

라멘조 건축구조물의 수직진동 전달특성에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Vertical Vibration Transfer according to Rahmen Building Structures due to Train Loads

전 호 민*
Chun, Ho-Min

ABSTRACT

The vibration on building structures due to exciting vibration forces has been studied only for the vibration level on existing buildings. Recently, several researches have been performed on the prediction of vertical vibration on structures by using an analytical method. However, these studies have been focused on mainly the vibration analysis through analytical modeling of structures. This study aims to investigate the dynamic characteristics of vertical vibration transfer from lower stories to upper ones on the Rahmen building structures due to traffic loads. In order to examine the characteristics of vertical vibration transfer, the mode analysis and the impact experiment were conducted several times on one building structures. The results of this study suggest that the characteristics of vertical vibration transfer are different in terms of the type of trains.

1. 서 문

교통하중의 영향을 받을 수 있는 건물을 신축할 때 이에 대한 충분한 고려를 할 필요성이 존재하며 이에 관한 연구가 여러 분야에서 이루어지고 있다. 또한 이에 대한 사전평가방법에 대해서도 연구가 이루어지고 있다. 연구되는 방법은 라멘구조와 전단벽 구조에 관한 연구로서 신축전에 수직진동을 예측할 수 있는 방법이다. 그러나 건물에 가해지는 교통하중에 의한 가진원이 건물로 진입되어 저층부에서 상층부로 수직진동이 전달되면서 나타나는 각 부재의 동특성의 변화에 대한 연구는 극히 미진한 실정이다. 이에 본 연구에서는 열차가 인접건물을 통과할 때 기둥을 통해 전달되는 진동의 저감현상에 대하여 라멘형식의 건축구조물에 대한 부재의 수직진동 전달 특성을 실험을 통해 분석하였다. 저층부에서 고층부로 전달되는 진동전달 특성을 제시한다.

본 연구에서는 실험을 실시하여 건물의 진동전달 특성을 관찰한다. 이를 토대로 전달되는 과정에서 나타나는 진동특성 변화를 파악한다. 실험대상으로는 통과하는 열차에서 인접한 라멘구조 형식으로 된 건축물 1개소에 대한 실험을 예비실험 형식으로 실시하였다. 가속도계를 이용한 자료의 획득은 실시간 처리 동적신호분석기인 DP440을 이용하여 자료를 저장한다. 현장에서 측정된 자료는 시간영역의 가속도응답과 진동수영역의 가속도 응답으로 한다.

본 연구에서는 실험적 연구를 수행함에 있어 다음과 같은 제한사항을 둔다.

1) 진동레벨 산정시 대상으로 하는 진동은 수직방향의 가속도로 한다.

* 정회원·초당대학교 건축학과 전임강사

- 2) 진동측정실험을 실시하는 지층의 분포는 고르다고 가정한다.
- 3) 건물진동 측정시 대상구조물은 철근콘크리트 라멘구조물로 한다.

2. 진동측정 실험

2.1 대상 건물

대상건물의 구조형식은 철근콘크리트 라멘조이며 철근콘크리트 설계강도는 210 kgf/cm^2 이다. 대상건물의 부재치수를 표 1에 나타내었으며 평면도를 그림 1에 나타내었다. 음영처리부분이 실험장소를 나타낸다. 그림 2에는 상부방향으로 또는 하부방향으로 전달되는 수직 진동을 측정하기 위한 가속도계 위치도 나타내었다. 표 2는 사용된 실험장비를 나타낸다.

표 1. 대상건물의 부재치수

큰 보 (mm)	작은 보 (mm)	기둥 (mm)	슬래브(mm)		설계기준강도 (kgf/cm^2)
			두께	가로×세로	
350×700	350×900	350×600	120	4125×4500	210

표 2. 실험장비 목록

장비	모델명	제 원	수량
동적신호 분석기	Data Physics DP440	4 channel Dynamic Analyser	1
가속도계	Dytran 3191A	Sensitivity : 5,000 mV/g Range : $\pm 5 \text{ g}$ (output) Frequency range($\pm 5\%$) : 0.1-1,000 Hz	3
임팩트 햄머	Dytran 5802A	Sensitivity : 0.95 mV/LbF Maximum impulse:8,000 LbF	1
기타		Digital 카메라 (Olympus)	1

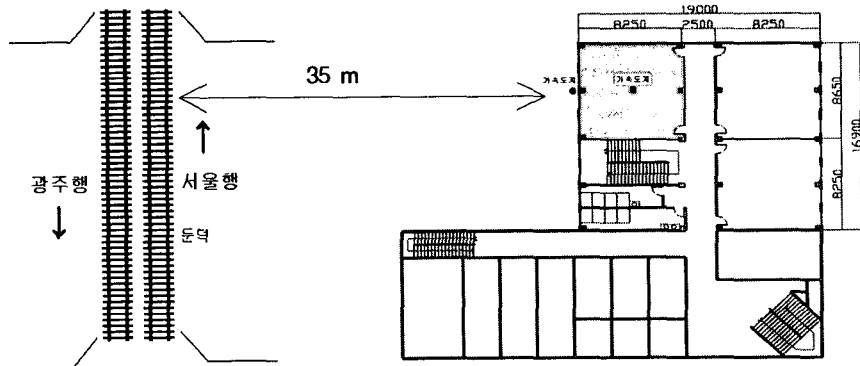


그림 1. 대상건물의 기준층 평면도

2.2 실험 방법

큰 보에 대한 고유진동수는 건물 4층 바닥보에 대하여 4개의 메쉬로 분할하여 실험모드해석을 실시하여 구하였다. 통과하는 열차에 의한 진동이 건물로 전달되어 상층부로 전달되는 수직 진동 특성을 관찰하기 위하여 먼저 발뒤꿈치에 의한 가진과 임팩트 햄머에 의한 가진을 실시하여 상층부로의 진동 전달 특성을 파악하였다.(실험 A) 이어서 통과하는 열차에 의한 가진을 대상으로 진동 측정을 실시하였다.(실험 B) 먼저 발에 의한 가진과 임팩트 햄머에 의한 가진시 가속도계를 그림 2(a)의 큰보(G1) 중앙부에 설치하고 가진은 기둥(C2)에 근접한 큰 보의 상부에 연직방향으로 가진하였다.(그림 2(b)) 이를 통해 하층부에서 상층부로의 진동

특성을 파악하였다. 열차하중에 의한 수직진동 전달은 1층, 2층 3층의 큰보 중앙부에 가속도계를 설치하여 상층부로의 진동전달특성을 관찰하였다.(그림 2(c))

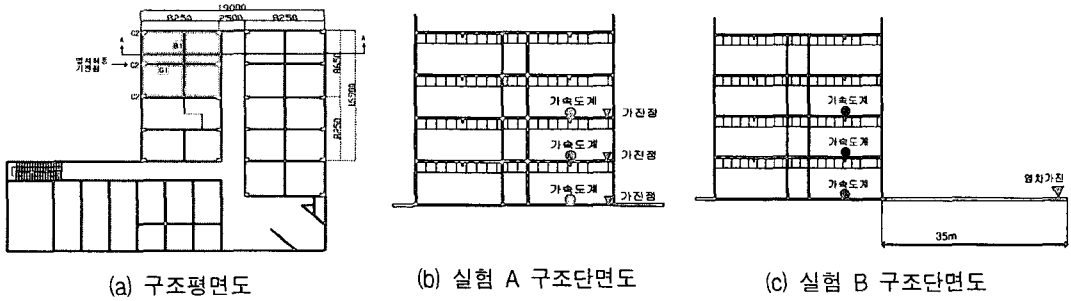


그림 2. 대상건물의 구조평면도 및 실험 단면도

사진 1은 측정장비를 나타내며 사진 2는 큰보의 모드해석시 모습이며 사진 3은 사용한 가속도계를 나타낸다.

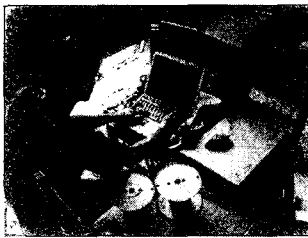


사진 1. 측정장비



사진 2. 모드해석



사진 3. 가속도계

3. 실험결과 분석

3.1 고유진동수

모드해석 실험을 실시하여 큰 보의 고유진동수를 구하였다. 동적신호분석기(DP440)⁽¹¹⁾에서 측정한 전달함수(transfer response function)를 STAR⁽¹⁰⁾ 프로그램에서 결과를 분석하였다.

표 3. 큰 보(G1)의 고유진동수

모드	큰 보	
	Frequency (Hz)	Damping (%)
1차	15.95	2.61
2차	35.81	2.23
3차	66.03	4.56
4차	76.33	2.84
5차	85.21	1.52

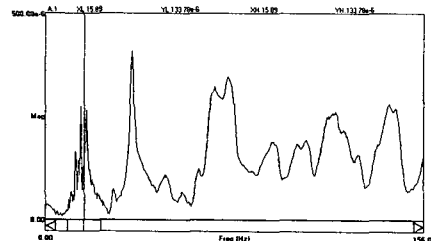


그림 3. 대표적인 전달함수 (큰 보)

3.2 발과 임팩트 햄머 가진에 의한 수직방향 진동 전달 (실험 A)

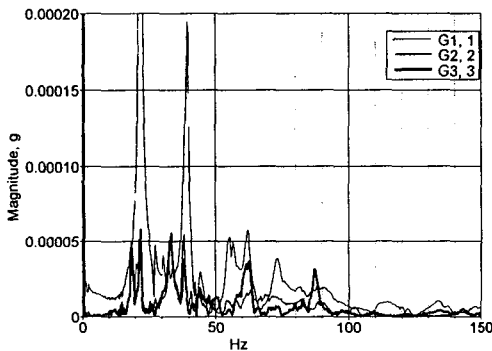
가속도계는 큰 보의 중앙에 설치하고 임팩트 햄머에 의한 가진은 기둥에 인접한 큰 보 상부에 연직방향으로 가했으며 1층, 2층, 3층에 가진하여 상부 및 하부로 전달되는 수직진동 전달 특성을 비교하였다.(그림 4, 그림 5) 각 실험은 2회씩 실시하였으며 1회당 3번 가진한 결과를 평균화(averaging)하여 나타내었다.

그림 4와 그림 5에서 알 수 있듯이 큰 보의 고유진동수가 진동응답에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 이는 발과 임팩트 햄머에 의한 white noise 형태의 가진에 의해 나타난 것으로 판단할 수 있다.

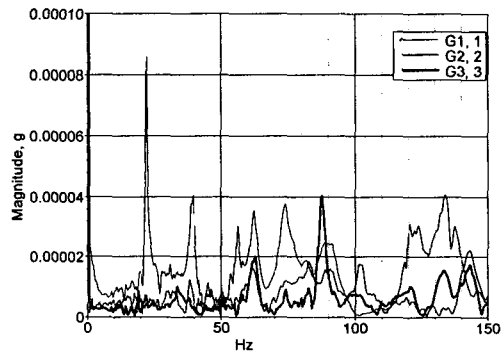
하층부에서 상층부로 전달될 때는 전체적인 진동수영역에 걸쳐 크게 저감되는 것으로 나타났으며 특이한 현상은 저층부에서 상층부로 수직진동이 전달되면서 일부 진동수영역(80~90 Hz)에서 증폭되는 현상이 나타났다.(그림 4(a), 그림 5(a)) 또한 고유진동수 위치에서의 응답저감이 가진한 1층에서 2층으로 전달되면서 크게 저감되었으나 3층에서는 2층에 비해 큰 저감은 나타나지 않았다.

상층부에서 하층부로 전달될 때는 저진동수 성분에 비해 고진동수 성분이 상대적으로 크게 저하되는 현상을 보였으며 하층부에서 상층부로 전달되는 경우와는 상이한 결과를 나타내었다. 즉 저진동수의 고유진동수 위치에서는 하부로 진동이 전달되면서 진동성분의 손실없이 전달되는 것을 알 수 있다.

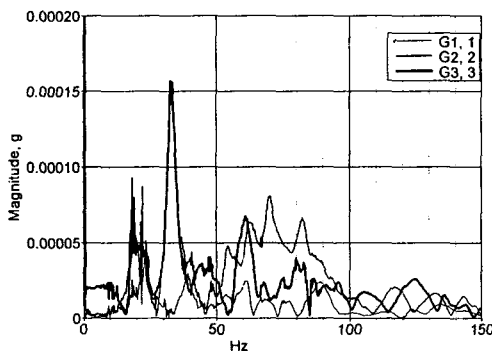
실험 A의 결과를 보면 건물내에서 가진된 진동은 상층부로 전달되는 것 보다는 하층부로 전달되는 진동성분이 크다는 것을 확인할 수 있다.



(a) 1층 가진시 (발)



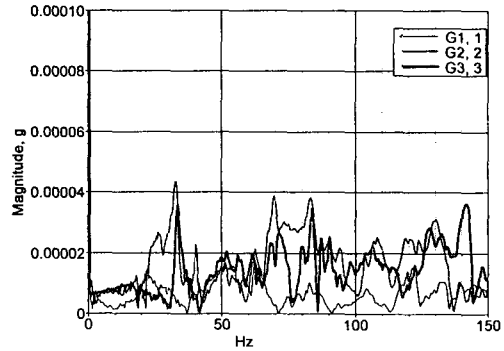
(a) 1층 가진시 (햄머)



(b) 2층 가진시 (발)

(G1,1 : 1층, G2,2 : 2층, G3,3 : 3층)

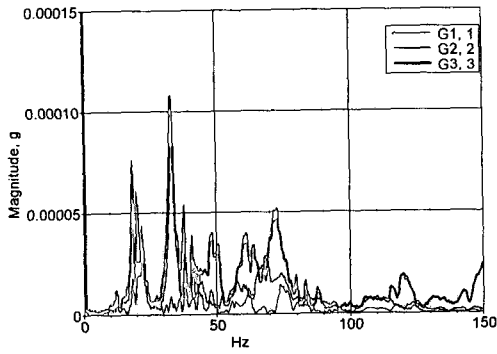
그림 4. 각 층 가진시 1층, 2층, 3층 응답 (발)



(b) 2층 가진시 (햄머)

(G1,1 : 1층, G2,2 : 2층, G3,3 : 3층)

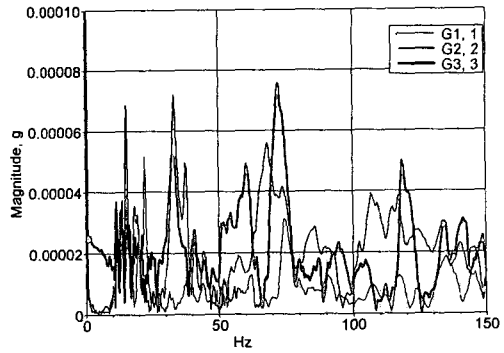
그림 5. 각 층 가진시 1층, 2층, 3층 응답 (햄머)



(c) 3층 가진시 (발)

(G1,1 : 1층, G2,2 : 2층, G3,3 : 3층)

그림 4. 각 층 가진시 1층, 2층, 3층 응답 (발)



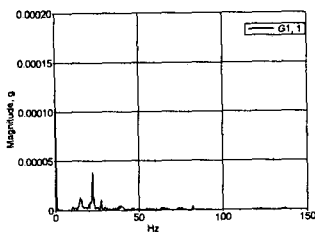
(c) 3층 가진시 (햄머)

(G1,1 : 1층, G2,2 : 2층, G3,3 : 3층)

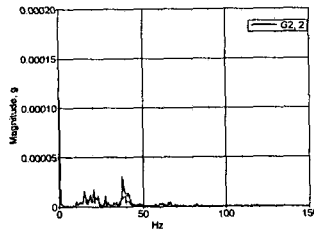
그림 5. 각 층 가진시 1층, 2층, 3층 응답 (햄머)

3.3 열차하중 가진에 의한 수직방향 진동 전달 (실험 B)

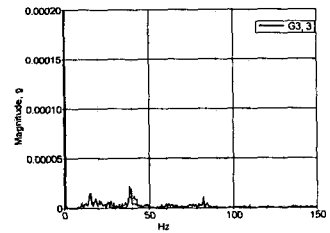
가속도계는 1층, 2층 3층 큰 보의 중앙에 설치하고 열차가 통과할 때 가진되는 진동원에 대하여 수직진동 전달을 측정하였다. 그림 6은 열차가 통과하지 않을 때 1층, 2층, 3층의 암진동을 나타낸다. 큰 보의 저차 고유진동수에서 응답이 있음을 알 수 있다. 또한 열차종류별 건물 입력하중(건물인접지반)을 그림 7에 나타내었다.



(a) 1층 큰 보

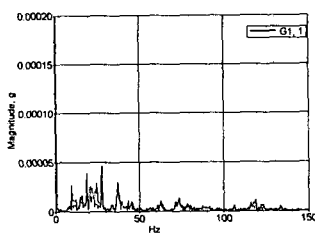


(b) 2층 큰 보

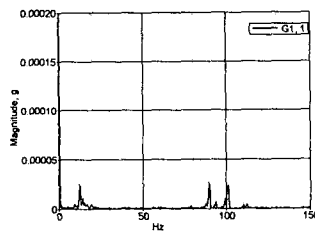


(c) 3층 큰 보

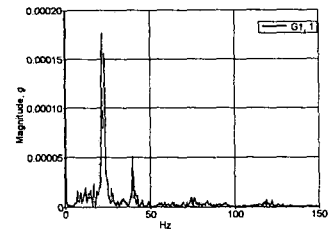
그림 6. 1층, 2층, 3층 큰 보의 암진동



(a) 고속열차 입력하중



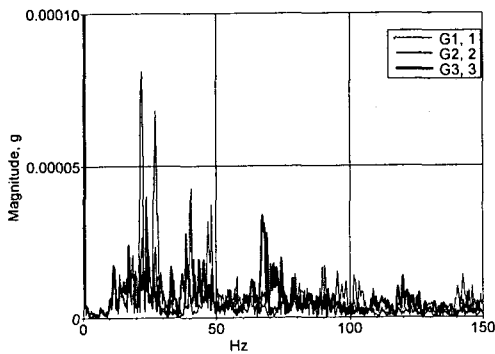
(b) 무궁화열차 입력하중



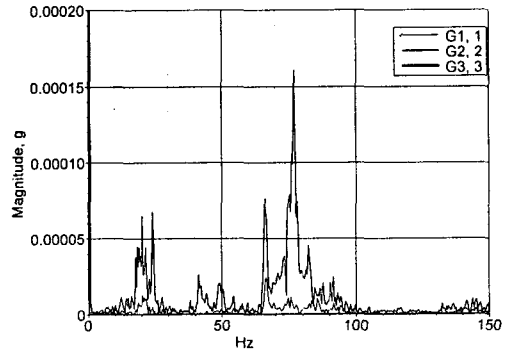
(c) 화물열차 입력하중

그림 7. 열차종류별 건물 입력하중

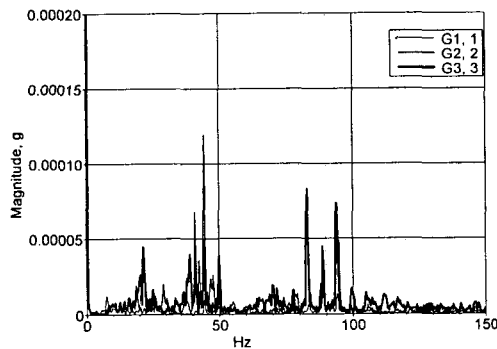
고속열차(KTX)의 경우 측정위치에서는 상행선 하행선 모두 상당히 저속으로 운행을 하였다. 측정결과에서는 1층에서 2층, 3층으로 전달되면서 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 화물열차의 경우에는 고속열차에 비해 상대적으로 빠른 속도로 지나갔으며 또한 응답 양상도 상이하게 나타났다. 1층에서 상층부로 전달되면서 증폭되는 현상이 나타난 것이다. 이는 앞의 3.2절에서 측정된 결과와는 다른 것으로 나타났다. 그림 8(b) 및 그림 8(c)에서 나타난 결과는 그림 7(c)의 입력하중의 탁월한 지배진동수가 기둥을 통해 전달되는 수직진동에 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 건물로 입력되는 교통하중의 탁월진동수의 크기에 따라 상이한 진동응답이 나타날 수 있음을 확인할 수 있다.



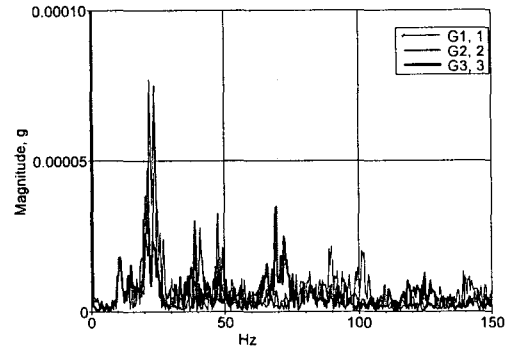
(a) 고속열차(KTX) 하행선



(b) 화물열차 하행선



(c) 화물열차-1 하행선



(d) 고속열차(KTX) 상행선

(G1,1 : 1층, G2,2 : 2층, G3,3 : 3층)

그림 8. 건물에 인접하여 통과하는 열차하중에 의한 응답

4. 결 론 및 추후 연구과제

라멘형식 철근콘크리트 건축구조물의 수직진동 전달 특성을 파악하기 위하여 라멘형식의 1개 건물에 대하여 실제 열차하중에 의한 진동원을 대상으로 수직방향의 수직진동 전달실험을 실시하였다. 실험에 의해 측정된 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 발과 햄머에 의한 가진에 따른 수직방향으로의 수직진동 전달특성을 분석한 결과 하층부에서 상층부로 전달되는 수직진동은 전체 진동수 영역에서 모두 크게 저감되는 현상을 보였다. 그러나 일부 진동수 영역에서 저층부보다 고층부에서 더 수직진동이 증폭되는 경우도 나타났다. 상층부에서 하층부로 전달될 때는 저진동수 성분에 비해 고진동수 성분이 상대적으로 크게 저하되는 현상을 보였으며 하층부에서 상층부로 전달되는 경우와는 상이한 결과를 나타내었다. 즉 저진동수의 고유진동수 위치에서는 하부로 진동이 전달되면서 진동성분의 손실없이 전달되는 것을 알 수 있다.

2. 열차의 입력하중에 따라 동일한 건물에서 다른 진동응답 양상이 나타났다. 고속열차(KTX)의 경우 1층에서 2층, 3층으로 전달되면서 감소하는 것으로 나타났으나 화물열차의 경우에는 1층에서 상층부로 전달되면서 증폭되는 현상이 나타난 것이다. 입력하중의 탁월한 지배진동수가 기둥을 통해 전달되는 수직진동에 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 건물로 입력되는 교통하중의 탁월진동수의 크기에 따라 상이한 진동응답이 나타날 수 있음을 확인할 수 있다.

향후 연구과제로서 더욱 다양한 대상건물을 선정하여 분석할 예정이며, 수직진동이 하층부에서 상층부로 전달되는 경우에 일부 진동수 영역에서 증폭되는 현상에 대한 심층적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2003-000-11968-0)지원으로 수행되었음.

참고 문헌

1. 전호민, 철도 인접건물의 진동예측 모형에 관한 연구, 연세대학교 박사학위논문, 1997
2. 전호민, 홍갑표, “철근콘크리트 건축물의 수직진동전달에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 제15권 제11호 pp. 37-44, 1999. 11
3. 전호민, 이동훈, 홍갑표, “열차하중에 의한 건축구조물의 진동특성 변화에 관한 비교 연구”, 대한건축학회 논문집, 제17권 12호, PP. 11-18, 2001. 12
4. 우운택, 박태원, 한남희, 정란, “전달함수 특성을 이용한 건물의 연직진동 특성 예측”, 대한건축학회논문집, 제18권 6호, PP. 55-60, 2002. 6
5. 峯村敦雄, 振動傳搬の豫測方法, 騒音制御, 21(1), pp. 10-13, 1994
6. 田中靖彦外 3人, ‘交通振動を受けるS造建物の環境振動豫測手法’, 日本建築學會構造系論文集 (470), pp. 151-158, 1995. 4
7. 横田明則, 平尾善裕, 建物内振動の評価, 騒音制御, 21(1), pp. 28-32, 1997
8. 日本建築學會, 環境振動・古音の測定技術マニュアル, オーム社, 1999. 3
9. 倉部 誠, 圖說モード解析入門, 大河出版, 1988. 1
10. The STAR system manuals, Spectral Dynamics, Inc. 2001
11. SignalCalc Mobilyzer manuals, Data Physics Corporation, 2000.