

# 신호 해석 및 모드 해석을 위한 프로그램의 개발 (MSAMODAL)

°지 원호\*, 김 철순\*, 이종원\*

( Program Development of Mechanical Signature Analysis and Modal Analysis )

( Won-Ho Jee, Cheol-Soon Kim, Chong-Won Lee )

## 요약문

기계신호를 처리분석하기 위하여 개발된 MSAMODAL 프로그램에 대하여 그 기능 및 특성을 설명한다. 모듈 프로그램중 신호 해석 모듈은 시간영역 해석과 주파수 영역 해석, 확률 해석의 부모모듈로 나뉘며 모드 해석 모듈은 모드 매개변수 추출과 모드 애니메이션의 부모모듈로 나뉘는데 각각에 대하여 간략한 설명과 함께 결과를 보인다.

## 1. 서론

MSAMODAL (신호 해석 및 모드 해석)은 실제 기계 구조물이나 시스템으로부터 측정되는 여러 형태의 신호를 처리 분석함으로써 시스템의 고유특성과 약, 정상운행진단, 또는 진동 소음원 규명등에 활용키 위한 목적으로 개발된 패키지이다.

해석을 위해서는 프로그램 수행전 기본적으로 데이터를 준비한 후에 이를 처리하는 방식 (off-line)을 사용하였다. 본 프로그램은 IBM PC 및 PC 호환 기종에 적합하도록 개발되었으며 출력장치 (Printer, XY-plotter)를 작동시킬 수 있는 S/W도 내장 시켰다.

본 프로그램은 여러개의 모듈들로 구성되어 있는데 각각의 모듈들은 모듈 제어 프로그램에 의해 유기적으로 연결되고 초보자도 편리하게 사용할 수 있도록 대화식 데이터 입력 및 메뉴선택방식을 채택하고 있으며 이때 필요한 추가정보는 Help를 통해 손쉽게 얻을 수 있도록 하였다.

## 2. 구조 및 사양

MSAMODAL은 구성상 크게 신호 해석 (Signature Analysis) 모듈과 모드 해석 (Modal Analysis) 모듈로 나뉘고 이 두부분은 다시 각각의 목적에 맞도록 여러개의 부모모듈 (Sub-module)로 나뉜다. 신호해석 모듈은 크게 3개, 즉 확률해석, 시간영역 및 주파수영역 해석의 부모모듈로 나뉘며 이들이 최종적으로 수행 프로그

램 (ccl program)을 수행시킴으로써 원하는 결과를 얻을 수 있다. 모드 해석은 모드 변수 추출 (Modal Parameter Estimation)과 모드 애니메이션 (Mode Animation)의 두 부모모듈로 다시 나뉘어지며, 이 두 부모모듈도 마찬가지로 수행 프로그램을 수행시키게된다. 수행 프로그램에 의하여 얻어진 결과는 도표나 수치로 표현되며 이를 프린터 혹은 플로터로 출력이 가능하다.

그림 1은 MSAMODAL의 구조를 보여주고 있다.

본 프로그램을 사용하기 위한 주요 사양은 다음과 같다.

- 컴퓨터 : IBM PC 및 PC 호환기종일것.  
기억용량이 640kB이상일것.
- 모니터 : CGA, EGA, VGA, Hercules
- 프린터 : Epson 호환기종
- 플로터 : Roland Dxy-880, 980

## 3. 신호 해석

신호 해석 모듈에서는 작업목적에 따른 준비작업을 행하기 위해 Main Set-up 프로그램을 두어 모든 부모모듈 프로그램에 공통되는 사항을 지정토록 하고 있다. 구체적인 항목은 다음과 같다.

- 화일 형태 : Binary File/ASCII File 외.
- 시스템 형태 : Input/Output 의 수.
- 데이터 갯수 : 2의 멱급수일 것.
- 평균 횟수 : 앙상블 평균의 수.
- 샘플링 시간 : 샘플링 시간, 샘플링 주파수.
- Data Location, Data Filename

\* 한국과학기술원

또한 신호 해석 모듈에서는 다음과 같은 보조 기능이 지원된다.

- 커서 기능
- x,y축 로그 변환 기능
- x,y축 축소/ 확대 기능

### 3.1 시간영역 해석

시간응답 (Time History)은 입력된 모든 데이터를 시간에 대한 함수로 보여주며 이때는 먼저 주파수 영역 해석시의 데이터 한벌에 해당하는 양을 보여주게

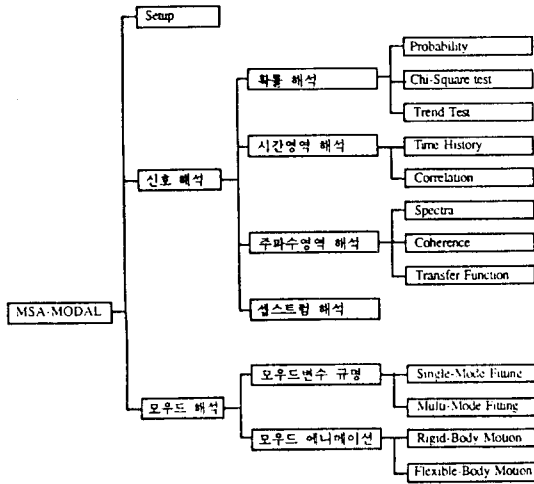


그림 1. MSAMODAL의 구조

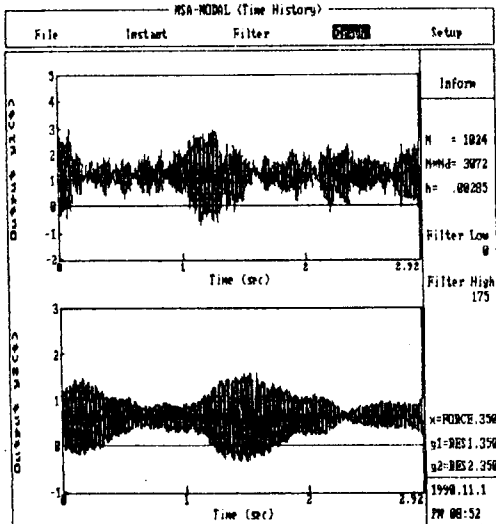


그림 2. 시간 응답

된다. 한벌 이상의 데이터는 커서를 이용하여 시간영역에서 흘러가도록 하므로써 볼 수 있다. Set-up에서 필터링 (Filtering)을 원하는 주파수 영역을 설정하면 푸리에 변환 (FFT)을 이용한 필터링을 수행하고 그 결과를 보여준다. 그림 2는 시간 응답의 예이다.

상관 함수 (Correlation Function)를 선택하면 그림 3과 같은 결과를 얻을 수 있다. 이때 기본 도시 시간 (Default Display Time)은 20%이며 여기서 도시시간을 변경시키면 100% 까지 도시 가능하다. 계산결과는 필요로 하는 기능에 해당하는 키를 누르면 즉시 나타난다. 이때의 상관함수들은 모두  $\tau = 0$ 에서의 값으로 정규화 (Normalize)시켰으며 대신  $\tau = 0$ 에서의 값을 화면의 오른쪽에 보여주게 된다.

### 3.2 주파수영역 해석

주파수영역 해석에서는 선형 스펙트럼 (Linear Spectrum), 자기 스펙트럼 (Auto Spectrum), 상호 스펙트럼 (Cross Spectrum), 잔여 스펙트럼 (Conditioned Spectrum), 기여도 함수 (Coherence), 전달함수 (Transfer Function) 등을 선택할 수 있으며 그림 4는 자기 스펙트럼의 결과를, 그림 5는 전달함수의 결과를 나타낸다.

이외에 Zooming과 셉스트럼 해석을 행할 수 있는데 Zooming이란 FFT에서 Data Point를 늘리기 어려운 경우 특정 영역의 주파수에 대하여서만 Data Point를 늘려 자세히 보기위한 방법이다. 주파수영역 해석 메뉴의 Set-up을 선택하여 Decimation No. 및 Low

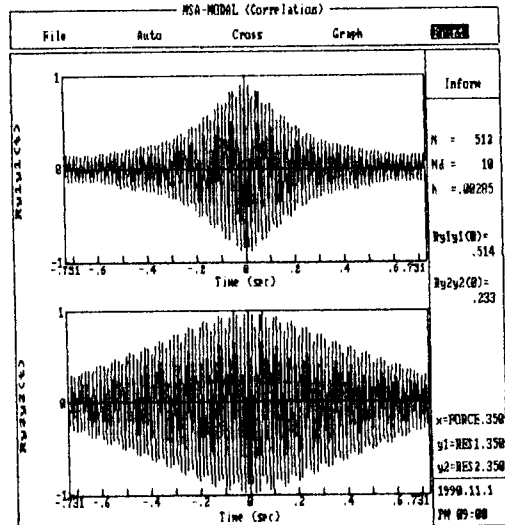


그림 3. 상관함수

Zooming Freq. 및 High Zooming Freq.를 선택하여 수행 시키면 된다. 셉스트럼 해석 (Cepstrum Analysis)은 스펙트럼 상에 나타나는 조화성분 (Harmonic), Sideband, 반향파 (Echo)들을 이용하여 주기적인 신호를 분석하기 위하여 사용되며 일반적으로 로그를 취한 스펙트럼의 스펙트럼으로 표현된다.

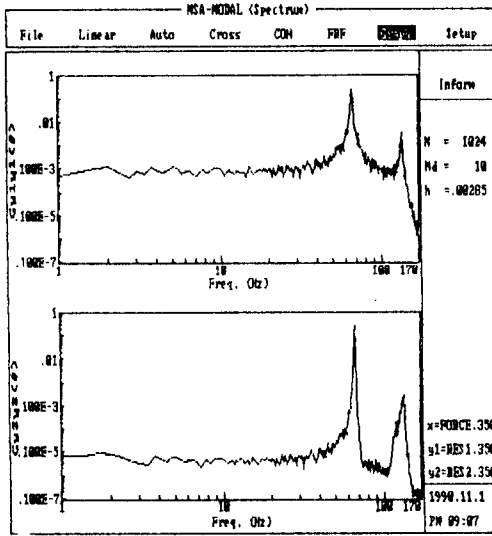


그림 4. 자기 스펙트럼

### 3.3 확률 해석

확률 해석 (Probability Analysis)에서는 확률 밀도 함수 (Probability Density Function) 및 확률 분포 함수 (Probability Distribution Function), 카이 제곱 적합성 판정 (Chi-Square Goodness-of-fit Test), 경향시험 (Trend Test)을 행할 수 있으며 그림 6은 확률 밀도/분포 함수의 결과를, 그림 7은 카이 제곱 적합성 판정의 결과를 나타낸다.

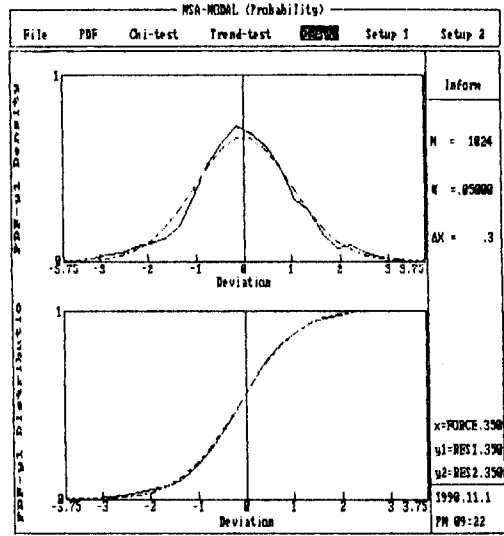


그림 6. 확률 밀도/분포 함수

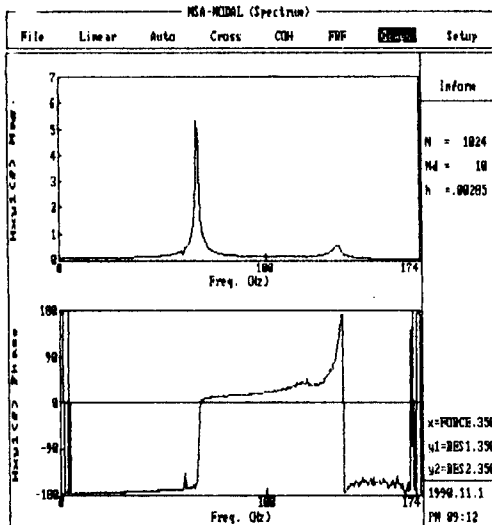


그림 5. 전달함수

MSA-MODAL (Probability)							
File	PDF	Chi-test	Trend-test	Good	Setup 1	Setup 2	
No	X(K)	Range	P	F=NP	F	G-(f)²/F	Inform
16	-5.75 ~ -7.5	.835 ~ .674	.9022	336	343	.112	
17	-7.75 ~ -1	.674 ~ .494	.9682	279	260	1.36	
18	-1 ~ -1.25	.494 ~ .314	.9530	217	193	2.7	N = 4096
19	-1.25 ~ -1.5	.314 ~ .194	.9380	159	136	2.81	K = .05000
20	-1.5 ~ -1.75	.194 ~ .045	.6267	109	101	.682	
21	-1.75 ~ -2	.045 ~ .225	.8173	70.9	75	.229	
22	-2 ~ -2.25	.225 ~ .405	.8185	43.2	46	.169	AX = .25
23	-2.25 ~ -2.5	.405 ~ .585	.8068	24.7	24	3.46	
24	-2.5 ~ -2.75	.585 ~ .765	.8032	13.2	19	2.45	
25	-2.75 ~ -3	.765 ~ .945	.8016	6.7	10	1.62	
26	-3 ~ -3.25	.945 ~ 1.125	.8013	5.55	3	1.17	
Mean = 1.21		IG-(f)²/F = 35		y1 is Normal end			
σ = .72		Reference = 35.1					
							x=FORCE.350 y1=RES1.350 y2=RES2.350 1990.11.1 PW 09:31

그림 7. 카이 제곱 적합성 판정

#### 4. 모드 해석

기계 구조물에 대한 실험적 모드 해석은 동적 특성을 규명하는데 활용되고 있는 기법으로서 다양한 실제 문제에 응용되고 있다. 실험적 모드 해석의 근간을 이루는 것은, 먼저 대상물에 대한 시간/주파수 영역 응답을 구하는 과정과, 이와 같이 얻어진 응답 특성을 기반으로 하여 모드 매개변수 (Modal Parameter)를 구하는 과정, 그리고 매개변수를 이용한 시스템 해석 혹은 재설계 등의 응용 과정 등으로 구성된다. 본 프로그램은 주파수영역에서 전달함수가 주어졌을 때 이로부터 모드 매개변수를 평가하는 모듈과 평가한 결과를 시각화시키기 위한 애니메이션 모듈로 구성되어 있다.

##### 4.1 모드 매개변수 추출 (Modal Parameter Estimation)

모드 매개변수를 구하기 위한 적용 방법은 다양하게 개발되어 왔으나, 실제 가장 보편적으로 활용되는 방법은 주파수영역에서의 커브 피팅기법 (Curve Fitting Technique)이다. 여기서는 두가지 방법을 제시하고 있는데, 먼저 단일 모드 추출 (Single Mode Fitting)의 경우에는 각 모드가 잘 분리되어 있다는 가정하에 각 모드가 지배적인 영역을 제시하고 이 영역에 준하여 하나씩 순차적으로 피팅하는 기법을 사용한다. 이 방법은 다중 모드 추출기법을 활용할 때 나타나듯 초기치 결정에 사용될 수 있다.

다중 모드 추출 (Multi Mode Fitting)의 경우에는 주어진 초기치를 ELEF (Evaluation of Lobe Effect) 방법으로 개선하고 이를 비선형 커브피팅 (Nonlinear Curve Fitting)의 초기치로 대입하여 수행하므로써 효율성을 높이도록 하였으며 여러개의 전달함수를 동시에 피팅할 수 있도록 하였다.

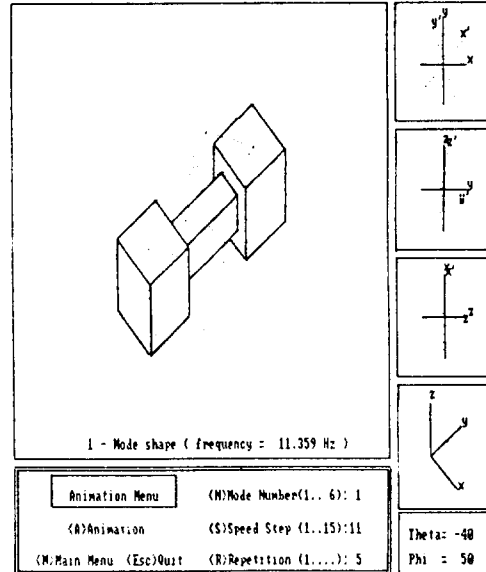


그림 9. 강체의 애니메이션

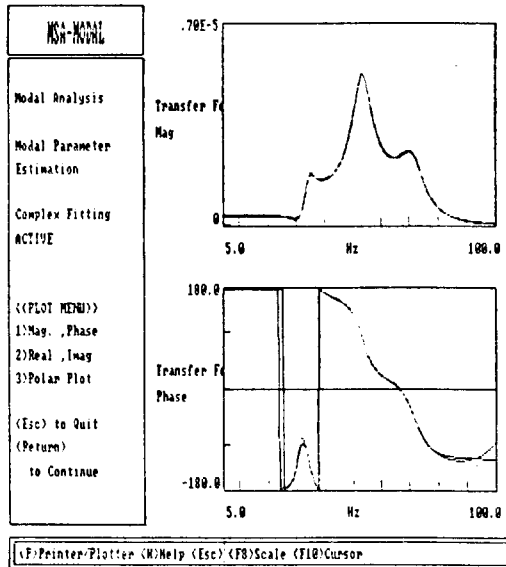


그림 8. 모드 매개변수 추출

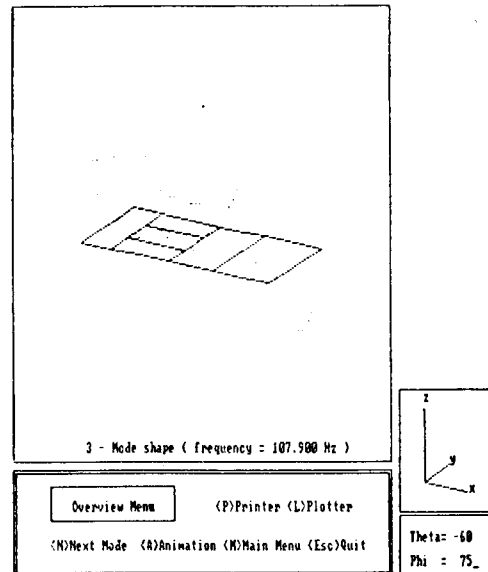


그림 10. 판성체의 애니메이션

커브 피팅 작업은 초기치 선정 및 관심 영역의 설정에 따라 그 수렴속도 (Convergent rate)가 크게 좌우되므로, 각각의 작업은 대화식 데이터 입력이 가능하도록 프로그램을 구성하였다. 그림 8은 모드 매개변수 추출의 결과를 나타낸다. 프로그램의 허용범위는 다음과 같다.

- 동시추출 가능함수 (No. of Functions)  
한번에 커브 피팅할 수 있는 전달함수의 한계는 5개이며 이보다 많은 갯수일 경우에는 5개씩 그룹으로 묶어 피팅하여야 한다.
- 각 전달함수당 데이터 수 (No. of Data)  
256개 이하여야 한다.
- 최대허용 모드 수 (Degree of freedom)  
8개의 모드까지 가능하다.

#### 4.2 모드 애니메이션 (Mode Animation)

모드 애니메이션을 위해 사전에 준비해야할 자료는 별도의 시행을 통해 얻어야 한다. 강체의 경우에 대한 애니메이션을 위한 준비 자료는 크게 물체의 형상 데이터와 모드 데이터로 구분된다. 탄성체의 경우, 물체의 형상 데이터는 강체와 유사하지만 모드 데이터는 각 모드마다 각 점의 상대변위로 주어진다.

데이터를 준비한 후 애니메이션 명령을 선택하면 강체 및 탄성체의 경우 모두 정지된 물체를 보여주게 된다. 이 때 몇개의 기능 키가 준비되어 있어 정지 화면 혹은 동작 화면으로 모드를 볼 수 있고 물체를 보는 각도도 조정 가능하다. 강체의 애니메이션에 대한 수행결과를 그림 9에 나타내었다. 탄성체의 경우는 강체와 달리 물체의 모든 윤곽이 그대로 나타난 모드현상을 보여주게 된다.(그림 10)

### 5. 결론

MSAMODAL 프로그램의 각 기능에 대하여 간략한 설명과 함께 결과를 나타냄으로써, MSAMODAL을 기계구조물이나 시스템에 대한 신호 해석 및 모드 해석에 사용할 경우 유용한 결과를 얻을 수 있음을 보였다.

#### 참고 문헌

1. J. S. Bendat, and A. G. Piersol, "Random Data : Analysis and Measurement Procedures", 2nd ed., John Wiley & Sons, 1986
2. "MSAMODAL사용설명서", Vol 1, NOVIC, KAIST, 1990
3. S. Braun, "Mechanical Signature Analysis : Theory and Applications", Academic Press, 1986

4. J. S. Bendat, and A. G. Piersol, "Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis", John Wiley & Sons, 1980
5. R. K. Otnes, and L. Enochson, "Applied Time Series Analysis : Basic Techniques", John Wiley & Sons, 1978
6. S. C. Walgrave, and J. M. Ehlbeck, "Understanding Modal Analysis," SAE paper No. 780695
7. 심충건, "실험적 모드 해석에 있어서 커브-피팅 알고리즘에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1986