

진동관리시스템에 의한 지하철 지반진동 전파예측

허영*, 이승수**

Prediction of Propagation of Subway-Induced Ground Vibration using the Vibration Management System

Young Huh*, Seoung Soo Yi**

ABSTRACT

PC용 VMS의 한계점을 극복하기 위해 UNIX-ARC/INFO를 사용하여 WORKSTATION에서 구동되는 UNIX용 VMS를 개발하였다. 본 논문에서는 개발된 VMS의 적용가능성을 판단하기 위해 서울시를 대상으로 VMS시스템을 구현하였으며, 일부지역에는 지하철운행시의 지반진동전파 예측을 하여 실측치와 비교를 통해 그 사용성을 평가하였다.

- COVERAGE : ARC/INFO에서 공간데이터와 속성데이터로 구성된 기본저장단위로서, 일련의 지형요소(FEATURE)들로 컴퓨터에 저장된 지도이다.
- GRID : ARC/INFO와 통합된 셀위주의 지리적인 통합시스템이다.
- AML : ARC환경에서 수행되는 반복되는 명령들을 파일로 저장하여 순차적인 실행을 가능하게 해주는 언어.

1 서론.

근래에 들어 정밀, 고도 산업 사회로의 진입을 위한 교통수단의 고속화, 지하화에 대한 요구가 증대되고 있다. 이로 인하여 지하철 또는 고속전철 건설시 발파 등에 의한 건설진동이나 운행시 발생하는 교통진동이 인접 구조물에 직·간접적으로 영향을 미치게 되고 인근 지역의 쾌적한 시민생활을 침해하는 경우가 빈번하게 일어나고 있다.

그 결과 최근에는 이로 인한 민원제기가 증가하고 있는 추세이며 이러한 민원은 실무자에게 상당한 부담으로 작용된다. 그 중에서 특히 지하철 운행시 발생하는 진동문제에 대해서는 지하철이 이미 건설된 후에는 그에 대한 대책에 있어서 많은 노력과 경비가 소요되며 그에 반한 효과는 적은 편이다.

따라서 지하철이 운행되기 전에 사전예측과 함께 그에 대한 대책 마련이 필요한데 수원대학교 SSI 연구실에서는 1996년에 이러한 요구에 맞추어 PC용 VMS¹⁾를 개발하였다.

PC용 VMS는 GIS를 이용한 진동관리시스템의 가능성을 제기하였으나 PC-ARC/INFO의 한계점으로 인해 실제 지하철 노선을 이용한 진동예측을 하는데 어려움이 있었다. 본 논문은 이런 한계점을 극복하기 위해 UNIX-ARC/INFO를 사용하여 WORKSTATION에서 구동되는 VMS를 개발하였으며, 서울시의 일부분을 대상지역으로 선정하여, 개발된 VMS를 통한 지하철지반진동전파예측을 하였고 실측치와의 비교를 통해 VMS의 사용가능성을 검토해 보았다. 개발된 VMS는 새로운 노선선정시 예상되는 위험지역을 판단한 후 그에 따른 적절한 대책을 사용자가 판단할 수 있게 해주는 공간의사결정지원 시스템(SDSS)개념으로 만들어 졌다.

2 VMS 기본이론.

(1) 지하철진동예측식.

VMS에서 사용되는 지하철 진동예측식은 외국에서 개발되어 실무에서 일반적으로 사용되는 예측식들 뿐만 아니라 국내실정에 맞게 보완된 '수원대'식²⁾도 포함하고 있다.

따라서 VMS의 사용자는 여러가지 예측식으로 예측이 가능하며 특히 '수원대' 식은 앞으로 지속적인

* 수원대학교 토목공학과 조교수

** 수원대학교 토목공학과 대학원

보완을 할 예정이다. VMS에 사용된 예측식은 다음과 같다.

국외 예측식

- WILSON³⁾
- UNGAR & BENDER⁴⁾
- TOKITA⁵⁾
- 뉴욕지하철⁶⁾

국내 실적에 맞게 보완된 예측식

- 수원대

위의 예측식은 예측식 종류별로 크게 두가지로 나누어진다. WILSON, UNGAR & BENDER, '수원대' 식은 옥타브밴드별 예측식이며 TOKITA 및 뉴욕지하철식은 O.A.예측식이다.

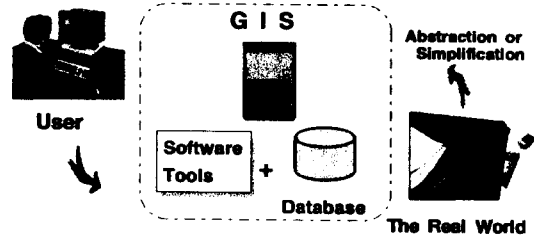
본 논문에서 사용된 예측식 중 국외 예측식은 지면관계상 상세한 서술은 생략하겠으며, 국내실정에 맞게 보완된 '수원대'식에 관해서만 간략하게 기술하겠다. '수원대'식은 실측을 통해 국내 실정에 맞는 거리감 쇠곡선을 개발하였으며 이를 지하철 5호선 구간에서 실측한 진동치와 비교하여 그 적용타당성을 검토하였다.²⁾

(2) GIS에 대한 개념.

GIS(Geographic Information System, 지리정보시스템)는 컴퓨터를 이용하여 어느 지역의 토지, 환경, 자원, 시설관리 등의 제반 공간요소에 연계된 위치 정보와 속성정보를 지리적으로 공간 위치에 맞추어 일정한 형태로 수치화하여 입력, 자료화함으로써 지형공간자료를 구성하고, 그 정보들을 사용목적에 따라 관리, 처리, 분석하여 필요한 결과물을 출력할 수 있는 기능을 갖춘 공간분석에 관한 종합적인 정보관리시스템이다.

지형공간자료에는 위치자료와 속성자료가 있고 공간자료를 제대로 관리하고 분석하려면, 숫자정보와 문자정보만을 처리하게 된 기존의 database 관리 체계로는 불가능하다.

GIS를 활용하면 각종 수치 속성자료를 지도의 공간적 위치에 대응시켜 관리할 수 있으므로 정보들간의 공간적 위상관계를 쉽게 정립 할 수 있다. <그림 1>은 이같은 GIS의 구성을 나타낸다.



<그림 1> GIS의 구성

3 UNIX용 ARC/INFO소개.

PC용 VMS에는 몇가지 한계점이 있었는데 그 한계점은 바로 PC-ARC/INFO가 가지는 한계로 인한 것이었다. 따라서 본 논문에서는 UNIX-ARC/INFO를 통해 VMS를 구현하였고 그에 따라 PC용 VMS의 문제점들을 해결하였다. PC용 VMS에서 나타난 문제점은 아래와 같다.

- 선진동원을 직선으로만 표현
- 예측식종류에 따른 적용의 어려움
- DATABASE관리의 취약성

즉, 선진동원이 곡선일 경우는 표현할 수 없었고 국외예측식 적용시 보정항목들을 정확히 사용할 수 없었으며 측정값이나 지하철에 연관된 도면(예:토질주상도)등의 관리및 검색이 힘들었다. 이러한 문제를 UNIX-ARC/INFO를 사용한 VMS에서는 GRID를 이용한 해석과 PC-ARC/INFO의 SML(Simple Macro Language)보다 강력한 기능을 가진 AML(Arc Macro Language)을 사용하여 해결하였다.<표 1>에서 PC-ARC/INFO와 UNIX-ARC/INFO의 차이점을 비교하였다.

<표 1> PC와 UNIX ARC/INFO의 비교

	PC-ARC/INFO	UNIX-ARC/INFO	비교
기본모듈	ARC ARC PLOT ARCEDIT TABLES ARCTOOLS LIBRARIAN	STARTER KIT ARC PLOT ARCEDIT TABLES OVERLAY	
MACRO LANGUAGE	SML	AML	
EXTENSIONS	NETWORK TIN	NETWORK TIN GRID COGO ARCSTORM ARCSCAN	PC ARC/INFO의 NETWORK과 TIN은 UNIX ARC/INFO에 비해 상당히 취약하다.
DBMS PROGRAM	INFO	INFO	

화면 윗부분은 PULLDOWN메뉴로 각 메뉴의 해당 부분을 마우스로 누르면 VMS의 입력 및 분석, 종료 등 구동명령이 실행되거나 해당되는 SUBMENU를 도시한다. 아래부분은 MAP DISPLAY화면으로 레이어선택메뉴에서 선택된 레이어 및 대상지역을 DISPLAY 한다. 오른쪽 부분은 레이어선택메뉴와 화면의 축소, 확대 명령을 해당ICON으로 표시한다. VMS는 대화형방식으로 이루어져 있어서 USER는 마우스를 이용 VMS가 제시하는 항목중 하나를 선택하거나 메뉴에서 제시되는 BUTTON을 마우스로 선택하면 해당 작업이 수행된다.

(2) VMS의 계산과정.

VMS내에서의 계산은 GRID의 연산으로 부터 얻어진다. 가장 먼저 COVERAGE로 부터 진동원, 수신점으로 구분된 GRID DATA를 생성한다. 그 후 예측식별 GRID를 각 예측식의 보정항목별로 생성한 후 보정항목별 GRID를 연산하여 예측식별 결과 GRID를 생성한다. 각 예측식별 GRID연산과정은 <표 2> 부터 <표 6>과 같다.

GRID연산 예)

$$WIL_TOT = WIL_COUP + WIL_DIST + WIL_SOURCE$$

<표 2> WILSON식의 GRID연산

예측식_Name	WILSON		단위
예측식_종류	OCTABE BAND		
No	GRID_NAME	GRID 연산	
1	WIL_SOURCE_(%)	+	[dB]
2	WIL_DIST_(%)	-	
3	WIL_COUP_(%)	-	
TOT.	WIL_TOT_(%)	=	

<표 3> UNGAR & BENDER식의 GRID연산

예측식_Name	UNGAR & BENDER		단위
예측식_종류	OCTABE BAND		
No	GRID_NAME	GRID 연산	
1	UNG_SOURCE_(%)	+	[dB]
2	UNG_DIST_(%)	-	
3	UNG_MATERIAL_(%)	-	
4	UNG_LAYER_(%)	-	
5	UNG_COUP_(%)	-	
TOT.	UNG_TOT_(%)	=	

WILSON, UNGAR & BENDER 및 '수원대' 식은 옥타브밴드별 예측을 한다. VMS는 이 세식을 GRID연산과정에서 각 주파수별로 각각의 GRID를 생성한 후 O.A.계산을 수행한다.

뉴욕지하철 및 TOKITA식은 O.A.예측식으로 VMS는 GRID의 연산을 통해 연산결과를 O.A.값으로 저장한다.

<표 4> 뉴욕지하철식의 GRID연산

예측식_Name	뉴욕지하철		단위
예측식_종류	O.A		
No	GRID_NAME	GRID 연산	
1	뉴욕_SOURCE	+	[dB]
2	뉴욕_가벼운구조물	+	
3	뉴욕_건물층수	-	
TOT.	뉴욕_TOT	=	

뉴욕지하철식의 기준진동원은 거리에 따라 제시된다. 따라서 <표 4>에서와 같이 거리에 따른 보정항목은 없다.

<표 5> TOKITA식의 GRID연산

예측식_Name	TOKITA		단위
예측식_종류	O.A		
No	GRID_NAME	GRID 연산	
1	TOKITA_SOURCE	+	[dB]
2	TOKITA_DIST	-	
3	TOKITA_지반층상화	-	
TOT.	TOKITA_TOT	=	

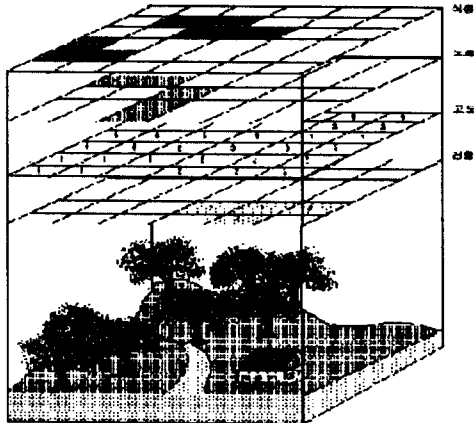
<표 6> 수원대식의 GRID연산

예측식_Name	수원대		단위
예측식_종류	OCTABE BAND		
No	GRID_NAME	GRID 연산	
1	수원대_SOURCE_(%)	+	[dB]
2	수원대_DIST_(%)	-	
3	수원대_COUP_(%)	-	
4	수원대_건물층수_(%)	-	
TOT.	수원대_TOT_(%)	=	

이상과 같이 VMS는 GRID연산과정을 통해 각 예측식별 진동치를 (dB)단위로 계산한다.

GRID연산전 각 예측식별 보정항목중 (예측식이름)_SOURCE라는 GRID에는 진동원의 보정항목중

UNIX-ARC/INFO는 PC-ARC/INFO에 비해 발달된 MACRO 언어인 AML을 통해 시스템 프로그램이 가능하며 EXTENSIONS의 GRID에서 RASTER BASED GRID-CELL분석, TIN에서 SURFACE MODELLING 등 강력한 분석기능을 제공한다. 그 중 본 논문에서는 AML을 사용하여 WORKSTATION에서 구동되는 VMS를 구축하였으며 GRID 기능을 사용하여 지하철 기반진동전파 해석을 하였다. GRID는 UNIX-ARC/INFO의 EXTENSIONS중 하나로서 지리데이터를 CELL이라는 균일한 단위에 미리 지정된 숫자로 저장한다. 일반적으로 USER는 분석 용도에 따라 GRID DATA를 주제도에 따라 하나씩 생성한다. 이를 그림으로 나타내면 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 주제도에 따른 GRID DATA생성

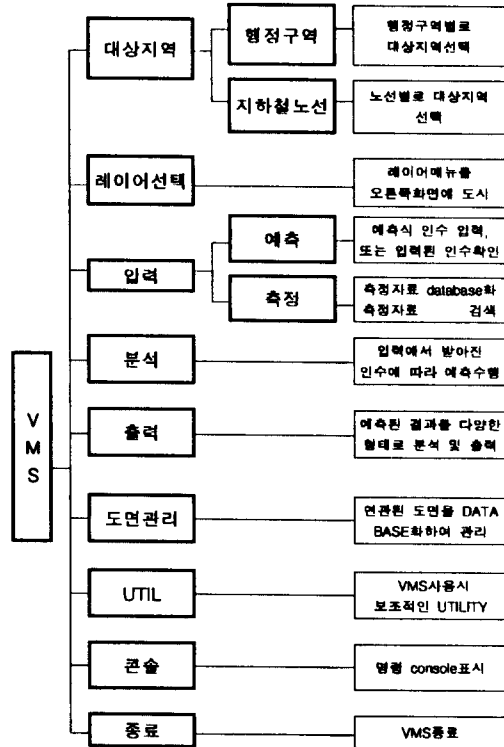
GRID에서의 연산과정은 주제도에 따라 달리 생성된 각 GRID DATA의 동일한 주소에 해당하는 셀의 값을 연산하여 최종GRID의 DATA를 생성함으로써 수행된다.

4 VMS의 구현.

(1) VMS의 메뉴설명.

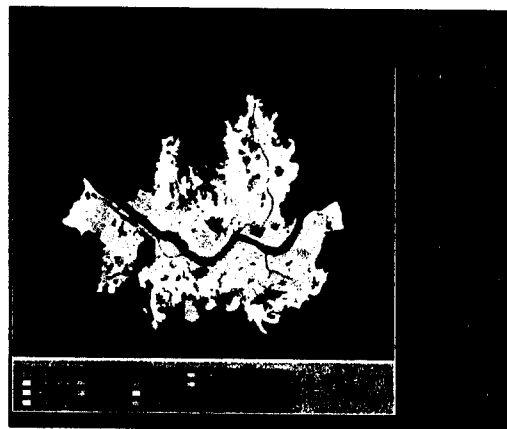
VMS의 메뉴는 <그림 3>과 같은 구조로 이루어져 있다. 각 메뉴를 선택하면 그에 따른 과정이 수행되도록 AML파일로 작성되어 있고 해당 AML파일의 구동을 통해 또 다른 AML파일을 구동하거나 .menu라는 확장자로 등록된 SUBMENU를 화면에

표시한다. 자세한 SUBMENU의 목록은 지면관계상 생략한다.



<그림 3> VMS메뉴구성

VMS가 구동되면 화면이 크게 세부분으로 나뉘어지며 실제 VMS 구동시의 화면은 <그림 4>와 같다.



<그림 4> VMS 전체 메뉴 (서울시를 대상으로)

GRID연산이 필요하지 않은 일부보정항목에 대한 연산이 AML을 통해 수행되어 저장된다.

5 적용사례.

(1) VMS를 이용한 진동예측.

VMS를 이용한 지하철지반진동전파예측을 하기위해 먼저 WORKSTATION에서 VMS를 구동시킨다.

VMS가 구동되면 PULLDOWN메뉴에서 대상지역을 행정구역별 혹은 지하철노선별로 선택한다. 대상지역이 선정됐으면 PULLDOWN메뉴에서 입력부분을 선택한다. SUB-MENU가 예측, 추정으로 나뉘어 있는데 추정은 측정값의 관리를 하는 곳이므로 지하철진동전파예측을 하기 위해선 예측을 선택한다.

예측을 선택하면 두가지 메뉴로 크게 나뉘어 있는데 진동원입력 메뉴와 수진점입력메뉴가 그것이다. VMS는 두가지 메뉴를 통해 예측식의 보정항목별 인수를 입력받는다. VMS는 대화형방식으로 이루어졌으므로 USER는 VMS가 제시하는 보정항목을 취소선택(마우스 오른쪽으로 누르면 선택항목도시)하거나 BUTTON을 마우스로 선택하여 보정값을 입력한다. VMS의 입력과정이 끝나면 PULLDOWN메뉴에서 분석을 선택한다. 분석을 선택하면 VMS는 지하철진동전파예측을 수행한다.

그후 PULLDOWN메뉴에서 출력을 선택한 후 원하는 예측식을 선택하면 <그림 5>와 같다.



<그림 5> VMS를 통한 지하철 지반진동예측

<그림 5>에서 대상지역은 위험정도에 따라 4가지 색을 통해 4구역으로 크게 나뉘어 진다. 예측결과는 해당지역의 기준치와 비교되어 기준치를 초과하는 지역은 빨간색으로 표시되고 그보다 낮은 지역은 단계별로 점차 색이 연해져서 마지막 단계에가서는 녹색으로 표시된다. 각 단계는 5dB의 차이가 있다.

(2) VMS에 의한 예측치와 실측치의 비교.

VMS에 의한 지하철 지반진동 예측치를 실측치와의 비교를 통해 사용성 여부를 판단해 보았다. 그러나 결과를 흑백그림으로 표현하기엔 어려움이 있어서 지하철 5호선 실측지점의 거리에 따른 VMS의 결과를 <표 7>로 정리하였다. 비교대상이 된 실측치는 5호선 지하철 운행시 측정된 값으로 측정시 자세한 인수는 참고문헌2에 정리되어 있다. <표 7>에서 실측치와 가장 근접한 결과를 나타낸 예측식에 표시를 하였다. <표 7>은 VAL치를 O.A.값으로만 비교를 하였다.

<표 7> VMS에 의한 예측치와 실측치의 비교
단위: [dB]

장소	거리	wilson	Ungar & Bender	TOKITA	뉴욕 지하철	수원대	실측치
발산	5	69	80	65	42	52	52
	10	61	75	61	37	48	49
김포공항 주차장	0	76	83	66	43	56	55
	5	67	79	65	41	50	51
고덕동	0	64	69	64	44	48	54
	5	63	67	63	42	42	48

아직까지는 실측DATA의 확보가 부족해서 <표 7>의 결과만으로는 정확한 판단을 내리기는 힘들지만 국내실정에 맞게 개발된 예측식을 통해서 실측치와 상당히 근접한 예측을 할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 앞으로 실측DATA의 지속적인 확보를 통해 국내실정에 맞는 지하철지반진동전파예측식의 보완과정이 계속될 것이며 그에 따른 VMS의 보완작업도 이루어 질 것이다.

6 결론.

본 논문에서는 PC용 VMS의 한계를 극복하고 사용

자에게 편리한 환경을 제공하기 위해 UNIX용 VMS를 개발하여 그 사용성 판단을 위해 실측치와의 비교하였다.

- 1) PC용 VMS의 단점인 선진동원의 곡선표현이 가능, 실제 지하철노선의 입력이 자유로워졌다.
- 2) 지하철과 관련된 도면 및 측정자료의 DATA-BASE화를 통해 자료의 보관, 수정, 보완이 쉽다.
- 3) 외국에서 개발된 기존예측식 뿐 아니라 국내실정에 맞게 개발된 예측식의 사용으로 사용자의 선택의 폭이 넓어졌다.
- 4) 실측치와의 비교를 통해 실측치와 상당히 근접한 예측이 가능하다는 것을 판단할 수 있었다.

7 추후과제

유사 연구 수행자를 위하여 본 과제수행중에 얻어진 필요 추후연구를 나열하면 다음과 같다.

- 1) 국내실정에 맞는 지하철진동전파예측식의 지속적인 보완.
- 2) VMS와 수치해석프로그램과의 연계를 통한 구조물 동적특성 고려.

8 참고문헌

- 1) 허 영, 구용우, 'GIS를 이용한 진동환경 관리시스템(VMS) 개발', 한국소음 진동공학회 추계학술대회논문집, 1996 pp, 359~354
- 2) 허 영, 이승수, 김희철, 신한철, 이인세, '지하철 진동 예측식의 사용성 판단을 위한 실측값과 예측값의 비교', 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, 1996, pp80-85
- 3) G.P. Wilson, "Ground-borne vibration levels from rock and earth based subways", (Report) Wilson, Ihrig & Associates, Oakland, CA. for DeLeuw, Cather & Company, Washington, DC

1971.

- 4) E. K. Bender, U. J. Kurze, K. S. Lee, and E. E. Ungar, "Predictions of subway-induced noise and vibration in buildings", Phase 1, (Report) Bolt, Beranek & Newman, Inc., Cambridge, MA, BBN-1823. for: Washington Metropolitan Area Transit Authority 1969.
- 5) Y. Tokita A. Oda, K. Shimizu, and K. Kimura, " On the groundborne noise propagation from a subway", (Conference paper) Presented at 96th Meeting of the Acoustical Society of America, Honolulu, HI, 1978.
- 6) L. G. Kurzweil and E.E. Ungar, "Prediction of noise and vibration in buildings near the New York City subway", Proceedings, Inter-Noise, 82, 1982.