論 文

論文 82-19-1-1

聲道의 다이내믹 파라미터에 依한 한글 母音間의 近似度에 関한 研究

(A Study on the Affinity Between Pairs of Korean Vowels Using the Dynamic Parameters of Vocal Tract)

金 重 圭*, 安 秀 桔**

(Joong Kyu Kim, Souguil ANN)

要 約

適應線型予測(adaptive linear prediction) 方法에 依한 音聲信号의 parametric representation에 對한 研究는 이제까지 널리 행해져 왔다. 本 論文에서는 LPC(Linear Predictive Coding) 방법으로 한글 單母音및 一部 복합모음에 對한 parameter들을 各各 分析해 내어서 이를 利用하여 한글母音 상호간의 近似度(affinity)에 對한 統計的 研究를 하여 音聲學的인 面과 비교 고찰하였다. 그리고 그에 따른 결과로서 音聲學的으로 近似하여 혼동되는 경향이 있는 母音間에는 vocal tract의 dynamic parameter 間에도 近似性이 있음을 밝혔다.

Abstract

Many researches on the parametric representation of speech signals using the adaptive linear prediction method have been studied for the past few years. In this paper, we used the LPC (Linear Predictive Coding)method to analyze the parameters of Korean vowels and by using those parameters we studied the affinity between every pair of Korean vowels. As a result of our study, it is found that each pair of Korean vowels that has a greater phonetic affinity also has a greater affinity of vocal tract parameters than other pairs.

I. 序 論

人間이 가지고 있는 특유의 能力中 하나가 口話機能이다. 말(speech)이란 사람의 感情과 思想을 나타내는 소리(sound)로서 意思傳達의 가장 중요한 媒体가 된다. 이때 말(sound)은 調音機構(articulatory mechanism)를 通해서 만들어지는 音波(acoustic wave)라고 볼 수 있다.[1]

1960年代 중엽에 digital signal processing의 理論이 체계화됨을 시초로 하여 音聲通信에 있어서 帶域幅(bandwidth or data rate)을 줄이고자 하는 노력이 여러가지 方法을 동원하여 試圖되어져 온 결과, 마침내는 線型予測法을 利用하여 音聲의 發生経路(speech production mechanism)를 modelling하여 그 特徵 parameter(vocal tract parameter)만을 보내는 方式을 연구하게 되었다.[2,13] 以上을 綜合하여 音聲信号를 表現하는 方法을 크게 두가지로 區別한다면 그림1과 같다. 여기서 parametric representation을 할 때 있어서 excitation parameter는 音源(sound source)과 관련되며 vocal tract parameter는 各 音聲의 特性에 관련된다. 한글 音聲도 이와 같은 parametric representation이 可能하겠는데 우선 한글母音에 對한 音聲學的인 面을 깊이 살펴 보기로 한다. 한글에 있어서 母音의 代表的인 것들로는 'ㅏ', 'ㅓ', 'ㅗ', 'ㅜ', 'ㅡ', 'ㅣ', 'ㅐ', 'ㅚ', 'ㅟ' 等을 들 수 있다.[4] 우리는 日常生活을 通해서 이러한 母音들을 수없이 使用하면서 다음과 같은 事實을 자주 느낄 수

*準會員, **正會員, 서울大學校 工科大學 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng. Seoul National Univ.)

接受日字: 1981年 11月 12日

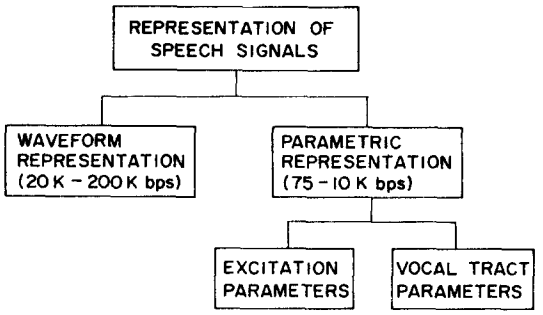


그림1. 音聲信号의 表現方法
Fig. 1. Representation of speech signals.

있다. 즉, 다른 사람의 말을 聽取하는 立場에서 주위가 시끄러울때 'ㅐ'와 'ㅔ', 'ㅗ'와 'ㅜ', 'ㅣ'와 'ㅟ' 等에 對한 구별이 잘 안될 경우가 많다. 이는 音聲學的으로 다시 말하면 같은 한글母音들 사이에서라도 이들 母音들 사이의 近似度(affinity)가 다른 母音들 사이의 近似度보다 더 큼을 意味한다고 할 수 있다. 이러한 한글 母音들 사이의 近似度를, 各 母音을 LPC方法으로 parametric representation 했을 때 各各의 母音의 parameter를 서로 比較하는 方法으로 구하여서, 그 結果를 위에서 말한 音聲學的인 近似度와 比較檢討해 보는것은 상당한 意義가 있을 것이다.

Ⅱ. Data 處理方法및 結果

1. 한글母音의 Parametric Representation

(a). 線型予測解析法

線型予測解析方法(linear prediction analysis) 이란 어떤 信号의 現在値를 그 信号의 過去値와 주어진 system의 한정된 入力의 現在値와 過去値들의 linear combination으로 modelling하는 方法이다.[5] 따라서 일반적인 線型予測 system은 pole-zero model이 되지만 여태까지의 연구결과에 依하면 有聲音의 境遇는 all-pole model로써 分析이 可能하다고 알려져 있으므로[1] 本 論文에서 한글母音을 分析하는데는 all-pole model을 採択하였다. 이를 時間領域에서 block diagram으로 表示하면 그림2 와 같다.

이때 $\hat{s}(n)$은 原音聲信号 $s(n)$을 先行信号群에 依해서 estimate한 값이며 이들은 모두 discrete한 数列이다. 이 $\hat{s}(n)$에 對한 誤差(prediction error) $e(n)$은 다음 式과 같이 表示된다.

$$e(n) \triangleq s(n) - \hat{s}(n) = s(n) - \sum_{k=1}^{p} a_k\, s(n-k) \qquad (1)$$

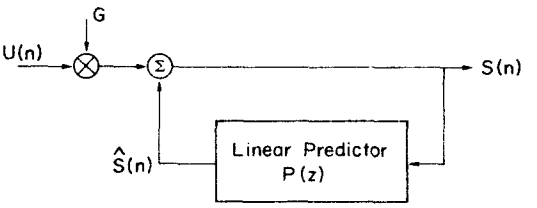


그림2. 時間영역에서의 이산 all-pole model
Fig. 2. Discrete all-pole model in the time domain.

이와 같은 model로써 音聲을 分析 또는 合成할 수 있을 때 linear predictor의 filter coefficient인 a_k (k=1~p)를 vocal tract parameter로, prediction error인 e(n)을 聲帶에서 發生하는 音源(sound source)으로 간주할 수 있다.[6],[8] 本 論文에서는 vocal tract parameter에 해당하는 a_k (k=1~p) 값을 分析해 내어서 그것을 data로 處理하게 되는데 p값에 따른 performance 차이를 고려하여 p=8로 하였다.[7] (그림3 참조)

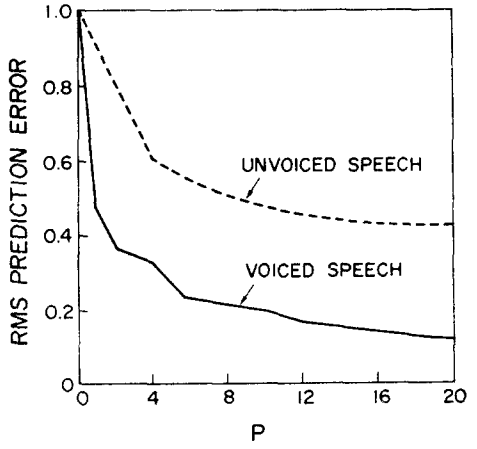


그림3. 선형예측기 계수의 갯수에 따른 선형예측 오차의 변화
Fig. 3. Variation of the rms prediction error with the number of predictor coefficients.

(b). Vocal Tract Parameter a_k의 계산

앞에서 구한 (1)式에 least square criterion을 適用시킴으로써 model의 coefficient $\{a_k\}$를 구할 수 있으며, 서로 독립적인 音聲波形 s(n)에 對應되는 $\{a_k\}$는 서로 다른 값을 나타내 주게 되며 이것이 adaptive linear prediction의 槪念이다.[8] 이때 model의 coefficient $\{a_k\}$를 구하는 方法은 여러 가지가 있으나

가장 代表的인 것으로서 autocorrelation method가 널리 使用되고 있다.[5], [6], [9] 그러나 이 algorithm을 그대로 구현하려면 matrix inversion 과정이 들어가게 되어 계산량이 막대해져서 real time operation은 不可能하게 된다.[7]

(c). CCL (Correlation Cancellation Loop)

Coefficient를 계산하는 algorithm으로써 recursive stochastic approximating algorithm이 있다. 이는 직접 音聲信号를 가지고 coefficient $\{a_k\}$를 간접적으로 구하는 algorithm으로써 correlation cancellation loop(CCL)로 널리 알려져 있으며 여러 方面의 adaptive system에 利用되고 있다.[10]

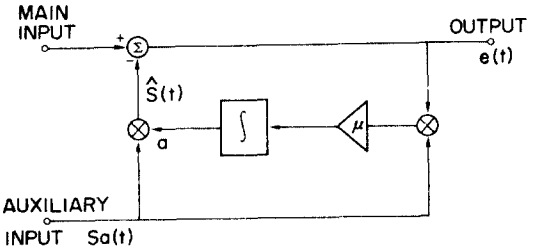


그림4. 相關 除去回路
Fig. 4. Correlation cancellation loop (CCL).

LMS algorithm으로도 알려져 있기도 한[11],[12] CCL은 出力으로부터 補助入力과 correlation이 있는 主入力의 成分을 cancelling하는 system이다. 音聲信号 分析을 위한 adaptive linear predictor는 그림5와 같

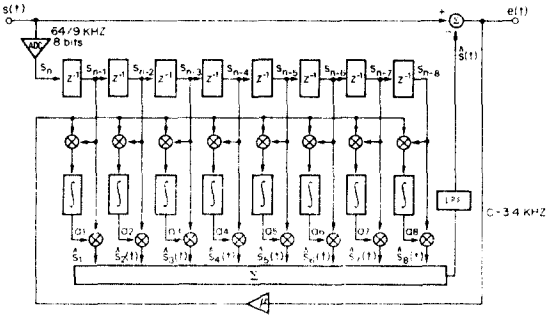


그림5. 音聲信号 分析을 위한 하드 웨어의 구현
Fig. 5. Implementation of hardware system for the speech analysis.

이 CCL을 8개 사용하여 構成할 수 있다.[7], [8]

그림5에서 各 CCL의 補助入力은 s(n− k) (k=1 ~8)가 되며 CCL은 e(t)와 s(t)의 delay된 信号와의 correlation 成分을 除去하게 된다. 그림5의 system은 hybrid analog−digital implementation 으로써 digital system의 control flexibility를 가지며 analog system의 dynamic range를 그대로 維持할 수 있으므로 매우 效率的이다.[13]

2. Data 處理方法

LPC方式을 위에서 說明한 CCL hardware로 構成하여 linear predictor 次數를 8로 했을 때 A, B, C (男子)와 D(女子) 네 사람이 發音한 한글母音 'ㅏ', 'ㅓ', 'ㅗ', 'ㅜ', 'ㅡ', 'ㅣ', 'ㅐ', 'ㅚ', 'ㅔ', 'ㅟ' 에 對한 parameter 값들을 구한 것이 표1에 나타나 있다.

이제 한글母音 상호간의 近似度를 구하기 위한 data 處理方法으로는 두 가지가 있을 수 있다. 첫째로는 A, B, C, D에 對한 parameter를 독립적으로 處理하여 各 사람이 發音한 各 母音들 사이의 近似度를 구하는 것이며, 둘째로는 같은 母音에 對해 두 사람이 각기 발음한 것 사이의 近似度를 구하는 것이다. 이 두 方法에 對해 各各 記述하기로 한다.

(a). 한 사람이 發音한 各 母音들 사이의 近似度

A가 發音한 各 母音들에 對한 $a_1 \sim a_8$까지의 parameter들의 平均値와 標準偏差를 구해서 두 母音사이의 相関係数(correlation coefficient)를 취함으로써 各 母音들 사이의 近似度를 나타내는 指標로 삼는다. 어떤 두 random variable X와 Y사이의 相関係数는 두 random variable 各各의 平均値 로부터의 偏差의 곱에 對한 期待値를 두 random variable의 標準偏差의 곱으로 나누어 줌으로써 계산된다.[14]

$$e=\frac{E[(X-m_X)(Y-m_Y)]}{\sigma_X \cdot \sigma_Y} \qquad (2)$$

따라서 i번째 母音의 parameter $a_i(k)$ (k=1 ~8)의 平均値를 m(i), 各 parameter의 平均値로부터의 偏差를 MDi(k) (k=1 ~8), 標準偏差를 SD(i)로 했을 때 i번째 母音과 j번째 母音사이의 近似度指標(affinity index) AI(i, j)는 다음式으로 表示될 수 있다.

$$MDi(k)=a_i(k)-m(i) \qquad (3)$$

$$AI(i,j)=\frac{\frac{1}{8}\sum_{k=1}^{8} MDi(k)\cdot MDj(k)}{SD(i)\cdot SD(j)} \qquad (3)'$$

B, C, D가 發音한 各 母音에 對한 近似度指標도 (3)′式으로 구할 수 있으며, 이렇게 구한 近似度指標값은 그 값이 클수록 두 母音사이의 近似度가 클 것임을 짐작할 수 있다. 단, 이때 AI(i, j) 값은 -1과 1 사이에 있게 될 것이다. 표2에 이렇게 구한 近似度指標값들

을 利用하여 順位를 매긴 것이 수록되어 있으며 各 母音에 對한 다른 母音과의 近似度 順位를 個別的으로 표시한 것 (가)과 全体的인 近似度 順位를 표시한 것(나)을 따로 수록하였다.

(b). 一定母音에 對한 두 사람간의 近似度

i번째 母音에 對한 $a_1 \sim a_8$ 까지 parameter들의 平均値와 標準偏差를 A, B, C, D에 對해 各各 구해서 그 母音에 對한 두 사람사이의 相関係数(correlation coefficient)를 취함으로써 두 사람이 發音한 各 母音들 사이의 近似度 指標를 계산할 수 있다. 이때 相関係數의 定義는 역시 (2)式으로써 M개의 母音中 i번째 母音에 對한 A와 B 사이의 近似度 指標 $AI_i(A, B)$는 A와 B의 i번째 母音에 對한 parameter $a_i(k)$ $(k=1\sim8)$

표 1. 한글 모음의 다이내믹 파라미터 (A)
Table 1. The dynamic parameters of Korean vowels (for speaker A).

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
ㅏ	1.25	− .73	−1.38	−1.65	− .85	.30	.43	.55
ㅓ	1.43	− .28	−1.25	−1.55	−1.28	− .35	.45	.83
ㅗ	1.18	.33	− .30	− .53	− .55	− .30	.10	.50
ㅜ	1.55	.38	− .15	− .60	− .65	− .18	.28	.63
ㅡ	1.40	.68	.45	.10	− .18	− .18	− .18	− .10
ㅣ	.65	.50	.60	.35	.20	.20	.08	.10
ㅐ	1.63	.18	− .75	−1.33	−1.53	−1.25	− .38	.75
ㅚ	1.20	.53	.45	.10	− .23	− .20	− .23	− .10
ㅔ	1.63	.25	− .43	− .90	−1.25	− .90	− .20	.50
ㅟ	.88	.58	.68	.45	.25	.13	.05	.08

표 2. 한글 모음간의 近似度 順位 (A)
Table 2. The affinity ranking between pairs of Korean vowels (for speaker A).

기준	ㅏ	ㅓ	ㅗ	ㅜ	ㅡ	ㅣ	ㅐ	ㅚ	ㅔ	ㅟ
ㅏ		1	3	2	6	9	4	7	5	8
ㅓ	1		3	2	6	9	4	7	5	8
ㅗ	5	4		1	6	9	2	7	3	8
ㅜ	5	4	1		6	9	3	7	2	8
ㅡ	9	8	6	5		3	7	1	4	2
ㅣ	9	8	7	6	3		5	2	4	1
ㅐ	6	4	2	3	5	9		7	1	8
ㅚ	9	8	7	5	1	3	6		4	2
ㅔ	7	4	2	3	5	9	1	6		8
ㅟ	9	8	7	6	3	1	5	2	4	
총합	60	49	38	33	41	61	37	46	32	53
순위	9	7	4	2	5	10	3	6	1	8

(가)

	ㅏ	ㅓ	ㅗ	ㅜ	ㅡ	ㅣ	ㅐ	ㅚ	ㅔ	ㅟ
ㅏ		9	19	18	40	45	25	41	29	44
ㅓ			13	11	33	43	16	36	17	42
ㅗ				2	23	39	4	28	6	35
ㅜ					22	38	8	26	7	34
ㅡ						15	24	1	19	12
ㅣ							37	14	31	5
ㅐ								27	3	32
ㅚ									21	10
ㅔ										30
ㅟ										

(나)

표 3. 두 사람간의 한글 모음의 近似度 (A와 B)
Table 3. The affinity index value and ranking (between speaker A and B).

	ㅏ	ㅓ	ㅗ	ㅜ	ㅡ	ㅣ	ㅐ	ㅚ	ㅔ	ㅟ
$AI_i(A, B)$	.9362	.9873	.7573	.8573	.9739	.9963	.9158	.9871	.7306	.9877
순 위	6	3	9	8	5	1	7	4	10	2

의 平均値를 各各 $m_A(i)$, $m_B(i)$, 또 그 母音에 對한 各 parameter들의 平均値로부터의 偏差를 $MD_{A,i}(k)$, $MD_{B,i}(k)$ $(k=1\sim8)$, 標準偏差를 $SD_A(i)$, $SD_B(i)$로 했을 때 다음 式으로 表示될 수 있다.

$$MD_{A,i}(k) = a_{A,i}(k) - m_A(i) \quad (4)$$

$$MD_{B,i}(k) = a_{B,i}(k) - m_B(i) \quad (4)'$$

$$AI_i(A,B) = \frac{\frac{1}{8}\sum_{k=1}^{8} MD_{A,i}(k)\cdot MD_{B,i}(k)}{SD_A(i)\cdot SD_B(i)} \quad (4)''$$

이와 같이 하여 구한 A와 B 사이의 各 母音에 對한 近似度 指標값과 그에 따른 順位를 매긴 것이 표3에 나타나 있다. A와 C, A와 D, B와 C…들 사이의 各 母音에 對한 두 사람간의 近似度 指標도 (4)″式으로 구할 수 있으며 이때 역시 $AI_i(X,Y)$ 값이 클수록 近似度가 큰 것이며 AI_i값은 −1과 1 사이에 있게 된다.

〔참고〕 위 表에서는 편의상 A의 data와 그 分析結果만 수록하였다.

Ⅲ. 檢 討

第二節에서 구한 近似度 指標中 A의 data에 對한 處理 結果를 分析해 보면 다음과 같다.

1. 各 母音에 對한 다른 母音과의 近似度(표2(가))

(가) 表 全體를 살펴보면 'ㅏ', 'ㅓ', 'ㅣ', 'ㅟ'가 各 母音('ㅏ'~'ㅟ')에 對한 近似度 順位로서 거의 大部分 8位와 9位를 차지하고 있어서 다른 母音과의 近似度가 가장 작음을 알 수 있다.

(나) 各 母音에 對한 다른 母音과의 近似度를 個別的으로 살펴보면 'ㅏ'는 'ㅓ', 'ㅗ'는 'ㅜ', 'ㅐ'는 'ㅔ', 'ㅣ'는 'ㅟ', 'ㅡ'는 'ㅚ'와 각기 가장 近似度가 크다는 것을 볼 수 있으며 이는 第一節에서 언급했던 音聲學的인 面과 그 경향이 일치한다.

(다) 表에 나타난 各 母音의 다른 母音에 對한 近似度 順位의 合으로써 다시 順位를 매겨보면 平均的으로 다른 母音과의 近似度가 큰 順序로는 'ㅔ', 'ㅜ', 'ㅐ', 'ㅗ', 'ㅡ', 'ㅚ', 'ㅓ', 'ㅟ', 'ㅏ', 'ㅣ'의 順序이다. 이를 다시 말하면 'ㅏ', 'ㅓ', 'ㅣ', 'ㅟ'等이 人間이 다른母音과 가장 잘 區別하여 發音하고 듣는 母音이며 'ㅔ', 'ㅜ', 'ㅐ'等이 가장 區別하기 힘든 母音임을 뜻한다고 할 수 있겠다.

2. 各 母音사이의 全体的인 近似度(표2(나))

(가) 表 結果를 그대로 살펴보면 'ㅡ'-'ㅚ'가 가장 近似度가 크며 그 다음이 'ㅗ'-'ㅜ', 'ㅐ'-'ㅔ', 'ㅗ'-'ㅐ', 'ㅣ'-'ㅟ'의 順序로써 잘 區別이 되지 않는 母音이며 가장 近似度가 작은 母音들로는 'ㅏ'-'ㅣ', 'ㅏ'-'ㅟ', 'ㅓ'-'ㅣ', 'ㅓ'-'ㅟ'…로 나타나 'ㅏ', 'ㅓ', 'ㅣ', 'ㅟ'가 다른母音과의 近似度가 작다는 Ⅲ.1 (가)의 分析結果와 一致한다.

(나) 表에서 보면 曲線으로 둘러싼 영역이 대체로 近似度順位로서 30位~45位를 차지하고 있어서, 이는 'ㅏ', 'ㅓ', 'ㅣ', 'ㅟ' 等이 다른 母音들과의 近似度가 작다는 Ⅲ.1 (가), Ⅲ.1 (나)의 分析結果와 一致한다.

3. 各 母音에 對한 A와 B의 發音의 近似度(個人差, 표3)

各 母音에 對한 두 사람 發音사이의 近似度가 큰 順序로는 'ㅣ', 'ㅟ', 'ㅓ', 'ㅚ', 'ㅡ', 'ㅏ', 'ㅐ', 'ㅜ', 'ㅗ', 'ㅔ'이다. 이 順序는 各 母音사이의 近似度順序인 Ⅲ.1 (다)의 結果와 대체로 逆順임을 볼 수 있다. 이는 'ㅣ', 'ㅟ', 'ㅓ', 'ㅏ'等이 다른 母音과의 近似度가 작은 反面에, 그로 인해 이 母音들을 여러 사람이 각기 發音했을 때 그 사이의 近似度는 가장 커서 다른 母音을 여러 사람이 發音했을 때 보다 누구 發音인지 쉽게 區別이 되지 않음을 뜻한다고 할 수 있다.

4. 音聲學的인 面과의 比較考察

音聲學的으로 입안에서의 혀의 위치에 따른 母音의 發生과 各 母音의 第一 formant, 第二 formant 周波数의 分布狀態는 그림6과 같다.[4] 그림에서의 記号는 IPA(International Phonetic Association)에서 定한 萬國發音記号에 따른 것이다.

(가) 입안에서의 혀의 위치가 극단점에 있는 母音(a, i, …)일수록 다른 母音과의 近似度가 작음을 볼 수 있다.

(나) 第一 formant(f_1) 周波数나 第二 formant(f_2) 周

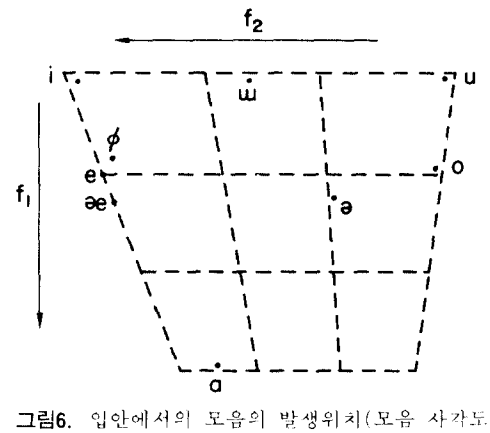


그림6. 입안에서의 모음의 발생위치(모음 사각도)
Fig. 6. Vowel quadrilaterals.

波数의 分布가 비슷한 母音은 서로 近似度가 큼을 알 수 있다. (a와ə, o와 u, i와 ω, e와 ɸ와 əe 等)

以上의 分析을 B, C, D에 對해서 各各 하여도 거의 같은 結果가 나온다.

5. 기타

(가) 그림7에 各 母音들 사이의 近似度指標값을 順位에 따라 表示하였다.

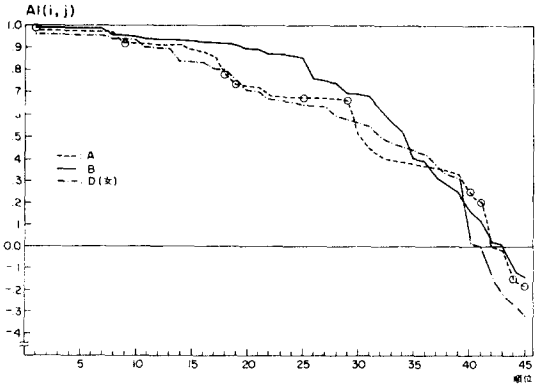


그림7. 各 母音間 近似度의 順位에 따른 分布
Fig. 7. The distribution of affinity index values between pairs of vowels.

그림7을 보면 近似度指標값이 매우 광범위하게 分布되어 있음을 알 수 있는데 이를 利用하면 speech recognition에 應用이 可能하겠다.

(나) 그림8에는 두 사람間의 近似度指標값의 各 母音에 따른 分布를 表示하였다.

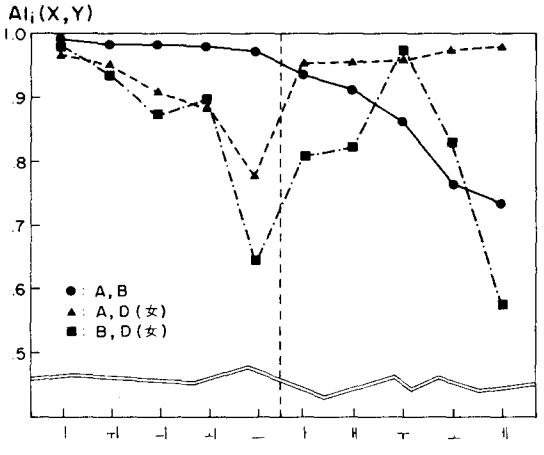


그림8. 各 母音에 對한 두사람간의 近似度 分布
Fig. 8. The distribution of affinity index values between two speakers for each ten vowels.

이 그림을 살펴보면 個人間의 近似度의 差가 거의 없는 母音('ㅣ', 'ㅟ')이 있는가 하면 個人間의 近似度差異가 뚜렷한 母音('ㅡ', 'ㅖ')도 있음을 알 수 있다. 따라서 이렇게 個人差가 뚜렷한 母音을 利用하면 speaker identification에 應用이 可能하겠다.

또한 이 그림에서 세로로 點線친 部分을 中心으로 왼편에 位置한 母音은 男女間의 發音差가 比較的 뚜렷(즉 그 母音들에 對한 男女間의 近似度가 작다)한 反面에 오른편에 位置한 母音들은 오히려 男女間의 發音差異가 별로 나타나지 않음을 볼 수 있는데 이를 利用하면 speaker의 性別 區分도 可能하겠다.

Ⅳ. 結 論

本 論文에서는 線型像測(linear prediction) 方法을 使用하여 한글母音을 分析해서 얻은 parameter 값들로써 한글母音 상호간의 近似度를 数學的으로 구해본 결과 과연 音聲學的으로 본 近似度와 거의 같은경향을 分析해 낼 수 있었으며, 또한 그 研究分析 結果에 對한 앞으로의 應用可能性을 提示하였다.

즉, 10개의 한글母音('ㅏ', 'ㅓ', 'ㅗ', 'ㅜ', 'ㅡ', 'ㅣ', 'ㅐ', 'ㅚ', 'ㅔ', 'ㅟ')中에서 우리가 쉽게 像測할 수 있는바와 같이 'ㅐ'-'ㅔ', 'ㅗ'-'ㅜ', 'ㅣ'-'ㅟ' 等이 가장 近似音가 큰 母音雙(pair)임을 밝혀 내었으며, 이와 함께 'ㅔ', 'ㅜ', 'ㅐ'等이 대체로 다른 母音과의 近似度가 크며 'ㅏ', 'ㅓ', 'ㅣ', 'ㅟ' 等이 다른 母音과의 近似度가 작음을 밝혔다.

이와 反面에 個人間의 發音差에 있어서는 'ㅏ','ㅓ', 'ㅣ', 'ㅟ' 等이 個人間의 近似度가 크며 'ㅔ', 'ㅜ', 'ㅐ' 等이 個人間의 近似度가 작음을 알아내었다.

以上의 內容은 各 母音의 formant 周波数 分布狀態를 살펴 보아도 같은 結論을 내릴 수 있다.

앞으로의 研究果題는 좀더 많은 사람들의 音聲 sample을 取해서 分析해 볼 必要가 있고 또한 音聲學的인 面과의 比較도 좀더 면밀히 해 볼 必要가 있으며 speech recognition과 speaker identification에의 應用에 對한 研究를 계속 해 보는 것이 바람직하겠다.

參 考 文 献

[1] L. R. Rabiner & R. W. Schafer, "Digital Processing of Speech Signal," Prentice-Hall, 1978.

[2] C. K. Un, "Voice Digitization and Bandwidth compression techniques, "KAIS, 1978.

[3] H. Dudley, "Remarking Speech," J. Acoust. Soc. Am., Vol Ⅱ, pp. 169-177, 1939.

[4] 梁東暉, "音響音聲學," 汎韓書籍株式會社, 1975.

[5] J. Makhoul, "Linear Predicti on : A Tutorial Review," Proc. IEEE, Vol. 63, No. 4, pp. 561-580, April, 1975.

[6] J. D. Markel & A. H. Gray Jr., "Linear Prediction of Speech," Springer-Verlag, 1976.

[7] Jae Ha Lee, "A Study on Speech Analysis and the Korean Fricatives Synthesis by Adaptive Linear Prediction Method," SNU, Graduate Thesis, Feb. 1981.

[8] Souguil ANN, "Linear Prediction of Speech," SNU, Research Report, Vol. 12, No. 2, 1980.

[9] J. D. Markel & A. H. Gray Jr., "On Autocorrelation Equations as applied to Speech Analysis," IEEE Trans. on Audio aud Electroacoustics, Vol. AU-21, pp. 69-79, Apr 1973.

[10] Dennis R. Morgan & Samuel E. Craig, "Real-Time Adaptive Linear Prediction using the LMS Gradient Algorithm," IEEE Trans. ASSP, Vol. 24, No. 6, Dec. 1976.

[11] B. Widrow et al., "Adaptive antenna systems,", Proc. IEEE, Vol. 55 pp. 2143-2159, Dec. 1967.

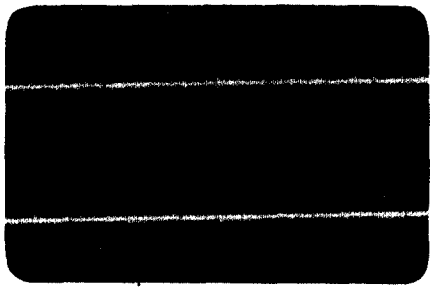
[12] B. Widrow, "Adaptive Filters I : Fundamentals," Stanford Electronics Lab. Stanford, CA., Rep. SEL-66-126, Dec. 1966.

[13] Ki Seon Kim, "A Study on a Hybrid-type Modelling of Vocal Acoustic system," SNU, Graduate Thesis, Feb. 1980.

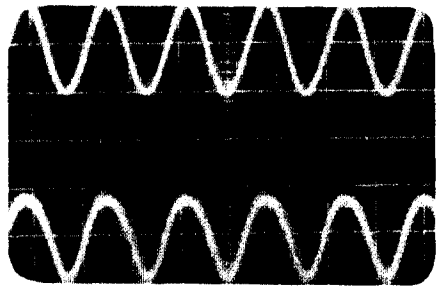
[14] A. Papoulis, "Probability, Random Variables and Stochastic Processes," McGraw-Hill, NY, 1965.

附 錄

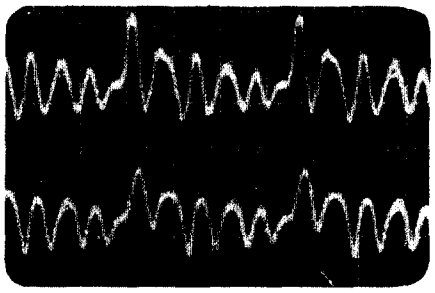
한글母音의 original 波形(s(t),上)와 estimated 波形($\hat{s}$(t), 下) 0.2V/div 2msec/div



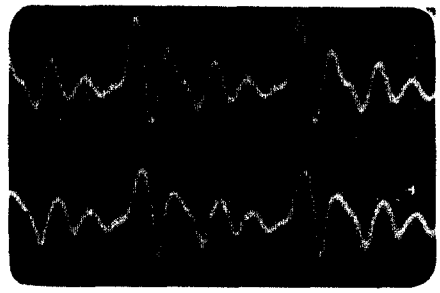
(가) Ground-level



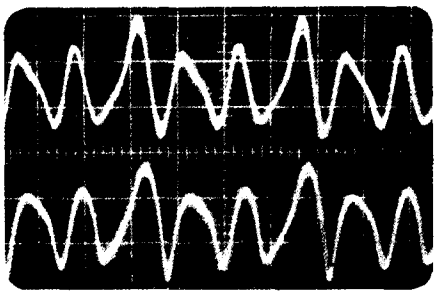
(나) Sin 波形



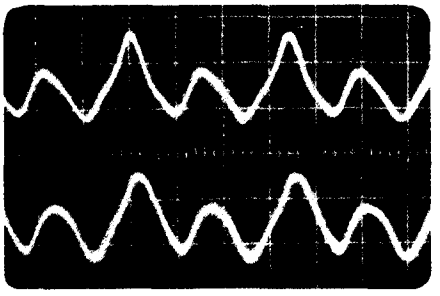
(다) "ㅏ"



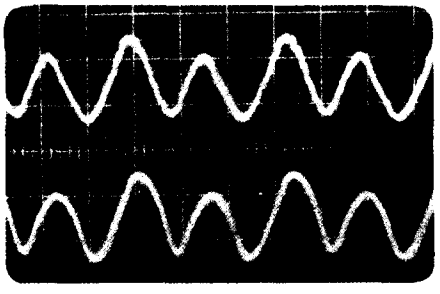
(라) "ㅓ"



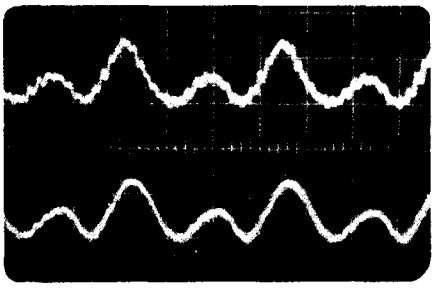
(마) "ㅗ"



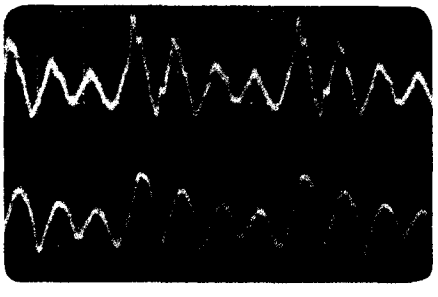
(바) "ㅜ"



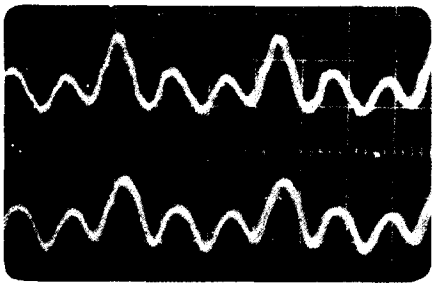
(사) "ㅡ"



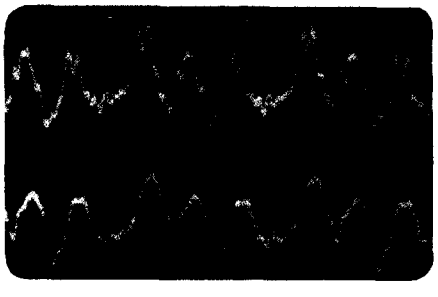
(아) "ㅣ"



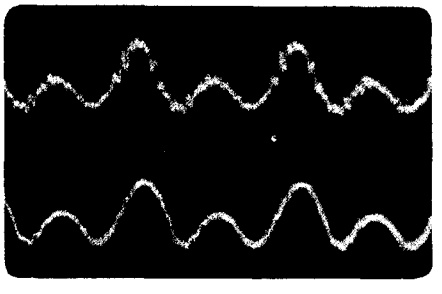
(자) "ㅐ"



(차) "ㅚ"



(카) "ㅖ"



(타) "ㅟ"