

□ 論 文 □

분포 이용 도로교통소음
Weibull分布를 이용한 道路交通騒音의
豫測에 관한 研究
 예측 관한 연구
 A Method to Predict Road Traffic Noise Using the Weibull Distribution

 김갑주
 金 甲 洙
 (嶺南大 土木工學科 教授)

目	次
I. 序 論	IV. 道路交通騒音의 再現性 檢討
II. Weibull 分布 모델	V. 道路交通騒音의 豫測
III. Weibull 分布 Parameter 의 推定	VI. 結 論

— ABSTRACT —

Various procedures for evaluation of traffic noise annoyance have been proposed. However, most of the studies of this type are restricted for improving traffic flow.

In this paper, a method to predict the road traffic noise is proposed in terms of equivalent continuous A-Weighted sound pressure level (Leq), based on a probability model. First, distribution of the road traffic noise level are investigated. Second, the weibull distribution parameters are estimated by using the quantification theory. Finally, a prediction model of the road traffic noise is proposed based on the weibull distribution model. The predicted values of the Leq are closely matched the measured data.

I. 序 論

都市環境에 큰 影響을 미치는 道路交通騒音은 큰 社會問題로 擡頭되고 있다. 道路交通騒音을 正確히 豫測하는 것은 今後의 道路交通騒音의 對策을 세우기 위해서도 대단히 重要하다. 從來의 道路交通騒音을 豫測할 때에는 通常 등 間隔 Power model¹⁾을 利用해 왔다. 그러나 이 모델만으로는 不充分한 面이 있어 豫

測모델을 改良하고자 外國에서는 研究를 繼續하고 있다. 그 한 方法으로서 車輛의 到着狀態를 考慮한 交通流 모델²⁾을 利用하는 것이 있다. 한편 道路交通騒音의 分布形狀에 着眼하여 그것을 他의 物的인 指標로부터 直接 豫測하는 方法³⁾이 있다.

本 研究에서는 後者의 立場에 서서 道路交通量과 車種構成, 速度 및 道路의 路面狀態,

沿道の土地利用状況 등의 要因을 考慮하여 騒音 level을 豫測하고자 한다. 即, 騒音의 分布形狀을 求하고 그것을 利用하여 道路交通騒音을 豫測하는 方法을 取하고 本 研究의 흐름은 그림 1에 나타내었다.

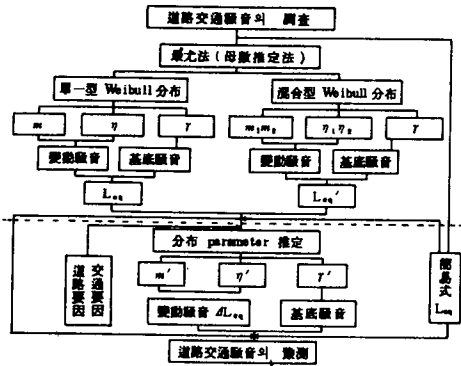


그림 1 本 研究 흐름

II. Weibull 分布 모델

道路交通騒音은 여러가지의 特性을 가진 音源에 의해서 構成되어 있다. 騒音 level의 分布는 指數分布, 正規分布, Gamma 分布, Weibull 分布 등 여러가지의 分布形態를 보이지만 本 論文에서는 Weibull 分布를 利用하기로 하였다.

1. 單一型 Weibull 分布 모델

Weibull 分布의 確率密度函數는 다음 式과 같이 나타낸다.

$$f(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^m}$$

$$f(t) = 0 \quad \left. \begin{array}{l} t \geq \gamma \\ t < \gamma \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 m : 形狀 Parameter
 η : 尺度 Parameter
 γ : 位置 Parameter이다.

Weibull 分布는 Parameter m, η를 變化시킴에 따라서 그림 2에 나타난 바와 같이 近似

的인 여러가지 分布形狀이 나타난다.

道路交通騒音 level이 Weibull 分布를 따른다고 假定하면 다음 式과 같이 나타난다.^{4) 13) 14)}

$$f(L) = \frac{m}{\eta^m} (L-L_{base})^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{L-L_{base}}{\eta} \right)^m} \dots\dots\dots (2)$$

$$L \geq L_{base} (L_{base} = \gamma)$$

여기서 騒音 level의 變動部分(L-L_{base})에 대해서는 moment 法에 의해서 騒音 level의 Power 平均을 구하고 最終의으로는 等價騒音 level은 다음 式과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\int_0^{\infty} e^{-x} \cdot e^{\frac{(\ln 10)}{10} \cdot \eta \cdot x^{\frac{1}{m}}} dx \right] + L_{base} \dots\dots\dots (3)$$

式(3)의 第1項(以下 ΔL_{eq}라 함)은 數值積分하면 變動部分의 騒音値를 求할 수 있다. 最終의으로는 變動部分의 騒音値와 L_{base}의 重疊에 의해서 L_{eq}를 求할 수 있다 (그림 3 參照).

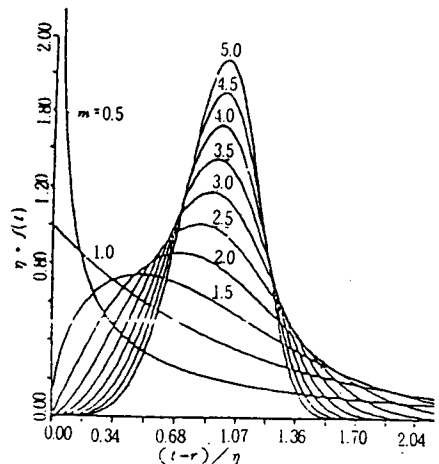


그림 2 單一型 Weibull 分布曲線

2. 混合型 Weibull 分布⁵⁾

道路交通騒音의 分布形狀은 Weibull 分布만

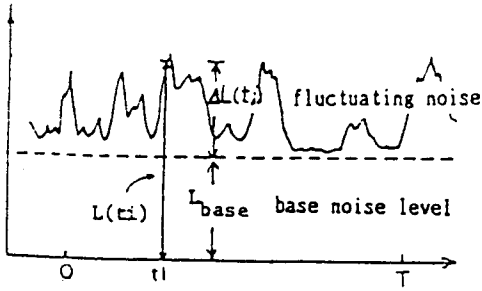


그림 3 變動騒音과 基底騒音과의 關係

으로 說明되지 않는 경우도 있다. 이러한 경우에는 2個以上の 서로 다른 分布가 混合되어 있다고 생각할 수 있다. 分布가 混合되어 있는 경우의 Weibull 分布 確率密度函數는 式(4)와 같이 나타낸다.

$$f(t) = P \cdot \frac{m_1}{\eta_1} \left(\frac{t-\gamma}{\eta_1}\right)^{m_1-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta_1}\right)^{m_1}} + (1-P) \frac{m_2}{\eta_2} \left(\frac{t-\gamma}{\eta_2}\right)^{m_2-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta_2}\right)^{m_2}} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 m_1, m_2 는 形狀 Parameter, η_1, η_2 는 尺度 Parameter, γ 는 位置 Parameter, P는 Weight 이다. 混合型 Weibull 分布曲線은 그림 4와 같다.

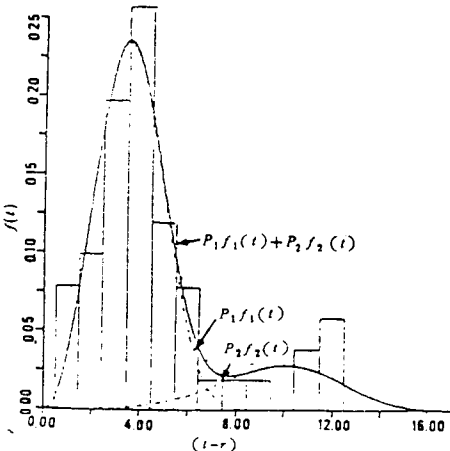


그림 4 混合型 Weibull 分布曲線

騒音值 L_{eq} 의 計算은 單一型 Weibull 分布의 경우와 같은 方法으로 式(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[P \int_0^{\infty} e^{-x_1} \cdot e^{\left(\frac{\ln 10}{10}\right) \cdot \eta \cdot x_1^{\frac{1}{m}}} dx_1 + (1-P) \int_0^{\infty} e^{-x_2} \cdot e^{\left(\frac{\ln 10}{10}\right) \cdot \eta_2} \cdot x_2^{\frac{1}{m_2}} dx_2 \right] + L_{base} \dots\dots\dots (5)$$

Ⅲ. Weibull 分布 Parameter 의 推定

1. 道路交通騒音의 調査

調査地點은 都市內의 幹線, 準幹線 및 細街路의 道路邊 93地點을 選定했다. 調査日時는 1982年 6月~8月 사이에 實施하였고 調査時間帶는 交通量이 적은 時間帶 및 Peak 時間帶를 包含한 午前 10時부터 午後 5時 사이에 했다.

2. Parameter 의 推定

Weibull 分布 Parameter 의 推定은 最大法⁶⁾⁷⁾을 利用하여 求하였고 通常 道路交通騒音에는 $1.0 \leq m \leq 5.0$ 이었고, $5.0 \leq \eta \leq 21.0$ 으로 나타났으며 通常 Weibull 分布를 利用할 때 位置 Parameter 를 L_{95} 로 하므로 本 研究에서도 位置 Parameter 를 γ , 即 基底騒音 level로 간주하고 分析을 하였다.

Ⅳ. 道路交通騒音의 再現性 檢討

먼저 單一型 Weibull 分布를 利用해서 道路交通騒音 L_{eq} 를 推定했다. Weibull 分布와의 適合性을 檢討하기 위하여 χ^2 檢定을 했다. 그 結果 有意水準 5%로 總 data 數의 85%는 單一型 Weibull 分布型을 適用시킬 수 있었다. 나머지 15%는 棄却된 data로 이는 混合型 Weibull 分布모델을 利用해서 L_{eq} 를 計算했다. 棄却된 data의 特性을 檢討해 보면 大型車의 混入率이 他의 data에 비해 極히 크며 變動騒音과 基底騒音과의 差가 심하고 騒音의 分散이 작은 경우 등의 特徵이 있었다.

數量化 分析은 豫測모델을 構築하는 方法이긴 하지만 여러가지의 說明變數中 目的變數에 미치는 影響의 정도를 나타내는 方法이기도 하다. 數量化 理論 I 類의 分析結果는 表 - 1 에 나타내었다.

1) 形狀 Parameter (m)의 豫測

形狀 Parameter 에 가장 影響이 큰 要因은 交通量이고, 交通量이 增加할수록 값이 커고 있음을 알 수 있고 다음이 道路幅이며 다

음이 土地利用이 影響이 큼을 Category Score 를 통해서 알 수 있다. 步道の 有無와 制限速度에는 別 影響이 없음이 나타났다. 이 모델의 重相關係數는 0.76 으로서 定性的 data 와 定量的 data 를 쓴 모델로서는 相當히 높은 相關을 갖고 있음을 알 수 있다.

Parameter 의 豫測의 各 要因에서 該當 Category Score 를 合하고 表-1의 Parameter 의 平均값을 合한 값이 豫測值이다.

表 - 1 Weibull 分布 Parameter 의 豫測結果

要因	Category	標本數	Parameter : m			Parameter : η			Parameter : γ		
			Category Score	Range	偏相關係數	Category Score	Range	偏相關係數	Category Score	Range	偏相關係數
交通量 (臺/5分)	30 以下	24	-0.35			-2.99			-1.32		
	30 ~ 50	29	-0.28	1.38	0.42	-1.49	7.08	0.36	-0.31	4.62	0.23
	51 ~ 90	20	-0.20	(1)	(1)	1.68	(1)	(1)	-1.27	(1)	(3)
	91 以上	20	1.03			4.09			3.30		
制限速度 (km/h)	40 以下	43	0.02	0.04	0.02	-0.26	0.48	0.03	1.14	1.93	0.12
	40 以上	54	-0.02	(6)	(6)	0.22	(5)	(5)	-0.89	(4)	(4)
道路幅 (m)	8 以下	28	-0.10			1.19			-0.77		
	8.1 ~ 10	18	-0.46	1.01	0.29	-1.60	2.79	0.17	0.43	1.20	0.07
	10.1 ~ 13	20	0.55	(2)	(3)	0.66	(3)	(3)	0.23	(5)	(6)
	13.1 以上	27	0.01			-0.65			0.34		
步道有無	無 · 片側	26	-0.12	0.17	0.06	-0.14	0.19	0.01	0.83	1.16	0.07
	兩側	67	0.05	(5)	(5)	0.05	(6)	(6)	-0.33	(6)	(5)
土地利用	住居專用地域	33	-0.27			0.34			-2.55		
	住居地域	20	-0.36	0.95	0.33	-0.27	1.52	0.08	-0.76	4.34	0.28
	商業地域	28	0.32	(3)	(2)	-0.60	(4)	(4)	1.79	(2)	(1)
	工業地域	12	0.59			0.92			1.57		
沿道條件	建物 · 無	23	-0.12			0.08			0.82		
	1 層	13	0.63	0.88	0.26	2.89	4.93	0.29	-2.91	3.73	0.25
	2 層	23	0.12	(4)	(4)	1.30	(2)	(2)	-1.54	(3)	(2)
	3 層 以上	34	-0.25			-2.04			1.59		
平均			2.52			15.70			49		
重相關係數			0.76			0.68			0.65		

() 內는 Range 및 偏相關係數의 順位.

前節에서 구한 Parameter m, η, τ 를式 (3)(4)에 代入하여 L_{eq} 를 計算했다. 또, 實測한 騒音 data로부터 式(6)을 利用해서 L_{eq} 를 計算했다. 이 값을 L_{eq} 의 實測值라 불렀다.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 N은 Sample 수 93

L_i 는 騒音 level dB(A)

單一型分布에서 棄却된 data에 대해서는 實測值와 單一型 Weibull 分布의 值, 混合型 Weibull 分布의 值와의 關係를 比較해 본 것이 그림 7이다. 그림 7에서 보면 兩者는 別로 差가 보이지 않고 實測值와도 잘 一致하고 있음을 알 수 있다. 따라서, Weibull 分布를 適用해서 道路交通騒音을 推定할 때에는 實用性에서 볼 때 單一型 分布만을 適用해도 좋다.

以下는 單一型 Weibull 分布 Model을 利用한 L_{eq} 를 推定하기로 하였다. 實測值와의 適合性을 檢討하기 위하여 Percent RMS (Root Mean Square) 誤差를 計算하였다. 그 結果 3.8%로 이는 相當히 작은 誤差이다. 또 實測值와 推定值와의 關係를 보여준 것이 그림 8이다. 그림 8에서 보면 兩者는 相當히 잘 一致하고 있다. 따라서 Weibull 分布를 利用한 道路交通騒音의 豫測이 可能하다는 것을 알았다.

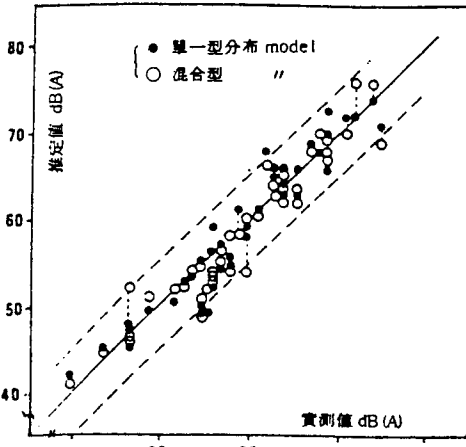


그림 7 單一型과 混合型과의 比較 (L_{eq})

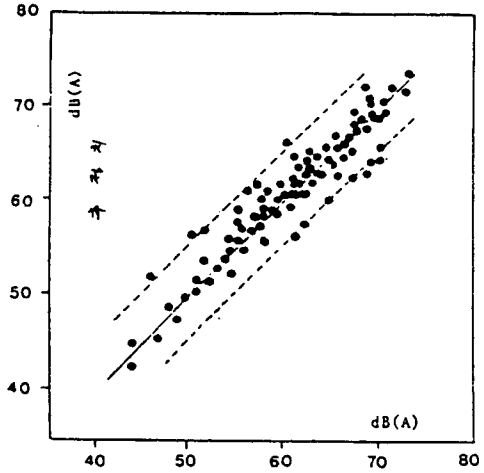


그림 8 實測值와 豫測值와의 關係

V. 道路交通騒音의 豫測

前章에서는 單一型 Weibull 分布를 利用해도 높은 精度로 道路交通騒音을 推定할 수 있음을 알았다.

本章에서는 道路交通騒音을 豫測함에 있어 Weibull 分布 Parameter에 影響을 미친다고 생각되는 道路 및 交通條件으로서 Parameter m, η, τ 를 먼저 豫測하였다. 여기서 豫測된 Parameter를 式(3)에 代入하면 L_{eq} 를 豫測할 수 있다.

1. Weibull 分布 Parameter의 豫測

Weibull 分布 Parameter m, η, τ 를 豫測하는 方法으로서는 여러가지가 있겠으나 本研究에서는 數量化理論工類⁸⁾(Quantification theory)를 利用하였다. 이 理論은 定量的 data와 定性的 data를 함께 定量的量으로 取扱하여 目的函數를 求하는 多變量解析法의 一種이다.

說明變數로서는 交通量(臺/5分), 路面에 表示된 制限速度(km/h), 道路의 幅(m), 歩道の 有無, 沿道의 土地利用, 沿道의 狀態 등을 取扱했다. 目的變數로서는 各 Parameter를 取扱했다.

2) 尺度 Parameter (η)의 豫測

尺度 Parameter 에 影響이 큰 要因은 交通量이고 두번째가 沿道の 狀態이고 세번째가 道路幅임을 알 수 있다. 土地利用, 制限速度, 歩道の 有無 등은 별로 影響이 크지 않음을 알 수 있다. 모든 說明變數에서 Category Score 의 內容에 대해서도 별 이상이 없음을 알 수 있고 모델의 重相關係數는 0.68로서 높지 않으나 定性的 變數가 많음에 비하여 說明力이 있다고 思料된다. 또한 偏相關係數의 크기 順序도 Category Score 의 範圍의 順位와 같음으로 보아 모델로서 利用價値가 있다고 思料된다. 豫測方法은 前節과 같다.

3) 位置 Parameter (r)의 豫測

位置 Parameter 에 가장 影響이 큰 것은 交通量이고 다음이 土地利用, 沿道の 狀態 등이고 道路幅과 制限速度, 歩道の 有無 등은 별 影響이 없는 要因으로 나타났으며 Category Score 의 內容에도 妥當性이 있었다. 本 豫測 모델의 重相關係數는 0.65로서 별로 높지 않으나 定性的 data가 大部分임을 考慮할 때 모

델로서 利用價値가 있다고 判斷된다.

2. 道路交通騒音의 豫測

前節에서 豫測한 Parameter m 및 η 로서 變動部分의 騒音인 ΔL_{eq} (式(3)의 第1項)를 計算하고 基底騒音(L_{base})의 重疊에 의해서 L_{eq} 를 豫測한다. Parameter m , η 의 變化에 따라서 ΔL_{eq} 의 값은 表-2에 나타내었다.

最終으로 道路交通騒音を 豫測하고자 하는 地點의 道路 및 交通條件으로서 Parameter m , η , r 를 豫測하고 豫測된 m , η 를 表-2를 利用하여 ΔL_{eq} 를 求한 後 r 의 값을 合하면 L_{eq} 의 값이 된다.

以上과 같이 해서 豫測된 값도 實測值와의 關係를 나타낸 것이 그림 9이다.

表-2 Parameter m , η 에 의한 ΔL_{eq} 의 豫測

그림 9에서 보면 實測值와 豫測值間에는 相當히 높은 相關係를 가지고 있음을 알 수 있고 實測值와 豫測值는 大개 ± 3 dB(A)以內에 있음으로 보아 本 豫測 Model은 實用性이 있다고 思料된다.

表-2 Parameter m , η 에 의한 ΔL_{eq} 의 豫測

$m \setminus \eta$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
3.0	4.5	3.7	3.4	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
4.0	6.9	5.4	4.7	4.3	4.1	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.9
5.0	9.6	7.3	6.2	5.7	5.4	5.2	5.1	5.0	4.9	4.9	44.9	4.9	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
6.0	12.6	9.5	8.0	7.1	6.7	6.4	6.2	6.1	6.0	5.9	5.9	5.9	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
7.0	15.8	11.9	9.8	8.7	8.0	7.6	7.4	7.2	7.2	7.1	7.0	6.9	6.9	6.9	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
8.0	19.1	14.4	11.8	10.4	9.5	9.0	8.6	8.4	8.2	8.1	8.0	8.0	7.9	7.9	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
9.0	22.5	1.0	14.0	12.2	11.1	10.4	9.9	9.4	9.4	9.2	9.1	9.0	9.0	8.9	8.9	8.9	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
10.0	25.8	19.7	16.2	14.0	12.7	11.8	11.3	10.9	10.6	10.4	10.2	10.1	10.0	10.0	9.9	9.9	9.9	9.8	9.8	9.8	9.8
11.0	29.2	22.4	18.4	16.0	14.4	13.4	12.7	12.2	11.8	11.6	11.4	11.2	11.1	11.1	11.0	10.9	10.9	10.9	10.8	10.8	10.8
12.0	32.6	25.1	20.7	18.0	16.2	14.9	14.1	13.5	13.1	12.8	12.6	12.4	12.2	12.1	12.0	11.9	11.9	11.9	11.8	11.8	11.8
13.0	36.0	27.9	23.1	20.0	18.0	16.6	15.6	14.9	14.4	14.0	13.8	13.5	13.4	13.2	13.1	13.0	13.0	12.9	12.9	12.9	12.9
14.0	39.5	30.6	25.4	22.1	19.8	18.2	17.1	16.3	15.7	15.3	15.0	14.7	14.5	14.4	14.3	14.2	14.1	14.0	13.9	13.9	13.9
15.0	42.9	33.4	27.8	24.1	21.7	19.9	18.7	17.8	17.1	16.6	16.2	15.9	15.7	15.5	15.4	15.3	15.2	15.1	15.0	15.0	14.9
16.0	46.3	36.2	30.2	26.3	23.6	21.7	20.3	19.3	18.5	17.9	17.5	17.2	16.9	16.7	16.5	16.4	16.3	16.2	16.1	16.0	16.0
17.0	49.7	39.0	32.6	28.4	25.5	23.4	21.9	20.8	19.9	19.3	18.8	18.4	18.1	17.9	17.7	17.5	17.4	17.3	17.2	17.1	17.0
18.0	53.1	41.7	34.9	30.5	27.4	25.2	23.6	22.3	21.4	20.7	20.1	19.7	19.3	19.0	18.8	18.6	18.5	18.4	18.3	18.2	18.1
19.0	56.5	44.5	37.3	32.6	29.4	27.0	25.2	23.9	22.9	22.1	21.1	21.0	20.6	20.3	20.0	19.8	19.6	19.5	19.4	19.3	19.2

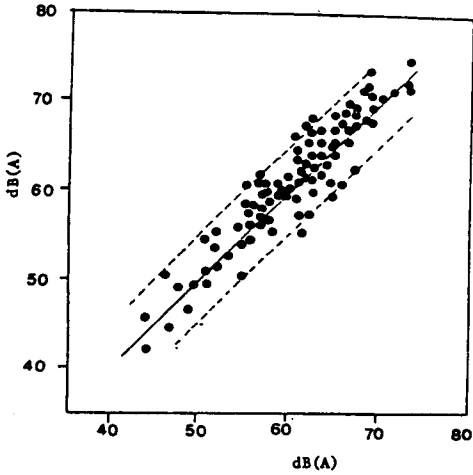


그림 9 道路交通騒音의 實測値와 豫測値와의 關係

VI. 結 論

道路交通騒音은 時間的, 場所的으로 大幅으로 變動하는 變動騒音이다. 本研究에서는 道路交通騒音을 變動部分과 基底部分으로 나누어서 豫測 Model 을 構築했다. 特히 本研究는 道路交通騒音의 分布 特性이 Weibull 分布하고 있다는 假定下에 展開되었고, 變動部分의 騒音은 Weibull 分布 Parameter 中 m , η 에 의해서 求하였고 基底騒音은 Parameter r 로서 使用하였다.

Weibull 分布 Parameter 의 豫測은 數量化理論(Quantification theory)을 利用하였다. 本研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 道路交通騒音은 85%가 單一型 Weibull 分布하고 있음을 알 수 있었고 15%는 混合型 Weibull 分布하고 있음을 알았다.

2) 單一型 Weibull 分布를 利用한 推定値와 混合型 Weibull 分布를 利用한 推定値와는 相當히 相關關係가 있어 모든 道路交通騒音은 單一型 Weibull 分布만으로 騒音値를 推定할 수 있었다.

3) Weibull 分布 Parameter m , η , r 를 數量化理論으로 豫測할 수 있었고, Parameter

m 에 크게 影響이 미치는 要因은 交通量, 道路幅, 沿道の 土地利用 등의 要因이었고, Parameter η 는 交通量, 沿道の 狀態, 道路幅 등의 要因이 影響이 کم을 알 수 있었다.

4) 基底騒音의 豫測은 r 로서 交通量, 土地利用, 沿道の 狀態 등이 影響이 큰 要因임을 알았다.

이렇게 豫測된 Parameter 를 利用해서 豫測하고자 하는 地點의 道路 및 交通條件을 알고 있다면 本 모델을 利用하여 道路交通騒音을 豫測할 수 있다고 본다. 한편 Weibull 分布 Parameter 에 影響이 큰 要因을 調整하여 道路交通騒音의 低減對策을 樹立할 수 있는 研究가 繼續되어야 하겠다.

參 考 文 獻

- 1) 石井聖光：道路交通騒音의 豫測方法에 關する 研究, 日本音響學會誌, Vol. 31(8)1975, pp. 507~517.
- 2) 高木興一, 他：指數分布 모델에 於ける L_x 의 推定, 日本音響學會誌, Vol. 38(5) 1982, pp. 468~476.
- 3) 西宮元：任意의 環境騒音에 於ける 와이블 分布의 於て는 於めによる L_{eq} 의 推定, 日本音響學會誌, Vol. 35(10) 1979, pp. 562~568.
- 4) 毛利正光, 塚口博司, 金甲洙：와이블 分布을 用いた 道路交通騒音의 豫測, 日本土木 計劃學 研究發表會講演集 1984.1 月
- 5) 內山二郎, 他：電子計算機의 ための 數値計算法Ⅲ, 倍風館 1972.
- 6) Cohen, A.C : Maximum Likelihood Estimation in the Weibull Distribution Based on Complete and on Censored Samples, Technometrics Vol. (5), 1969.
- 7) 安田三郎：社會統計學, 丸善株式會社, 1973 年, pp. 105~108.
- 8) Kurze, V.J : Statistics of Road Traffic Noise, Journal of Sound and Vibration Vol. 18(2), 1971, pp. 191~195.

- 9) Olson .N : Survey of Motor Vehicle Noise , Journal of the Acoustical Society of America , Vol. 52, No. 5 , Pt 1 , 1972 , pp. 1291~1306 .
- 10) W. Weibull . A Statistical Distribution Function of Wide Applicability , J . of Applied Mechanics , Vol .18 , 1951 , pp. 293 ~ 297 .
- 11) Menon .M.V : Estimation of the Shape and Scale Parameters of the Weibull Distribution , Technometrics Vol. 5(2), 1963 , pp. 175~183 .
- 12) 毛利正光 , 塚口博司 , 金甲洙 : Weibull 分布のあてはめによる環境騒音の推定 , 第 2 回 , 日韓音響學術發表會論文集 , 1983 . 11 .
- 13) 毛利正光 , 塚口博司 , 金甲洙 : ワイブル 分布を用いた環境騒音の推計に関する研究 , 騒音制御 , Vol. 8 , No. 6 , 1984.12 .