

청각장애인에 대한 주파수 전위 보청기와 일반 보청기의 효용성 비교

Comparison of the Usefulness with Frequency Transposition
Hearing System and Conventional Hearing Aids for the Deaf

한 민 경 · 이 정 학* · 김 진 숙**

(Minkyung Han · Jung Hak Lee · Jin Sook Kim)

ABSTRACT

Frequency transposition (FT) hearing system was designed for individuals with little or no residual hearing at high frequencies. This device compresses and shifts the wide-band, high frequency acoustic energy where important features for speech perception are concentrated to the audible, lower range of frequencies. The usefulness of the FT system was investigated for 12 patients (7 children and 5 adults) with severe-to-profound sensorineural hearing losses compared with conventional hearing aids. Results suggest that the hearing impaired can benefit from the FT system with appropriate selection criteria and auditory (re)habilitation program.

Keywords: frequency transposition (FT) hearing system, conventional hearing aids, residual hearing, sensorineural hearing loss

I. 서 론

고주파수의 잔존청각이 거의 없는 청각장애인에게 일반 보청기는 음성신호 특히 고주파수의 자음을 이해하는데 많은 도움을 주지 못한다. 이들을 위하여 고주파수 음성 정보를 가청저주파수로 전위시키는 시스템의 개발이 수년 동안 시도되었다(Beasley et al., 1976; Bennett & Byers, 1967; Genegel & Foust, 1975; Velmans & Marcuson, 1983). 1950년대, 60년대의 연구가들은 난청자들을 대상으로 보청기의 주파수를 낮추는 기술(frequency lowering techniques)을 사용하고 재활 교육을 하였다(Bennet and Byers, 1967; Beasley et al, 1976). Bennet and Byers (1967)에 의하면, 주파수 전위는 입력되는 음성 신호의 주파수대(bandwidth)를 손상된 귀의 제한된 주파수에 맞추어 손상된 감각기가 반응하게 하는 것이다. 비례적으로 혹은 비례적이 아닌 방법으로 주파수 전위를 시키려는 다양한 방법들이 있었다. 그러나 그 어느 것도 보청기로 이용되거나 재활 도구로 사용되지는 않았다.

주파수 전위를 비례적이 아닌 방법으로 할 경우, 음질이 부자연스럽거나, 언어이해에 거의 도움을 주지 못하였다(Bennett and Byers, 1967; Velmans and Marcuson, 1983; AVR

* 한림대학교 한강성심병원 이비인후과

** 한림대학교 한강성심병원 재활의학과

Communications, 1994). 이 방법은 음성신호에 대한 주파수 요소의 상대적 관련성을 보존하지 못한다. 비례적인 주파수 전위 방법은 예전부터 사용되어 왔고 가장 최근에는 TranSonic device에 응용되고 있다. 이 방법으로, 언어는 기록되고 기록에 사용된 것보다 더 느리게 재생하므로, 언어 요소에 대한 주파수의 상대적 위치는 보존된다. 그러나 과거에는 테이프 녹음기를 보청기에 적합하여 테이프를 재생하는데 시간이 지연되기 때문에 착용 가능한 주파수 전위 보청기의 개발이 지체되었다.

과거 10년 동안 어느 정도 사용된 주파수 전위 보청기의 한 종류는 EMILY다. 이 보청기는 1,000 Hz와 2,000 Hz 영역에서 포먼트(formant)와 음성 전이(phonetic transition)를 알아내 그 특성을 고주파수 혹은 저주파수 영역으로 전위시킨다. 이 주파수 전위는 'real time'에 이루어진다. 그러나 이 보청기에 대한 임상적 데이터는 아주 적다.

FT-40 MKII 주파수 전위 청각 시스템은 강력한 증폭장치로서, 전기 저장 장치를 가진 자기 테이프(magnetic tape)를 사용하여 'perceptual real time'에 음성 신호를 비례적으로 전위시키고 압축시킨다.

본 연구는 FT-40 주파수 전위 보청기의 원리를 알아보고, 보청기 음향 이득 검사(functional gain), "Ling 5 Sound Test"(1968), 언어인지·발화 검사를 바탕으로 이 장치와 일반보청기를 비교하여 청각장애인에 대한 주파수 전위 보청기의 유용성을 살펴보고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 대상

적어도 1년 이상 일반 보청기를 착용한 경험이 있는 고도 및 심도의 청각장애인 12명이 피검자로 참여하였다. 이들 중 7명은 3-8세의 아동이고 5명은 21-78세의 성인이었다.

2. 방법

피검자들은 FT-40을 착용하고 2-3개월의 시험기간을 가졌으며, 그 기간동안 일주일에 한 번씩 40분의 개별화된 청각 재활 프로그램에 참여하였다. 이 프로그램에서는 첫 회기에 실시한 배치검사(placement test)를 기준으로 각 개인의 능력에 따라 소리탐지수준, 단어수준, 문장수준 등으로 청각재활의 수준을 정하여 각종 시청각 자료(예: 장난감, 그림·단어카드, 컴퓨터 프로그램 등)를 활용하였다. 시험기간 후 좁은 주파수대의 소음(narrow band noise)을 이용한 보청기음향 이득검사, /a/, /u/, /i/, /sh/, /s/의 5음을 이용한 "Ling 5 Sound Test", 비표준화된 검사도구를 사용한 언어인지검사, 언어발화검사 등이 실시되었다(표 1참조).

표 1. 언어인지·발화능력의 측정을 위해 사용된 단어쌍

공-감	말-물	문-눈
발-복	풀-팔	개-배
숲-상	소-새	감-밤
왕-옷	손-신	콩-통
콩-검	피-파	빵-땅

3. FT-40의 원리

FT-40 주파수 전위 보정기는 음성구조의 본질을 그대로 유지한 채 음성신호를 비례적으로 전위시키고 그 주파수대를 압축시키는 데, 이러한 과정은 'real time'인 9-13 ms의 짧은 시간 내에 이루어진다. FT-40은 주파수 분석기(spectral balance detector)를 통하여 마이크로폰을 통해 받아들인 음성신호의 음성에너지가 2,500 Hz를 중심으로 이보다 낮은 주파수에 있는지 혹은 높은 주파수에 있는지를 결정한다. 만약 이 분석기가 대부분의 음성에너지가 2,500 Hz보다 낮은 주파수에 집중되어 있다고 판단하면 전위계수(Transposition Coefficient; Z)의 두 방식 중 Z_v 가, 2,500 Hz보다 높은 주파수에 집중되어 있다고 판단하면 Z_c 가 작동한다.

그림 1은 FT-40 주파수 전위 보정기의 전위 작용을 보여 주고 있다. 즉, /a/와 같이 대부분의 음성에너지가 2,500 Hz보다 낮은 주파수에 분포하면 그 음성에너지는 Z_v 에 의해 처리되며, /sh/와 같이 음성에너지가 2,500 Hz보다 높은 주파수에 집중되어 있으면 Z_c 가 작동한다.

그림 1. /a/와 /sh/에 대한 FT-40의 전위기능(출처: AVR Communications, 1994, p. 4)

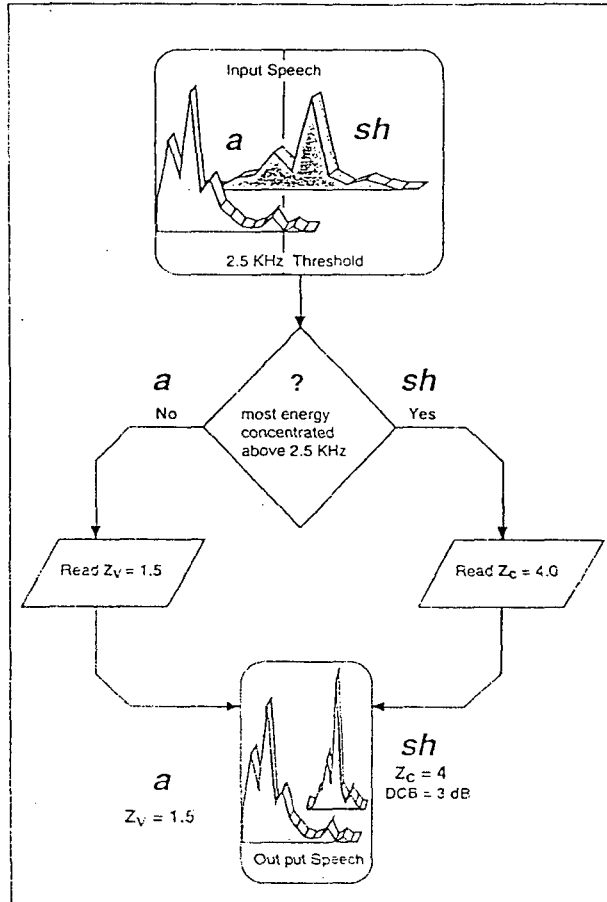


그림 2는 FT-40 주파수 전위 보정기의 압축기능을 보여 주고 있다. 각 음성 스펙트럼이 선형 주파수율(linear frequency scale)에 따라 중심에너지가 2,500 Hz보다 낮은 주파수라면 $Z_v=1$ 이 $Z_v=1.5$ 로, 2,500 Hz보다 높은 주파수에 집중되어 있으면 $Z_c=1$ 이 $Z_c=4$ 로 전위된다.

그림 2. /a/와 /sh/에 대한 FT-40의 압축기능 (출처: AVR Communications, 1994, p. 3)

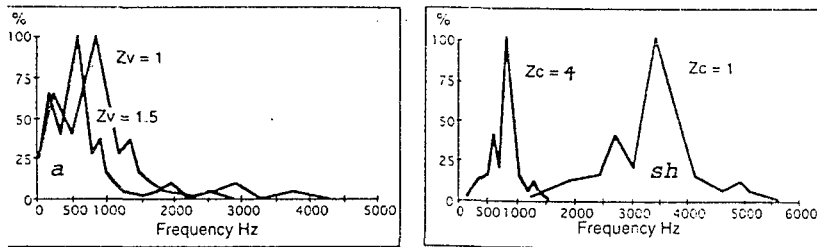
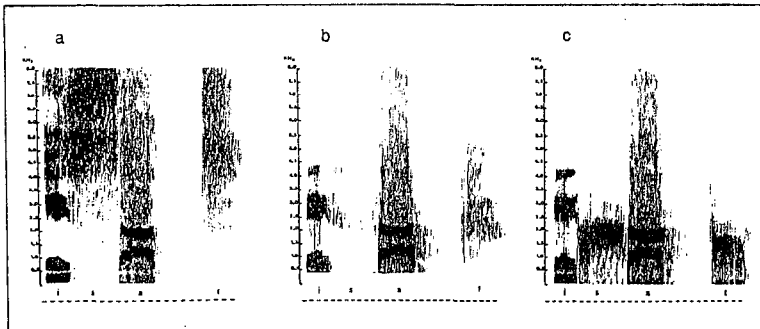


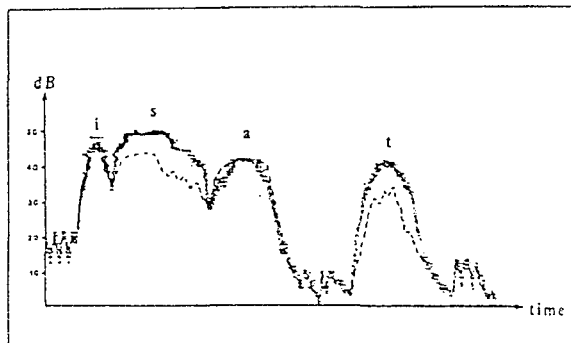
그림 3은 무의미 음절 'isat'에 대한 스펙트로그램을 보여 주고 있다. 그림 (a)에서 /i/와 /a/는 음향에너지가 2,500 Hz 이하에, /s/와 /t/는 2,500 Hz 이상에 집중되어 있음을 볼 수 있다. 그림 (b)는 일반 보청기에 의한 스펙트로그램으로 음향에너지가 2,500 Hz보다 높은 주파수에 집중되어 있는 /s/와 /t/가 사라진 것을 볼 수 있다. 그림 (c)는 FT-40 주파수 전위 보청기에 의한 스펙트로그램으로 /s/와 /t/가 2,000 Hz 이하로 전위되었음을 볼 수 있다.

그림 3. 'isat'의 음향에너지에 대한 스펙트로그램 (출처: AVR Communications, 1994, p. 5)



한편, FT-40 주파수 전위 보청기에는 저주파수에 비해 강도가 약한 고주파수 음성만을 따로 증폭시킬 수 있는 분석기가 있는 데, 그것의 처리과정을 Dynamic Consonant Boost(DCB)라고 부른다. 그림 4는 DCB의 작용을 보여 주는 것으로 저주파수의 /i/와 /a/에는 작용하지 않지만 고주파수의 /s/와 /t/에는 작용하였음을 볼 수 있다.

그림 4. /isat/에 대한 FT-40의 DCB 기능 (출처: AVR Communications, 1994, p. 5)



III. 결 과

그림 5는 보청기를 착용하지 않고 이어폰(earphone)을 통해서 순음을 들려주었을 때, 피검자들의 더 좋은 쪽 귀의 평균 역치(아래 그래프)와 일반 귀걸이형 보청기(behind-the-ear: BTE)를 착용했을 때(가운데 그래프), FT-40을 착용했을 때(위 그래프)의 평균 역치를 보여 준다. 보청기를 착용하지 않았을 때의 평균 역치는 FT-40에 대해 적용할 수 있는 적합 범위에 드는 것을 알 수 있다. 따라서 피검자들은 FT-40 착용이 가능한 사람들이다. 이들이 일반 보청기를 착용했을 경우 1,000 Hz 이내에서는 평균 약 55 dB의 역치를 보이지만 2,000 Hz 이상의 주파수 범위에서는 역치가 급격히 떨어짐을 알 수 있다. 한편 이들이 FT-40을 착용했을 경우, 고주파수에서 급격한 역치 하락을 보인 일반 보청기와는 달리, 전 주파수 범위에서 평균 약 40 dB의 역치를 보인다. 그러므로 이러한 객관적인 검사를 통해서, 일반 보청기와 비교할 때 FT-40이 특히 고주파수의 소리를 듣는 데 큰 도움을 주고 있음을 알 수 있다.

그림 5. 좋은 쪽 귀의 평균 역치

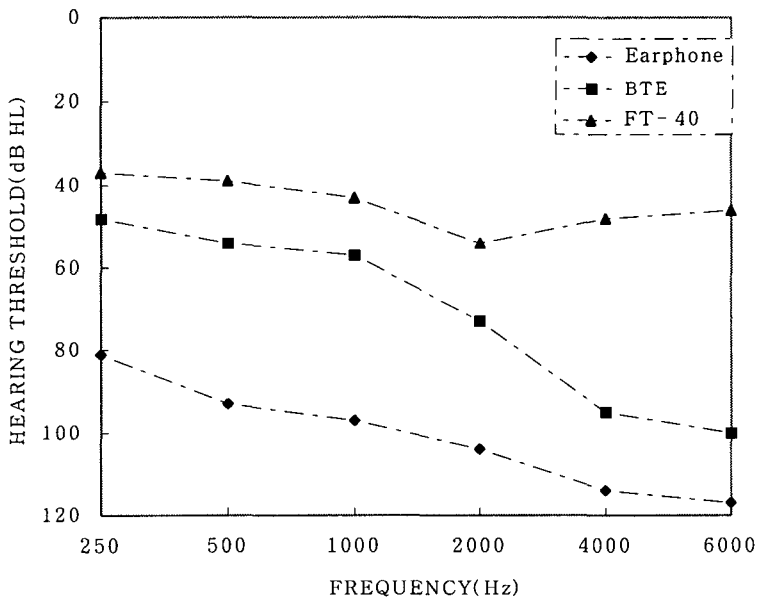


표 2는 “Ling 5 Sound Test”의 결과를 보여 준다. 이는 거리 조절에 따른 다섯 개의 어음 탐지 능력을 측정한 것이다. FT-40을 착용하였을 때는 1 m, 3 m 거리가 떨어져도 모든 어음의 탐지가 가능한 반면, 귀걸이형 보청기를 착용했을 때는 1 m 떨어진 거리에서 /sh/를 탐지할 때도 탐지할 수 없을 때도 있었고, /s/는 탐지할 수 없었으며, 3 m 떨어진 거리에서는 두 어음을 모두 탐지할 수 없었다. 즉, 귀걸이형 보청기는 주로 고주파수의 자음 탐지에는 별 도움이 되지 못하는 반면, FT-40은 모음뿐만 아니라 고주파수 자음 탐지에도 도움을 준다.

표 2. Ling 5 sound test의 결과

		/a/	/u/	/i/	/sh/	/s/
1 m	귀걸이형 보청기	+	+	+	+/-	-
	FT-40	+	+	+	+	+
3 m	귀걸이형 보청기	+	+	+/-	-	-
	FT-40	+	+	+	+	+

언어인지와 발화의 측면에서, 아동 7명 중 5명은 FT-40을 착용한 후 2-3개월이 경과했을 때 고주파수 자음의 인지와 발화에서 어느 정도의 향상을 보였다. 나머지 2명은 심지어 저주파수에서도 심도의 난청자인데 이들은 어떠한 진전도 보이지 않아 인공와우 수술을 권유하였다. 성인 피검자 세 명은 언어 이해에서 점진적인 향상을 보였으나, 20년 이상 난청으로 고생한 다른 두 명의 성인은 별다른 진전이 없어 FT-40 사용을 포기하였다.

IV. 결론

위의 결과에서 볼 수 있듯이, FT-40은 고도-심도의 난청을 지닌 청각장애인이 환경음 및 어음을 탐지하는 데 도움을 준다. 특히 고주파수의 소리에 대해서는 일반 보청기와 비교했을 때 큰 도움을 준다. 그러나, FT-40이 청각 역치 향상과 소리 탐지에는 도움을 주지만 이것이 언어인지 능력과 발화의 향상을 반드시 동반하는 것은 아니다.

Parent, Chmiel, and Jerger(1997)가 제시한 사례에 따르면, 일반 보청기의 착용으로 도움을 받을 수 있는 고도-심도 난청자는 FT-40을 착용하여 부수적인 고주파수 정보를 더 얻을 수 있다. 이에 대한 사례는 현재 우리 나라에서 FT-40을 착용하고 있는 사람들 중에서도 찾아 볼 수 있는데, 이들은 일반 보청기만으로도 도움을 받을 수 있지만 고주파수의 소리를 보충하기 위해 FT-40을 착용하는 경우이다. 한편, Parent et al.(1997)은 일반 보청기로 도움을 못 받아 인공와우 수술 예정자가 된 사람들에게 FT-40은 큰 도움을 줄 수 없다고 하였으나, 본 저자들의 경험에 의하면 이 주장과 다른 사례도 발견할 수 있었다. 인공와우 수술 예정자들 중에는 FT-40으로 소리탐지와 언어인지가 가능하게 된 경우도 있었다. 또한 이들의 주장처럼 일반 보청기에 대한 대안으로 인공와우가 필요한 사람들이 있는데 이 중에는 와우의 구조적 결함으로 인공와우 수술이 불가능하여 현재 FT-40이 유일한 대안이 되는 경우가 있었다.

Davis-Penn and Ross (1993)는 TranSonic FT-40이 일반 보청기와 인공와우 사이의 어떤 영역을 채우는 보청기가 될 수 있다고 하였다. 그러나 그 영역에 대한 경계는 아직 이루어지지 않았다 (Parent et al. 1997). 즉 청각 역치가 AVR communications가 권장한 적합 범위에 속할지라도 일반 보청기가 주된 역할을 하고 FT-40은 부수적인 역할을 하는 경우가 있었고, 혹은 FT-40의 도움을 못 받아 인공와우 수술을 하게 되는 경우도 있었다.

따라서 FT-40의 적합은 객관적인 청각 검사에만 의존해서는 안되고, 치밀한 관찰과 다양한 언어 관련 검사가 동반되어야 한다. 또한 여러 논문(한민경·이정학, 1996; Johnson & Rees, 1995)에서 지적한 것처럼, 적합 후 실시되는 청각 재활 프로그램이 개발되어 재활이 일관성 있게 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 한민경, 이정학. 1996. "청각장애아동에 대한 주파수 전위 보청기의 효용성." *말-언어장애연구 1*, 한국언어병리학회, 139-149.
- AVR Communications. 1994. *TranSonic technical review and principles of operation*. Rev. 4. Ramat Yishai, Israel.
- Beasley, D. S., Mosher, N. L. & Orchik, D. J. 1976. "Use of frequency-shifted/time-compressed speech with hearing-impaired children." *Audiology*, 15, 395-406.
- Bennett, D. N. & Byers, V. W. 1967. "Increased intelligibility in the hypacusic by slow-play frequency transposition." *Journal of Auditory Research*, 107-118.
- Davis-Penn, W. & Ross, M. 1993. "Pediatric experiences with frequency transposing." *Hearing Instruments*, 44(4), 26-32.
- Genegel, R. W., & Foust, K. O. 1975. "Some suggestions on how to evaluate a transposer hearing aid." *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 40(2), 206-210.
- Johnson, C. D., & Rees, K. A. 1995. "Amplification options for infants and toddlers." *Seminars in Hearing*, 16(2), 140-147.
- Ling, D. 1968. "Three experiments on frequency transposition." *American Annals of the Deaf*, 113, 283-294.
- Parent, T. D., Chmiel, R., & Jerger, J. 1997. "Comparison of performance with frequency transposition hearing aids and conventional hearing aids." *Journal of American Academic Audiology*, 8, 355-365.
- Rosenhouse, J. 1990. "A new transposition device for the deaf." *The Hearing Journal*, 43(11), 20-24.
- Velmans, M. & Marcuson, M. 1983. "The acceptability of spectrum preserving and spectrum destroying transposition to severely hearing impaired listeners." *British Journal of Audiology*, 17, 17-26.

접수일자 : '98. 2. 15.

게재결정 : '98. 3. 17.

▲ 한민경 · 이정학

서울시 영등포구 영등포동 94-200(우 : 150-030)

한림대학교 한강성심병원 이비인후과

Tel : (02) 6395-750

▲ 김진숙

서울시 영등포구 영등포동 94-200

한림대학교 한강성심병원 재활의학과(우 : 150-030)

Tel : (02) 3446-2474