

# 정상 한국 성인의 역방향 모국어 단음절 청각 숫자 확장 기억 처리에 관한 비교 연구

한림대학교 자연과학대학 언어청각학부<sup>1</sup> · 청각언어연구소<sup>2</sup> · 한림대학교 일반대학원 언어청각학과<sup>3</sup>  
임 덕 환<sup>1,2</sup> · 진 선 희<sup>3</sup>

## ABSTRACT

### Comparative Studies on Backward Korean Monosyllabic Digit Span in Normal Hearing Adults

Dukhwan Lim<sup>1,2</sup> and Sunhee Jin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Division of Speech Pathology and Audiology, College of Natural Science, Hallym University, Chuncheon, Korea

<sup>2</sup>Research Institute of Audiology and Speech Pathology, Chuncheon, Korea

<sup>3</sup>Department of Speech Pathology and Audiology, Graduate School, Hallym University, Chuncheon, Korea

Backward digit span was frequently adopted as a useful tool for evaluating auditory working memory and learning. The detailed response data, however, were not available for backward Korean digit span sets. In this study, backward Korean monosyllabic digit spans were examined in normal hearing young adults with special reference to the previous forward Korean digit span data. The stimuli were synthesized in 1 to 10 Korean digit spans of male and female voices. They were randomly presented through the closed acoustic system for 20 subjects (10 males and 10 females). The corresponding backward digit span responses were recorded and analyzed on the custom-made computerized workstation. In this result, no statistically significant differences were observed in terms of the lateralization (left/right) and the gender of the subjects and speakers ( $p > .01$ ). The average performance point of 50% was determined at the index value of about 6 in this backward Korean digit span study. This led to about 2 index differences from the average values of forward and backward digit span data ( $p < .01$ ). This discrepancy corresponded to the additional processing in the backward digit span task model. In conclusion, the data exhibited the similar trends as those from backward digit spans with other languages. These backward and forward digit spans can contribute to exploring auditory memory functions and the related clinical implications.

**KEY WORDS** : Backward digit span, Auditory working memory, Short-term memory, Korean monosyllabic digit

## INTRODUCTION

청각 기억 과정은 다른 기억과 유사하게 단기 기억(short-term memory), 장기 기억(long-term memory), 감각 기억(sensory memory) 등으로 구분이 된다(Aaronson, 1974;

Baddeley, 1986, 1999, 2003; Cowan, 1984; 조수진, 2012). 이 단기 기억의 내용은 반복이 되면서 장기 기억으로 저장된다. 이러한 기능의 세부 형태에 대하여 여러 견해가 있지만, 대체로 단기 기억은 추가적인 처리 과정이 없는 상대적으로 단순한 기억 과정으로 분류가 된다(Baddeley, 2003). 이 단기 기억은 언어를 학습하고 이해하는 과정에도 관여하면서 다른 기능의 기억 과정과도 연결이 된다(Baddeley, 1986). 이 단기 기억에 추가 처리 과정이 연결될 수가 있으며, 그 전체 과정을 작업 기억이라고 한다. 그리고, 이 작업 기억 능력은 중간과정에서의 중첩된 과정이며 주어진 자극을 저장하고 처리하는 것을 포함한다

논문접수일: 2013년 04월 30일

논문수정일: 2013년 06월 11일

게재확정일: 2013년 06월 18일

교신저자: 임 덕 환, 200-702 강원도 춘천시 한림대학길 1

한림대학교 자연과학대학 언어청각학부

전화: (033) 248-2217, 전송: (02) 6280-9133

E-mail: dlim@hallym.ac.kr

(Baddeley, 1986, 1999).

현재까지 다수의 연구에서 이러한 단기 기억이나 작업 기억과 같은 청각 기억 과정의 기초 단계를 분석하는 과정에서 숫자를 이용한 자극들을 자주 사용한다(Bancken, 1985; Ferguson & Bowey, 2005; Lynn & Irwing, 2008). 대표적으로 이 단기 기억의 특성을 주로 나타내는 것이 순방향 숫자 확장 기억(forward digit span)이다(Swanson, 1993). 추가 처리과정이 포함된 작업 기억의 내용을 반영하는 것이 역방향 숫자 확장 기억(backward digit span)이다(Kyllonen & Crystal, 1990). 여러 문헌에서 보는 것처럼 이러한 숫자 자극을 사용하는 방식은 언어나 다른 관련 요인에 따라서 세부적인 반응패턴이 다르게 나타나는 경우가 있다(Naveh-Benjamin & Ayres, 1986; Patel, 2003; Sussman & Gumenyuk, 2005).

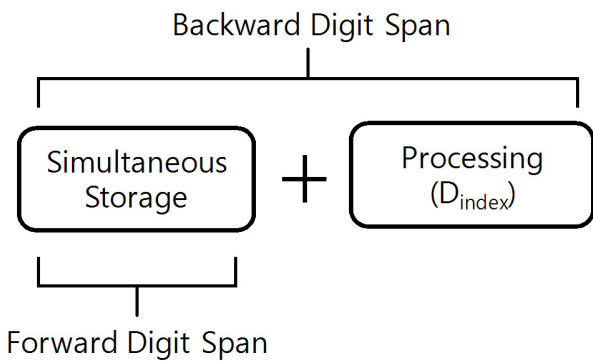
연관된 한 영어권 연구에 따르면(Naveh-Benjamin & Ayres, 1986), 영어, 스페인어, 히브리어, 아랍어로 숫자 자극을 주었을 때에 영어, 히브리어, 스페인어, 아랍어 순으로 높은 수행력을 보였다. 영어를 제외한 경우에는, 모든 피검자가 공통으로 알고 있었던 히브리어에서 기억 수행력이 높았다. 자주 노출되었던 언어나 모국어에서의 이러한 숫자 수행력이 더 높게 나타날 수 있음이 추정된다. 영어 숫자 자극은 우리 말 숫자 자극과 음향적, 음운적 특성에서 차이가 있고, 이러한 차이점으로 인하여 관련 숫자를 인식하는데 있어서 영어권 자료와 차이를 보일 수가 있다. 국내의 관련 자료를 살펴보면, 권준수 외(2002)의 한글 순방향 숫자 확장 기억처리 결과에서 평균 역치 숫자 길이는 영어권에서의 자료와는 다른 수치를 제시하고 있다. 이러한 차이는 개별 언어마다 결과가 다를 수 있다는 Patel(2003)의 주장과도 일치하며, 개별 언어별로 확인하는 것이 필요하다. 이외에 숫자 자극의 경우에 성별과 연령 등의 영향을 받는 경우도 보고되고 있어서 그 내용을 사안 별로 확인해보아야 한다(Lynn & Irwing, 2008).

최근에 진행된 순방향 한국어 숫자 확장 연구(임덕환 & 문지연, 2011)에서는 그 기초 자료로 청각적으로 동일성이 유지되는 20대 초반의 정상인에서의 순방향 숫자 확장 기억을 실험하였다. 이 자료에서는 한국어를 모국어로 사용하는 정상 성인에서 화자의 성별이나 피검자의 성별과 좌우 측 편향성이 단음절 숫자 확장을 사용한 청각 기억 수행력에 미치는 영향과 특성을 분석하였다. 확인된 20대 초반 정상인의 숫자 확장기억 평균 수행력 역치 길이는 약 8이며, 화자의 성별, 피검자의 성별과 좌우 측 편향성은 나타나지 않았다. 이 결과는 다른 국내 순방향 숫자 확장 기억 수치(권준수 외, 2002)와 비교하여 차이가 나타나고 있었다. 이는 후자가 여러 연령대가 혼합된 자료이기 때문

인 것으로 판단되며, 관련하여 피검자 대상 연령 등을 세분하여 분석하는 것이 필요하다고 생각된다.

현재 한국어를 대상으로 하는 경우에는 역방향 숫자 확장 기억과 관련된 체계적인 기초 자료가 상대적으로 부족하다. 앞서 언급된 여러 이유에서 다른 언어에서의 자료만으로 한국어에서의 결과를 추측 할 수는 없고, 관련 연구를 위하여 구체적인 기본적인 내용의 확인이 필요하다.

본 연구에서는 청각적 동일성이 유지되는 20대 초반의 성인에서 역방향 단음절 숫자 확장 기억 인지에 관한 구체적인 정상 수치를 구하고, 관련된 기존 순방향 숫자 확장 기억 자료와 비교한 작업 기억 특성 요소를 분석하고자 하였다. 이를 위하여 20대 초반 정상 성인에서 역방향 한글 단음절 숫자확장 자극에서 50%의 수행능력을 보이는 index 수치를 구하고 남녀 화자와 피검자의 성별, 좌우 측 편향성에 대하여 분석하였다. 역방향 숫자 확장 기억의 작업 기억 특성은 기존의 순방향 기초 자료와 비교하여 그 정도를 구체적으로 확인해보고자 하였으며, 이러한 단순 기억과 작업 기억을 비교하기 위해서 다음과 같은 모델을 설정하였다(Figure 1).



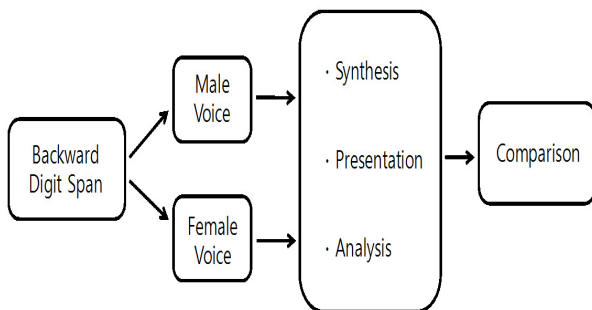
**Figure 1.** 한국어 단음절 역방향 숫자 확장 검사의 비교 분석 모델. 이 모델에서 역방향의 경우에 추가 처리 단계가 있음을 나타내며, 역방향과 순방향 단음절 숫자 확장검사결과를 비교하여 작업기억 차이에 해당하는  $D_{index}$ 를 추정함( $D_{index}$ : 숫자 index 차이).

이 모델에서 역방향 숫자 확장 처리 과정은 단순 저장과 추가 처리과정으로 이루어져 있으며, 추가 처리는 작업 기억 요소를 반영한다. 모델의 단순 저장 과정은 순방향 숫자 확장 처리 과정에 대응한다(Kyllonen & Crystal, 1990). 여기서 추가 처리 과정에 해당하는 숫자 index 차이  $D_{index}$ 는 동일한 조건과 대상에서 얻은 역방향 숫자 확장 자료를 기존의 순방향 숫자확장 연구 결과(임덕환 & 문지연, 2011)와 비교하여 결정하고자 하였다.

## MATERIALS AND METHODS

본 연구는 국내 대학교에 재학 중인 정상청력을 가진 20대 초반까지의 학생(평균연령 22.5세) 20명(남 10명, 여 10명)을 대상으로 하여 시행하였다. 사전에 등록된 그룹에서 피검자를 선정하였고, 비교를 위하여 동일 대상이 여러 번 반복된 세션으로 실험에 참가하였다. 모든 실험 대상자는 임피던스 검사에서 정상이었으며, 순음청력 검사(pure tone audiometry, PTA)결과 양측 귀 모두 250 ~ 8000 Hz에서 20 dB HL 이하의 정상 역치를 보였다. 단어인지도(word recognition score, WRS)결과는 양측 귀 모두 95% 이상인 정상으로 나타났다.

순음검사와 단음절 어음인지검사는 Grason-Stadler의 GSI 61에서 TDH 50 기도 헤드폰을 사용하여 측정하였고, 중이검사는 Madsen Zodiac Middle Ear Analyzer(Zodiac 901, Version 4.08)를 사용하였으며, 평가는 방음부스 안에서 실시하였다(소음레벨 < 30 dBA; 2236 SLM, Brüel & Kjær). 청각 기억 검사는 별도 제작된 전산 자극 합성 시스템에서 한글로 된 숫자 확장(digit span) 자극을 사용하고 그 반응 결과를 분석하였다. 실험에 사용된 digit span은 한글 단음절 숫자의 수(index)를 1에서 10 자리까지 늘려가며 무작위로 제시할 수 있도록 제작하였다. 이 숫자를 제시할 때, 화자의 성별 변수를 남녀로 달리하여 제시하였으며, 동일한 내용을 반복하여 실험하였다. 이러한 전체 실험 과정은 Figure 2와 같이 나타낼 수 있다.



**Figure 2.** 한국어 단음절 역방향 숫자 확장 검사의 진행 과정. 실험에 사용되는 backward digit span set을 남성과 여성 화자 두 가지 버전으로 무작위로 합성하여 제시하였고, 이 반응을 실시간으로 기록하고 분석하도록 전산시스템을 구성하였다.

이 실험 과정에서 피검자에게 제시한 한글 숫자 음은, 남성과 여성 화자 별로 전산 합성하여 제작하였으며(DAQPad-6251, NI; 16 bit, Sampling rate = 44.1 KHz), 기존의

순방향 숫자 확장 인지 실험과 동일한 자극이다(임덕환 & 문지연, 2011). 예비 실험을 거쳐서, 검사 제시 강도는 60 dB HL로 결정하였고, 숫자 간 간격은 500 msec이 되도록 조정하였다. 검사에 사용된 숫자는 0~9까지의 단음절 숫자를 사용하였고 처음에는 한 자리 수의 숫자(digit index=1)로 제시하여 점차적으로 숫자의 수를 늘려 최종적으로 10자리 수(digit index=10)로 이루어진 자극을 제시하였다. 초기의 한 자리로 구성된 그룹이 끝나면 두 자리로 구성된 숫자 그룹을 제시하고, 이러한 방식으로 열 자리로 구성된 그룹까지 검사를 진행하였다. 한 세트의 숫자 자극이 종결되면 피검자는 기억한 숫자를 역방향 순서로 답하였다. 이 한글 숫자를 각 단계별로 10개씩 무작위로 전산 합성하였고, 이 자극을 anti-aliasing filter (Frequency Devices 900)와 감쇄기(HP 350D)로 음향 보정을 하고 확인한 후에(2236 SLM, Brüel & Kjær; 4188 Mic, Brüel & Kjær), 삽입형 이어폰(ER 4, Etymotic Research; AUDEO, Phonak)을 통하여 피검자의 오른쪽 귀와 왼쪽 귀에 각각 제시하였다. 이 그룹별 무작위 숫자 조합에 대한 해당 피검자의 반응이 전산프로그램(C#)으로 작성한 처리과정에서 실시간 분석되도록 하였다. 자료에 대한 통계적 분석은 SPSS 18.0 프로그램에서 *t*-검정으로 처리하여 비교하였고, 다른 자료와 비교를 위하여 유의수준 0.01에서 판정하였다. 각 단계별로 digit의 수가 늘어남에 따라 나타나는 역방향 청각기억 수행력이 50%되는 지점은 이산적 자료에 대한 회귀분석으로 추정하였다.

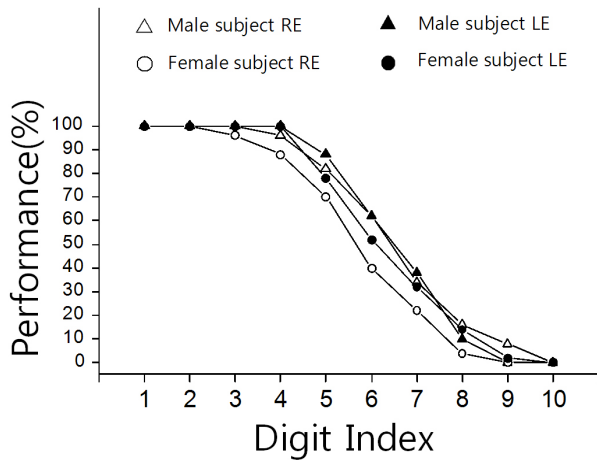
## RESULTS

한국어를 모국어로 하는 정상 청력을 가진 대학생 남자 10명과 여자 10명으로 구성된 총 20명의 피검자를 대상으로(평균연령 22.5세) 한글 단음절 역방향 숫자 확장(backward digit span)에 대한 정상치를 구하고 이 결과를 순방향 숫자 확장 자료와 비교하여 작업 기억 수행력을 분석하였다.

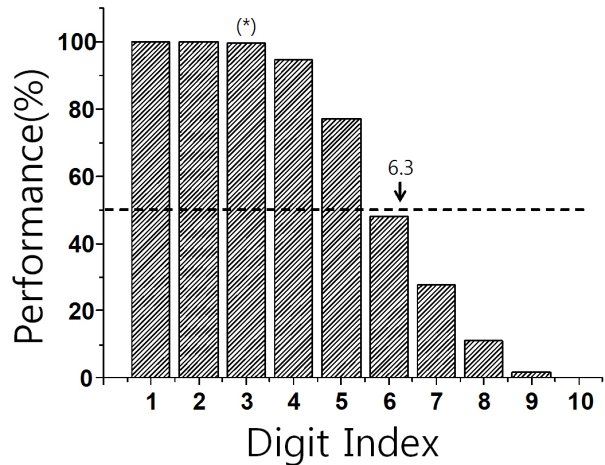
### 역방향 한글 청각숫자 확장 처리 과정에서 피검자의 성별과 좌우측의 인지 수행력 비교

실험에 참가한 모든 피검자 그룹에서 동일한 조건의 역방향 숫자의 길이가 늘어남에 따라서 숫자 인지 수행력은 점차 감소하는 패턴을 보였다(Figure 3).

본 결과에서 동일한 남성 화자에 대한 남녀 피검자의 수행력의 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다



**Figure 3.** 역방향 한글 숫자 확장 자극에 대한 남녀 피검자의 좌/우측 귀에서 digit index에 따른 평균 수행력 차이. 횡축은 digit expansion index이고, 종축은 각 index 단계별로 10개의 random sample로 구성된 남성화자 자극에 대한 피검자 군의 평균 정답율을 나타낸다. RE: right ear; LE: left ear (N=20, male=10, female=10).



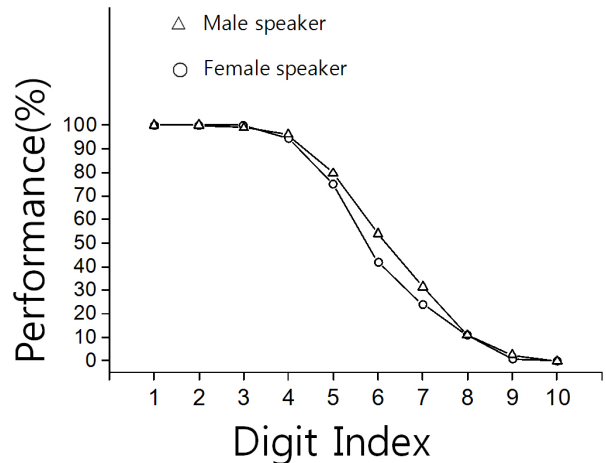
**Figure 4.** 역방향 한글 숫자확장 남성화자 자극에 대한 전체 평균 수행력 차이. 횡축은 digit expansion index 이고(\*는 perfect score index 지점을, 점선은 50% 수행 수준을 표시함), 종축은 각 index 단계에 대한 피검자 군의 전체 귀의 평균 정답율을 나타낸다 (N=40).

( $p > .01$ ). 동일 조건의 피검자의 좌/우측 귀에서도 역방향 숫자 확장 인지 수행력에 대한 유의한 차이는 나타나지 않았다( $p > .01$ ). 이러한 결과를 근거로 남성 화자에 대한 전체 자료를 정리하면 Figure 4와 같다.

역방향 숫자 확장 인지에서 한글 digit index 값이 3이 될 때까지는 모두 100%의 수행능력을 보였다(perfect score index 구간 = 3). 이 전체 자료에 대하여 50%의 수행능력을 보이는 index 지점을 회귀분석으로 구해보면 남성 화자에 대하여 6.3의 index 수치를 보였다. 이를 근거로, 역방향 단음절 숫자 확장 인지에서의 심리음향적 인지의 역치는 숫자의 길이가 약 6인 것으로 확인하였다.

**역방향 한글 청각숫자 확장 처리에서 화자의 성별의 영향과 작업 처리 모델의 추가 처리 과정 변수 결정**

동일한 조건에서 화자의 남녀 성별 변수에 따른 수행력의 차이를 비교하기 위하여 여성 화자가 제시하는 한글 숫자 확장 자극에 대하여 피검자의 청각 기억 능력을 평가하였다. 여성 화자에 대해서도 앞서 기술된 남성 화자에서의 경우와 매우 유사한 결과를 보였으며, 남녀 피검자나 좌/우측 귀에서의 인지 수행력에서 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다( $p > .01$ ). 한글 여성 화자의 자극을 제시 하였을 경우에 수행력이 50%되는 지점은 6.0으로 나타났으며, 이 수치 역시 남녀 화자간의 차이가 없었다( $p > .01$ ). 이 남녀 화자에 대한 전체 결과를 정리하면 Figure 5와 같다.



**Figure 5.** 역방향 한글 숫자 확장 자극을 구성하는 남/녀 화자에 따른 전체 실험 군의 평균 수행력 차이 비교 (N=40).

이 자료에서 남성 화자와 여성 화자 차이에 대하여 피검자의 수행능력은 유의한 통계적 차이를 보이지 않았다( $p > .01$ ). 본 연구에서 제시한 비교 분석 모델의 작업기억 차이를 추정하기 위해서 비교 기준 자료로 사용된 한글 단음절 순방향 숫자 확장 연구 결과(임덕환 & 문지연, 2011)를 요약하면 다음과 같다. 순방향 숫자 확장 기억 수행력이 50% 되는 index 지점은 약 8이고, 100% 수행력 구간을 나타내는 perfect score index는 5이다. 순방향 숫자 확장 인지에서의 피검자의 성별에 따른 차이는 없었으며, 피검자

의 좌우측 귀의 수행력 역시 통계적으로 유의한 차이는 없었다( $p < .01$ ). 이러한 근거 자료를 기초하여 역방향 숫자 확장모델의 추가 처리과정에 대응되는  $D_{index}$  값은 8 - 6으로 약 2로 추정되었다( $p < .01$ ).

## DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

정상 청력을 가진 20대 초반의 대학생 피검자를 대상으로 선정하여, 역방향 숫자 확장(backward digit span)을 처리 능력에 대한 정상치를 구하고, 화자의 성별, 피검자의 성별, 좌우 측 귀가 어떠한 영향 주는지 분석하였다. 결과를 종합해보면, 이 그룹에서 숫자 확장 기억 수행력 50% 되는 index 지점은 약 6이고, 100%를 보이는 perfect score index는 3으로 나타났다. 이 한글 역방향 숫자 확장 처리 과정에서 피검자의 성별에 따른 청각 처리 수행력의 차이는 없었으며, 피검자의 좌우 측 귀의 수행력 역시 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다( $p > .01$ ). 본 연령대의 남녀 화자가 역방향 숫자 확장 처리 수행력에 미치는 영향도 통계적으로 유의하지는 않았다. 이러한 결과는 기존의 동일한 조건의 순방향 숫자 확장 처리의 경향과 유사하나 순방향 숫자 확장 인지 수행력의 경우에 역치 값이 약 8이고, perfect score가 5인 점에서 차이가 있었다(임덕환 & 문지연, 2011). 이 구체적인 2 index 차이를 설정된 작업 기억 모델의 추가 처리단계에 해당하는 수치로 추정하였다( $p < .01$ ).

남녀 화자 변수에 따른 역방향 숫자확장 처리 과정은 언어나 조건에서 따라서 아직 여러 논점이 진행 중인 사안이라서 확정적이지는 않지만 다른 언어로 시행된 유사한 조건의 일부 연구에서도 유의한 큰 차이는 관찰되지 않았다. Lynn & Irwing(2008)은 Wechsler digit span을 사용하여 남녀 피검자의 수행력을 검사한 경우에서 거의 차이가 나타나지 않는 사례를 보고하였다. 본 논문에서도 동일한 조건의 남녀 피검자에서 역방향 숫자 확장 수행력의 차이가 통계적으로 유의하게 나타나지는 않았다( $p > .01$ ). 기존 순방향 자료와 마찬가지로 피검자의 역방향 수행력이 50% 되는 지점은 약 6으로 다른 자료보다 높은 값을 보였다. 이 역방향 수행력에 상응한 기존의 국내 자료(권준수 외, 2002)는 약 5를 나타내고 영어권 자료(Spitz, 1978)는 약 4정도인 것을 감안하면 상당히 우수한 편이다. 이러한 차이는 본 실험 자료는 더 동질화되고 좁은 20대 초반 정상 연령대에서 기록되었고, 영어권에 비해서 사용된 한글 숫자 자극 음절이 단음절이라는 언어적 특성

등에 기인한 것으로 추정된다. 다음절 숫자가 일부 포함되는 다른 언어권 자료에 비하여 보다 높은 성적을 얻은 것은 자극 지속 시간이 짧은 단음절 숫자 자극을 사용하였기 때문이라고 볼 수가 있으며(Aaronson, 1974), 다음절 숫자에서 단어 자체의 지속시간이 길어짐에 따라 기억 수행력이 감소하는 것은 상위 영역의 정보처리과정에서 추가적인 처리능력을 필요로 하기 때문이라고 판단된다. 이러한 언어적 특성 자료에 근거하여, 역방향 숫자확장 처리에서도 추가로 한국어에 대한 자극 간 간격이나 지속시간에 대한 상세한 수행력 분석이 필요하다고 생각된다.

숫자를 이용한 순방향이나 역방향 숫자 확장은 본래 일반적인 인지 수행능력이나 지능을 평가하는 여러 도구에 포함되어 사용되기 시작하였고, 점차 여러 임상적인 분야까지 그 응용 분야가 확대되고 있다(Lezak, 1995; Martinez & Colom, 2009). 역방향 숫자 확장 기억과 관련하여서도 여러 임상적 응용 분야를 기대할 수 있다. 한 예로, 정상인과 정신분열증(Schizophrenia) 환자에게 순음과 숫자를 제시하고 기억하게 할 때 정신분열증을 선별하는데 도움이 되는 효과를 보고하였다(Javitt et al., 1997). 이러한 자료에 기초하여 역방향 숫자 확장 기억도 포함하면, 피검자의 청각 작업 기억 수행과 연관된 여러 질환을 선별하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

종합하면, 한국어 단음절 숫자 확장을 이용하여 한국어를 모국어로 하는 20대 초반 정상 성인의 청각 기억 수행력을 분석해본 결과, 수행력 역치 수준에서는 다른 언어권이나 유사 자료와 비교하여 우수한 수행력을 보이면서도 피검자나 화자의 성별, 좌우 측 편향성 등에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 단순 저장이나 아닌 추가 처리과정을 요하는 작업 처리 능력의 차이도 그 정도를 모델을 통하여 정량적으로 확인할 수 있었다. 이러한 정량화된 청각 기억 평가 수치는 순방향 및 역방향 숫자확장 처리과정 결합과 연관된 정신질환을 선별하거나 그 청각 기능을 평가하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

**중심단어 :** 역방향 숫자 확장, 청각 작업 기억, 단기 기억, 한국어 단음절 숫자

## REFERENCES

- 권준수, 류인균, 홍경수, 연병길, & 하규섭. (2002). 한국성인 기억력 평가를 위한 전산화 도구의 개발과 표준화. *신경정신과학*, 41(2), 347-358.
- 임덕환 & 문지연. (2011). 정상 한국성인의 모국어 단음절 청각

- 숫자 기억 처리에 관한 연구. *청능재활*, 7, 195-199.
- 조수진. (2012). 기억처리과정의 이해. *청능재활*, 8, 1-8.
- Aaronson, D. (1974). Stimulus factors and listening strategies in auditory memory: A theoretical analysis. *Cognitive Psychology*, 6(1), 108-132.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*, UK: Clarendon Press.
- Baddeley, A. D. (1999). *Essentials of human memory*, NY: Psychology Press.
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 829-839.
- Bancken, J. A. (1985). Clinical utility of considering digits forward and digits backward as separate components of the Wechsler adults intelligence scale-revised. *Journal of Clinical Psychology*, 41, 686-691.
- Cowan, N. (1984). On short and long auditory stores. *Psychological Bulletin*, 96(2), 341-370.
- Ferguson, A. N. & Bowey, J. A. (2005). Global processing speed as a mediator of developmental changes in children's auditory memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91, 89-112.
- Javitt, D. C., Strous, R. D., Grochowski, S., & Ritter, W. (1997). Impaired precision, but normal retention, of auditory sensory ("echoic") memory information in Schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*, 106, 315-324.
- Kyllonen, P. C. & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working memory capacity?! *Intelligence*, 14, 389-433.
- Lezak, M. D. (1995). *Neuropsychological assessment* (3rd Ed.), NY: Oxford University Press.
- Lynn, R. & Irwing, P. (2008). Sex differences in mental arithmetic, digit span, and *g* defined as working memory capacity. *Intelligence*, 36, 226-235.
- Martinez, K. & Colom, R. (2009). Working memory capacity and processing efficiency predict fluid but not crystallized and spatial intelligence: Evidence supporting the neural noise hypothesis. *Personality and Individual Differences*, 46, 281-286.
- Naveh-Benjamin, M. & Ayres, T. J. (1986). Digit span, reading rate, and linguistic relativity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38, 739-751.
- Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax, and the brain. *Nature Neuroscience*, 6(7), 674-682.
- Spitz, H. H. (1978). Note on immediate memory for digits: Invariance over the years. *Psychological Bulletin*, 78, 183-185.
- Sussman, E. S. & Gumenyuk, V. (2005). Organization of sequential sounds in auditory memory. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology*, 16, 1519-1523.
- Swanson, H. L. (1993). Individual differences in working memory: A model testing and subgroup analysis of learning-disabled and skilled readers. *Intelligence*, 17, 285-332.