastic method. The engineering data such as a representative shape of envelope function and an effective duration are investigated from the instrumental records. The maximum ground acceleration value is based on seismic zoning map which are constructed for the Korean peninsula. The acceleration-time histories are generated for two different types of earthquake motions and two types of soil conditions. In the study, the maximum ground acceleration value of 0.2 g and effective durations of 24 seconds are used. The validity of the artificial accelerograms is obtained by the comparison with the required envelope functions and the design response spectrum.

요 지

본 논문에서는 시간이력곡선법에 의한 구조물의 동적해석이 가능하도록 한반도 지진 특성을 고려한 인공지진파 작성에 관한 연구를 시도하였다. 인공지진파 작성에 유용한 포락함수와 유효지속시간은 관측지진파의 분석 결과를 적용하고, 가속도는 지진구역도에서 평가된 최대 값으로 결정하였다. 특히 인공지진파는 지반조건과 진원지 거리에 따라 형태가 다르게 나타나는 특성을 고려했다. 추계학적 방법으로 작성한 인공지진파의 최대가속도는 0.2g 이고, 유효지속시간은 24초이다. 그리고 인공지진파의 신뢰성 검토는 지진파의 포락함수 비교와 설계응답스펙트럼에 도시된 지진파의 응답 결과로 확인되었다.

1. 序 論

최근에 위협적인 지진의 발생이 없었기 때문에 한반도는 지진발생 가능성이 적은 지역이라는 일반

*정희원 · 명지실업전문대학 토목공학과 교수

**정희원 · 고려대학교 공과대학 토목공학과 교수

적인 인식과 신뢰할 만한 지진기록의 부족으로 인하여 지진에 관한 연구가 소홀이 되었다. 이러한 상황에서 원자력발전소의 건설과 1978년 10월 7일에 발생한 홍성지진⁹⁾으로 구조물의 피해를 입은 후로 지진에 대한 새로운 인식이 한반도의 지진 연구에 기록제 역할을 했다. 그 결과로 정부에서는 1988년 7월부터 건설될 일반 건축물에 대해서도 내진설계를 하도록 기술기준을 마련했다¹⁰⁾.

지금까지의 한반도 지진활동과 내진설계에 관한 연구는 여러 학자들에 의하여 통계적방법 또는 결정론적 방법에 의한 지역별 지진위험도 평가에 국한되었다. 계기관측된 지진파는 다만 지진규모 결정과 진원지 관정에만 이용되었고, 공학적으로 사용을 위한 계기지진의 분석은 전혀 시도되지 않았다. 지진은 발생원인 및 지역에 따라 구조물에 미치는 영향을 달리하므로 한반도 내에 건설될 구조물의 내진설계기준 및 절차에 대한 많은 연구가 수행되어 그 결과를 이용하는 것이 바람직하다. 특히 입력운동으로 사용할 지진자료가 없는 우리나라에서는 일반 구조물의 설계지진력을 평가할 수 있도록 한반도의 지진특성을 고려한 인공지진파 작성에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 일반 구조물의 동적해석이 가능하도록 인공지진파 작성에 관한 연구를 시도하였다. 인공지진파 작성은 한반도 지진의 특성을 고려하기 위해서 한반도 지진자료를 검토하고, 인공지진파 작성에 필요한 성분들을 분석하여 통계처리 하였다. 그리고 분석결과에 의해서 작성된 인공지진파

의 신뢰성에 대한 타당성을 확인하였다.

2. 한반도의 지진활동과 특성

A.D.27에서 1905년 사이에 역사지진¹¹⁾과 그 이후의 계기지진중 MMV이상 또는 규모 M 4이상을 년대별 발생빈도 분포에 의하면 한반도 지진활동은 15세기에서 17세기까지는 지진활동이 활발하다가 18세기에는 상대적으로 다소 활동이 적었다. 그러나 20세기부터는 지진활동이 다시 활발해지는 경향을 알 수 있다¹²⁾.

한반도에서 계기관측이 실시된 1905년에서 1987년 사이에 한반도 및 그 주변에서 규모 M=3이상의 지진의 발생횟수는 262회이다¹³⁾ 이 중에서 규모 M=5이상은 35회에 달한다. 이들 지진의 진앙지 분포와 진원지 깊이 상태를 보면 북동부 지역에서는 심발지진이 그리고 서해안 지방과 남부지방은 천발지진이 발생한 것을 알 수 있다. 홍성지진은 진원지의 깊이가 지표면에서 10km 정도로 측정되었기 때문에 그 규모가 작았으나 구조물에 미친 지진의 피해는 컸다. 또한 참고문헌(13)에 의하면 한반도의 남동부지방은 일본의 남서부지방과 비슷하여 거의 동서방향 압축을 받는다는 것을 알 수 있다.

3. 한반도의 계기관측 현황

지금까지의 한반도에서 설치 운영되어온 지진계는 지진활동을 감시하기 위한 일반 관측용이다. 현재 서울을 비롯한 6개 관측소에 설치된 지진계는

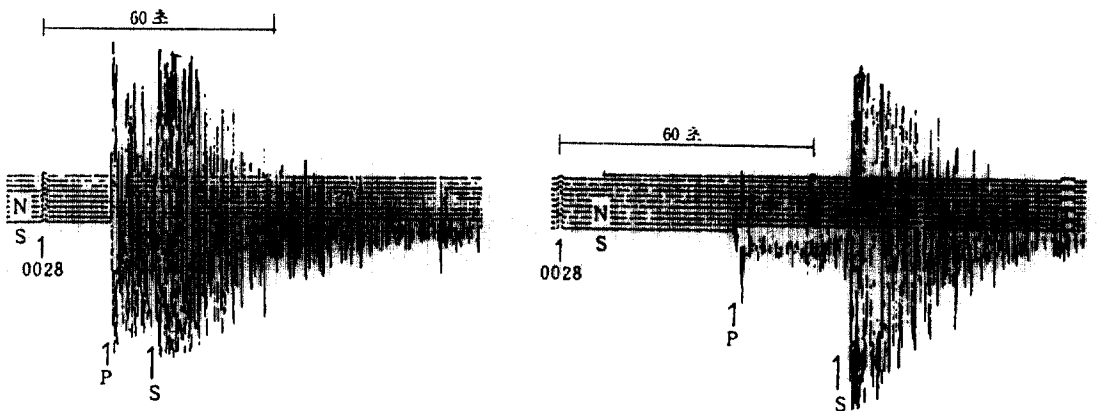


그림 1. 울진 지진 기록

T.G Model S-13, Katsuhima 계측기 등이다⁶⁾. 서울, 강릉, 부산에 설치된 T.G Model S-13⁶⁾은 단주기 지진계로서 1초 정도의 고유주기를 갖는 진자로 구성되어 있어 진동수가 비교적 큰 근거리 지진파에 대하여 민감하게 반응한다.

근래에 들어 강진계를 원자력발전소에 설치운영하고 있다. 그러나 강진계가 설치되기 전에 한반도에서도 강진을 경험했으나, 설치 후에는 강진계에 기록될 만한 크기의 지진이 강진계 설치장소 부근에서 발생하지 않아 그 기록 자료가 없다. 다만 1980년 이후의 미진계에 의한 관측 자료만이 정리되어 있다. 그 대표적인 지진파를 보이면 그림 1과 같고, 이 기록은 속도-시간이력곡선이다. 시간축척이 시각별 속도의 크기를 수치화 하기에 적합치 않다. 또한 근거리에서 관측된 지진파의 경우는 실제

파인 P파와 S파의 도달시각 판별이 어렵다.

4. 관측지진파 분석

인공지진파를 작성하기 위해서는 먼저 작성하려는 지진파의 전체모양을 나타내는 포락함수와 유효 지속시간을 결정해야 한다. 본 연구에서 분석하려는 관측자료는 동일한 지진계(T.G Model S-13)에 의해서 기록된 남북방향과 동서방향의 수평지진으로서 표1과 같이 6개의 지진으로부터 얻은 13개의 자료들이다. 이 지진파의 지속시간은 대부분 1분이 상이다. 특히 지진파형은 지진의 규모나 진원지와 관측소의 거리에 따라 동일한 지진이라도 그 형상이 다르다.

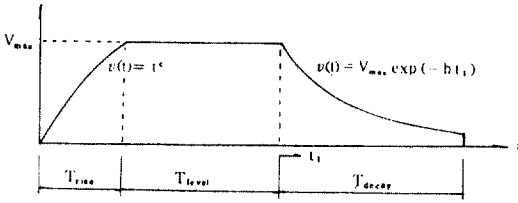
자료 일부 중에서 그림 1로 제시한 울진 지진을

표 1. 분석에 사용된 지진파 기록

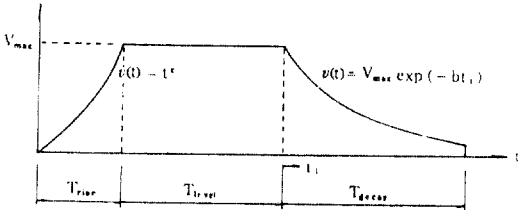
No	Earthquake	Magnitude (M)	Recording Station	Observation Record(Local)	
				Date Year Month Day	Time H-M-S
1	Pohang	4.8 (mb 5.0)	Pusan	1981. 4. 15	11 : 47 : 19
			Kangnung	1981. 4. 15	11 : 47 : 36
			Seoul	1981. 4. 15	11 : 47 : 47
2	Sariwon	4.5 (mb 5.1)	Seoul	1982. 2. 14	23 : 37 : 54
			Kangnung	1982. 2. 14	23 : 38 : 11
			Pusan	1982. 2. 14	23 : 38 : 34
3	Uljin	4.7 (mb 5.0)	Kangnung	1982. 3. 1	00 : 28 : 18
			Pusan	1982. 3. 1	00 : 28 : 28
			Seoul	1982. 3. 1	00 : 28 : 38
4	Tokchokkundo	4.0	Seoul	1982. 8. 29	03 : 18 : 41
5	Tokchokkundo	3.3	Seoul	1982. 8. 29	15 : 29 : 13
6	Yonghungdo	4.0	Seoul	1985. 6. 25	06 : 40 : 44
			Kangnung	1985. 6. 25	06 : 41 : 08
			Pusan	1985. 6. 25	06 : 41 : 21

비교하면 지진파에서 나타내는 P파 도착시각에서 S파 도달시각까지의 시간과 P파의 진폭변화 때문에 지진파의 형상이 다르게 나타나고 있다. 이와 같이 본 논문에서는 진앙지와 관측지 사이의 거리 관계로 인해서 P파와 S파의 도달시각에 따라 형상이 다른 지진들은 2종류로 분류하고, 이 지진파의 포락함수를 그림 2와 같이 형태 I(근거리 지진)과 형태 II(장거리 지진)로 가정하여 이를 정규화시켜

사용하였다. 포락함수의 각 상수값들은 최소자승법으로 구하고⁶⁾ 함수종 지수함수형으로 감쇠하는 부분의 상수는 최대 진폭의 $1/10$ 에 해당하는 부분까지 자료를 이용하여 결정하였다. 그리고 포락함수의 각 구간별 지속시간은 관측지진파에서 나타난 시간을 통계학적으로 처리하여 결정하였다⁶⁾. 분석결과, 각 포락함수의 상수값과 구간별 지속시간은 표 2와 같다.



(a) 형태 I (진앙지와 관측지가 비교적 가까운 경우)



(b) 형태 II (진앙지와 관측지가 먼 경우)

그림 2 계기지진파의 포락함수

표 2 인공지진파 작성시에 고려할 포락함수의 상수 및 유효지속시간(sec)

Envelope function	T _{decay} part		T _{rise} part		T _{level} part
	b	Duration	c	Duration	Duration
Type I	0.095	12	0.65	3	9
Type II	0.110	15	1.30	3	6

5. 한반도의 인공지진파

5.1 실측 지진파의 일반적인 특성

입력 운동에 의한 동적해석을 수행할 경우에는 통상적으로 최대지면가속도와 설계응답스펙트럼으로 정해진 설계지진에 상응하는 가속도-시간이력곡선이 필요하다. 왜냐하면 실제로 기록된 하나의 지진 가속도-시간이력곡선은 정의된 설계지진의 특성을 만족스럽게 나타내지 못한다.

이것은 구조물이 건설된 부지에서 앞으로 예상되는 지진특성을 정확하게 예측할 수가 없고 지반의 지층조건에 따라 지진의 최대 영향을 주는 주기 및 주기분포가 달라지기 때문이다. 그러므로 가속도-시간이력곡선의 응답스펙트럼이 주어진 설계응답스펙트럼에 만족스럽게 일치하도록 인공지진파를 작성해야 한다⁽⁶⁾.

특히 지진에 대한 구조물의 응답은 지진의 성질

과 지반 구조물시스템의 동역학적 특성등에 따라 좌우된다. 그러므로 실측된 지진파의 특성이 반영된 인공지진파가 내진해석에 필요하다. 따라서 인공지진파 작성에 고려해야 할 특성으로는 지진파의 포락함수, 유효지속시간, 최대지면가속도, 그리고 지진파를 전달하는 매체에 따른 진동수 분포상태 등이다.

5.2 설계응답스펙트럼과 최대지면가속도

일반적으로 지진파의 진동수 분포를 반영하는 설계응답스펙트럼은 과거 발생한 지진자료들을 통계적으로 분석한 평균값을 이용하여 작성하고 있다⁽⁷⁾. 그러나 현재 한반도 내에서는 설계응답스펙트럼을 작성할 자료가 없다.

본 논문에서는 표준지면응답스펙트럼(ATC-3)⁽⁸⁾을 이용하여 tripatite 설계응답스펙트럼을 그림 3과 같이 작성하였다. 작성된 설계응답스펙트럼

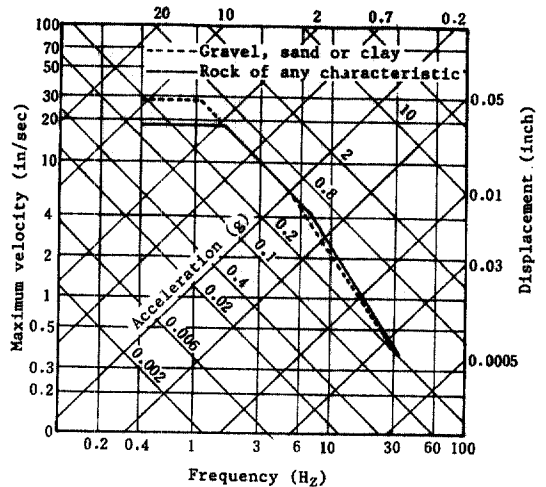


그림 3. Tripatite로 나타낸 설계응답 스펙트럼

은 안전율과 지반조건을 고려해서 암반 또는 경질의 토층과 중간정도 굳기의 점토 또는 모래층으로 분류했다. 그리고 설계응답스펙트럼에 적용된 최대가속도 값은 한반도 내 최대지진 위험구역에서 제시한 0.2g를 채택하였다⁽⁸⁾.

5.3 인공지진파의 포락함수

현재까지의 실제관행은 강진계로 측정된 가속도-시간이력곡선의 포락함수를 사용하여 인공지진파를 작성하는 것이나⁽¹⁰⁾, 한반도 내에서는 미진계로 기록된 속도-시간이력곡선 만이 실제로 이용

가능하다.

본 연구에서 분석된 속도-시간이력곡선의 포락 함수는 각 지진파의 특성으로 상이하다. 그러나 한반도지진의 일반적 특성을 고려하기 위해서 표 2로 제시한 상수값을 사용한다.

5.4 인공지진파의 유효지속시간

구조물의 지진에 대한 응답계산은 지진의 전구간을 사용하지않고 구조물의 응답에 큰 영향을 미치는 구간을 선택하여 그 구간을 유효지속시간으로

사용하는 것이 통상적이다⁽⁷⁾. 한반도에서 관측된 속도-시간이력곡선의 분석에 의한결과로는 지진동 시간이 1분 이상임을 알 수 있었다⁽⁸⁾.

본 연구에서는 과거 한반도에서 규모 $M=7.0$ 이상의 지진이 발행하였던 사실을 감안하여 인공지진파에 사용될 유효지속 시간을 久田⁽⁹⁾에 의해서 24 초로 계산하고, 속도-시간이력곡선에서 분석된 포락함수의 각 구간별에 대한 진동시간을 표 2와 같이 산출하였다.

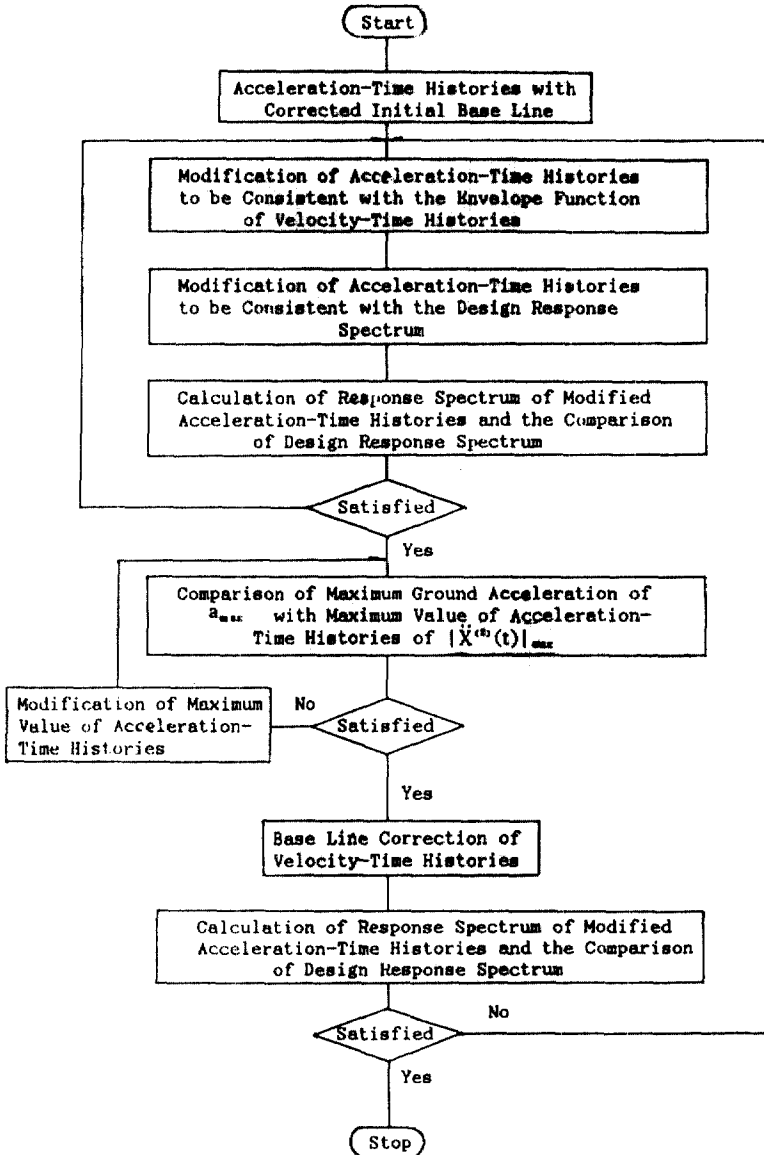


그림 4. 인공지진파 작성의 흐름도

55 인공지진파 작성

인공지진파는 앞에서 기술한 자료를 사용하여 그림 4로 제시한 흐름도에서와 같이 반복수정과정을 수행하므로써 작성된다. 본 연구에서 수행한 작성 과정은 다음과 같다.

55.1 속도-시간이력곡선의 포락함수 고려

인공가속도-시간이력곡선은 정현파 주기와 위상 각 그리고 진폭이 다양한 정현 함수를 중첩하여 시간의 함수로 나타내는 (5-1)식에 의해서 작성된다⁽¹⁾.

$$\dot{X}^{(0)}(t) = I(t) \sum C_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \quad (5-1)$$

여기서 $\dot{X}^{(0)}(t)$ = 초기가속도-시간이력곡선

$I(t)$ = 가속도-시간이력곡선의 포락함수

C_n = 진폭 ω_n = 진동수 ϕ_n = 위상각

(5-1)식에 의해서 기준선이 보정된 인공지진파를 최초로 작성하였다. 그러나 작성한 인공속도-시간이력곡선의 포락함수는 자료분석에 의해서 제시한 그림 2의 포락함수와 일치하지 않았다. 본 연구에서는 이 포락함수를 일치시키기 위해서 Step function을 사용한 (5-2)식을 적용하여 반복 수정을 수행한다.

$$\dot{X}^{(1)}(t) = \dot{X}^{(0)}(t) + a_1 \{-U_{11}(t) + U_{12}(t)\} + a_2 \{-U_{13}(t) - U_{14}(t)\} \quad (5-2)$$

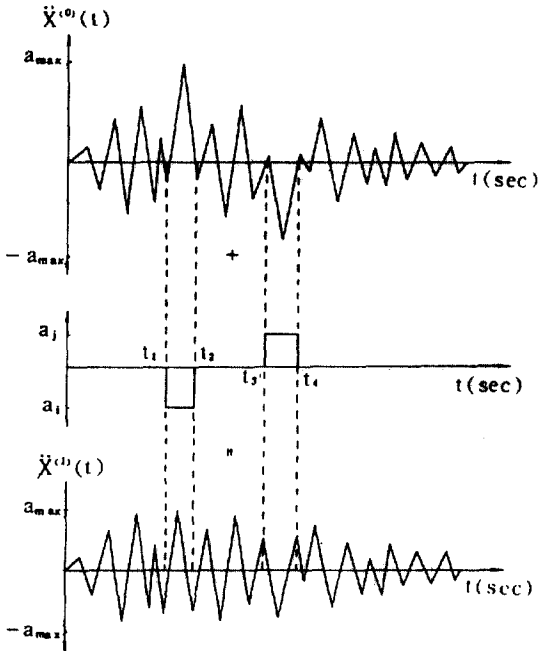


그림 5. 속도-시간이력곡선의 포락함수를 만족시키기 위한 계단함수 사용

여기서 $\dot{X}^{(1)}(t)$ = 수정된 가속도-시간이력곡선
 $\dot{X}^{(0)}(t)$ = 초기 가속도-시간이력곡선
 U_{ij} = 단위 계단함수
 $a_1 = t_1$ 에서 t_2 까지 (-)수정값
 $a_2 = t_3$ 에서 t_4 까지 (+)수정값

그림 5에서와 같이 지진파의 진폭을 수정하는 과정에서 진폭을 내려주는 구간을 표시한 t_1 과 t_2 그리고 진폭을 올려주려는 t_3 와 t_4 의 구간에서 적용할 시간을 일정하게 사용하여 (5-3)식의 조건에 맞추어 수정값과 계산한다.

$$a_1(t_2 - t_1) = a_2(t_4 - t_3) \quad (5-3)$$

특히 (5-3)식에서 진폭을 내려주는 수정값과 올려주는 수정값이 동일하지 않을 경우 편차가 생겨 속도-시간이력곡선이 기준선에서 벗어나 비대칭을 형성한다. 이러한 경우에는 지진파의 포락함수를 일치시키는 수정과정이 복잡하여 진다.

55.2 설계응답 스펙트럼의 반영

인공속도-시간이력곡선의 포락함수를 반복수정함에 따라서 인공가속도-시간이력곡선의 응답스펙트럼은 그림 3으로 제시한 설계응답스펙트럼에 만족스런 범위 내로 일치되지 않는다. 내진설계에 유용하도록 이 차이를 줄이기 위해서 (5-4)식을 이용하여 응답스펙트럼을 수정해야 한다.

$$\dot{X}^{(2)}(t) = \dot{X}^{(1)}(t) + A \sin(W_0 t' + \phi) \quad (5-4)$$

여기서 $\dot{X}^{(1)}(t)$ = 초기 수정된 가속도-시간이력곡선

$\dot{X}^{(2)}(t)$ = 수정할 가속도-시간이력곡선

W_0 = 수정할 진동수

A = 진폭

ϕ = 위상각

$t_1 < t' < t_2$

(5-4)식의 적용은 스펙트럼에서 수정할 진동수와 동일한 진동수를 갖는 정현파를 t_1 과 t_2 구간에서 더함으로 이루어 진다.

55.3 최대 가속도 값의 수정

응답스펙트럼을 유용하도록 수정한 인공지진파의 최대가속도 $|\dot{X}^{(2)}(t)|_{max}$ 는 최초에 결정했던 최대지면가속도 a_{max} 와 일치 되지않아 이 값을 수정해야 한다. 수정 방법은 $|\dot{X}^{(2)}(t)|_{max}$ 가 a_{max} 보다 작을 경우에는 돌출부 구간에 $a_{max}/|\dot{X}^{(2)}(t)|_{max}$ 값을 곱해서 최대지면가속도 값이 a_{max} 가 되도록 수정하고, 위와 상반되는 경우에는 a_{max} 값을 낮추어 준다⁽¹⁾.

55.4 속도-시간이력곡선의 기준선 보정

앞에서 기술한 반복수정을 실시하는 과정에서 최초로 기준선이 보정된 속도-시간이력곡선의 기준선이 변경하여 포락함수가 대칭을 이루지 못한다. 이 경우에는 수정된 응답스펙트럼에 큰 영향을 주지 않으면서 기준선 보정을 수행하여야 한다⁽²⁾. 수정방법은 (5-5)식을 사용한다.

$$\ddot{X}^{(4)}(t) = \ddot{X}^{(3)}(t) + a_0 + a_1 \left(\frac{t}{T}\right) + a_2 \left(\frac{t}{T}\right)^2 \quad (5-5)$$

여기서 $\ddot{X}^{(3)}(t)$ 는 최대값이 수정된 가속도-시간이력곡선이며, a_0, a_1, a_2 는 상수로서 속도제곱의 평균 값이 최소가 되도록 (5-6)식에 의해서 계산된다.

$$\frac{\partial}{\partial a_i} \int_0^T [\ddot{X}^{(4)}(t)]^2 dt = 0 \quad (5-6)$$

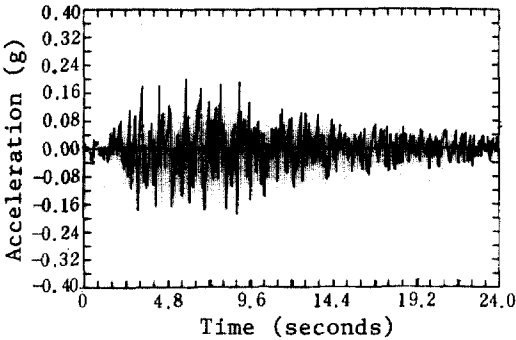


그림 6. 형태 I의 인공가속도-시간이력곡선 (견고한 지반상태)

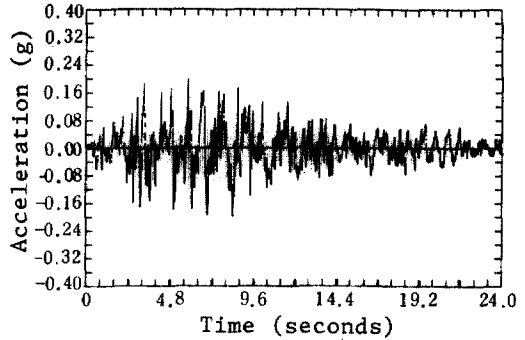


그림 7. 형태 II의 인공가속도-시간이력곡선 (연약한 지반상태)

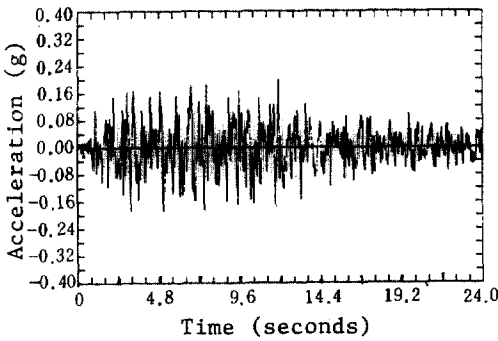


그림 8. 형태 II의 인공가속도-시간이력곡선 (견고한 지반상태)

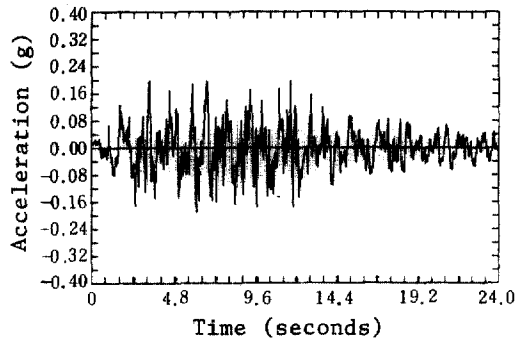


그림 9. 형태 II의 인공가속도-시간이력곡선 (연약한 지반상태)

그림 6, 7로 제시한 인공지진파는 근거리를 나타내는 가속도-시간이력곡선으로써 그림 6은 견고한 지반, 그림 7은 연약지반 상태를 적용한 지진파이다. 또한 그림 8, 9는 장거리를 나타내는 가속도-

여기서 T값은 유효 지속시간 24초를 사용한다.

이 외에도 지진파의 최대가속도, 최대속도, 최대변위에 대한 무차원계수 r의 범위를 실제지진파의 범위인 $5 < r < 15$ 내에서 작성하기 위하여 지진파를 수정하였다⁽¹⁾.

5. 6 인공지진파의 작성결과

본 연구에서 그림 4로 제시한 흐름도에 따라 한 반도의 지진특성을 고려한 인공지진파를 작성하였다. 이 인공지진파는 진앙지의 거리와 지반조건을 고려해서 토질 층별로 각각 작성되었으며, 그 결과는 그림 6, 7, 8, 9와 같이 도시되었다.

시간이력곡선이며, 그림8의 경우는 견고한 지반상태, 그리고 그림 9는 연약지반상태를 고려하여 작성되었다.

인공지진파의 신뢰성을 검토하기 위해서 가속도

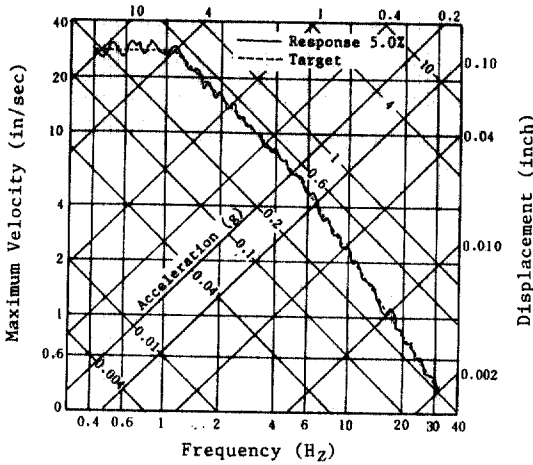


그림 10. 형태 I의 인공지진파 응답스펙트럼과 설계 응답스펙트럼의 비교(연약 지반상태)

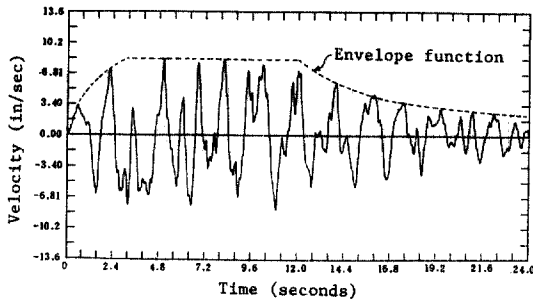
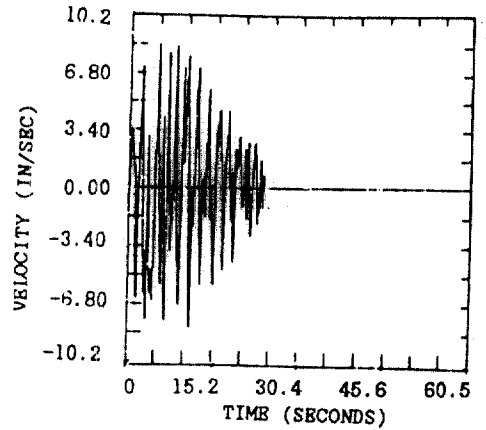


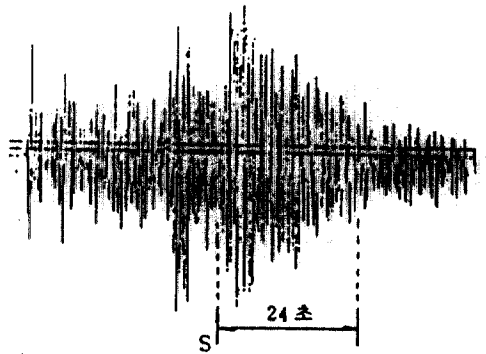
그림 11. 형태 I의 인공 속도-시간이력곡선(연약 지반 상태)

-시간이력곡선의 응답스펙트럼과 속도-시간이력곡선을 작성하였다. 그림 10은 연약지반을 고려한 근거리 인공가속도-시간이력곡선의 응답스펙트럼을 설계응답스펙트럼과 비교한 결과이며, 또한 그림 11은 연약지반상태를 나타낸 근거리 가속도 곡선에 의해서 작성된 인공속도-시간이력곡선이다. 이 인공속도-시간이력곡선의 포괄함수는 자료분석에서 제시한 포락함수와 비교가 된다.

또한 그림 12(a)은 실제로 계측된 지진파형과 비교하기 위하여 그림 11로 도시한 인공속도-시간이력곡선을 실측 지진파형의 시간축척과 동일하게 그린 것이다. 이것을 표 2에 수록된 지진파형에서 포락함수의 파라미터와 유사한 강릉관측소에서 관측된 포항지진 [그림 12(a)]과 비교함으로써 신뢰성이 있는 인공지진파 작성이 수행된 것을 알 수 있



(a) 실측지진파의 시간축척과 동일하게 작성한 인공속도-시간이력곡선 [형태 I (연약지반 상태)]



(b) 실측 지진파의 속도-시간이력곡선 [포항지진(강릉관측소)]

그림 12 인공속도-시간이력곡선과 실측 지진파인 속도-시간이력곡선 비교

었다.

6. 결 론

본 연구에서는 시간이력곡선법에 의해서 일반 구조물의 동적해석이 가능하도록 한반도의 지진특성을 고려한 인공지진파를 작성하였다. 작성된 인공지진파의 최대지진가속도 크기는 한반도 지진구역에서 평가된 0.2g 이고, 지진파의 유효지속시간은 과거에 발생한 최대규모로부터 산출한 24초를 적용하였다.

이 인공지진파의 가속도곡선에 의해서 작성한 인공속도-시간이력곡선의 포락함수들은 관측지진파

의 자료분석에 따라 형태별로 제시한 포락함수와 비교적 일치되었다. 그리고 지진파의 진동수 분포는 토질 층별로 작성한 설계응답스펙트럼으로부터 반영시켰다.

이 지진파의 응답스펙트럼 수정은 구조물의 동적 해석상 그 영향이 중요하다고 판단되는 설계응답스펙트럼의 진동수 영역인 0.4Hz로부터 33Hz사이에서 실시하고, 이구간에서 설계응답스펙트럼 값과 비교한 수정오차는 10% 미만이다.

참 고 문 헌

1. A. Preumont, "The Generation of Spectrum Compatible Accelerograms for the Design of Nuclear Power Plants", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 12, 1984, pp. 481~497.
2. Applied Technology Council, "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulation for Buildings", June, 1978.
3. 朴乘瑢 外 2人, "洪城地震에 의한 建築物의 避害에 대하여", *大韓建築學會誌*, 第22卷, 85號, 1978. 12
4. Park, S.H., "Felt Earthquakes in Korea" *Korean Meteorological Society Journal*, Vol. 5, No. 1, pp. 45~51, 1969.
5. Chulsoo Yu and Won Bae Kim, "Recent Earthquake Activities and Analysis of Seismic Instrumental Data in Korea", *Proceedings of the CCNAA-AIT Joint Seminar on Research and Application for Multiple Hazards Mitigation*, Taipei, Taiwan(1988).
6. 大山奇順産 模擬 地震動作成手法의 개량, につしご 模擬 地震動作成手法研究會, 昭和 59年 3月.
7. G. W. Housner and D.C. Jennings, "Generation of Artificial Earthquakes", *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, Vol. 90, No. EM 1, February, 1964.
8. J. Chulsoo Yu, "Engineering Seismic Zoning for Korean Peninsula", *Proceedings of the First East Asian Conference of Structural Engineering and Construction*, Vol. 2, Bangkok Thailand, Jan. 1986, pp. 15~17.
9. 建設部, "建築物의 耐震構造 및 防災基準에 관한 研究", 1987. 1.
10. N.C. Tsai, "Spectrum-Compatible Motions for Design Purposes", *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, Vol. 98, No. EM2, April, 1972.
11. 嚴相鎬 外 3人, "韓半島의 地震危險圖", 韓國動力資源研究所, 1983. 2.
12. P.Ruiz and J. Penzien, "PSEQGN-Artificial Generation of Earthquake Accelerograms" University of California, Berkely, Marc, 1969.
13. So Gu Kim, "Earthquake of the Korean Peninsula and Its Vicinity(Seismic Risk of the Korean Peninsula and Plate Tectonics)", *Bulletin of IISEE*, Vol. 18, 1980.
14. S. Levy and J.P.D. Wilkinson, "Generation of Artificial Time Histories, Rich in All Frequencies, from Given Responses Spectra", *Nuclear Engineering and Design* 38, 1976, pp. 241~251.
15. Teledyne Geotech, "Portable Short-Period Seismometer, Model S-13", Texas, U.S.A. Oct. 1976.
16. Umemura Hajime, "Earthquake-Resistant Design of Structures", *大韓建築學會誌* 제22권, 85호, 1978, 12.
17. W. Y. Wang and P.C. Wang, "Effective Duration of Seismic Acceleration and Occurance of Maximum Responses", *Nuclear Engineering and Design* 52, 1979, pp. 165~174.

(接受 : 1990. 6. 26)