

# 고조파 복원에 의한 CELP 음성 부호화기의 저대역 확장

박진수(McubeWorks), 최무열(부산대), 김형순(부산대)

## <차 례>

- |                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| 1. 서 론             | 3.2. 코드북 매핑에 의한 고조파<br>에너지의 복원 |
| 2. 대역폭확장           | 4. 실험 및 결과                     |
| 2.1. 대역폭 확장의 개요    | 4.1. 실험환경                      |
| 2.2. 음성 합성 시스템의 구조 | 4.2. 스펙트럼 왜곡                   |
| 3. 저대역 복원          | 4.3. 청취평가                      |
| 3.1. 고조파 합성        | 5. 결 론                         |

## <Abstract>

### **Low-band Extension of CELP Speech Coder by Recovery of Harmonics**

**Jin Soo Park, Mu Yeol Choi, Hyung Soon Kim**

Most existing telephone speech transmitted in current public networks is band-limited to 0.3-3.4 kHz. Compared with wideband speech(0-8 kHz), the narrowband speech lacks low-band (0-0.3 kHz) and high-band(3.4-8 kHz) components of sound. As a result, the speech is characterized by the reduced intelligibility and a muffled quality, and degraded speaker identification. Bandwidth extension is a technique to provide wideband speech quality, which means reconstruction of low-band and high-band components without any additional transmitted information.

Our new approach considers to exploit harmonic synthesis method for reconstruction of low-band speech over the CELP coded speech. A spectral distortion measurement and listening test are introduced to assess the proposed method, and the improvement of synthesized speech quality was verified.

\* Keywords: Speech coding, Speech enhancement, Bandwidth extension, Harmonic recovery

## 1. 서론

전통적으로 음성 신호는 전송률과 음질 사이의 적절한 절충으로서 0-4 kHz의 대역에서 부호화된다. 아날로그 전화망과 이동 통신망을 포함해 현존하는 대부분의 음성통신 시스템은 0.3-3.4 kHz 대역의 협대역(narrow-band) 음성신호를 전송한다. 이러한 협대역 음성은 0-8 kHz 대역의 광대역(wideband) 음성과 비교할 때 0-300 Hz의 저대역(low-band) 성분과 3.4-8 kHz의 고대역(high-band) 성분이 결여되어 있다. 이러한 결여된 성분 때문에 결과적으로 협대역 음성은 명료도가 감소하고 억눌린(muffled) 음질을 갖는다. 반면 광대역 음성은 협대역 음성에 비해 선호도와 명료도 및 자연성이 더 높다[1][7]. 물론 부호화할 음성의 대역폭을 8 kHz까지 확장함으로써 억눌린 효과를 감소시킬 수 있지만, 이것은 전송률을 증가시키는 비용이 따른다.

최근 들어 멀티미디어 환경이 급속히 발전하면서 사람들에게 고음질의 음성 및 음향은 매우 친숙하게 되었고, 이러한 현상은 기존의 통신 서비스의 음질을 향상시키기 위한 요구를 증가시키고 있다. 전화 서비스의 관점에서 광대역 음성을 제공하는 것은 이러한 요구를 충족하는 하나의 방법이라고 할 수 있다.

대역폭 확장(bandwidth extension)은 광대역 음성신호를 추정, 복원하여 대역폭을 확장함으로써 협대역 음성신호의 음질을 높이는 기술이다. 대역폭 확장은 기존의 음성통신 시스템을 기반으로 통화 음질을 개선하기 위해 진행된 여러 연구들 가운데 음질 향상을 위한 방법으로 음성 신호의 대역폭을 관련지어 접근한 경우라고 할 수 있다. 본 논문에서는 대역폭 확장의 한 요소로서 저대역 음성의 복원을 위해 고조파(harmonic) 합성을 사용한 방법을 제안하였다. 제안한 방법에 의한 몇 가지 실험 결과 합성음질이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

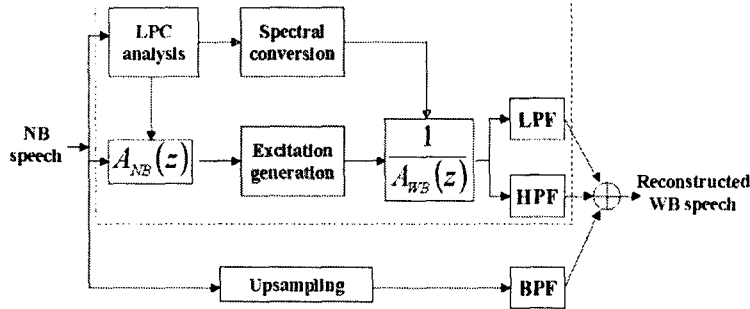
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 대역폭 확장의 개요와 실험에 사용된 음성 합성 시스템의 구조를 설명하고, 3장에서 제안한 저대역 복원 방법을 기술한다. 4장에서 합성 실험 및 음질 평가 결과를 나타내고, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 대역폭 확장

### 2.1. 대역폭 확장의 개요

일반적으로 대역폭 확장은 음성발생기관의 source-filter 구조를 기반으로 스펙트럼 포락선 및 여기신호의 복원을 주요 내용으로 구성된다. 대역폭 확장의 핵심 내용은 협대역 음성의 스펙트럼 벡터와 여기신호로부터 저대역 및 고대역 음성의 스펙트럼 벡터와 여기신호를 추정하는 과정이다. <그림 1>은 대역폭 확장의 일반

적인 구조를 나타낸 것이다.



<그림 1> 대역폭 확장의 구조

대역폭 확장은 먼저 협대역 음성으로부터 스펙트럼 벡터와 여기신호를 추출하고, 스펙트럼 변환 및 광대역 여기신호 생성 과정을 거친다. 광대역 스펙트럼 벡터로 구성된 광대역 합성필터에 광대역 여기신호를 통과시켜 광대역 음성을 합성한 후, 300 Hz 저역(low-pass) 필터와 3.4 kHz 고역(high-pass) 필터를 통과한 저대역 및 고대역 성분을 협대역 음성에 더해 최종적인 광대역 음성을 생성하게 된다[1].

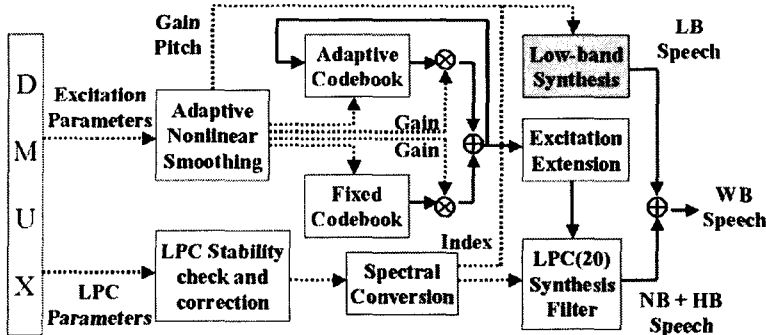
스펙트럼 복원은 대역폭 확장의 주요 내용의 하나로서 협대역 스펙트럼 포락선을 광대역 스펙트럼 포락선으로 변환하는 과정이다. 광대역 스펙트럼의 복원은 협대역 스펙트럼과 광대역 스펙트럼의 상관관계에 대한 두 가지의 이론적 가정을 기반으로 구현된다[1]. 하나는 협대역 성분이 저대역 및 고대역 성분과 밀접한 상관관계가 있다는 것이고, 다른 하나는 저대역 및 고대역 성분의 복원이 완벽하지 않더라도 협대역 음성에 비해 음질을 상당히 높일 수 있다는 것이다. 대역폭 확장의 장점은 통신망을 통해 전송된 협대역 음성 이외의 추가적인 정보 없이도 음질 개선이 가능하다는 것이다. 일반적으로 LPC (Linear Predictive Coding) 분석 및 합성을 기반으로 구현되는 대역폭 확장은 스펙트럼 벡터로서 반사계수(reflection coefficient), LPC 첵스트럼(cepstrum), LSF (Line Spectral Frequency)[5] 등 LPC 계열의 특징인자가 사용된다. 스펙트럼 복원 방법으로는 스펙트럼VQ (Vector Quantization) 코드북 매핑[1], 선형 매핑[9], GMM (Gaussian Mixture Model) 기반 변환[7], HMM (Hidden Markov Model) 기반 변환[10] 등이 연구된 바 있다.

여기신호 복원은 협대역 여기신호로부터 고대역 및 저대역 여기신호를 생성하는 과정이다. 협대역 정보를 기반으로 광대역 여기신호를 생성하기 위한 연구로는 비선형 변환(non-linear transformation), 펄스 여기신호(pulse excitation), 코드북 매핑, 잡음 변조(noise modulation), 스펙트럼 폴딩(spectral folding), AM-FM 합성과 정현파 합성 등이 포함된다[7][11].

## 2.2. 음성 합성 시스템의 구조

본 논문에서는 음성 부호화기의 하나인 4.8 kbps FS1016 CELP (Federal Standard 1016 Code-Excited Linear Prediction) 음성 부호화기[4][6]를 기반으로 대역폭 확장을 구현하였다. FS1016 CELP는 미국방성과 AT&T Bell 연구소가 협력 개발한 것으로서 CELP 방식 음성 부호화기 가운데 최초로 표준화되었다. FS1016 부호화기는 all-pole 합성 필터에 입력되는 여기신호를 생성하는 고정(fixed) 코드북과 적응(adaptive) 코드북을 포함하는 표준적인 CELP 구조를 사용한다. 스펙트럼 분석은 30 ms 프레임별로 이루어지고, 하나의 프레임은 네 개의 하위 프레임으로 구성된다. LPC 분석을 통해 프레임별 10차 all-pole 합성 필터의 계수가 LSF로 변환된 후 양자화되며, 고정 코드북과 적응 코드북을 사용하여 하위 프레임별로 여기신호가 부호화된다.

일반적으로 대역폭 확장은 음성 부호화기 디코더의 출력 음성에 적용되지만, 본 논문에서는 CELP 디코더의 내부에서 부호화기의 파라미터를 직접 제어하여 대역폭 확장을 구현하는 방식을 사용하였다. 즉 여러 가지 파라미터를 추출하기 위해 음성 분석 과정을 거치는 대신 CELP의 LSF, 피치, 이득 파라미터 및 여기신호를 직접 사용하여 대역폭 확장을 구현하는 것이다. <그림 2>는 대역폭 확장이 적용된 CELP 디코더의 구조를 나타낸 것이다.



<그림 2> CELP 디코더에 적용된 대역폭 확장

협대역 LSF 파라미터는 GMM 기반 변환에 의해 얻은 광대역 LSF 파라미터와 결합되어 광대역 합성 필터를 구성한다. 광대역 합성 필터는 확장된 여기신호로부터 광대역 음성을 합성하게 된다[8]. 광대역 합성 필터를 사용하는 것은 <그림 1>의 일반적인 대역폭 확장과 달리 합성 과정이 간단해질 뿐만 아니라 대역폭 확장을 부호화기에 결합하는 관점에서도 구조가 간결하게 되는 장점이 있다. 그러나 이 방법은 광대역 스펙트럼 포락선의 저대역과 협대역에 해당하는 부분이 협대역

스펙트럼 포락선으로부터 복사되기 때문에 합성된 광대역 음성은 결과적으로 협대역 음성과 동일하게 저대역 성분이 결여되는 문제점을 내포하고 있다[11]. 이 문제에 대한 해결책으로서 본 연구에서는 저대역 성분의 복원에 고조파 합성을 적용하는 방법을 모색하였다. 기존 연구에서는 저대역 성분의 복원을 위해 고조파 합성이 여기신호의 주파수 대역 확장에 사용되기도 하였다[2]. 그리고 고조파 합성 방식을 고대역 성분의 복원에 사용한 경우도 있었다[7]. 본 연구에서는 고조파 합성을 통해 저대역 여기신호를 합성하는 대신에 저대역 음성신호를 직접 생성하는 방법을 제안하였다. 음성신호를 직접 합성함으로써 [2]에서와 같은 스펙트럼 변환 과정을 생략할 수 있으며, 이는 앞에서 언급한 대역폭 확장과 부호화기의 결합이라는 관점에서 구조가 간결해지는 장점이 있다.

### 3. 저대역 복원

#### 3.1. 고조파 합성

고조파 합성은 CELP 부호화기의 피치 및 이득 파라미터로부터 피치 궤적(pitch contour)을 복원한 후 7.5 ms 하위 프레임 단위로 실시간 구현된다. 이 때 복원된 피치 궤적을 기반으로 유성음 구간에 대해서만 고조파를 합성한다. 고조파 신호는 다음 식에 의해 생성된다.

$$s(n) = \sum_{i=0}^H A_i \cos(2\pi f_0 n + \phi_i) \quad (1)$$

여기서  $H$ 는 저대역 고조파의 개수,  $A_i$ 는  $i$ 번째 고조파의 크기,  $\phi_i$ 는 위상,  $f_0$ 는 기본주파수를 나타낸다.  $k$ 가 하위 프레임 인덱스일 때, 위상은 다음 식에 의해 연속적으로 결정된다.

$$\phi_{i,k+1} = \lfloor \phi_{i,k} + 2\pi f_{0,k} L \rfloor_{2\pi} \quad (2)$$

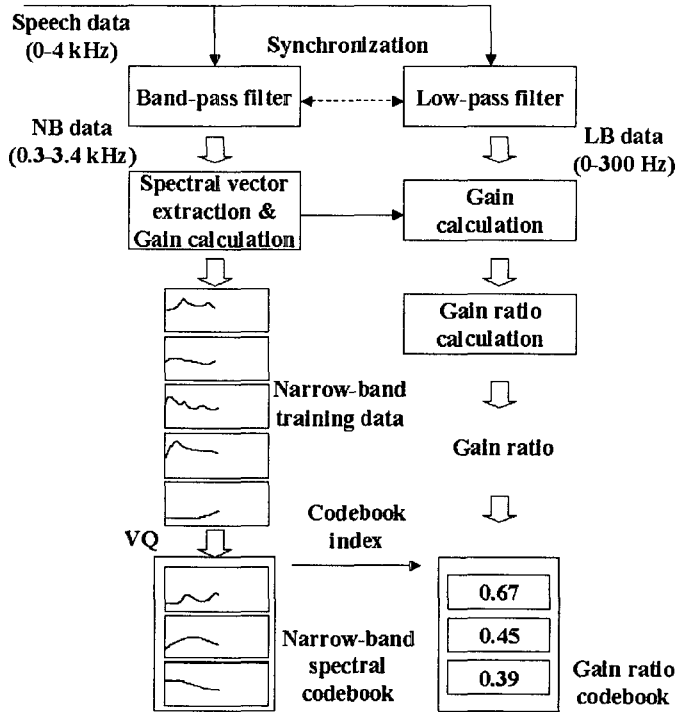
여기서  $L$ 은 초 단위로 계산된 프레임 길이이며, 괄호는 modulo 연산을 나타낸다. 각 하위 프레임에서의 고조파의 크기  $A_i$ 는 다음절에서 설명되는 혼련 과정을 통

해 생성되는 이득 비율 코드북을 사용한 매핑을 통해 결정된다. 결정된  $A_i$ 는 하위 프레임 사이에서 보간(interpolation)되어 연속 위상의 효과와 함께 하위 프레임 간의 연속성을 보장한다. 그리고 협대역 신호의 에너지보다 10 dB 낮은 100-300 Hz 대역폭의 잡음이 유무성에 상관없이 저대역에 더해진다[2].

고조파 합성을 통한 저대역 복원 방법의 문제점 가운데 하나는 복구된 피치 궤적의 부분적 오류에 의한 명료성의 저하이다. 프레임 단위로 처리되는 부호화기의 특성상 정확한 피치 궤적의 실시간 복원이 필수적이며, 향후 이를 위한 알고리즘에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 3.2. 코드북 매핑에 의한 고조파 에너지의 복원

고조파의 크기  $A_i$ 를 결정하기 위해 코드북 매핑을 적용하였다. 코드북 매핑을 통해 고조파의 크기를 결정하기 위해서는 협대역 스펙트럼의 코드북 및 협대역과 저대역의 이득 비율을 저장하는 코드북이 사용된다. <그림 3>은 이득 비율 코드북을 훈련하기 위한 과정을 나타낸 것이다. 이득 비율 코드북은 협대역 스펙트럼 코드북을 이용해 광대역 또는 고대역 스펙트럼 코드북을 생성하는 과정[1]과 유사하다. 우선 협대역 음성 데이터로부터 스펙트럼 벡터를 추출하고, VQ 알고리즘이나 GMM 기반 클러스터링을 통해 협대역 스펙트럼 코드북을 생성한다. 협대역 스펙트럼의 코드북 인덱스를 참조하여 협대역과 저대역의 이득 비율 값을 클러스터링하여 이득 비율 코드북을 생성하게 된다.



<그림 3> 코드북 훈련

## 4. 실험 및 결과

### 4.1. 실험환경

실험을 위해 국어공학센터에서 구축한 PBS 589문장에 대한 남녀 50명분의 발성 데이터 약 13시간 분량을 사용하였다[11]. 고대역 여기신호는 스펙트럼 폴딩을 통해 생성하였고, 스펙트럼 변환을 위해서 128 mixture를 갖는 GMM 훈련을 하였으며[11], GMM의 협대역 평균 벡터를 사용해 크기가 128인 이득 비율 코드북을 생성하였다. 저대역 성분의 복원을 평가하기 위한 객관적 척도로서 스펙트럼 왜곡을 계산하였고, 주관적 척도로서 청취 평가를 실시하였다.

### 4.2. 스펙트럼 왜곡

저대역 스펙트럼의 복원 효과를 확인하는 것을 목적으로 주파수당 스펙트럼 왜곡을 다음 식과 같이 계산하였다.

$$D = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{1}{W} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \left[ 20 \log_{10} \left( \frac{A_k(\omega)}{\tilde{A}_k(\omega)} \right) \right]^2 d\omega} \quad (3)$$

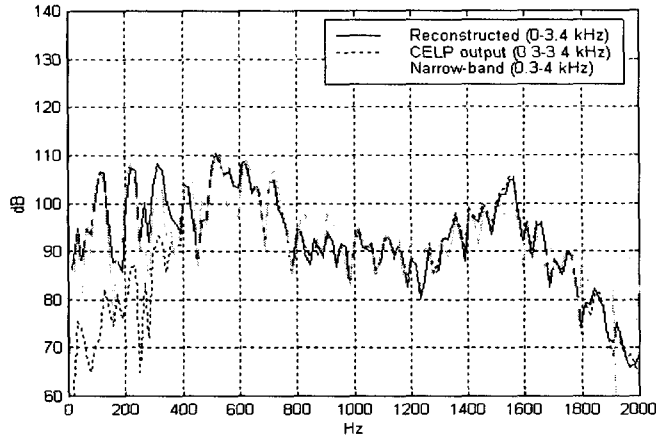
여기서  $A_k(\omega)$ 와  $\tilde{A}_k(\omega)$ 는 비교할 두 신호의 스펙트럼 포락선을 나타내며,  $K$ 는 프레임 수,  $\omega_1$  및  $\omega_2$ 는 스펙트럼 왜곡을 계산할 대역, 그리고  $W = \omega_2 - \omega_1$ 이다. 협대역의 원음성 및 CELP의 입출력 음성과 복원된 음성에 대한 스펙트럼 왜곡치를 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> 주파수당 스펙트럼 왜곡치

	$\omega_1$	$\omega_2$	왜곡치(DB)
CELP출력-CELP입력	0Hz	4000Hz	6.52
CELP출력-원음성	300Hz	3400Hz	7.24
CELP출력-원음성	0Hz	300Hz	15.07
복원음성-원음성	0Hz	300Hz	7.11

협대역 원음성은 저대역 성분을 포함해 0-3.4 kHz의 대역폭을 갖는 음성이며, CELP 입력 음성은 원음성을 300 Hz 고역 필터에 통과시켜 얻은 0.3-3.4 kHz 대역폭의 전화대역 음성이며, CELP 출력 음성은 입력 음성이 CELP를 통과한 후의 음성이다. 그리고 복원된 음성은 CELP의 출력 음성에 고조파 복원을 의해 생성된 저대역을 더한 0-3.4 kHz의 대역폭을 갖는 음성이다. 계산 결과 CELP 입출력 음성은 0-4 kHz 대역에서 6.52 dB의 왜곡치를 나타내었다. CELP 출력음성과 원음성의 0.3-3.4 kHz 대역에서의 왜곡치는 7.24 dB인 반면 CELP 출력과 원음성의 저대역에서의 왜곡치는 15.07 dB로서 저대역 성분이 결여된 영향을 반영하는 것으로 볼 수 있다. 복원음성과 원음성의 저대역에서의 왜곡치는 7.11 dB로 계산되었는데 원음성과 CELP 출력음성의 0.3-3.4 kHz 대역의 왜곡치 7.24 dB와 비슷한 수준으로서 스펙트럼 왜곡의 관점에서는 저대역 성분의 복원이 성공적이라고 할 수 있다. <그림 4>는 CELP 출력음성 및 원음성과 복원음성의 스펙트럼을 나타낸 것이다.





<그림 4> CELP 출력 및 원음성과 복원음성의 스펙트럼

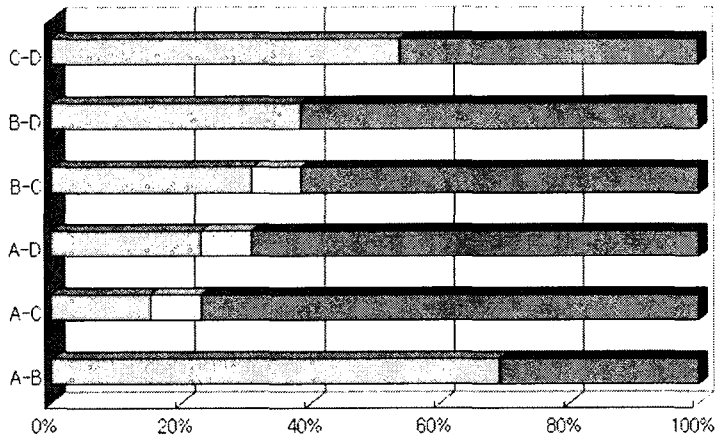
### 4.3. 청취 평가

제안한 저대역 복원 방법의 성능을 청취 실험을 통해 평가하였다. 실험을 위해서 13명을 대상으로 선호도 평가 및 ABX 평가와 MOS 평가를 실시하였다. 편의상 청취 평가에 사용한 음성 신호의 샘플의 종류를 <표 2>에 나타내었다.

<표 2> 평가에 사용된 음성 샘플

표기	설명	대역폭
A	CELP출력음성	협대역
B	A+저대역 성분	협대역+저대역
C	고대역 확장	협대역+고대역
D	C+저대역 성분	광대역

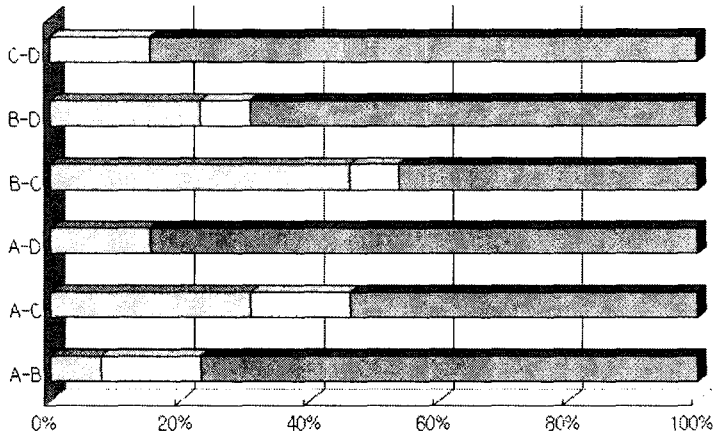
CELP 부호화기의 출력 음성(A)을 기준으로 고조파 합성에 의해 생성한 저대역 성분을 CELP 출력에 더한 결과(B)와 기존의 대역폭 확장의 결과(C)[11] 및 저대역 성분을 C에 더하여 생성한 최종 광대역 음성(D)을 실험에 사용하였다. <그림 5>는 <표 2>의 음성 샘플들을 대상으로 한 선호도 평가 실험의 결과를 나타낸 것이다.



<그림 5> 선호도 평가 결과

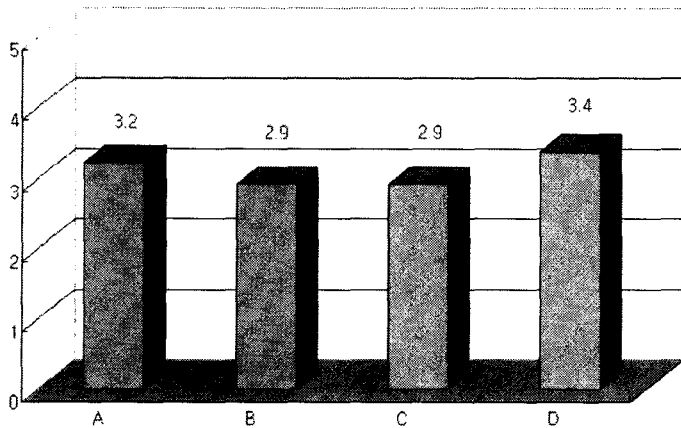
선호도 평가는 A-D 중 두 샘플을 무작위로 듣고 선호하는 것에 1점을 주고, 선호하는 것이 없을 경우는 점수를 주지 않는 방식으로 진행하였다. <그림 5>에서 각각의 막대 그래프는 두 샘플의 선호도(좌,우) 및 구분이 어려운 경우(가운데)를 백분율로 나타낸 것이다. CELP 출력을 기준으로 할 때, 복원된 저대역 성분의 효과는 선호도를 감소시키는 것으로 관찰되었다(<그림 5>의 A-B, A-D). 또한 저대역 성분에 비해 고대역 성분의 복원 효과가 더 높은 선호도를 나타냈다(<그림 5>의 B-C). 이 사실은 복원된 저대역 성분의 기여도가 선호도 관점에서는 높지 않음을 보여주는 것이다.

복원된 저대역 성분이 합성음질에 끼치는 또 다른 영향을 <그림 6>에 나타난 ABX 청취 평가의 결과를 통해 확인할 수 있다. ABX 청취 평가는 선호도 평가와는 달리 먼저 기준 샘플로서 광대역 원음성을 들은 후, A-D 중 두 샘플을 무작위로 듣고 원음성에 가까운 것에 1점을 주고, 판단이 어려울 경우는 점수를 주지 않는 방식으로 진행하였다. <그림 6>에서 각각의 막대 그래프는 두 샘플의 ABX 점수(좌,우) 및 구분이 어려운 경우(가운데)를 백분율로 나타낸 것이다. 우선 CELP 출력과 비교할 때, 복원된 저대역 및 고대역 성분은 모두 음질 향상에 높은 기여를 하고 있음을 확인할 수 있다(<그림 6>의 A-B, A-C, A-D). 또한 복원된 저대역 성분이 포함될 경우(<그림 6>의 A-D)가 그렇지 않은 경우(<그림 6>의 A-C)에 비해 광대역 원음성에 더 가까워지는 현상도 확인된다. 이 사실은 복원된 저대역 성분이 고대역 성분과 결합하여 합성음이 광대역 원음성과 가깝게 들리도록 하는데 부분적인 기여를 하는 것으로 파악될 수 있다.



<그림 6> ABX 평가 결과

<그림 7>은 MOS 평가 결과를 나타낸 것이다. MOS 평가는 광대역 원음성의 점수를 5점으로 했을 때, 각각의 음성 샘플에 대해서 1-5점의 점수를 주는 방식으로 진행하였다. MOS 평가를 명료성 및 자연성을 종합적으로 판단하는 실험으로 해석한다면, <그림 7>의 결과는 CELP 출력(A)과 비교할 때 저대역(B) 및 고대역(C) 성분의 결합(D)이 음질을 부분적으로 개선시키고 있음을 보여준다.



<그림 7> MOS 평가 결과

이와 같이 MOS 및 ABX 청취 평가의 결과를 고려할 때, 복원된 저대역 성분이 고대역 성분과 결합되어 합성음이 광대역 원음성에 가깝게 들리도록 하는데 부분적으로 기여를 하고 있다. 그러나 선호도 평가 결과의 경우는 복원된 저대역

성분의 기여도가 높지 않았으며, 이것은 합성음의 명료성이 부족하기 때문인 것으로 생각된다. 앞에서 언급한대로 명료성을 저하시키는 주 요인은 피치 궤적 복원의 불완전 때문이며, 이를 개선하는 것이 향후 연구 주제 가운데 하나이다.

## 5. 결 론

대역폭 확장은 광대역 음성신호를 추정, 복원하여 대역폭을 확장함으로써 협대역 음성신호의 음질을 높이는 기술이다. 본 논문에서는 대역폭 확장의 한 요소로서 저대역 음성의 복원을 위해 고조파 합성을 사용한 방법을 제안하였다. 제안한 복원 방법을 통해 저대역 음성을 직접 합성함으로써 합성 시스템의 구조를 단순화하였고, 실험을 통해 합성음질의 부분적인 향상을 확인하였다. 실험 결과 나타난 문제는 명료성이 저하되는 것이었으며 안정된 피치 궤적의 복원을 포함해 고조파 합성을 더 개선하기 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Y. Yoshida, M. Abe, "An algorithm to reconstruct wideband speech from narrowband speech based on codebook mapping", in *Proc. of ICSLP*, pp. 1591-1594, 1994.
- [2] G. Miet, A. Gerrits et al., "Low-band extension of telephone-band speech", in *Proc. of ICASSP*, vol. 3, pp.1851-1854, 2000.
- [3] K. Y. Park, H. S. Kim, "Narrowband to wideband conversion of speech using GMM based transformation", in *Proc. of ICASSP*, vol. 3, pp.1843-1864, 2000.
- [4] M. R. Schoreder, B. S. Atal, "Code-excited linear prediction(CELP): High-quality speech at very low bit rates", in *Proc. of ICASSP*, pp.937-940, 1985.
- [5] F. Itakura, "Line spectrum representation of linear predictive coefficients of speech signals", *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 57, p.335, Apr, 1975.
- [6] Federal standard 1016 telecommunications: Analog to digital conversion of radio voice by 4,800 bits/second code excited linear prediction(CELP), February 14, 1991.
- [7] J. Epps, Wideband extension of narrowband speech for enhancement and coding, Ph. D. thesis, University of New South Wales, Sep, 2000.
- [8] S. Chennoukh, A. Gerrits et al., "Speech enhancement via frequency bandwidth extension using line spectral frequencies", in *Proc. of ICASSP*, vol. 1, pp. 665-668, 2001.
- [9] Y. Nakatoh, M. Tsushima et al., "Generation of broadband speech from narrowband speech using piecewise linear mapping", in *Proc. of EUROSPEECH*, Rhodes, vol. 3, pp.1643-1646, Sept. 1997.
- [10] P. Jax, P. Vary, "Wideband extension of telephone speech using a hidden markov model", in *Proc. of IEEE Workshop on Speech Coding*, 2000.

- [11] 박진수, 김형순, "4800 bps CELP 음성 부호화기에 적용한 대역폭 확장에 관한 연구",  
대한음성학회 학술대회 발표 논문집, pp.175-178, 2002.

접수일자 : 2004년 2월 8일

게재결정 : 2004년 3월 15일

▶ 박진수 (Jin Soo Park)

주소: 463-828 경기도 성남시 분당구 야탑1동 344-1 디자인센터빌딩 406호

소속: McubeWorks

전화: 031-788-7654

E-mail: jinsp@mcubeworks.com

▶ 최무열 (Mu Yeol Choi)

주소: 609-735 부산시 금정구 장전동 산30번지 부산대학교 공과대학 전자공학과

소속: 부산대학교 전자공학과 음성통신연구실

전화: 051) 516-4279

E-mail: mychois@pusan.ac.kr

▶ 김형순 (Hyung Soon Kim)

주소: 609-735 부산시 금정구 장전동 산30번지 부산대학교 공과대학 전자공학과

소속: 부산대학교 전자공학과 음성통신연구실

전화: 051) 510-2452

E-mail: kimhs@pusan.ac.kr