

축척음향모형실험에 의한 Stadium 의 음향특성

Acoustical Characteristics of Chonju World-cup Stadium by Scale Model Experiment

◎신 영 무(Shin Young-Moo)*, 주 진 수(Joo Jin-Soo)**

1. 머리말

2002년 전주월드컵 축구 전용경기장은 축구경기뿐만 아니라 각종 예술공연행사를 수반하는 다목적 행사장으로 활용하는데 적합한 공간으로 건설되어야 하기 때문에, 이와 관련된 내용 중 대형 경기장에서 야기될 수 있는 음향효과의 문제점을 사전에 예측하여 그 문제점의 최소화 계획을 수립하고, 기본 건축설계안에 대한 구조물 재료의 음향반사특성의 변화량을 예코 타임 패턴을 중심으로 비교·평가하고 음향장애 현상을 방지할 수 있는 설계 및 시공의 보완방안을 제시하는데 있다.



사진 2.1 1/40 축척 전주월드컵 축구 전용경기장

2. 축척 음향모형실험의 물리음향실험

2.1 축척음향모형의 제원

전주시 덕진구 반월동, 장동, 여의동 일원(480,326 m²)에 건설되고 있는 전주월드컵 축구 전용경기장은 수용인원 42,371명, 체적 1,001,000m³ 규모로써, 1/40 축척 음향모형경기장을 응용한 물리실험을 통하여 제반사항에 대해 검토한다.

1/40 축척 음향모형 경기장의 물리음향 실험의 검토사항은 ①잔향시간 및 주파수 특성 ②예코 타임 패턴 ③음향장애 현상 ④음압레벨 분포 등이다.

제작된 축척모형의 사진은 (사진 2.1)과 같다.

2.2 1/40 축척 음향모형 축구장의 임펄스 응답측정

본 실험연구에서 기초적으로 중요한 부분은 실험 대상 축구장의 임펄스 應答을 구하는 일이다. 이 임펄스 應答의 電氣的 信號情報은 실험 대상 축구장의 音場 시뮬레이션의 成敗를 좌우하기 때문이다.

이 임펄스 應答의 측정을 위해, 音源은 試作品인 放電音을 사용하고, 受音은 1/4" 마이크로폰으로 1채널로 收錄하였다. 데이터의 수록은 12비트 A/D 컨버터로 변환하여 HP 컴퓨터로 수록하였으며, 임펄스 應答의 측정에 쓰인 제정수는 샘플링 주파수 250KHz, 데이터의 길이는 30,000 word 1ch, S/N 비의 개선을 위해 동기 가산수는 20 회로 측정하였다.

* 호원대학교 건축토목공학부 교수

** 한일장신대학교 건축학부 교수

이 측정 및 신호처리 시스템은 그림 2.1 과 같다. 이 시스템에 있어서 FFT 에 의한 合成演算 및 입력 應答의 合成演算(Overlap-add 법)으로, 실제 홀 및 模型 추구장에서의 聽感的 印象을 再生器機를 통하여 직접 귀로 확인할 수도 있다.

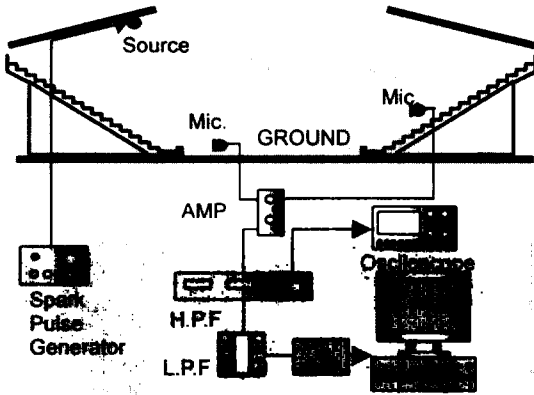


그림 2.1 측정 및 신호처리 시스템 개념도

3. 음향모형실험의 相似則과 실험방법

모형실험의 일반적인 목적은 모형에서의 현상으로 실물현상을 추정하는데 있으므로 실물과 모형에서의 물리적 현상은 공통의 지배방정식을 만족할 필요가 있다. 따라서, 관측대상으로 하는 전 물리량을 실물과 모형사이의 일정한 관계(상사법칙)를 유지시킬 필요가 있다. 이 관계를 구하는 경우, 버킹검의 파이(π)정리에 기초한 차원해석이 잘 이용된다. 여기서는 공기중에서 실시하는 음향모형실험의 기본적인 상사법칙을 차원해석을 기초하여 정리한다.

먼저, 파동현상과 관계되는 양으로서 8 개의 물리량을 선택하여 식(3.1)과 같이 길이(L), 질량(M), 시간(T) 3 개의 기본 물리량에 의한 다차원 매트릭

스를 생각한다(단, 공기의 점성, 열전도 등은 무시).

$$\begin{matrix} L & T & f & \rho & K & p & u & P \\ L & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -3 & -1 & -1 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & -2 & -2 & -1 & -3 \end{pmatrix} & & & & & & \\ M & & & & & & & \\ T & & & & & & & \end{matrix} \quad (3.1)$$

단, f : 주파수, ρ : 공기밀도, K : 공기의 체적 탄성률, p : 음압, u : 입자속도, P : 음향파워

이 매트릭스의 랭크는 3 이므로 버킹검의 정리에 따라 다음 5 개의 무차원곱(x 번호)이 구해진다.

$$\pi_1 = T \cdot f \quad (3.2)$$

$$\pi_2 = p \cdot K^{-1} \quad (3.3)$$

$$\pi_3 = u \cdot (K/\rho)^{-1/2} = u \cdot c^{-1} \quad (3.4)$$

$$\pi_4 = f \cdot L \cdot (K/\rho)^{-1/2} = f \cdot L \cdot c^{-1} \quad (3.5)$$

$$\pi_5 = c^{-5} \cdot f^2 \cdot \rho^{-1} \cdot P \quad (3.6)$$

즉, 상사법칙이 성립되기 위해서는 이들 각각의 무차원양이 실물과 모형사이에 일치할 필요가 있다.

공기중에서 실시하는 모형실험일 경우 K, ρ, c 는 실물과 동일하다. 또한 상사비로서 기하학적 축척비 $L_m/L_r = 1/n$ 을 취하여 상기관계를 바꿔 쓰면 다음과 같다.

여기서 첨자 r 과 m 은 각각 실물과 모형을 의미한다.

$$f_m = n \cdot f_r \quad (3.7)$$

$$T_m = T_r/n \quad (3.8)$$

$$P_m = P_r \quad (3.9) \quad \text{시할 수 없는 경우는 상사조건을 근사적으로 성립}$$

$$u_m = u_r \quad (3.10) \quad \text{시키는 방법을 취하든가 실험결과를 보정할 필요가}$$

$$P_m = P_r/n^2 \quad (3.11) \quad \text{있다.}$$

즉, $1/n$ 축척의 모형실험에서는 식(3.7), 식(3.8)에서 알 수 있듯이 실물에 대하여 실험주파수는 n 배, 시간은 $1/n$ 배의 관계가 된다. 또한 음향파위에 대해서도 상사관계를 성립시키기 위해서는 식(3.11)과 같이 모형음원의 파워를 실물의 $1/n^2 (= 20/\log n \text{ dB})$ 로 하지 않으면 안된다.

그러나 실제로는 절대 음압레벨을 문제로 삼는 경우에도 임의 파워의 음원으로 실험한 후 결과를 보정하면 된다.

이상은 기본적인 상사조건으로서 공기의 관성과 탄성만 고려할 경우에 한정 되지만, 엄밀히 말하면 음향현상에는 이들 요소 이외에 공기의 점성, 열전도, 재료내부에서의 에너지손실 등이 관계된다. 그러나 이들 전체의 요소와 관련된 상사조건을 동시에 만족시키는 것은 거의 불가능하며, 이것은 다른 분야의 모형실험에서도 마찬가지다. 예를 들어 공기의 점성까지를 고려한 상기 차원해석을 하면 $L^2 \cdot f = \text{일정}$ 이라 하는 조건이 성립되므로, 식(3.5)의 조건에 모순된다. 이것은 유체의 모형실험에서 마하수(관성력과 탄성력의 비)와 레이놀즈수(관성력과 점성력의 비)에 대한 상사조건을 동시에 만족시킬 수 없는 것과 마찬가지다. 단, 일반의 음향모형 실험에서는 점성 등의 요소가 지배적인 경우는 드물며 무시해도 좋은 경우가 많다. 이들 영향을 무

4. 측정점 및 임펄스 응답의 시간파형

측정점의 위치는 그림 4.1 과 같고, 축척음향 모형축구장의 각각 受音点의 임펄스 應答의 시간파형은 그림 4.2, 동 임펄스 應答의 잔향 감쇠파형은 그림 4.3 과 같다.

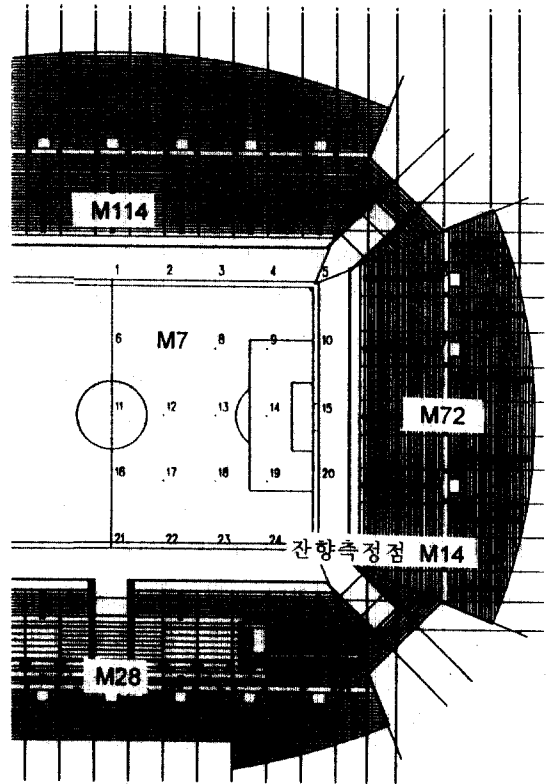


그림 4.1 측정점의 위치

5. 맺는말

본 전주월드컵 축구 전용경기장의 1/40 축척 음향모형경기장을 응용한 물리실험을 통하여 제반사항에 대해 검토한 바, 다음과 같은 사항의 개선점을 예측할 수 있다.

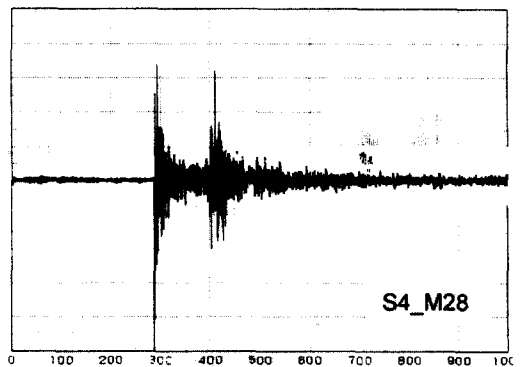
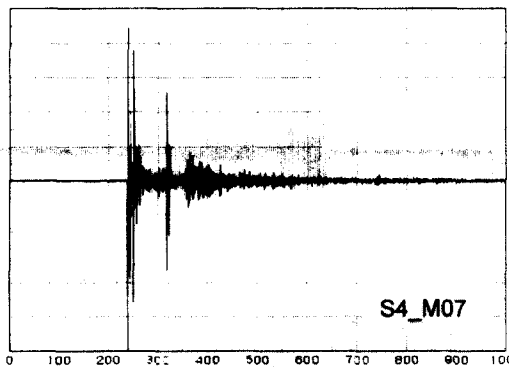
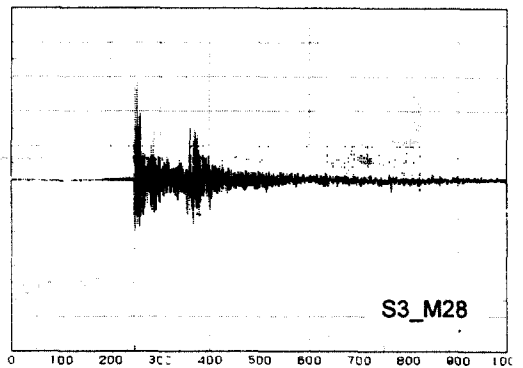
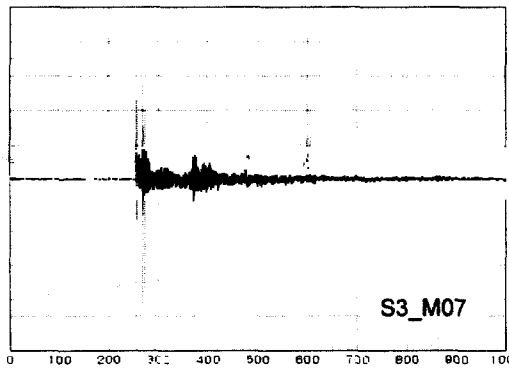
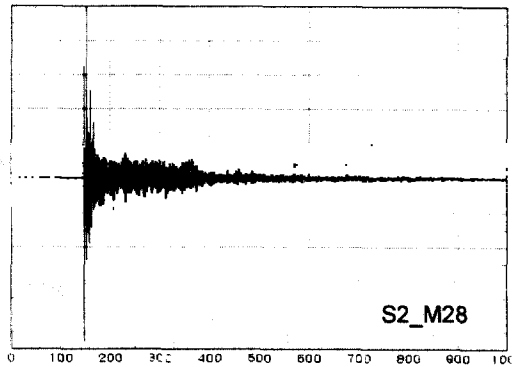
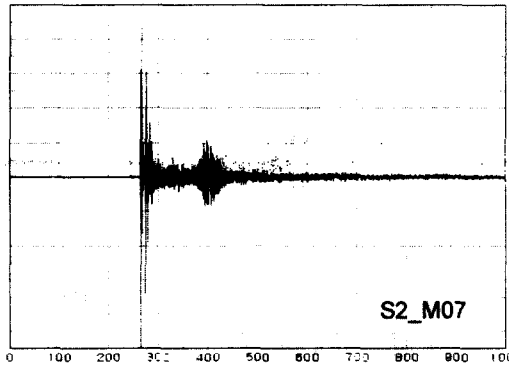
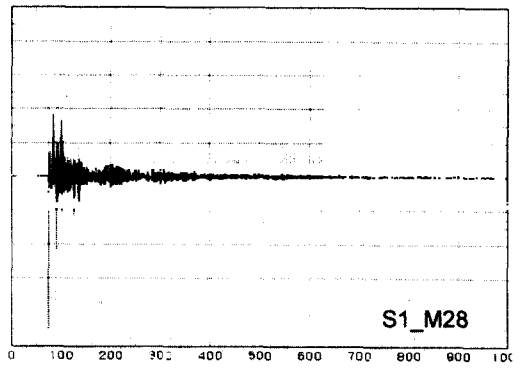
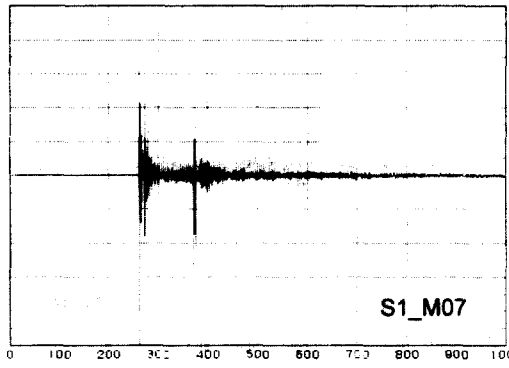
- 1) 본부석이 있는 스탠드의 중앙 통제실의 운동장측 벽면(경사 유리면이 있는 상하부분 포함)을 고성능 흡음판넬로 처리하고, 이로 인한 음향장애를 제거토록 할 것.
- 2) 캐노피 투광판넬의 단면형을 하부로 곡면이 되도록 처리하여 확산형으로 한다면 운동장에서부터 입사하는 소리를 확산하는 기능을 갖도록 함과 동시에 주변환경소음 등으로부터 야기되는 소리를 조절할 수 있는 효과가 기대되기 때문에 적극 권장.
- 3) 관람석 스탠드의 반사음이 에코를 유발할 수 있는 것으로 실험결과 검출되었다. 단, 관객이 입장하면 상당히 개선될 것으로 판단됨.
- 4) 양측의 전광판에 의한 반사음이 실험적으로 검출되었다. 이는 전광판의 기능상 그대로 수용해야 할 것인지 또는 적절한 확산 및 흡음을 위한 대안이 있는지에 대한 검토가 요망됨.
- 5) 물리실험에 의한 음압분포의 계산결과로는 3층 운동장측 입구측은 스피커의 위치로부터 그림자가 생기는 부분으로서 음압이 현저히 저하되어 음압보장을 위한 스피커의 증설이 요구되는 곳이며, 천장은 반사음으로 인한 에코가 생길 가능성이 있으므로 흡음면으로 처리함이 바람직하다. 또한 이와 같은 현상으로 운동장측 스탠드 앞쪽도 스피커로부터 거리가 비교적 멀기 때문에 적절한 음압증강을 위한 스피커의 증설이 강구되어야 할 것으로 판단된다.
- 6) 자유음장 상태에서 잔향시간이 짧게 할 수 있다면 경기장의 명瞭도는 향상되겠으나, 대운동장이 갖고 있는 절대조건과 청감상의 거리감쇠 등에 의한 한계성 때문에 잔향시간의 계산값은 큰 의미가

없다 하겠다.

이번의 실험연구에 의해 임펄스 應答으로부터는 모든 음향적 물리량뿐만 아니라, 모든 청감평가를 위한 有效 試驗音의 합성제작의 가능성을 확인하는 계기가 되었다. 따라서, 이 음향적 신호처리기술의 응용은 건축음향설계에 있어서 매우 강한 도구로써 사용할 수 있는 점이 검증되었다.

참 고 문 헌

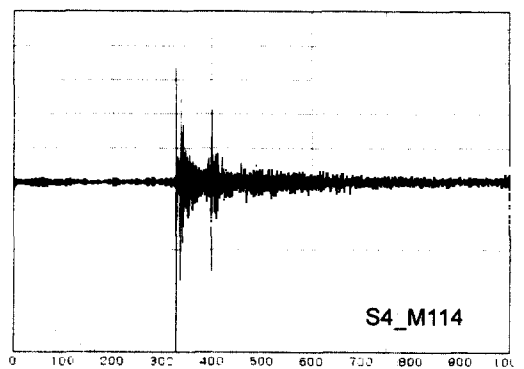
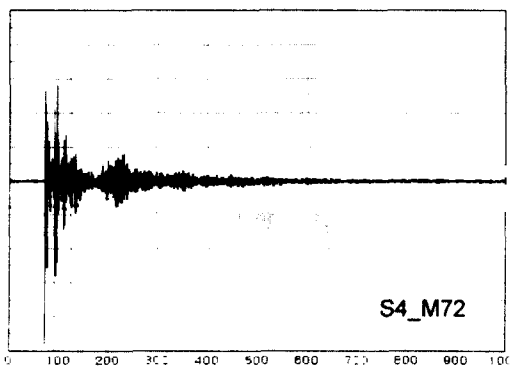
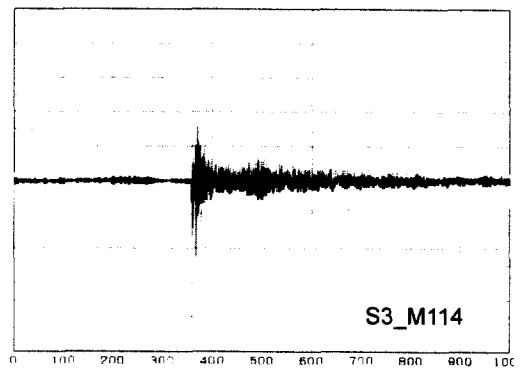
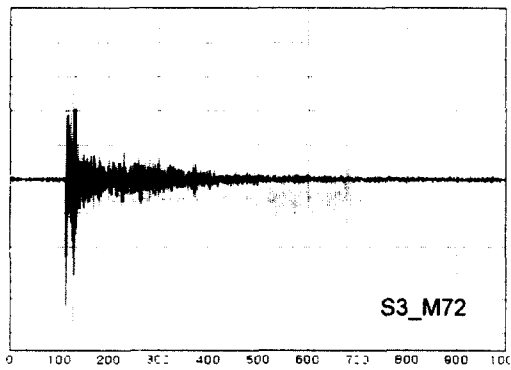
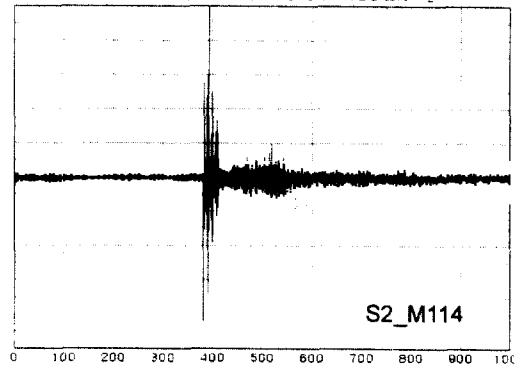
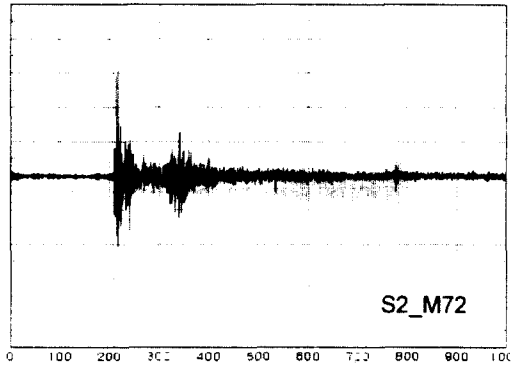
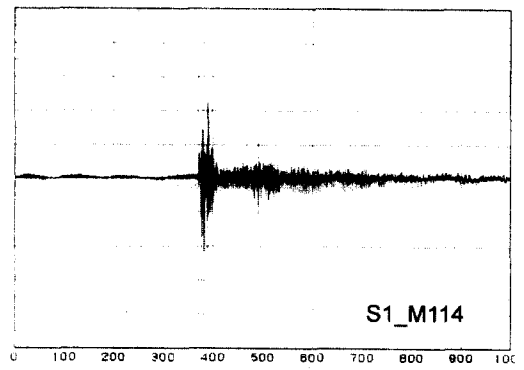
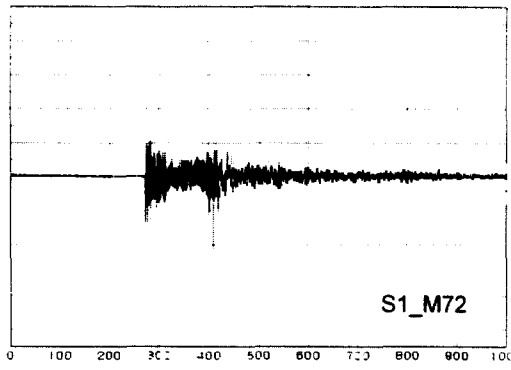
- 1) Y.Hidaka and H.Tachibana ; Measurement of impulse responses in real and scale model auditoriums, Proc. of 13th ICA, 1989
- 2) H. Els and J. Blauert ; A Measuring system for acoustic scale models, Proc. Vancouver Sympo. (12th ICA), 1986
- 3) 日高新人, 矢野博夫, 橋秀樹 ; ハイブリッドシミュレーションによる室内音響の模型實驗, 日本音響學會建築音響研究會資料 AA 88-08 昭和 63 年 5 月 23 日
- 4) 柴山, 福永, 城戸 ; 測定用ハルス放電音源の提案, 日本音響學會誌, 第 40 卷 第 3 (1984)
- 5) 申榮茂 ; 音響實驗用 音源의 提案, 대한건축학회 전북지부 학술발표논문집, 제 6 권 제 1 호, 1-6, 1994.1
- 6) 日高新人, 買手正浩, 矢野博夫, 橋秀樹 ; インハルス應答の測定法, 電子情報通信學會 EA 89-33, 1989 年 6 月 16 日
- 7) 橋秀樹 ; 室内音響特性測定用 12 面 スピカ音源について, 音響技術 Vol. 14, No.3 (1985)
- 8) M.R.Schroeder; New method of measuring reverberation times, J.A.S.A. 37(1965)
- 9) 橋秀樹, 日高新人, 今西由利, 石井聖光 ; 建築音響における模型實驗法に關する研究, 東京大學生産技術研究所報告, 第 35 卷 第 4, 平成 2 年 3 月
- 10) 前川純一 ; 建築・環境音響學, 共立出版(1990)
- 11) 崔錫柱, 朴棟진 ; 第 2 回日韓音響學術發表會論文集, 305-310, (1983.11)



Time (ms)

Time (ms)

그림 4.2(a) 임펄스응답의 시간파형 (S:음원, M:측정점)



Time (ms)

Time (ms)

그림 4.2(b) 임펄스응답의 시간과형 (S:음원, M:측정점)

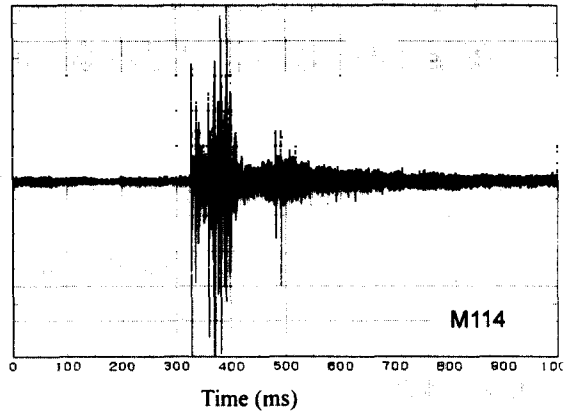
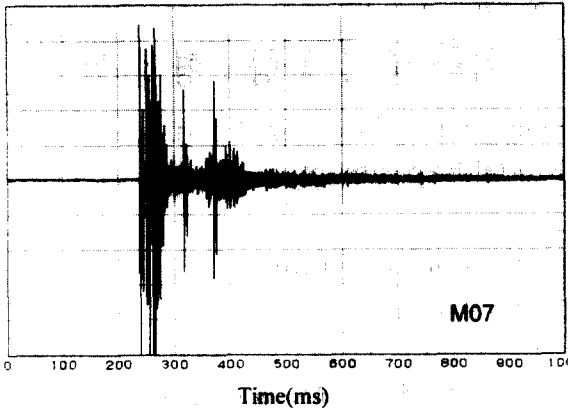


그림 4.2(b) 임펄스응답의 시간파형
(음원 S1~S4 합성, M: 측정점)

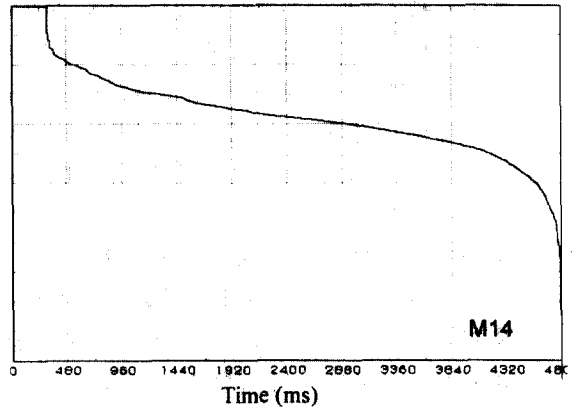
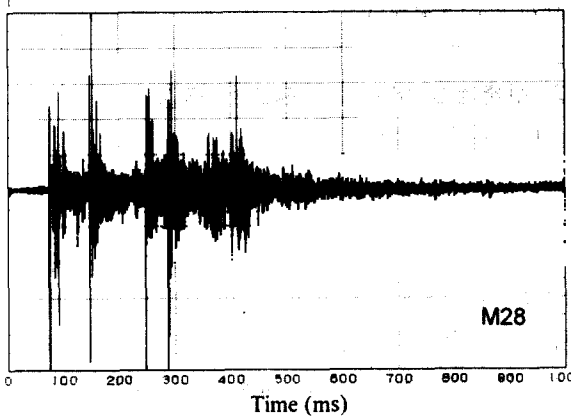


그림 4.3 잔향 감쇠파형 (M: 측정점)

