

韓國梵鐘의 音響學的解析

A Rating Method for Sound Quality of Brahman Bells

* 이 병 호 (Lee Byung Ho)

ABSTRACTS

Korean Brahman Bells toll magnificent sound that would be a Great Vehicle which brings all beings to the Sutras without lecturing mat and can lead them to the Land of Purity-Nirvana.

A rating method for sound quality of Brahman bells has been derived by the author as a weighted average of merits of consonance, i.e., with each tonal merit weighted by its absolute sound pressure value:

$$m = \frac{\sum m_i p_i}{\sum p_i},$$

where m_i is the tonal merit determined by its frequency ratio with respect to the fundamental frequency on the tonal frequency-spectrum of the sound, and p_i its absolute sound pressure value.

The rating processes and their results of sound quality of the most beautiful Korean Brahman Bells of San-

gwonsa, Bongduksa and Boshinkak have been presented in detail.

This evaluation scheme is also a very effective measure in determining the beauty of sound not only of bells but also of any music.

I. 緒 論

韓國의 梵鐘이 그形態나 彫刻이나 在銘에 있어서, 다른나라 鐘보다 뛰어나듯이 鐘소리 또한 더한층 壯重하고 豊富하고 優雅하기 비길데 없다.

그러나 鐘의 生命은 이러한 美術的部面보다도 그 鐘소리 自體의 音質에 있을 것이다.

새로운 文化의 創造는 어디까지나, 그 民族의 文化의 뿌리깊은 傳統의 基礎위에서만 이루어질 수 있는 法인데, 文化國家의 目標가 새로운 民族文化의 創造로 要約한다면, 結局 國民들에게 우리 文化財의 內容과 真正한 價値를 올바르게 把握시키고 認識시켜 줌으로써 民族文化의 傳統을 깨닫게 할 수 있다고 본다. 그리하여 그속에 담겨있는 民族의 슬기와 精神을 繼承·發展시킬 수 있는 길이 트이게 될 것이다.

* 正會員 韓國科學技術院 教授

* 奉德寺梵鐘考 洪思俊 韓國梵鐘研究會誌 No.1
p. 3 - 22 (1978)

以永茂 邦家之業 毋鐵圍而彌昌 有情無識 慧海同波 咸出塵區 竝昇覺路 臣弼興 文拙無才 敢奉聖詔 貨班超之筆 隨陸佐之言 述其願旨 銘記于鍾也。

……遺言을 받들어 드디어 神鍾의 鑄成을 成就시키고져 有司에게 工事を 分付하고, 工匠으로 하여금 模型을 뜨게 하니, 해는 辛亥年이요, 달은 十二月이라. 이때 日·月이 빛나고, 陰陽이 氣運을 끌라, 바람은 부드럽고, 하늘은 고요하니, 마침내 神器가 만들어졌다. 形狀은 壯하여 魄이 서있는 것 같고, 소리는 龍의 울음소리 같아, 위로는 산마루 덕너머 徹하고, 밑으로는 끝없는 黃泉까지 스며들어, 보는이는 神奇하다 하고, 듣는이는 福을 받는다. 願컨데 이 妙한 因緣으로 해서 높으신 靈을 받들게하고, 널리 맑은 소리를 듣게하여, 無說法筵에 오르게 해서 三明의 勝心과 짝짓게 하여, 聲聞의 一乘의 真境에 살게하고, 瓊瑩의 窟東山에 이르게 하여 金樹의 가지와 더불어 永遠히 茂蔭케 할 지이다. 나라의 業은 앞으로 鐵筒같이 굳어져서, 더욱더욱 繁昌하여 情은 있으나 無識한 百姓들도 모두 慧海의 같은 물결로 되어 塵世를 떠나 覺路에 오르도록 願한다.

臣 弼興은 文章도 拙하고, 才機도 없으나 敢히 聖詔를 받들어 班超의 붓과 陸佐의 말을 빌어 그 願旨를 述하여 鍾에 銘記해 두는 바이다.

世界的 巨鍾을 列舉하면

193 ton Kremlin 宮(한번도 울려보지 못했음)

171 ton 火災로 墜落破壞

111 ton Moscow 第二의 鍾

53 ton 北京

22 ton 南京

19.3ton, 18.9ton 各各 普信閣鍾, 慶州聖德大王神鍾

17ton級 3~4個 Wien, Paris 等

等인데 實際울라고 있는 巨鍾中の 序列로서는 우리의 梵鍾이 第四番세, 五番세로 꼽힌다. 最近作으로서는 1976年 日本九州熊本縣에 있는 蓮華院誕生寺의 飛龍鍾이 87.5ton 이라한다.

鍾聲에 對한 傳說은 全世界的으로 多樣하나 古술을 莫論하고 東西洋共通的인 것은 ①큰가뭄에 단비를 오게 한다든지, ②큰暴風雨를 물고오는 비구름을 날려버린 다든지, ③魔鬼를 追放한다든지, ④ 좋은 神籤을 불러 드린 다든지 하는 機能을 가지고 있는 神性한 것이라 傳해지고 있다.

특히 佛敎에서는 鍾聲은 바로 佛陀의 音聲이라 생각해왔고, 極樂往生의 三乘가운데, 乘間之一乘을 바로 이 鍾소리에 連想해왔다. 巨大한 梵鍾을 殷殷하게 울려서 아득하게 사라지는 길고 긴 餘韻에 실려 그들의 切切한 誓願이 저 멀고먼 極樂에 往生하는 幻想을 불러 일으키기에 足했으리라 믿어진다.

Roman Catholic 에서도 鍾聲은 바로 神의 音聲이며, Paradise 를 象徵하는 것으로 傳해져 왔다.

옛날 露西亞와 中國에서도 鍾聲에는 神性이 있다고 생각해왔고, 神과의 直接對話를 하려

* 乘은 타고다니는 수레(車)의 뜻이며, 佛家에서는 覺을 얻어 極樂으로 가는 수레가 세가지(三乘)가 있다한다. 즉 聲聞乘, 緣覺乘, 菩薩乘, 이 세가지 수레가 있는데, 여기 一乘之圖音은 佛陀의 音聲을 直接들어 그 가르침에 따라 自身의 完全한 깨달음을 얻어 極樂으로 引導된다는 뜻이다. 이 神鍾의 鐘소리를 부처님의 肉聲으로 比喻한 것이다.

** 이 聖德大王神鍾은 前後 34年의 歲月이 걸려서 鑄成된 것으로, 三國遺事에도 新羅 35代 景德王이 在世 23年에 黃銅 12萬斤을 求하여 先王 聖德王을 爲하여 「慾鑄巨鍾一口, 未就而崩」 이라고 되어있고, 이 鍾銘에도 「慾鑄巨鍾一口, 立志未成」이라 되어있어 途中 여러번 鑄成에 失敗했다가 惠秦王 在世 6年 12月에 鑄成에 드디어 成功한 力作이다.

이 論文에서 밝혀지는 바와같이 이 聖德大王神鍾은 音響學的으로도 거의 完璧한 아름다운 鍾소리를 내는 神鍾이다.

할 때에는 人間의 祈願을 鐘聲에 실어서 神에게 呼訴해 왔다.

그러므로 神性を 지닌 鐘聲의 優劣을 評價한다는 것은 所謂 神格의 冒瀆이며, 佛家에서 말하는 「惡區別」에 屬하는 일일런지 모른다. 따라서 多小間의 宗教性이 있는 科學者들이 鐘聲評價를 그때문에 忌避해 왔었는지는 모르나, 아무튼 東西洋을 莫論하고 鐘聲의 音響學的 評價는 科學界에서 全無한 實情이다.

鐘소리가 좋다, 나쁘다; 혹은 맑다濁하다는 表現은 多分히 主觀的이어서 이를 物理學的 變數로 바꾸어 놓아, 客觀化할 必要가 있다. 1966年 趙奎東氏의 「韓國의 梵鐘」이란 冊子에는 南韓의 大小 77個의 鐘소리를 金興教授의 評으로 各各 그特色을 실었는데 다음에 그 一部를 따라 적는다.

上院寺 鐘소리

「…陽性的인 소리는 嚴肅과 壯重한 性品으로서 低音의 느린 울림과 애 타게 絶呼하는듯, 中心音이 길게 길게 限없이 푸른大空속으로 아름다운 線을 그어나간다」

聖德大王神鐘소리

「…泰山이 무너지듯 壯雄하며, 豪然히 吼하듯 굵고 낮은 매듭속에, 또한 묵내 慈悲로운 높은 音의 除韻은 그칠줄 모르고, 길게 또길게 娑婆속으로 스며들기만 한다. 實로 이世界的 巨鐘의 生命은 그鐘소리와 더불어 永遠하기만 하다」.

普信閣 鐘소리

「壯重하고, 錯雜한 部分振動이 融合된 音色의 소리이며, 마치 混濁한 娑婆에 맑은 大氣를 불어 넣어주며, 먼곳에서 들려오는 소리갈기만 하다」.

참으로 이와같은 詩的表現은 아름답기 그지 없다. 여기에 慾心을 부린다면 科學的인 音響學的 分析評價가 어렵다.

最近 廉永夏教授*, 日本의 青木一郎氏** 그리고 廉永夏教授 및 金容掬***氏 等의 振動分析이 나와 있으나, 音響學的分析까지는 이르지 못한것이 單純한 振幅과 時間 Diagram을 얻었을 뿐, 한걸음 더 나아가서 時間領域으로부터 振動數領域으로 옮겨서 frequency spectral analysis를 하고, 나아가서 鐘聲評價란 무엇인가, 아직 學界에서 定義되어 있지 않은 이 問題에 合理的인 새 評點基準을 마련해야만 한다.

結局 鐘소리 뿐 아니라 一般的으로 소리가 「맑다」, 「濁하다」, 「優雅하다」, 「粗雜하다」라는 것은, 들어서 人間의 귀에 快感을 준다는 뜻일 것이다. 따라서 根本的으로는 이 問題는 人間의 聽覺의 悟性を 다루는 心理音響學에 屬하는 것이다. 또 古代 Greece의 Pythagoras로부터 數많은 學者들이 關心을 가져왔던 音의 調和도 바로 여기에 關한것이며, 近來 音樂音響學에서 和聲學도 畢竟 이 問題에 歸着되는 것이다.

그러나 아직 二個 乃至 그以上의 Tone (音子)이 함께 울려 그들의 合成音의 音質을 따지는 定量的인 方法이 없다. 우리가 이 論文에 取扱하려는 것은 이들 合成音을 frequency Spectrum Analysis를 해서 各tone의 和音上의 評點을 매기고, 아울러 各tone의 強度에 對한 어떤 評點도 考慮하여, 그 合成音의 音質을 定量的으로 定하려 한다.

II. 音色一音質

音色이란 모든 音樂에 있어서 가장 重要한

* 廉永夏 韓國梵鐘에 關한 研究 第一報 上院寺鐘 韓國梵鐘研究會誌 「梵鐘」 No.1 pp.23 ~ 68 (1978).

** 青木一郎(關西大學) 外一人: 和鐘의 音響特性, 日本音響學會誌 Vol. 26, No. 12 (1970) pp.562 - 571

*** 廉永夏, 金容掬. 聖德大王神鐘聲의 音響 및 振動測定 (1981) 未發表

基本屬性이다. 音色은 소리의 調和의構造에 依存하는 소리의 特性 바로 그것이다. 어떤 소리의 音色은 各成分音(tone)의 數와 그 強弱度, 振動數分布 및 位相關係로 表示된다. 따라서 音色 또는 音質은 소리의 時間的 斷面이라고 말할 수 있으나, 實際로는 音色은 tonal* spectrum이라고 定義하는 것이 適確하다.

總體的으로 音色을 決定하는 것은 tonal spectrum의 周波數分布와 各tone의 強弱度에 依存한다. 그 理由는 部分的으로는 人間의 귀의 聽覺이 非線型的이어서, 鼓膜에 들어가는 input tone과 다른 새로운 tone도 함께 內耳에서 만들어져 거기서 이미 存在하는 音を 若干 變質시켜 聽神經에 傳達하기 때문이다. 例를 들면, 어떤 適當한 強度를 가진 한 純粹한 tone이 內耳를 기치는 동안에, 原振動者數 周邊의 一連의 高調波가 함께 形成되어 聽覺神經에 나타나서 들리게 되는 것이다. 더 나아가서는 두개의 tone이 함께 울려서 귀에 들리는 소리는 原來의 두 tone과 그들의 高調波들의 合成音으로써 構成되는 一群의 소리를 聽覺神經이 받게 된다. 이와같은 事實이 말해주는 것은 人間의 聽覺構造는 非線型系라는 것을 立證해 준다.

그런故로 音色(或은 音質)의 아름다움을 따질 때에는 그 音を 構成하는 各部分音의 tone들의 振動數間隙比와 同時에 各tone의 強弱度에도 分明히 依存함을 알 수 있다.

心理音響學的의 見地에서 두개 乃至 그以上の 여러 tone이 同時에 울려서 그結果 合成音이 들려서 快感을 줄 때에는 그 合成音은 調和가 갈 된다고 하여, 協和音 또는 和音이라 하고, 不快하게 들릴 때에는 不協和音이라 한다. 그런데 協和度 或은 和音度에는 세가지 屬性이 있다고 한다. 即 穩和度(smoothness), 純粹度(purity) 및 融合度(blending)이다.

이中 穩和度는 소리를 形成하는 여러 tone들의 結合사이에 생기는 Beat(백놀이)의 強弱으로 決定된다. 結合의 粗雜性이 있을 때에는 音은 不協和音으로 된다. 이 不協和音은 Beat에 依해서 생기는 不快한 感覺으로 나타난다. 두 소리가 함께 울려서 윗部分의 tone의 Beat에 依해서 그 調合이 攪亂되어서 그 效果가 소리를 Pulse로 만들어 神經을 刺戟하는 粗雜한 느낌을 주게되어 結局 귀맛을 거슬리게 한다.

結局 소리의 粗雜性을 決定하는 것은 Beat의 強弱에 달려있다. 이 粗雜性은 두 tone의 振動數間隙이 아주 커서 Beat가 사라질때까지 持續된다. 이러한 基礎위에서 두 tone의 結合은 振動數의 比로 表現할 수 있으리라 期待되며, 그때 그 振動數의 比를 表示하는 既約分數의 分母와 分子의 數值가 작은 簡單한 整數일수록 듣는 이의 귀맛을 좋게한다는 것이 心理音響學에서 밝혀져 있다. 例를 들어 1:1, 2:1, 3:2, 5:3, 5:4, 4:3 등의 快感의 順位로 된다는 것이다.

純粹度(relative Purity)는 調和音度(harmonic content) 即 基本音의 振動數의 整數倍로 決定된다. 基本振動數에 對한 高調波가 높으면 높을수록 客觀的 純粹度는 낮아진다.

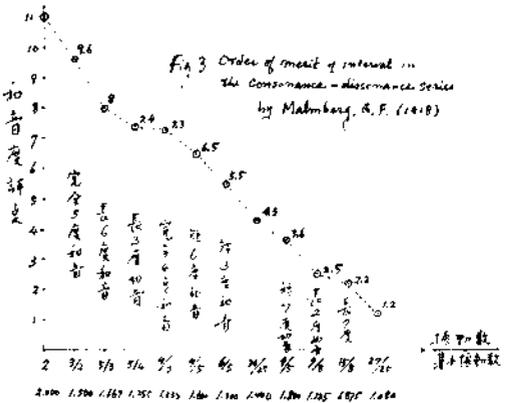
끝으로 融合度(Blending)는 두tone이 함께 融合될 수 있는가 하는 問題이다. 例를 들

* tone이라는 用語에 對한 우리 語彙는 아직없다. 이는 振動數領域에서 一定周波數를 가진 Peak 即 成分音을 뜻한다. 英語辭典에는 [tone]하면 그냥 [音調]라고 되어있으나, 소리는 소리보되 한개 두개 헤일수 있는 一定한 周波數와 強度를 가진 時間領域이 아니라 周波數領域에서 表示되는 한 [音子]라고도 할 수 있는 것이다. 따라서 그냥 [소리]라고 하는것은 時間領域에서 말하는 것이요, 보통 한소리는 周波數領域에서의 여러 tone들의 複合體이다. 勿論 한개의 tone으로 이루어진 소리도 特殊한 경우에 있을 수 있다. (monotonic sound).

어 7th interval 을 가진 두 tone 은 함께 融合되지 못한다. 왜냐하면 이때에는 Beat 때문에 粗雜性이 일어나기 때문이다. 또 너무 떨어져 있는 두 tone 끼리도 融合이 減된다.結局 融合度는 穩和度와 純粹度와도 서로 聯關이 있다.

이들 各屬性을 考慮하여 먼저 和音度의 評點을 따져야 할 것이다. 그런데 이렇게 穩和度, 純粹度 및 融合度를 아울러 考慮하여 두 tone 의 和音度を 評點化시킨 것은 1918年 Malmberg, G. F. (Univ. Iowa, Studies in Physics of Music, Vol VII pp. 93)에 依해서이다. 다음 diagram에 그것을 表示한다.

即 어떤 소리의 Frequency spectrum 을 求하고 거기서 Fundamental Frequency에 對한 各 tone 의 Frequency 比가 1:1(同一音), 2:1(完全 8度和音)이 되는 두 tone 의 基本 tone 과의 和音度는 11 點(最高點)을 매기고, 3:2(完全 5度和音)에 대해서는 9.6 點, 5:3(長 6度和音)에 대해서는 8 點, 5:4(長 3度和音)에 대해서는 7.4 點, 4:3(完全 4度和音)에 대해서는 7.3 點, 8:5(短 6度和音)에 대해서는 6.5 點, 6:5(短 3度和音)에 대해서는 5.5 點, 9:5(短 7度和音)에 대해서는 3.6 點, 9:8(長 2度和音)에 대해서는 2.5 點, 15:8(長 7度)에 대해서는 2.2 點, 其他 36:25 때 4.3 點 27:25 때 1.2 點을 마지막으로 하고있다.



이 diagram 을 利用할때 特別히 注意할것은 各和音度 中間의 比에 對해서는 內攝法으로 和音度 評點을 해서는 絶對로 잘못이며, 이들에게는 評點으로서 0 點을 매겨야 한다.

그러나 人間의 聽覺의 分解能(Frequency Discrimination)의 限界가 있어서 대개 20 - 125 Hz까지는 振動數差異 $\Delta f = 1 \text{ Hz}$, 125 - 500 Hz까지는 $\Delta f = 2 \text{ Hz}$, 500 - 2000 Hz까지는 $\Delta f = 3 \text{ Hz}$ 未滿이면 分揀할 수 없다. 따라서 이 和音度 評點을 할때 振動數比의 값이 正確한 各和音의 分數值를 中心으로 하여, 이들 聽覺의 分解能의 限界를 考慮한 $\pm \Delta f$ 의 範圍內에 들어가면 diagram에 依해서 評點을 하고 不然이면 0 點을 매기어야 한다. 그리므로 各 和音度 評點 사이에 點線으로 連結한 것은 傾向을 나타냈을 따름이지 補間法에 依하여 內攝해서는 안된다.

그러나 이 Malmberg의 和音度 評點에는 두 tone 의 振動數比만 가지고 따졌지, 두 tone 의 強弱에 對한 考慮은 全然 안되어 있다. 앞서 말한바와 같이 音色에는 振動數만으로 決定되는 和音度 以外에 各 tone 의 強弱度에도 依存하기 때문에 다음에 成分音의 強度가 音色 또는 音質 評價에 있어서 和音度 評點數와 더불어 어떻게 엮어져 들어가야 할 것인가를 論해 보기로 한다.

III. 成分音의 音壓의 무게와 鐘聲 評價式

이제 音色(音質)의 둘째의 屬性인 各 成分音의 強度가 어떤 形式으로 音質 評價式에 들어가야 할 것인가를 생각해 보기로 한다. 各 tone 의 強度가 다름 때에는 強度가 큰 tone 일수록 聽覺에 큰 影響을 줄것이 分明하기 때문이다. 그러나 소리의 快感度에 一次的으로 支配的인 効果는 和音度임으로 各 tone 의 和音度 評點에다가 그 強度에 關한 어떤 量의 무게를 붙여 平均한 값으로, 鐘소리의 評點을 하는 것이 옳을 것이다.

무게불인 平均値를 採用할때 恒常 問題가 되는것은 무게를 무엇으로 取해야 우리의 所望의 平均値가 意味를 갖느냐하는 問題이다. 다음 節에서 알 수 있듯이 鍾소리의 Frequency Spectrum을 求하면 各tone의 基本振動數와의 比를 쉽게 求할수 있어서 和音度 評點은 곧 나올수 있다. 그러면 다음에는 어찌하여 各tone의 強度에 對한 意味있는 무게를 導出할것인가, 이는 深重히 吟味해야 할 것이다.

첫째로 考慮해야 할것은, 鍾소리의 評點이 적어도 세게칠때에 울리는 鍾소리와, 좀 덜세게칠때의 鍾소리가 다른 評點이 나온다면, —히 打鍾의 세기를 定義해 놓아야 하며, 이렇게 되면 評點을 말할때 너무도 구구한 打鍾의 條件때문에 評點方法으로서는 너무도 非現實的이요 不合理하다. 따라서 우리의 評點方法이 적어도 打鍾의 세기에 關係없이 一定한 鍾에 대해서 一定한 評點이 나오기를 所望한다.

둘째로, 그러한 무게를 줌으로써 鍾소리를 構成하는 여러 tone 中에 強度가 센 몇개의 tone 만이 和音度の 무게부친 平均値를 左右하게 됨으로 이것도 不合理하다. 왜냐하면 鍾소리의 評價에는 音色の 豊富함도 한몫을 担當하기 때문이다.

그러면 打鍾의 세기에 無關한 무게불인 平均에서 무게를 무엇으로 잡아야 할 것인가를 첫째 생각해 보기로 한다.

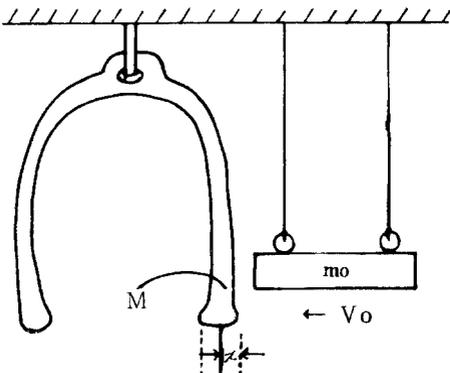


그림 4 $k = \text{spring constant}$

윗 그림은 鍾과 打鍾의 모양을 그린 것이다. 여기서 M, k 는 鍾의 質量과 橫方向振動의 Spring constant이며, m_0 와 V_0 는 打槌의 質量과 打擊速度이다.

減衰項을 無視하고 鍾의 振動 System 을 model 化하면

$$M \ddot{x} + kx = 0 ;$$

$$x = C_1 \sin \sqrt{\frac{k}{M}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{k}{M}} t$$

初期條件 : $t = 0$ 일때 $x = 0, \dot{x} = v$ 를 代入하면,

$$C_2 = 0, C_1 = \frac{v}{w}, \quad (w = \sqrt{\frac{k}{M}})$$

따라서 鍾의 振動은

$$x = \frac{v}{w} \sin wt.$$

여기 v 는 静止하고 있던 鍾이 打槌에 의하여 打擊을 받은후의 鍾의 速度이다. 지금 打槌 m_0 가 V_0 의 速度로 打擊하여 打擊直后의 打槌의 速度를 V 라하면, 衝突法則에 따라

$$v - V = eV_0,$$

$$m_0 V + Mv = m_0 V_0$$

두개의 方程式을 얻는다. 이로부터 打擊直后의 鍾의 振動速度를 求하면

$$v = \frac{m_0}{m_0 + M} (1 + e) V_0$$

을 얻는다. 여기 e 는 打槌(木材)의 鍾에 對한 反捲係數이다. 그러므로 鍾을 쳤을때 鍾의 振動은 減衰를 無視하면,

$$x = \frac{m_0}{m_0 + M} (1 + e) \frac{V_0}{w} \sin wt$$

로 要約된다.

여기서 特別히 注意해야 할것은 振幅이 打槌의 打擊速度 V_0 에 比例한다는것, 다시 말해서 鍾이 울리는 소리의 各tone의 音壓의 크기가 V_0 에 比例한다는 事實이다. 이 事實은 앞으로 和音度 評點에 붙여야 할 무게를 定하는데 있어서 決定的인 重要性을 갖는다. 따라서 打鍾의 세기 V_0 가 各tone의 音壓의 有効値

에 比例하게 되므로 ; $(P = \rho c \dot{x} = m_0 / (m_0 + M) (1 + e) V_0 \cos \omega t)$, 이 音壓의 有效值로 무게를 붙여 和音度評點을 平均하면 打鐘의 세기에 無關하게 一定한 評點值가 나옴을 알 수 있다. 즉 打鐘의 세기 V_0 를 n 倍만큼 強하게 nV_0 로 한다면, 그에 比例하여 各tone의 音壓의 有效值 p_i 도 np_i 로 되기때문에 各tone의 和音度評點 m_i 의 무게붙인 平均값은

$$\frac{\sum_i m_i (np_i)}{\sum_i np_i} = \frac{\sum_i m_i p_i}{\sum_i p_i}$$

로 되기 때문에 分明히 打鐘의 세기(n)에 相關없이 一定한 값을 얻을수 있음을 알 수 있다.

둘째의 可能性에 대해서 따져보면, 萬一 우리가 各tone의 音壓의 有效值로 무게를 삼지 않고, 強度(Intensity)로 무게를 삼는다고 해도 그 平均値는 打鐘의 세기에 相關없는 評點을 얻을 수 있지 않겠느냐 하는 것이다.

Intensity I 는 p^2 에 比例하기 때문에 n 倍로 세기 鐘을 쳤을때

$$\frac{\sum_i m_i (np_i)^2}{\sum_i (np_i)^2} = \frac{\sum_i m_i p_i^2}{\sum_i p_i^2}$$

으로 되어, 果然 打鐘의 세기(n)에 無關한 平均値를 얻을수는 있으나, 이렇게 했을 때의 欠點은 tonal spectrum上的 높은 tone 만 評點에 寄與하고, 아무리 tonal merit가 좋은 tone이라도 Intensity가 낮은것은 全然 寄與할 수 없게 된다는 事實이다. 이는 音色의 豐富性을 考慮할때 크게 不合理한 處事로 되고만다.

그러면 또 各tone의 Intensity를 dB로 表示하여 무게로 삼으면 어떻게 되겠느냐하는 問題로 남는다. 이때에는

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

$$(dB)_i = 20 \log_{10} \frac{p_i}{p_{ref}}$$

이므로 n 倍로 세기쳐서 $p_i \rightarrow np_i$ 로 됐을때 $(dB)_i$ 로 무게를 붙여 平均한 값은

$$\frac{\sum_i m_i (20 \log_{10} \frac{np_i}{p_{ref}})}{\sum_i (20 \log_{10} \frac{np_i}{p_{ref}})}$$

로 되어 分母, 分子에서 n 이 約分이 되지 않기 때문에 結局 打鐘의 세기(n)에 依存하는 評點이 나오게 된다. 이것은 바람직하지 못하다.

故로 우리가 提唱하는 鐘聲評價式은 鐘聲을 frequency spectrum 分析을 해서, fundamental frequency에 對한 各tone의 frequency 比에서 決定되는 和音度評點 m_i 를 매기고, 그 各tone의 音壓有效值 p_i 로 무게를 붙여 平均한 값으로 鐘소리의 總評點 m 을 삼는 것으로 提案한다. 즉

$$m = \frac{\sum_i m_i p_i}{\sum_i p_i}$$

이것이 우리가 새로이 提唱하는 鐘聲評價式이다.

IV. 鐘聲評價

韓國의 三大梵鐘 卽 五臺山 上院寺鐘(725 AD, 1.3 ton), 慶州 聖德大王神鐘(771 AD, 18.9 ton), 鍾路 普信閣鐘(1486 AD, 19.3 ton)中, 上院寺鐘은 龜裂이 5, 6年前부터 發見되어, 어느분의 慈憑으로 鎔接을 해서 原音質을 損傷시켰을 뿐 아니라, 原型保存의 立場에서도 크게 失手를 犯했다. 이제는 울리지 못하게 文化財管理局에서 團束中에 있다. 實로 아까운 일이다.

서울 普信閣鐘도 光復節과 除夜에 年年히 울렸는데 이鐘에도 龜裂이 甚하게 나가서 昨年부터 울리지 못하게 되고 말았다. 이렇게 國寶의 文化財의 破損은 우리文化財管理團의 無

識한 所置로 一段은 들려야 할 것이다. 實로 民族의 損失이 아닐 수 없다.

그중 온전하게 保存된것은 慶州博物館에 있는 聖德大王神鍾 뿐인데 앞서 두 鍾의 破損에서 깨달은 文化財 管理局에서는 유리箱子속에 넣어서 保管하되, 다시는 올리지 못하게 하고 永久保有키로 되어있다.

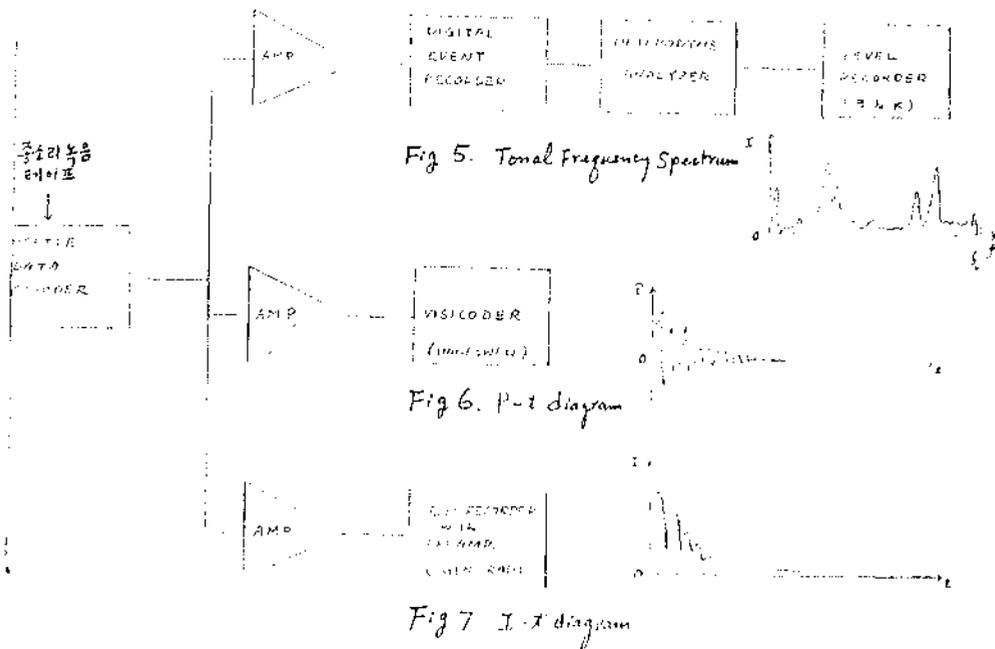
著者は 마침 文化財管理研究所長 金正基博士의 周旋으로 趙奎東氏가 1966年에 發刊한 韓國梵鍾의 錄音盤 4枚一襲을 接한 機會가 있어서(1979年 여름), 韓國梵鍾 77個의 鍾소리를 모두 Tape에 収録할 수가 있었다. 그러므로 이 Tape에 남긴것은 上院寺鍾聲도 普信閣鍾聲도 龜裂이 가기前의 온전한 소리였다. 錄音器材와 錄音技術이 不足 未備하여 雜音이 많이 섞이기는 했으나 아무튼 實로 貴重한 資料이다.

Fig 5, 6, 7에는 이들 鍾소리의 錄音 tape를 가지고 Data를 入手處理한 實驗裝置配置

圖를 그린 것으로, 어떤 過程을 거쳐 音響 Data가 處理되었는가를 一目瞭然하게 表示했다. Fig 5가 Frequency Spectrum을 얻는 過程圖이고, Fig 6은 音壓-時間圖를 얻는 過程圖이며, Fig 7은 音의 強度와 時間 diagram을 얻는 過程圖이다.

Fig 5의 Tonal Frequency Spectrum을 얻는 Process를 좀 說明하면, 鍾소리는 Data分類上 Periodic Signal도 아니요, 단순한 non Periodic Signal도 아닌 transient non-Periodic Signal의 범주에 屬하지만 時間에 따른 鍾소리의 Spectrum變化過程을 알아보기 爲해서 便宜上 1秒間隙으로 transient signal을 分離하며 Sampling하고, 이를 Sampling Interval을 周期로 한 Periodic Signal로 삼아서 이 Signal을 반복發生시켜 high-speed-analysis를 遂行한다.

위의 分析過程에서는 General Radio의



1935 Cassette Data Recorder를 使用하여 鍾소리를 錄音 再生시켰으며, 이를 B & K 2703 Power Amplifier를 通하여 增幅한뒤

B & K 7502 Digital Event Recorder를 使用하여, 鍾聲의 ①時間別 Sampling을 한뒤, 얻어진 時間別 Signal을 ②高周波로 變換시

켜 ③ 반복 再生하여 B&K 2010 Heterodyne Analyser 를 使用하여 1 Hz의 resolution 을 갖도록 Sweep-filter-type의 分析을 한뒤 B&K 2307 Level-Recorder 로 記錄

해냈다. 이런 Process 를 밟아 tonal spectrum 分析을 해서 얻은것이 Fig 10, 11, 12 이다.

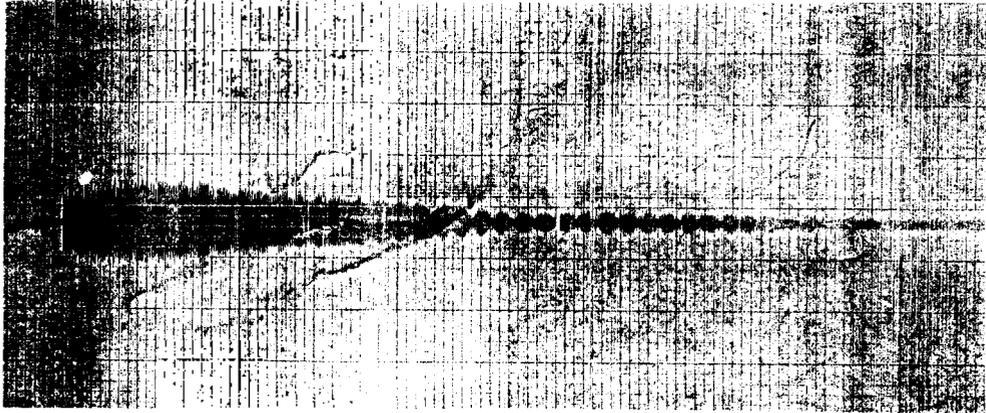


그림 8

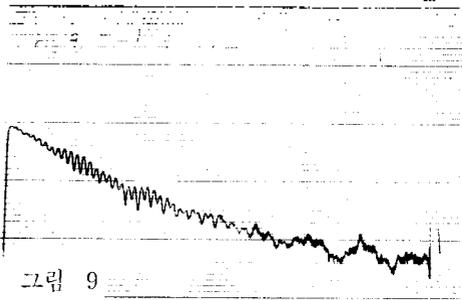


그림 9

Fig 8은 慶州 聖德大王神鐘의 音壓-時間 diagram이며, Fig 9는 의 強度(音) - 時間 diagram이다. 이렇게 Fig 6-8은 모두 時間領域에서의 記述이기 때문에 音響學的 解析에는 別로 도움이 못되고 單只 一種의 振動分析에 지나지 않는다. 그리하여 上記 세계의 鐘聲에 대한 Frequency Spectrum(或은 tonal spectrum) 分析을 한것을 Fig 10, 11, 12 에 실는다. 이 tonal spectrum上에서만 音響分析은 展開할 수 있다.

普通 어떤 소리를 frequency spectrum 分析을 하면 橫軸에는 振動數를 매기고, 縱軸에는 各成分音(tone)의 強度(Intensity) 가 dB로 表示되어 나오게 마련이다. 따라서 이 強度 I로부터 우리가 直接 必要한 音壓을 求해내야 한다.

$$I = \frac{p^2}{\rho c}, \quad p = (I \rho c)^{\frac{1}{2}}$$

$$dB = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}, \quad I = I_0 10^{\frac{dB}{10}}$$

$$\therefore p = (I_0 \rho c)^{\frac{1}{2}} 10^{\frac{dB}{20}} = p_0 10^{\frac{dB}{20}}$$

그러므로 各 tone의 Intensity를 (dB) 로 읽어서, 그 音壓 p_i 는

$$p_i = p_0 10^{\frac{(dB)}{20}}$$

$$p_0 = 2 \times 10^{-4}, \text{ (cgs unit)}$$

로 當場 求할수 있다. 이 音壓 p_i 의 數值로 各 tone의 和音度評點 m_i 에 무게를 붙여 平均하게 되면, 全體 鐘소리 的 評價를 할 수 있다는 것이 우리의 主張이다.

다음에 聖德大王神鐘의 鐘소리 評價를 해보기로 한다.

먼저 聖德大王神鐘의 鐘소리를 tonal spectrum 分析을 Fig 5의 process로 하여 다음의 diagram을 얻었다. (Fig 10)

여기서 取한 tonal spectrum은 打鐘后 4-5秒 사이의 Spectrum이다. 그后 8-9秒, 14-15秒, 24-25秒 사이의 Spe-

ctrum을 取해서 보면 $f = 171$ Hz의 tone이 第一크므로 이를 fundamental tone으로 잡았으며, 67 Hz의 tone은 hum이고, 283 Hz의 tone은 nominal tone이다. 긴 餘韻을 構成하는 것은 주로 fundamental tone과 nominal tone이다.

또 하나 여기서 注意해야 할것은 振動數比를 내는데 있어서 Malmberg는 한 Octave 사이의 것만 했기 때문에 Fundamental to-

ne에서 1 Octave 밖에 있는 tone에 對해서는 그들 tone이 屬하는 Octave의 fundamental tone을 基準해서 振動數를 求해야 할 것으로 생각했다. 그러나 tonal spectrum이 한 Octave를 超過하는 경우에 所謂 relative Purity를 考慮해서 和音度評點을 해야 할 것이다. 아직 그에 對한 補正은 心理音響學에서 이루어지지 않고 있기 때문에 이 時點에서는 그에 對한 考慮는 省略하기로 한다.

Fig. 10. 聖德大王神鐘聲

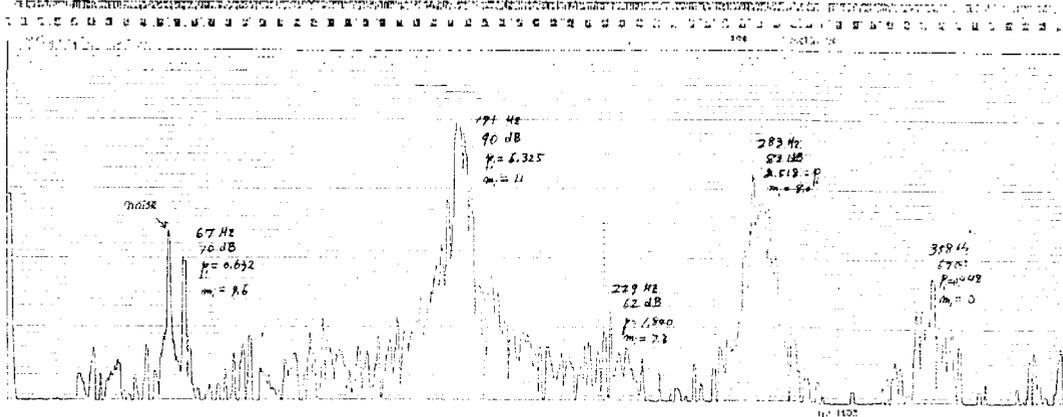


Fig 11은 上院寺 鐘소리의 tonal spectrum이다. 아주 單純하여 peak가 몇개밖에 안된다. 그래서 옛사람들이 맑다고 했든지 모르지만 몇개 밖에 안되는 tone들의 和音도가 낮아서 全體評點은 65點밖에 안된다.

Fig 12는 普信閣 鐘소리의 tonal spectrum이다. 이 鐘소리는 옛적부터 濁하다고 되어 있었는데, 그것은 基本 tone의 周波數가 6 Hz에 達하는 band를 이루기 때문에 다른 tone이 tonal spectrum analysis의 diagram에서 各tone의 frequency f_i 와 그들의 基本 tone의 frequency f_0 에 對한 比를 求한 다음, Malmberg의 和音度評點表에 依해서 各tone의 和音度評點(m_i)을 한다. 다음에는 다시 tonal spectrum에서 各tone의 強度를 (dB) $_i$ 로 읽어, 이로부터 그 tone의 音壓 p_i 를 計算한다. 그러면 $\sum_i m_i p_i$ 를 計算하여 $\sum_i p_i$ 로 나누면 그 鐘聲의 音質評價

值 m 이 나온다. ($\sum_i m_i p_i / \sum_i p_i = m$)

(1) 聖德大王神鐘聲評價

f_i	$f_i / n f_0$	m_i	(dB) $_i$	p_i	$m_i p_i$
67	$67 / (171 / 4) = 1.56 (\frac{3}{2})$	9.6	70	0.632	6.067
171	$171 / 171 = 1.00$	11.0	90	6.375	69.575
229	$229 / 171 = 1.33 (\frac{4}{3})$	7.3	62	0.252	1.840
283	$283 / 171 = 1.65 (\frac{5}{3})$	8.0	82	2.518	20.144
358	$358 / 171 (2) = 1.046$	0	67	0.448	0
425	$425 / 171 (2) = 1.24 (\frac{5}{4})$	7.4	64	0.317	2.346

$$\sum p_i = 10,492, \sum m_i p_i = 99,972$$

$$\therefore m = \frac{\sum m_i p_i}{\sum p_i} = \frac{99,972}{10,492} = 9,528 / 11$$

$$= 86.6 / 100$$

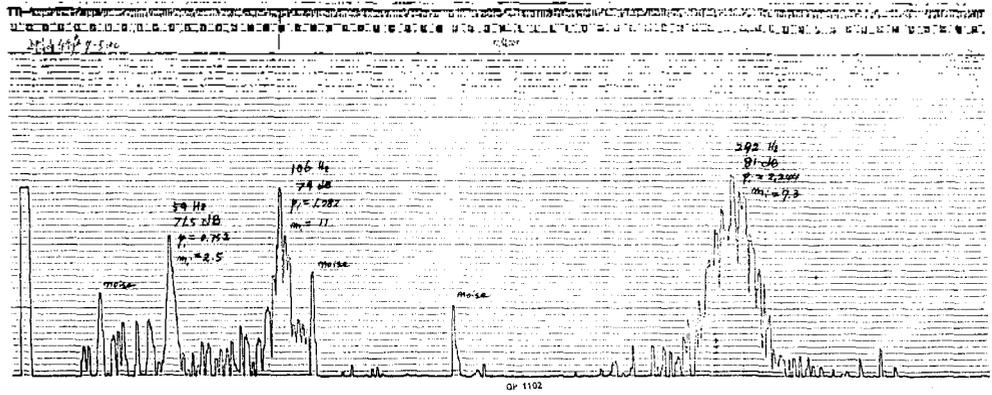


그림 11

Fig. 12. 普信閣鐘聲

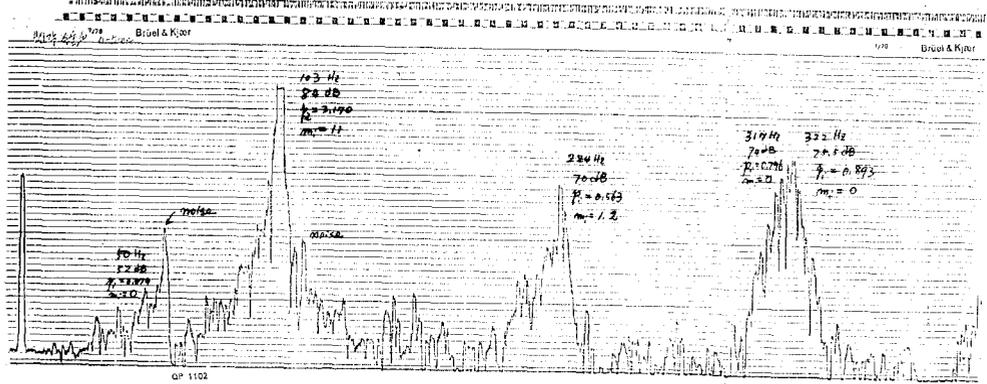


그림 12

(2) 上院寺 鐘聲

f_i	$f_i / f_0 n$	m_i	$(dB)_i$	p_i	$m_i p_i$
59	$59 / (106/2) = 1.113$ $(\frac{9}{8})$	2.5	71.5	0.752	1.879
106	$106 / 106 = 1$	11	79	1.782	19.602
292	$292 / 106 \times 2 =$ $1.375 (\frac{4}{3})$	7.3	81	2.244	16.381
553	$553 / 106 \times 4 =$ $1.324 (\frac{4}{3})$	7.3	68	0.502	3.664

$$\sum p_i = 5.280, \quad \sum m_i p_i = 41.527$$

$$\therefore m = \frac{\sum m_i p_i}{\sum p_i} = \frac{41.527}{5.280} = 7.864 / \boxed{11}$$

$$= 71.5 / \boxed{100}$$

(3) 普信閣鐘聲評價

f_i	$f_i / f_0 n$	m_i	$(dB)_i$	p_i	$m_i p_i$
50	$50 / (10314) = 1.941$	0	52	0.079	0
103	$103 / 103 = 1.000$	11	84	3.170	34.170
224	$224 / 103 \times 2 =$ $1.087 (\frac{27}{25})$	1.2	70	0.563	0.676
317	$317 / 103 \times 2 =$ 1.540	0	74	0.796	0
322	$322 / 103 \times 2 =$ 1.563	0	75.5	0.893	0

$$\sum p_i = 5.501, \quad \sum m_i p_i = 35.546$$

$$\therefore m = \frac{\sum m_i p_i}{\sum p_i} = \frac{35.546}{5.501} = 6.405 / \boxed{11}$$

$$= 58.2 / \boxed{100}$$

V. 結 論

鐘소리의 評價를 爲하여 여기 著者가 提示한 鐘聲評價式은 먼저 ① 鐘聲의 tonal spectrum 分析을 한다음, ② Fundamental tone의 frequency에 對한 各tone의 frequency ratio를 求하고, ③ 그 값에 따라 Malmberg에 依한 各tone의 和音度評點(m_i)을 하고, ④ 各tone의 Intensity에서 決定되는 Sound Pressure (p_i)로 무게를 부여서 ⑤ 和音度評點을 平均한 값으로 鐘聲評價點數m

으로 한다. 即

$$m = \frac{\sum m_i p_i}{\sum p_i}$$

이렇게 해서 採點한 結果는 100點 滿點에

聖德大王神鐘聲	86.6點
上院寺鐘聲	71.5點
普信閣鐘聲	58.2點

으로 된다.

여기서 提示한 鐘聲評價의 基準은 非單 鐘 소리에 局限되는 것이 아니라, 一般音樂의 和聲學에서도 소리의 맑고, 優雅함을 따지는 判定尺度로서 適用한 것이라고 믿는다.