

自然瀑布의 構造와 聽覺的 特性的 關係分析

鄭聖寬* · 朴貞吉**

*慶北大學校 造景學科 助教授

**慶北大學校 造景學科 助教

Analysis of Relationship between Structure and Acoustic Character of Natural Waterfall

Sung-Gwan Jung* · Jeong-Kill Park**

* Assistant prof., Department of Landscape Architecture, Kyungpook National University

** Degree of Master of Landscape Architecture, Assistant, Department of Landscape Architecture, Kyungpook National University

Abstract

The perception of landscape structure can be formed more clearly, with including an auditory stimulus to a visual aspect.

The waterfall, as an landscape element, will be considered of not only it's function and structure in landscape architecture designing but also harmony with environment which it has been situated, and contribution to the public good.

The purpose of this study was to establish more rational and practical design theory for the construction of waterfall. The number of subjects investigated were 47 of waterfalls located in Mt. Palgong.

In this study, the acoustic character of the waterfalls were investigated as an excellent effect to mask easily sensible noises. The correlations between the structure of waterfalls and water falling sound, which were useful for waterfall design and construction, were examined. It was discovered that the position of double distance of waterfall-height from the waterfall is significant in the visual and acoustic perception of waterfall.

I. 序

瀑布는 디자인 면에서 美的, 景觀中心的이며, 공간 구조적인 면에서 象徵, 周圍와의 調和, 誘導, 緩衝, 遮蔽 등 다양한 기능을 갖기 때문에 주로 자연석을 쌓거나 山野의 樹木을 배치하여 景觀의 특성이 뚜렷한 水景觀으로 조성되어 왔다.(Craig, 1978; 阿部 勉, 1987) 또한 폭포의 연출기법에 있어서 그 지향 이미지는 流水, 落水, 停止水 등 물의 상태변화에 따른 물 자체의 개성과 불체 또는 공간의 질서에 대한 이미지로서 視覺的인 관점에서 파악되고 있다.(鈴木信宏, 1987)

그러나 폭포와 같은 공간의 인식은 視覺的인 요소에 聽覺的인 요소를 포함함으로써 더욱 명확하게 이루어 질 수 있다.(禹慶國, 1985; Jere Stuart, 1983) 르네상스 末期 바로크樣式의 特徵 가운데 하나인 이탈리아의 Water theatre는 폭포의 聽覺的 특성이 매우 다양함을 나타내고 있다. 또한 秘苑玉流川의 太極물길, 창경궁 通明殿, 雁鴨池 入水口 등의 폭포와 New York의 paley park, Manhattan의 Oasis park, 東京의 三井物產 Plaza 등의 폭포는 都市騒音을 遮斷하고 공간의 劇的 雰圍氣를 연출하고 있다.(尹國柄, 1978; 禹慶國, 1985; 鈴木信宏, 1987) 반면 Pennsylvania Bear Run의 瀑布莊의 경우에는 폭포의 물소리가 騒音으로 인식되고

있다.(Booth, 1983)

이와같이 폭포의 聽覺의 특성이 공간의 인식을 명확히 하는 경우가 많음을 볼때, 폭포는 Hubbard와 Kimball이 밝힌 造景의 定義(Laurie, 1986)에서와 같이 “아름답고 편안한 景致와 소리에 의해 都市民의 安樂과 便利 및 건강의 증진에 寄與”할 수 있을 뿐 아니라 造景의 音響環境 創造(soundscaping)에 主要한 요소로 활용될 수 있음을 알 수 있다.(三決 彰, 1985)

그러나 造景分野에서 폭포 造成의 觀點은 水景 效果의 하나로 視知覺의 면에 重點을 두고 있으며, 이러한 관점에서 폭포에 관한 研究는 매우 부족한 실정이다. 특히 音響環境 創造에 관한 연구는 시작에 불과하다.(崔勇洵, 1986 ; 三決 彰, 1985)

水景 效果에 관한 研究로서는 物理的 水空間 요소의 視知覺的 파악의 관점에서 물의 이미지 구조를 분석하여 水景 演出 기법의 기준을 제시한 연구(崔勇洵, 1986 ; 鈴木信宏, 1987)와 韓國庭園의 構成要素 또는 建築空間과의 관계에서 폭포의 演出技法을 밝힌 것 등이 있다.(朴吉龍, 1984 ; 禹慶國, 1985) 또한 音響環境 創造와 관련된 研究로는 音의 心理的 屬性을 지배하는 요인으로 큰소리와 소란스러움 임을 因子分析에 의해 究明한 바 있으며, (泉清 人, 佐藤哲身, 1984) 農業用 落差工에서 발생하는 騒音의 특성을 분석하여 防音壁에 의한 減音方案을 제시하는 등, (丹治 筆, 關谷 剛, 1982) 水景觀으로서의 이미지 또는 물소리의 특성에 관한 包括的인 분석이 研究된 바 있다.

그러나 폭포는 構造에 따라 그 이미지와 물소리의 특성이 결정될 수 있으며, 이러한 점을 고려하여 공간의 知覺的 특성, 특히 聽覺의 특성과 구조의 關係分析은 거의 研究된 바 없다.

따라서 本 研究에서는 音壓과 周波數의 特性 분석에 의한 知覺特性和 構造의 關係를 究明하여 폭포 造成에 관한 보다 合理的 構造設計 理論을 樹立코자 함에 그 目的이 있다.

II. 研究 背景

1. 瀑布의 概念

폭포는 新羅에 불교가 전래된 이후 禪宗이 盛行하면서 氣運生動의 佛法과 無爲自然의 得道를 위해 조성되면서 고도의 自然風景式 水景技法으로 개발되었다.(閔庚玟, 1983)

그러나 佛法의 氣運生動 思想으로 묘사된 폭포

는 물을 사용하지 않는 것으로, 樹石이나 築山과 같이 象徴的인 意味의 概念이고, (阿部 勉, 1987) 無爲自然의 得道를 위한 폭포는 대자연의 변화를 보고, 듣고, 깨달으면서 修道하기 위한 道場으로서 築意의 自然風景式의 필수적인 水景觀이었다.(閔庚玟, 1983)

따라서 本 研究에서 對象으로 하는 폭포는 후자의 폭포로서 이는 곧 자연풍경식 폭포의 概念으로 파악될 수 있다. 이러한 폭포의 造成例는 禪苑景觀 구성이 대표적이라 할 수 있다. 禪定寺와 文殊院 등의 禪院에 坐禪石과 對景을 이룬 樹石 사이로 흐르는 溪川上流에 높이 0.25에서 2.3m의 인공폭포 또는 2.6m에서 8.3m의 자연폭포가 배치 되도록 하여 그 높이와 폭의 조절에서 발생하는 다양한 물소리를 坐禪石의 側方에서 들을 수 있도록 空間構成을 하고 있음이 밝혀졌다.(閔庚玟, 1983)

이러한 事實로 알 수 있는 바, 폭포는 단순히 落差있는 높은 곳에서 떨어지는 물이나 그 상태를 관상하는 水景觀만이 아니라 Soundscaping의 기능을 갖는 자연경관이었음을 알 수 있다. 또한 機械文明의 발달로 騒音의 발생이 많은 오늘날에 와서는 폭포의 概念이 視覺的인 이미지를 나타내는 水景觀만이 아니라 騒音의 遮蔽하거나 물소리에 의한 感興의 계속적인 반복 등으로 인하여 공간의 인식을 명확히 하는 聽覺的 造景요소의 성격이 강하게 대두되고 있음을 알 수 있다.(車日煥, 1980 ; Hubbard, 1982)

2. 水理 理論

水景觀으로서의 폭포는 落水의 형태에 따라 그 이미지가 결정된다. 따라서 流量의 측정은 瀑布水의 水理特性을 理解하기 위한 중요 요인이 된다. 이러한 流量의 조사는 流速을 측정하고 여기에 물이 흘러간 流積을 곱하여 결정한다. 즉, 流速計測法, 浮子測法, 超音波 測法, Weir測法, 公式測法 등으로 결정한다.

이들 측정법 가운데 流速計測法은 流速計를 이용하는 방법으로서 鉛直軸 周圍를 회전하게 되어 있는 圓錐型 컵의 회전에 따라 電氣回路에 연결된 受信機에서 나는 信號音에 의해 유속을 측정하게 되어 있다. 이때 流速은 $V=AN+B(A, B ; \text{기계별 고유상수}, N ; \text{회전수})$ 가 된다.(徐承德 外, 1984)

위의 式에서 A와 B는 計測機의 檢定에 의해 결정되는 것으로 本 調査에 사용된 流速 測定器의 경우 $A=0.112, B=0.021$ 로 되어 있다.

流速 측정은 원칙적으로 同一水位와 同一 橫斷

面에서 왕복 2회 실시하여 그 平均値를 구해야 한다. 그러나 出水時에는 同一水位를 유지하는 時間差 때문에 2회 측정이 불가능하게 된다.

流速을 측정한 지점의 流積은 水路의 폭과 水深에 의해 결정될 수 있다. 즉, 拋物線模樣의 水路이 경우 斷面積 $a=0.67(wd)$ (a : 단면적, w : 水路폭, d : 수심)로 결정된다.(崔杞秀, 1984) 그러므로 전체유량은 다음과 같이 성립되어 진다.

$$Q = aV = 0.67(wd)(0.112 \times N + 0.21)$$

w : 潤邊
 d : 水深
 N : 回轉數

3. 音響 理論

大部分의 音은 기본 振動數와 이의 倍音들로 이루어져있다. 이러한 音을 複合音이라 하며 複合音을 표시하는 방법에는 個別性分音의 波形을 합성하는 방법과 여러 周波數帶의 強度를 나타내는 周波數別 分布또 나타내는 방법이 있다.

이와 같이 複合音의 強度는 氣壓의 壓力 변화와 관계된다. 그러나 보통음의 氣壓值 범위가 너무 넓기 때문에 音壓水準(Sound Pressure Level)의 代數值를 사용한다. 音의 強度 尺度는 bel의 1/10인 decibel(dB)이며 음압으로 표시된 주어진 음의 강도 P_1 과 표준치 P_0 의 代數比 즉, $\text{dB수준} = 20 \log_{10}(P_1/P_0)$ 로 표시된다. 이때 音壓 強度와 個別 周波數帶域의 관계는 다음과 같이 산정된다.(李匡默, 1971 ; Kinsler et al, 1982)

$$IL = 10 \log(\sum 10^{L_i/10}) \quad IL: \text{全體帶域}$$

$$L_i: \text{各帶域別 音壓水準}$$

點音源으로 부터의 單位 面積當 出力은 거리가 증가함에 따라 照度의 경우와 같이 다음과 같은 逆 제곱의 법칙에 따라 감소한다.

$$\text{面積當 出力} = \text{出力} / 4 \Pi (\text{距離})^2$$

따라서 dB 水準間에는 $\text{dB}_2 = \text{dB}_1 - 20 \log(d_2/d_1)$ 이 된다.(車日煥, 1980 ; Lord et al, 1980 ; 朴景洙, 1982)

또한 한 音이 다른 음에 의해 높아지는 可聽域值의 量때문에 다른 성분음에 대한 귀의 感受性을 감소시키는 遮蔽(Masking)는 純音, 複合音, 白色騒音, 音聲 등에 따라 달라진다. 遮蔽 効果는 낮은 dB수준의 遮蔽音인 경우에는는 차폐음의 주위에 限定되지만 높은 dB수준의 경우에는는 차폐음 보다 높은 振動數에 까지 그 영향이 미치게 된다. 그

리고 振動數의 差를 分辨하는 인간의 能力은 최소 30dB 이상이 되어야 하며 인간이 민감하게 식별할 수 있는 周波數 帶域은 30Hz에서 4000Hz사이의 주파수 대역에 민감하다.(Lord et al, 1980 ; Kinsler et al, 1982)

또한 磁氣 錄音器로 音을 재생할 경우 음의 錄音은 測定用 Microphone을 이용하고 再生時 speaker를 사용하지 않고 녹음기의 출력이나 電流 端子로 측정하는 것이 좋다. 이러한 음의 측정에는 음의 특성에 따라 인간의 청각기능에 가장 근접한 상태로 측정하기 위해 聽感 補正 回路를 선택하게 된다. 인간의 聽感特性과 가장 가까운 것이 A特性이며, 음의 高低가 크지 않을 때는 B特性, 航空機의 離着陸과 같이 매우 큰 음이나 衝擊音의 측정에는 C특성을 사용한다. 그러나 폭포의 물소리와 같이 일반적인 경우 대부분 A특성으로 측정한다.(車日煥, 1980 ; 李匡默, 1971)

III. 研究方法

1. 調查對象

造景의 音響環境 創造에 적합한 水景觀으로 인공폭포의 原型이면서 계곡의 生成發展 過程中에 자연적으로 만들어진 자연폭포(鄭昌熙, 1985)를 본 研究의 對象으로 하였다. 그러나 대부분의 산악이나 계곡에서는 계단형, 제류형, 복합형 등의 물이 떨어지는 貌樣에 따라 다양한 형태의 폭포가 존재하고 있기 때문에 對象地 選定에 어려움이 있었다.

그러나 폭포의 물소리 즉, 聽覺的 次元에서 파악할 때 폭포의 물소리에 관계되는 構造의 多樣性과 機械的 측정(Lord, 1980)에 따른 他騒音의 排除 및 상부 水路의 상태를 기준으로 調查對象을 선정할 수 있었다. 즉, 流量, 流速, 높이, 幅, 落下地點의 상태 등의 瀑布構造가 다양하게 분포되어 있는가. 폭포가 존재하는 계곡이 야영지 또는 통행로 등과 隔離되어 他騒音의 영향이 없는가. 前後 폭포間의 간격과 고저차 등이 소리의 F涉을 피할 수 있는가. 그리고 폭포상부 수로의 변화에 따라 流量의 변화가 있는가 등을 기준으로 하였다.(徐承德外, 1984)

이러한 기준을 고려하여 大邱近郊에 위치한 八公山 道立公園內 수태공 지역의 폭포 가운데 溪流型 폭포의 一段에 해당하는 경우로서 높이가 46cm 인 것에서 부터 높이 720cm가 되는 폭포 47個所를

對象으로 하였다. 調查對象 地域의 位置는 그림 1과 같다.

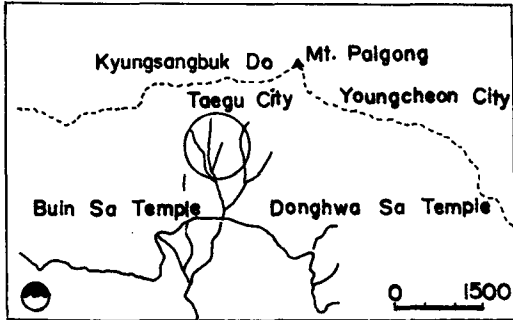


Fig 1. The location of subject of investigation

2. 調査方法

1987年 8月 23일부터 一週日間に 걸쳐 행한 調査의 방법과 내용은 다음과 같다.

먼저 1:2500등산용 지도를 이용하여 對象地에 대한 溪谷과 폭포의 立地條件 및 分布狀態를 파악하였다. 폭포의 폭, 높이, 落下地點의 웅덩이 깊이 등은 Glass tape와 Staff를 사용하여 實測하였으며 共鳴構造의 유무는 관찰조사 하였다. 流速은 廣井電氣式 流速計(Type 7653)로 낙하직전의 유속을 측정하였다. 流量은 폭포 상부의 溪上에서 落下部와 流入口 外에서는 流出入이 없는 拋物線型 溪上 지점의 潤邊과 폭 및 깊이를 실측하고 동일지점의 유속을 측정하여 단면적으로 計測한 후 流量을 구하였다.

폭포의 물소리를 측정하기 위하여 Sound Level Meter(type 3282)와 소형 녹음기 및 Crome 磁氣 Tape를 이용하여 音壓測定과 錄音을 수행하였다. (Lord, 1980; 日本音壓材料協會, 1967) 물소리의 측정 및 녹음은 낙하지점의 물방울과 타소음의 영향을 최소화하면서 폭포의 음압을 측정하기 위해 폭포로부터 50cm 떨어진 지점에서 측정하였다. 또한 폭포 觀賞地點에서의 물소리 변화를 알아보기 위해 폭포의 垂直的 視界上限을 이루는 지점(鈴木信宏, 1987)을 폭포 觀賞 最近距離로 하여 폭포 전방의 높이 2배 떨어진 지점에서의 물소리를 측정하였다.

錄音된 물소리는 周波數 分析機(Sd 375 FFT Frequency Analysiser)와 주파수 記錄機(SD 422A Printer)를 사용하여 周波數 特性을 조사하였다. 이상의 방법으로 조사한 資料는 표 1.과 같다.

3. 分析方法

가. 瀑布 물소리와 構造의 關係分析

폭포 물소리 특성은 音壓特性과 周波數 특성으로 파악하여 構造와의 關係를 알기위해 상관계수 분석을 실시하였으며 또한 다른 構造의 影響力을 統制한 상태에서 물소리 특성과 構造의 關係를 파악하기 위해 部分 상관계수 분석을 실시하였다.(金寅鎬, 1983; 金秉洙 外, 1987; 吳澤燮, 1985)

상관계수 분석결과 音壓 수준과 關係가 糾明된 構造와 音壓수준간의 關係式을 多變回歸分析에 의해 定立하였다.(金寅鎬, 1983; 金秉洙 外, 1987; 任翊淳 外, 1986; 吳澤燮, 1985)

定立된 回歸式 및 回歸係數의 檢定은 T-test와 F-test에 의해 실시하였다. 또한 回歸式의 正確性을 알아보기 위해 殘差를 求한 後 Dubin-Watson 統計量으로 檢定하였다.(金寅鎬, 1983; 金秉洙 外, 1987)

나. 測定 地點에 따른 瀑布 물소리의 特性變化

測定地點에 따른 폭포 물소리의 音壓수준 변화는 回歸分析에 의해 실시하였으며, 周波數 特性의 변화는 平均 周波數 帶域의 比較분석에 의해 수행하였다.

이상의 분석은 Cyber System(170-815)을 이용하여 SPSS(Statistics package for Social Science)의 각 통계 Program으로 遂行하였다.(金秉洙 外, 1987; 任翊淳 外, 1986; 蘇令一, 1987; Norman H. Nie et al. 1981)

IV. 結果 및 考察

1. 瀑布 물소리의 特性分析

가. 音壓 特性

폭포의 構造는 瀑布水의 흐름상태를 制限하며 폭포 물소리의 특성을 결정하는 요인이 된다. 그러므로 폭포 물소리의 특성을 파악하는 것은 造景의 音壓環境 創造라는 觀點에서 볼때 폭포의 構造 設計와 관련된 重要한 意味를 갖는다. 이러한 폭포 물소리의 전반적인 音壓수준은 표 2와 같다.

폭포 물소리의 音壓수준은 瀑布水가 떨어지는 지점으로 부터 0.5m 떨어진 곳에서 측정된 결과 최소 82dB(A)로 부터 최대 90dB(A)에 이르기 까지 8db의 變化幅을 가지며 그 平均은 86.6dB(A)

Table 1. Research data

Var. Unit No.	Water Volume cm ³ /sec	Height cm	Width cm	Velocity cm/sec	Pond Depth cm	Resonator	Sound	
							0.5m	2H
							dB	
1	298431	175	70	86.1	67	1	87	79
2	114277	49	80	76.8	7	0	84	82
3	62590	128	105	41.8	27	1	85	78
4	163251	109	110	129.0	19	1	88	84
5	143795	120	260	136.5	28	1	89	87
6	248865	180	235	170.1	0	0	90	80
7	81407	123	25	166.4	63	1	87	80
8	17728	98	60	185.0	48	1	88	86
9	141008	112	65	76.9	27	1	90	84
10	157865	123	163	188.8	44	1	88	83
11	132806	167	154	106.6	37	1	89	83
12	205141	720	90	28.2	20	0	88	83
13	117727	79	94	237.3	37	0	90	86
14	151956	82	20	188.8	0	0	87	80
15	108661	218	100	211.2	52	0	86	82
16	80550	180	340	144.0	0	0	88	83
17	63146	206	120	166.4	28	0	86	75
18	70177	63	165	58.1	32	1	83	80
19	117363	90	380	129.0	0	0	88	82
20	95371	46	100	102.9	0	0	85	81
21	12072	133	50	93.6	0	0	85	79
22	23216	120	90	158.9	0	0	89	79
23	27079	77	45	125.3	0	0	87	80
24	84721	96	296	170.1	0	0	86	79
25	57087	58	78	125.3	0	0	87	80
26	100239	228	80	91.7	57	1	87	81
27	86043	79	140	129.0	47	1	87	81
28	71549	67	43	114.1	25	1	88	77
29	116495	105	71	129.0	41	1	86	79
30	61392	67	111	114.1	25	1	87	80
31	47295	117	61	129.0	32	0	86	81
32	15616	52	60	147.7	21	1	87	81
33	46203	80	64	162.6	38	1	87	82
34	95234	73	102	99.2	21	1	86	83
35	91944	100	58	140.2	0	0	90	83
36	25889	139	62	132.8	0	0	87	81
37	71041	67	76	99.2	30	1	86	80
38	86928	160	45	125.3	39	1	89	78
39	127069	126	162	132.8	0	0	87	82
40	9652	132	25	88.0	18	1	83	79
41	7481	130	8	129.0	34	1	83	79
42	25279	110	20	121.6	10	1	89	80
43	14393	51	35	91.7	13	1	82	79
44	11629	108	30	91.7	9	1	87	82
45	28037	68	48	110.4	27	0	82	76
46	29779	103	81	91.7	29	1	84	76
47	8273	144	43	95.4	37	1	82	77

로 나타났다. 이러한 音壓 水準은 큰소리로 외치는 목소리를 바로 앞에서 듣는 것과 같은 수준으로 煩雜한 道路의 騒音이 80dB(A)이고 鑿岩機로 掘鑿作業을 하는 工事場의 騒音이 90dB(A)인 것을 勘案해 볼때, 폭포 물소리는 이러한 수준의 音壓을 遮蔽할 수 있는 수준의 音壓을 갖는 소리라는 것을 알 수 있다.

또한, 폭포의 觀賞 地點에 따른 물소리의 변화를 알아내기 위해 폭포로 부터 폭포높이의 2배 떨어진 거리로 폭포 觀賞 最近距離로 설정하였던 바, 이 지점에서 측정한 물소리는 최소 75dB(A)인 것으로 나타났다. 이러한 음압수준은 큰소리로 대화할 때의 목소리가 갖는 音壓과 같은 수준으로서 繁華한 식당과 도로의 騒音이 80dB(A)程度인 것을 감안해 볼때 周邊의 騷亂스런 대화나 도로 소음을 遮蔽할 수 있는 수준의 音壓이라는 것을 알 수 있다.(朴景洙, 1982 ; Lord et al. 1980 ; Kinsler, 1982)

Table 2. Statistics of sound pressure level by measured position.

(Unit : dB)

Statis Distance*	Mean	Min.	Max.	S.D
0.5M	86.6	82.0	90.0	2.17
2H**	80.7	75.0	87.0	2.58

* Distance from waterfall

** Double distance of waterfall height

(Number of Cases : 47)

그러나 이들 두 측정 地點에서의 폭포 물소리는 동일한 폭포의 물소리이며, 폭포로 부터 폭포 높이의 2배 떨어진 지점에서의 音壓은 폭포의 높이에 따라 一定한 比率로 거리에 의한 音壓減殺가 된 상태로 측정되기 때문에 폭포로 부터 0.5m 떨어진 지점의 音壓과 비슷한 變化幅을 가지는 것으로 나타날때 폭포 構造와의 관계를 파악하는데 適合할 것으로 思料된다. 그러나 측정 地點別 폭포 물소리의 最小値와 最大値의 差異를 보면 폭포로 부터 0.5m 떨어진 지점의 音壓보다 높이의 2배 떨어진 지점에서 측정된 물소리의 音壓 變化幅이 크다는 것을 알 수 있다. 이는 距離에 따라 一定한 比率로 音壓이 減殺될 때 距離에 의한 作用만으로 減殺되는 것이 아님을 알 수 있다.(李匡默, 1971) 따라서 폭포 물소리의 音壓과 構造와의 관계를 파악하는데는 폭포로 부터 0.5m 떨어진 지점에서 측정된 물소리가 보다 効果적인 것으로 思料되며, 이는 측정 地點別 音壓과 力學的 에너지의 상관관계 係數를 구해 본 결과에서도 알 수 있었다.

표 3은 폭포 물소리의 측정 地點別 音壓과 力學的 에너지의 상관관계를 求한 것으로 폭포의 構造의 特性에 의해 결정되는 瀑布水의 力學的 에너지와 音壓 수준間的 관계는 位置 에너지보다 運動에너지와 위치 에너지를 包含한 全體 力學的 에너지와 폭포 물소리의 音壓 水準이 높은 관계가 있음을 나타내고 있다. 이는 폭포 낙수가 갖는 역학적 에너지는 모든 낙하 위치에서 항상 일정하다고 하는 에너지 불변의 법칙에 의해 설명될 수 있다. 즉, 낙수가 갖는 위치 에너지 $E_p=mgh$ 로서 높이와 유량에 의해 결정되며, 운동에너지 $E_k=1/2(mv^2)$ 으로서 유량과 유속에 의해 결정된다. 그러나 폭포수가 갖는 전체 역학적 에너지 $E_0=E_p+E_k$ 로서 일정하다고 할때 폭포수의 위치에너지와 운동에너지는 상호 상대적인 관계를 갖게 된다. 따라서 폭포의 높이, 유량, 유속 등의 구조가 다양한 자연폭포에 있어서는 폭포수의 위치에너지 또는 운동에너지 중 하나와 음향에너지의 관계보다는 전체 역학적 에너지와의 관계가 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 0.5m 지점의 폭포 물소리가 構造의 특성을 보다 잘 反映한다는 것을 나타내고 있다.

Table 3. Correlation coefficient between dynamic energy and sound pressure level by measured position.

Distance*	Energy	Dynamic	Kinetic	Potential
		r	0.487	0.454
0.5M	p	0.001	0.001	0.032
	r	0.337	0.314	0.190
2M	p	0.010	0.016	0.101

r : Correlation coefficient. p : Significance.

* Distance from waterfall

나. 周波數 特性

폭포의 물소리는 수 많은 周波數 組合에 의해 소리의 특성이 결정된다. 이와 같이 많은 周波數 組合에 의한 음을 복합음이라 하고 複合음을 묘사하는 일반적인 방법으로는 個別 周波數 成分音의 波型을 합성하여 나타내는 방법과 周波數帶(Frequency Band)의 強度를 周波數別 分布(Spectrum)에 의해 나타내는 방법이 있다. 本 研究에서는 그림 2와 같이 狹帶域幅(Narrow bandwidth) 周波數別 分布를 이용하여 周波數 特性을 조사하였다. (Kinsler et al. 1982)

이와 같은 방법으로 조사한 周波數 帶域의 최대

Table 4. Statistics of frequency spectrum by measured position.

Distance*	Frequency	Maximum P.S.L.**	Over 30dB			Overall		
			Lowest	Highest	Bandwidth	Lowest	Highest	Bandwidth
0.5(m)	Mean	1732	466	6566	6100	256	16271	16015
	Min.	550	150	2900	2400	50	11300	11050
	Max.	3350	1050	11300	11100	650	19300	19200
	S.D	729.9	246.3	2300.7	2456.6	176.2	2123.3	2192.7
2H	Mean	1682	427	6407	5981	217	15466	15249
	Min.	700	150	2400	1900	50	8950	8700
	Max.	3350	1100	10300	10000	700	20000	19950
	S.D	669.8	235.9	2335.2	2477.2	159.2	2548.9	2617.5

* Distance from waterfall
 ** P.S.L. : Pressure Spectrum Level.

최소 帶域幅과 평균 및 標準 偏差를 구한 결과 표 4와 같다. 이때 전체 周波數 帶域幅은 폭포 물소리의 일반적인 특성을 나타내고 있으며, 30dB이상의 강도를 갖는 周波數 帶域幅은 인간이 쉽게 인식할 수 있는 물소리의 周波數 特性을 나타내고 있다. 또한 최대 周波數 成分音은 가장 支配的인 음특성에 해당하는 周波數를 나타내고 있다.

표 4를 보면, 폭포로부터 0.5m 떨어진 지점에서 측정된 물소리는 50Hz에서 19300Hz의 周波數 成分音에 의해 平均 16015Bandwidth의 周波數 帶域幅으로 합성된 소리이고, 폭포로부터 폭포 높이의 2배 떨어진 거리에서 측정된 물소리는 50Hz에서 20000Hz의 周波數 成分音에 의해 平均 15249Bandwidth의 周波數 帶域幅으로 합성된 소리임을 나타내고 있다.

그러므로 폭포 물소리는 人間이 感知할 수 있는 20Hz에서 20000Hz內的 周波數 成分音에 의해 합성된 複合音이며, 폭포로부터 0.5m 떨어진 지점에서

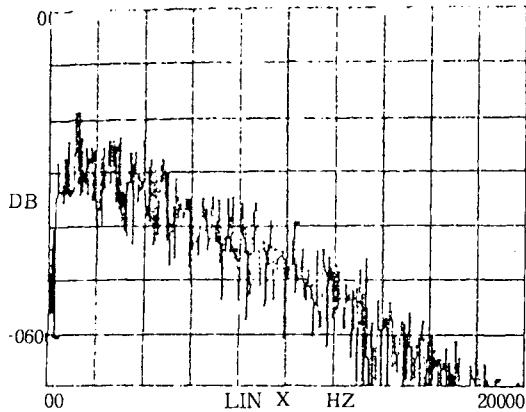


Fig 2. Narrow band spectrum of waterfall sound

서 측정된 물소리가 폭포 높이의 2배 떨어진 距離에서 측정된 물소리 보다 平均 766Bandwidth의 周波數 帶域幅內에서 高周波 成分音을 더 많이 포함하고 있다는 것을 알 수 있다.

또한 日常的으로 人間이 識別할 수 있는 周波數 別 最小 強度인 30dB이상의 周波數 帶域을 보면, 폭포로부터 0.5m 떨어진 지점에서 측정된 물소리는 150Hz에서 11300Hz사이의 周波數 成分音에 의해 平均 6100Bandwidth의 周波數 帶域幅으로 합성된 소리임을 나타내고 있다.

이러한 周波數 特性은 일반적으로 인식이 쉽게 이루어지는 폭포 물소리는 人間이 敏感하게 인식할 수 있는 500Hz에서 4000Hz內的 中音域 보다 高周波 成分音을 보다 많이 포함하고 있는 소리로서, 폭포로부터 폭포 높이의 2배 떨어진 距離에서 측정된 물소리 보다 폭포로부터 0.5m 떨어진 지점의 물소리가 719Bandwidth의 周波數 帶域幅內에서 高周波 成分音을 더 많이 포함하고 있다는 것을 나타내고 있다.

그러나 최대 強度 周波數의 成分音을 보면, 人間이 가장 敏感하게 인식할 수 있으며, 가장 멀리까지 傳達될 수 있는 中音域의 周波數 즉, 500Hz에서 4000Hz內的 周波數 成分音이라는 것을 나타내고 있다. 그러므로 폭포 물소리는 人間이 가장 敏感하게 인식할 수 있는 周波數 帶域의 騒音에 對해 遮蔽 効果가 매우 良好한 소리임을 알 수 있다. (車日煥, 1980 ; 李匡默, 1971 ; H. Irod, 1980)

이와 같이 폭포 물소리는 日常 對話의 騒音水準인 75dB(A)에서 부터 煩雜한 道路의 騒音水準인 80dB(A) 및 굴착기 作業場의 騒音水準인 90dB(A)에 이르는 比較的 높은 음압수준의 소리이며, 全體 周波數 帶域은 人間이 感知할 수 있는 周波數 帶域인 20Hz에서 20000Hz內的 周波數 成分音

Table 5. Correlation coefficient matrices between structure and sound pressure level

Variables	Water volume [Ⓡ]	Height [Ⓡ]	Width [Ⓛ]	Velocity	Pond depth	Resonator
Height [Ⓡ]	-0.0065 (0.483)					
Width [Ⓛ]	-0.6074 (0.001)	-0.0735 (0.312)				
Velocity	-0.1412 (0.172)	-0.0690 (0.323)	0.0946 (0.263)			
Pond Depth	0.0729 (0.313)	-0.2604 (0.039)	-0.1273 (0.197)	0.0573 (0.351)		
Resonator	0.2154 (0.073)	0.0184 (0.451)	-0.2563 (0.041)	-0.2819 (0.027)	0.5945 (0.001)	
Sound Level	-0.5287 (0.001)	-0.3027 (0.019)	0.3030 (0.019)	0.3922 (0.003)	-0.0615 (0.341)	-0.1049 (0.242)

Ⓡ : Reciprocal type. Ⓛ : Logarithmic type. () : Significance.

을 포함한다. 또한 최소 認識水準인 30dB이상의 強度를 갖는 周波數 帶域은 人間이 敏感하게 인식할 수 있는 周波數 成分音 보다 高周波 成分音을 比較的 많이 包含 하지만 최대 強度 周波數 成分音이 人間の 귀에 가장 敏感한 500Hz에서 4000Hz 內의 周波數 成分音으로 나타나 中音域의 周波數 成分音 強度가 큰 複合音의 特性을 갖는다.

그러므로 周波數 強度가 큰 音일수록 遮蔽效果가 크다(車日煥, 1980 ; 李匡默, 1971 ; Lord, 1980)는 것을 勘案할 때, 폭포 물소리는 騒音에 대한 遮蔽效果가 매우 양호한 소리로서 音響環境 創造를 위한 主要한 요소임을 알 수 있다. 이는 鈴木信宏(1987)이 밝힌 바 三井物産 Plaza와 Paley park 등의 폭포 周邊 공간의 周邊의 騒音이 사라지고 물소리만이 사람들을 둘러싸는 새로운 世界의 霧圍氣가 창출되고 있다는 調査研究 結果와 類似한 效果를 기대할 수 있는 것으로 사료된다.

2. 瀑布 물소리와 構造와의 關係分析

가. 물소리 크기와 構造의 關係

폭포 물소리와 構造와의 關係분석을 위해 폭포로부터 0.5m 떨어진 지점에서 측정된 물소리의 測定値를 분석하였다. 폭포 물소리의 音壓 特性과 構造間의 상관관계를 파악하기 위해 流量과 높이는 逆數變形, 폭은 log變形, 流速과 웅덩이 깊이는 共鳴構造는 原形으로 變數模型을 取하여 音壓수준 및 構造間의 상관관계 係數를 구하였다.

표 5에서 보는 바와 같이 폭포 물소리의 音壓수준과 各 構造의 상관관계 係數는 流量이 -0.53으로 나타났으며, 높이가 -0.30이고, 幅이 0.30으로 나타났었다. 또한 웅덩이 깊이는 미³ 共鳴構造가 各

-0.06 및 0.10으로 나타났다. 이러한 상관관계 係數는 0.2이상일때 상관관계가 存在하는 것으로 解析하고 있음(吳澤燮, 1985)으로 流量, 높이, 幅 및 流速 등 各 構造의 增加는 音壓수준의 增加와 높은 상관관계가 있다. 그리고 웅덩이 깊이는 共鳴構造는 音壓수준과의 상관관계가 극히 미약함을 나타내고 있다. 또한 幅과 音壓수준과의 상관관계 係數와 幅과 流量과의 상관관계계수를 比較해 볼때 幅과 音壓수준과의 상관관계 係數보다 幅과 流量과의 상관관계 係數가 크게 나타났다.

그러나 이들 여섯개의 構造가운데 다섯개의 構造가 一定하게 統制된 상태에서 音壓수준과 各 構造와의 상관관계를 求한 部分 상관관계 분석에서는 音壓수준과 웅덩이 깊이는 共鳴構造는 各 높은 상관관계가 存在하는 것으로 나타났다.

표 6은 다른 構造의 影響力을 統制한 상태에서 音壓수준과 各 構造와의 部分 상관관계 係數를 나타내고 있다. 音壓수준과 各 構造와의 部分 상관관계에서는 流量, 높이, 流速의 增加와 共鳴構造의 存在는 音壓수준의 增加와 密接한 關係가 있으며, 웅덩이 깊이의 增加는 音壓수준의 감소와 密接한 關係가 있으나 幅은 상관관계가 存在하지 않는 것으로 나타났다. 이는 流量, 높이, 流速 등은 各 構造의 增加에 의해 瀑布水가 갖는 力學的 에너지가 增加되고, 共鳴構造의 存在에 의해 폭포 물소리의 振動數가 增加되어 音壓수준이 높아지게 되며, 또한 웅덩이 깊이의 增加에 의해 瀑布水가 갖는 力學的 에너지가 吸水되어 音壓수준이 낮아지게 되는 것이라 思料된다. 그러므로 APT園地와 같은 住居地域과 高層建物 密集 地域에서는 建物의 便益施設을 위한 Mall과 建物棟間의 空間에 의해 폭포 물소리의 共鳴에 의한 소리의 增幅 效果가 생

Table 6. Partial correlation coefficient between each structure and sound pressure level.

Variables	Water vol.Ⓜ	HeightⓂ	Width㉔	Velocity	Pond depth	Resonator
Sonun Level	-0.642 (0.001)	-0.546 (0.001)	-0.176 (0.133)	0.545 (0.001)	-0.518 (0.001)	0.457 (0.001)

Ⓜ : Reciprocal type. ㉔ : Logarithmic type. () : Significance.

기기 때문에 이러한 곳에서의 폭포 設置時에는 音響關係를 考慮하여 細心한 主義를 기울여 設計하여야 할 것으로 思料된다.

이러한 결과를 前述한 音압수준 및 各 構造間의 多重 상관계 분석의 결과와 比較해 볼 때 流量, 높이, 流速 그리고 웅덩이 깊이 및 共鳴構造는 各 音압수준과 높은 상관계가 있음에도 不拘하고 各 構造間의 影響力이 相互作用하여 各 構造와 音압수준間의 상관계가 낮게 나타났으며, 幅과 音압수준間의 상관계는 幅과 流量과의 상관계 ($r = -0.61$)에 의해 나타난 虛僞的인 關係였음을 알 수 있었다.

그러나 상관계 분석은 各 構造間의 線型的 關係에 의한 相互 依存의 關係만을 알 수 있기 때문에 各 構造와 音압수준間의 因果關係를 說明하지 못하고 있다. 따라서 各 構造의 變化에 의한 音압수준의 變化 程度를 究明하기 위하여 音압수준을 被說明變數로 하고 各 構造를 說明變數로 하여 回歸分析을 실시 하였다.

표 7을 보면 各 構造의 變化가 音압수준의 變化에 寄與하는 程度를 알 수 있다. 音압수준의 變化에 대한 各 構造의 說明力을 나타내는 多重 決定係數(R^2)의 各 構造別 變動값을 보면 流量이 28%, 流速 및 共鳴構造가 10%, 높이가 8%, 웅덩이 깊이가 4%, 그리고 幅이 1%로 나타났으며, 音압수준의 變化에 대한 이들 構造의 全體 說明力은 60%인 것으로 나타났다.

그러나 各 構造의 單位 增加에 따른 音압수준의 變化 單位를 나타내고 있는 各 構造의 回歸係數에

Table 7. Result from multiple regression analysis between sound pressure level and structure of waterfall.

Variables	Coefficient	F-test	T-test	Multiple R	R-square
1/Water Vol.	-47524.63	28.05	-5.29	0.52	0.28
Velocity	0.02	16.89	4.11	0.62	0.38
1/Height	-208.35	17.64	-4.13	0.68	0.46
Pond Depth	-0.06	14.64	-3.83	0.71	0.50
Resonator	2.02	10.58	3.25	0.77	0.60
Log(Width)	-0.94	1.28	-1.13	0.78	0.61
Constant	89.32	1807	42.52	-	-

Regression equation : $F(6,40:0.95) = 10.65, R^2 = 0.61$

대한 檢定 결과, $t(0.05:40) > 1.68$ 이거나 $t(0.05:40) < -1.68$ 이 되어야 한다. 그러나 표 7에서 알 수 있는 바와 같이 폭에 대한 回歸係數의 檢定 統計量은 $t(0.05:40) = -1.68 < t(-1.13)$ 으로 나타나므로 音압수준의 變化를 說明할 수 없다고 판단된다.(金寅鎬, 1983) 따라서 幅은 音압수준의 變化에 影響을 주지 않으며, 상관계 분석결과 폭포의 構造 가운데 幅은 音압수준의 變化와 關係가 없다는 事實이 立證되고 있음을 알 수 있다.

나. 構造에 依한 물소리 크기의 推定式

폭포 물소리의 音압수준은 幅을 除外한 瀑布構造, 즉 流量과 높이와 流速 그리고 웅덩이 깊이 및 共鳴構造 등과 상관계가 있으며, 이들 構造는 音압수준의 變化에 對하여 說明力이 있음을 알 수 있었다. 그러므로 이들 構造와 音압수준의 關係式을 定立하기 위해 前과 같은 방법으로 回歸分析을 실시하였다.

표 8은 回歸分析에 의한 폭포 構造와 폭포 물소리의 音압수준間 關係式으로서 各 構造의 回歸係

Table 8. Multiple regression model estimation sound pressure level with stucture of waterfall.

Variable	Coefficient	F-test	T-test	Multiple R	R-square
1/Water Vol.	-41354.68	33.49	-5.79	0.53	0.28
1/Width	-199.19	15.86	-3.98	0.61	0.37
Velocity	0.02	16.63	4.08	0.68	0.46
Pond Depth	-0.06	13.43	-3.66	0.71	0.50
Resonator	2.01	10.42	3.23	0.78	0.60
Constant	87.23	7667	87.56	-	-

Regression equation : $F(5,41 : 0.99) = 12.44, R^2 = 0.60$

$Y(\text{dB A}) = 87.23 - 41354.68(1/WV) - 199.19(1/H)$

$+ 0.22(V) - 0.66(DP) + 2.01(R)$

F = 7766

$R^2 = 0.60$

數 및 全體回歸式에 대한 妥當性을 檢證한 결과 폭포의 構造 變化에 따른 音압수준을 推定할 수 있는 回歸式임을 알 수 있다.

따라서 폭포 물소리의 音압수준에 對한 各 構造 즉, 流量(WV)과 높이(H)와 流速(V) 그리고 웅덩이 깊이(DP) 및 共鳴構造 등에 의한 폭포 물소리의 音압수준 推定式은 다음과 같이 定立될 수 있다.

定立된 回歸式의 正確性을 알아 보기위해 殘差分析을 실시한 결과(Lord, 1980) 殘差의 分布는 平均(0.0)을 中心으로 ± 2 SD의 範委 內에서 分布하고 있으며 Dubin-Watson 값이 1.85로 나타났다. 그러므로 定立된 回歸式은 流量과 높이와 流速 그리고 웅덩이 깊이 및 共鳴構造 등의 變化에 따른 음압수준의 變化를 推定하는데 適合한 것으로 判斷된다.(金寅鎬, 1983) 따라서 定立된 回歸式에 의해 폭포 造成地의 狀況에 따라 要求되는 수준의 물소리 크기를 낼수 있도록 폭포의 構造를 設計할 수 있는 것으로 思料된다.

定立된 回歸式의 各 構造에 對한 回歸係數는 各 構造의 單位變化에 따른 음압수준의 變化 程度를 나타내게 된다. 그러므로 回歸係數가 가장 큰 流量은 음압수준의 變化에 對하여 가장 支配的인 構造이며, 다음이 높이가 된다. 그리고 웅덩이 깊이와 流速의 變化 및 共鳴構造의 存在 與否에 따라 폭포 물소리 크기가 결정된다. 그러므로 음압수준의 變化에 對하여 重要的 流量과 높이는 聽覺의 물소리 크기의 결정에서 重要的 構造로 考慮되어야 할 것으로 思料된다.

다. 音質과 構造의 關係

폭포 물소리의 音質을 결정하는 周波數 特性과 構造間의 關係를 알아보기 위해 周波數別 分布와 構造의 상관관계를 求하였다.

표 9에서 보는 바와 같이 周波數別 分布는 構造變數의 逆數 形態와 낮은 상관관계를 나타내고 있다. 이는 소리의 음압수준이 각 주파수 대역별 음압수준의 합에 의해 결정됨을 감안할 때, 폭포 물소리의 周波數 特性에 對하여 各 構造間에 의한 음압특성을 결정하는 주파수 대역별 음압수준의 상호 감소 혹은 증가 效果가 매우 敏感하게 作用하기 때문이라 思料된다. 各 周波數 分布와 構造間의 상관관계 係數를 보면 幅의 감소는 全體 周波數 帶域幅의 감소와 상관관계가 있으나 다른 構造는 全體 周波數 帶域幅의 變化와 關係가 없음을 나타내고 있다.

그러나 30dB이상의 周波數 強度를 갖는 周波數 帶域幅과 各 構造는 모두 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 30dB이상의 強度를 갖는 周波數 帶域幅과 各 構造의 상관관계 係數는 웅덩이 깊이와 幅 및 流量의 감소 그리고 共鳴構造의 存在와 30dB이상의 強度를 갖는 周波數 帶域幅의 增加와 關係가 있음을 나타내고 있다. 또한 높이의 감소는 30dB이상의 強度를 갖는 周波數 帶域幅의 增加와 關係

Table 9. Correlation coefficient between frequency spectrum and reciprocal type of structure.

Structure Frequency	Water Volume	Height	Width	Depth of Pond	Resonater
Maximum S.P.L.	N.S	N.S	0.23 (0.06)	0.23 (0.06)	N.S
Over 30dB	-0.28 (0.02)	0.23 (0.03)	-2.29 (0.02)	-0.32 (0.02)	-0.26 (0.04)
Over all	N.S	N.S	-0.21 (0.08)	N.S	N.S

N.S : Not significant ($P > 0.1$)

P.S.L. : Pressure Spectrum Level.

가 있음을 나타내고 있다.

그리고 최대 強度를 갖는 周波數 成分音과 各 構造의 상관관계 係數를 보면, 幅과 웅덩이 깊이가 0.23으로 나타나 幅 및 웅덩이 깊이의 감소는 최대 強度를 갖는 周波數 成分音이 高周波 음으로 되는 關係를 보이고 있다.

한편, 표 4에서 周波數 帶域의 變化幅은 低周波數 帶域에서 보다 高周波數 帶域에서 크기 때문에 周波數 帶域幅의 增加는 高周波數 成分音を 더 많이 包含하게 되는 것을 알 수 있다. 이러한 事實과 高周波數 帶域幅의 增加는 날카롭고 雜音性이 강한 音質을 나타내게 됨을 감안 할 때, 幅과 流量 그리고 웅덩이 깊이의 감소와 共鳴構造의 存在는 날카롭고 강한 雜音性의 特性이 감소된 音質을 나타내게 된다. 또한 幅과 웅덩이 깊이의 감소는 高音化되고 높이의 감소는 날카롭고 雜音性이 강한 音質을 나타내게 된다.(Kinsler et al. 1982) 그러므로 造成된 폭포의 물소리가 시끄러운 雜音으로 느껴지기 쉬운 白色騷音의 性質이 強하여 構造의 變硬을 必要로 할때, 幅과 流量 및 웅덩이 깊이를 감소시키거나 共鳴構造를 만드는 것, 또는 높이를 增加시키는 것이 效果의 일 것으로 思料된다.

3. 測定地點에 따른 瀑布 물소리의 特性變化

가. 물소리 크기 變化

이상의 분석은 構造間의 關係에서 결정된 폭포 물소리의 特性을 보다 잘 反映하는 폭포의 물소리로서 폭포로부터 0.5m 떨어진 지점에서 측정된 것이다. 그러나 實際로 폭포를 觀賞하는 지점은 폭포로부터 폭포가 완전히 視野에 들어오는 距離 이상이 될 것이다. 따라서 知覺 지점에서의 폭포 물소리는 0.5m 지점에서의 물소리와 다른 音 特性을 나타내게 되고, 폭포 設計에 있어서 중요한 意味를 갖게 된다. 이때 폭포의 最上部와 最下部가 완전히

成分音에 의해 15000 Bandwidth에서 16000 Bandwidth 以上の周波數 帶域幅을 갖는 複合音인 것으로 나타났다. 이러한 특성은 폭포 물소리가 人間이 感知하기 쉬운 騒音에 對하여 遮蔽效果가 매우 良好한 소리로서 音響環境 創造를 爲해 主要한 요소임을 나타내고 있다.

둘째, 폭포 물소리의 音壓水準은 流量, 높이, 落下直前의 流速 等の 增加 및 共鳴構造의 存在 그리고 落下地點 웅덩이 깊이의 감소와 正의 相關關係를 나타내고 있었다. 그러나 幅과 音壓의 關係는 流量에 의해 나타날 수 있는 것으로 音壓水準의 變化를 實際적으로 說明할 수 없는 構造로 나타났다.

셋째, 音壓水準과 構造의 關係式은 다음과 같이 定立 되었다.

$$Y(\text{dB}) = 87.23 - 41354.68(1/\text{流量}) \\ - 199.19(1/\text{높이}) + 0.02(\text{流速}) \\ - 0.66(\text{웅덩이 깊이}) + 2.01(\text{共鳴構造}) \\ (R^2 = 0.60)$$

넷째, 폭포의 幅과 流量 그리고 웅덩이 깊이의 감소와 共鳴構造의 存在는 폭포 물소리의 雜音性을 감소시키지만, 幅과 웅덩이 깊이의 감소는 물소리가 高音의 특성을 갖게 한다. 그리고 높이의 감소는 雜音으로서의 특성을 強하게 하는 것으로 나타났다.

다섯째, 測定地點別 音壓水準의 變化 關係는 폭포 높이의 2배 떨어진 距離에서 測定한 물소리 (SPL_{2H})와 0.5m 떨어진 地點에서 測定한 물소리 ($SPL_{0.5m}$)의 關係式, $SPL_{2H} = 24.12 + 0.65(SPL_{0.5m})$ 로 나타났다. 이때의 音壓水準 變化量은 距離가 2배로 될때 點音苑에서 發生하는 소리의 減殺量과 같은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 폭포 높이의 2배 떨어진 地點이 폭포의 視覺的 視界 上限地點으로서 뿐 아니라 音壓水準 變化에 있어서 距離 2배에 따른 減殺 效果를 나타내는 地點으로서 瀑布 知覺의 主要 地點인 것을 나타내고 있다. 또한 이 地點에서의 물소리는 0.5m 떨어진 地點의 물소리보다 부드럽고 刺戟的이지 않는 音質로 感知될 수 있는 것으로 나타났다.

以上과 같이 分析된 폭포구조와 물소리 특성의 關係 및 測定地點別 폭포 물소리의 變化를 考慮하여 폭포의 디자인 및 空間構造의 機能과 폭포가 위치하는 環境과의 調和 等を 充足시켜야 할 것으로 생각된다. 本 研究는 自然폭포를 對象으로 하였지만 앞으로 그 대상을 人工폭포에 까지의 擴張함

과 아울러 보다 具體的이며 科學的인 周波數 分析和 폭포 觀賞者의 만족를 考慮한 많은 研究가 遂行되어야 할 것으로 生覺된다.

參 考 文 獻

1. 金秉洙外(1987) SPSS를 利用한 統計資料分析, 博英社: 240-277
2. 金寅鎬(1983) 社會科學을 위한 回歸分析論, 比峰出版社: 187-278
3. 閔庚玟(1983) 韓國庭園의 景觀 構成과 類型에 關한 研究, 韓國庭園學會誌, Vol.5(1): 8-16
4. 朴景洙(1982) 人間工學, 英志文化社: 257-268, 137-166
5. 朴吉龍(1984) 韓國庭園의 構成要素에 關한 研究, 韓國庭園學會誌, Vol.(3): 1-25
6. 徐承德外(1984) 應用 水文學, 鄉文社: 161-166
7. 蘇令一外(1987) SPSS 使用方法, 法文社: 344-352
8. 吳澤燮(1985) 社會科學 데이터 分析法, 나남출판사, 서울: 189-190
9. 禹慶國(1985) 韓國의 水景과 建築空間의 만남에 關한 研究, 韓國庭園學會誌, Vol.4(1): 1-15
10. 尹國炳(1987) 造景史, 一潮閣: 74
11. 李匡默(1971) 環境騒音의 測定과 評價, 大韓醫學協會誌, Vol.14(12): 3-7.
12. 任翊淳外(1986) SPSS를 活用한 現代 統計學, 誌文社: 495-591
13. 鄭昌熙(1985) 溪谷의 形成과 地形學的 特性, 自然保存 第50號: 2-7
14. 造景公社(1976) 造景設計基準 II: 101-102
15. 車日煥(1980) 音響工學概論, 翰信文化社: 20
16. 崔杞秀(1984) 造景 施工構造學, 一潮閣: 159-166
17. 崔勇洵(1986) 水景效果 演出技法에 關한 研究, 漢陽大學校 環境科學大學院 碩士學位論文
18. 丹治 肇關谷 剛(1982), 農業用の 落差工に 發生する 騒音に關して, 農業土木試驗技術報 13 (水理) 第51號: 13-24
19. 泉清人, 佐藤 哲身(1984) 音の 心理的 屬性に 關する 因子分析, 日本建築學會論文報告集 第322號: 75-81
20. 王決 彰(1985) 環境을 創造 する; 環境つく

- りの技術, 日本造園學會, 日本放送出版協會 : 210
21. 日本音響材料協會(1967) 騒音대책 ハンドブック, 技報堂 : 53-75
22. 阿部 勉(1987) 庭 ; 瀧の庭, 建築資料 研究社 : 82-87
23. 鈴木信宏, 劉芳鉉 譯(1987) 水空間의 演出, 技文堂 : 10-11, 119
24. Campbell Craigs(1978) *Water in Landscape Architecture*; New York Van Nostrand Reinhold Co : 9
25. H. Lord, W. S. Gatley, H. A. Evensen(1980) *Noise control for Engineers*, McGraw Hill Inc. : 120-160, 20-55
26. Hubbard, Kimball 著, 이일구, 오회영 譯(1982) 造景學 概論, 大韓教科書株式會社 : 105, 10
27. Jere Stuart Herench(1983) *The design of urban space ; City Landscape*, ed. A. B. Grove and R. W. Cresswell, Cambridge university press : 83
28. Kinsler L.E., Frey A. R., Coppens A. B., James V. Sanders(1982) *Fundamentals of Acoustics*, 3rd. Ed., John Wiley & Sons, Inc. U. S. A. : 246-312
29. Norman H. Nie, et al(1981) *SPSS Up Data 7~9*; New York McGraw-Hill : 42-47
30. Booth N. K.(1986) *Basic element of Landscape Architectural design*; New York Elsevier Science pub. Co. Inc., : 9-11
31. Laurie. M.(1986) *An introduction to Landscape Architecture*, New York Elsevier science Pub. Co. Inc., : 9-11