

주행중인 자동차 환경에서의 음성인식 연구

A Study on Speech Recognition in a Running Automobile

양진우*, 김순협**

(Jin Woo Yang*, Soon Hyob Kim**)

요약

본 논문은 주행중인 자동차 환경에서의 음성인식에 대하여 연구하였다. 여기에서 사용한 기준패턴(reference pattern)은 DMS(Dynamic Multi-Section)이며, 인식율을 높이기 위하여 2모델을 제안하였다. 또한 가변적인 차량의 잡음환경에 강인하기 위하여 일반주행(80km/h 이내), 고속주행(80km/h 이상)등으로 나누었으며 차량의 잡음에 따라 자동으로 선택하도록 하였다. 음성의 특징 벡터와 인식 알고리즘은 PLP(Perceptual Linear Predictive) 13차와 OSDP(One-Stage Dynamic Programming)를 사용하였다. 그리고 핸드폰을 사용하는 운전자의 안전을 위하여 음성으로 전화를 걸 수 있도록하는 전화번호 등록 및 제어기능의 Voice Dialing 기능을 추가하였다.

실험결과 주행중인 자동차 환경에서 자주 사용되는 차량 편의장치 제어명령 33개에 대하여 중부, 영동 고속도로(시멘트 도로 80km/h이상)에서 남성 화자독립 89.75%의 인식율을 구하였으며, 경부고속도로(아스팔트 도로 80km/h이상)에서는 남성 화자독립 92.29%의 인식율을 구하였다.

핵심용어: DMS 모델, 음성인식, OSDP 모델, 음성다이얼링 기능

투고분야: 음성처리 분야(2.5)

ABSTRACT

In this paper, we studied design and implementation of a robust speech recognition system in noisy car environment. The reference pattern used in the system is DMS(Dynamic Multi-Section). Two separate acoustic models, which are selected automatically depending on the noisy car environment, for the speech in a car moving at below 80km/h and over 80km/h are proposed. PLP(Perceptual Linear Predictive) of order 13 is used for the feature vector and OSDP (One-Stage Dynamic Programming) is used for decoding. The system also has the function of editing the phone-book for voice dialing.

The system yields a recognition rate of 89.75% for male speakers in SI (speaker independent) mode in a car running on a cemented express way at over 80km/h with a vocabulary of 33 words. The system also yields a recognition rate of 92.29% for male speakers in SI mode in a car running on a paved express way at over 80km/h.

Key words: DMS(Dynamic Multi-Section), OSDP(One-Stage DP), Speech recognition, Voice dialing function.

I. 서론

주행중인 자동차 환경에서 음성을 이용하여 자동차의 각종 편의장치를 제어하기 위해서는 높은 인식율이 요구되며, 운전자에게 안전성 및 편리성을 제공하여야 한다. 그리고 인식률 향상을 위해서는 주행 중 가변적인 잡음환경에 강인한 VQ 알고리즘, 음성인식 알고리즘의 개발이 필수적이다. 본 논문에서는 화자적응을 위한 기준패턴에 대한 구조를 제안하였고, 이에 대한 시스템을 구성하였다.

또한 운전자가 음성으로 전화를 걸 수 있도록 하는 화자 종속용 Voice Dialing 기능도 추가하였다.

본 논문의 구성은 2장, 3장, 4장에서 시스템 개발 환경, 제안한 기준모델, Voice Dialing 기능에 대하여 설명하고, 5장에서 실험 및 고찰, 6장에서 결론을 논한다.

II. 시스템 개발 환경

그림 1.은 주행중인 자동차 환경에서의 음성인식 시스템의 구성도를 보인다. 먼저 주행중인 자동차 환경에서 사용자가 발성한 제어 명령어는 밴드패스 필터 알고리즘 [1]을 이용하여 잡음제거 처리 후 제어 명령어 즉 음성

* 순천기능대학 전자과

** 광운대학교 컴퓨터공학과

접수일자: 1999년 11월 19일

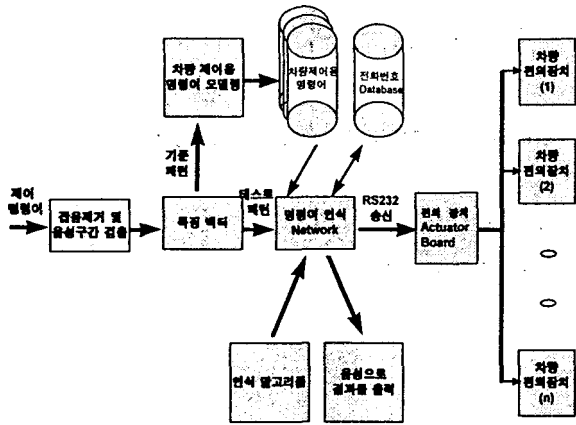


그림 1. 주행중인 자동차 환경에서의 음성인식 시스템의 구성도
 Fig. 1. Block diagram of speech recognition system in a running automobile.

구간을 검출한다. 검출한 제어명령어는 PLP(Perceptual Linear Predictive)[2]를 이용하여 특징벡터를 구하고, 기준 패턴과 테스트패턴을 비교한다. 인식 알고리즘으로는 OSDP (One- Stage Dynamic Programming)[3]를 사용하며, 인식 결과는 스피커를 통하여 음성으로 출력되고, RS232 케이블을 이용하여 편의장치 Actuator Board로 전송된다. 그리고 편의장치 Actuator Board는 전송된 결과를 이용하여 차량 편의장치를 기동한다.

III. 기준모델

3.1. DMS(Dynamic Multi-Section) 방식을 이용한 모델

VQ(Vector Quantization)[4]는 벡터의 단위로 정보를 양자화 하는 방법으로 음성인식에 적용되었을 때 인식률은 낮아지는 반면에 인식시간에서 효율적인 방법으로 알려져 있다. 그리고 VQ개념을 확장시킨 MSVQ(Multi-Section VQ)는 신호를 일정한 간격으로 나누어 구간마다 코드워드를 구해서 인식하는 방법이다[5][6]. 이 방식은 구간을 정할 때 일정한 등 간격으로 나누어서 구간을 정하므로 서로 유사하지 않은 특징 벡터들이 한 구간을 이룰 때 대표 특징 벡터가 서로 유사하지 않은 특징 벡터들 사이에서 구해지는 불합리성이 있게 된다.

이를 개선한 DMS 모델은 유사한 특징을 가지는 벡터들을 한 구간으로 만들기 위하여, 구간을 동적으로 분할하여 특징벡터를 구함으로써 짧게 발음되는 특성까지도 대표 특징 벡터로 선택될 수 있고 지속 시간 정보도 갖도록 하는 장점을 가진 모델이다[7]. 즉, 단어 패턴의 연속된 대표값(지속시간 정보와 대표특징 벡터)을 사용하여 음성인식을 수행함으로써 파일음이나 파찰음 등과 같은 짧은 음소의 특징벡터도 동등한 비중을 가질 수 있도록

구간을 동적으로 나누어 준다는 점에서 DMS 모델이라 한다. DMS 모델은 구간을 단어의 특성에 따라 동적구간으로 나누고, 이 동적구간이 각 구간의 대표 특징 벡터와 지속시간 정보를 가지도록 만들어야 한다[7].

3.2. 제안한 기준모델

음성모델은 인식하고자 하는 어휘들간의 변별력이 크도록 구성되어야 하며, 이 변별력은 음성인식 시스템의 동작환경, 잡음환경, 화자의 발음 습관의 변화에도 유지되어야 한다. 그리고 시스템이 가변적인 동작환경에 강인하기 위해서는 음성모델 구성을 위한 음성의 취득환경, 언어정보를 특징짓는 특징치의 선택이 중요하다. 예를 들어 실험실 환경의 깨끗한 음성으로 구성된 음성모델은 100km/h의 주행환경에서는 낮은 인식률을 보이게 된다. 또한 모델구성에 참여하는 화자의 발음 횟수가 증가할수록 발성습관의 변화에 대해서는 강인하겠지만 어휘간의 변별력은 감소시킬 수 있다. 결국 음성모델을 구성하는데 있어서 잡음요소를 첨가함으로써 잡음에 대한 강인성을 높일 수 있으며, 화자의 발음횟수를 적절히 선택함으로써 화자의 발성 습관의 변화에 대처할 수 있다.

기존의 일반적인 모델 구성은 잡음제거 후 clean speech로 학습시켜 기준모델을 만드는 방법[8]과 잡음에 적응학습(adaptive learning)을 적용해 기준모델을 만드는 방법[9]이 있다. 본 논문에서 제안한 기준모델은 자동차 주행잡음인 가변잡음에 강인하기 위하여 여러 개의 기준모델을 만들었고 각각의 기준모델은 잡음환경에 따라 자동으로 선택하도록 하였다. 그리고 비슷한 어휘들간-예를 들면 비상등 켜, 비상등 꺼, 실내등 켜, 실내등 꺼 등에 변별력을 크도록 하기 위하여 그림 2처럼 2개의 모델 A, B로 나누었다. 기준모델 A, B는 각각 idle상태에서 취득한 데이터로 구성된 저속환경에서의 기준모델, idle상태와 40km에서 주행중인 차량에서 취득한 데이터로 구성된 아스팔트 고속환경에서의 기준모델, 그리고 40km에서 주행중인 차량에서 취득한 데이터로 구성된 시멘트 고속환경에서의 기준모델로 이루어졌다.

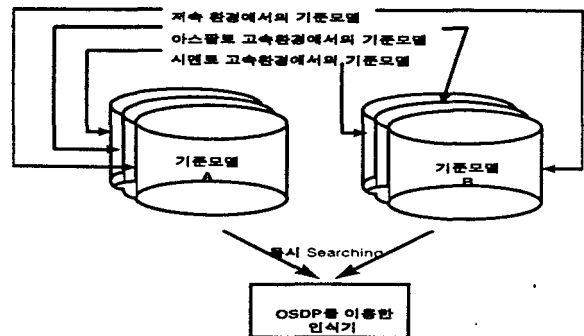


그림 2. 제안한 잡음환경에서의 기준 모델 구조
 Fig. 2. Proposed reference patterns in a noisy car environment.

IV. Voice Dialing 기능

주행중인 자동차 환경에서의 카폰, 핸드폰 사용이 증가하면서, 이들의 조작에 따른 운전자의 집중도 감소로 인하여 교통사고의 위험성이 높아지고 있다. 본 논문은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 음성으로 전화를 걸 수 있도록 하는 화자중속용 전화번호 등록 및 제어기능을 구현하였다.

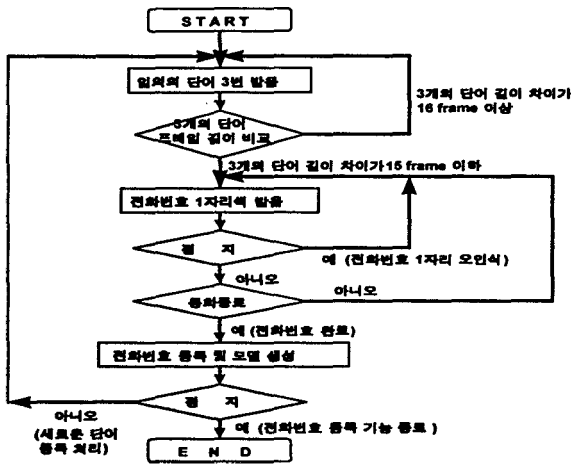


그림 3. 전화번호 등록 흐름도
Fig. 3. Flowchart of phone number registration.

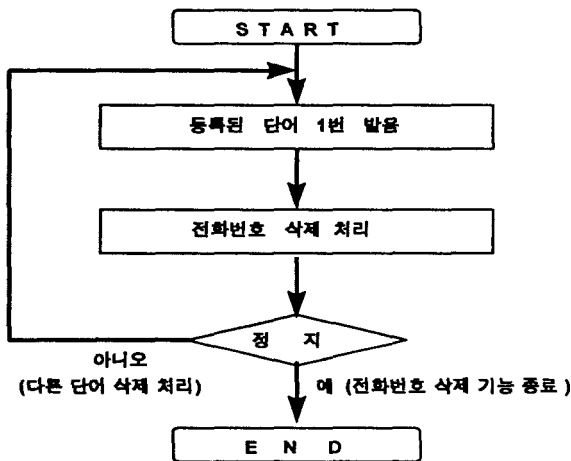


그림 4. 전화번호 삭제 흐름도
Fig. 4. Flowchart of phone number deletion.

전화번호를 등록하는 기능은 등록하고 싶은 임의의 단어를 등록하는 기능으로 그림3의 흐름도와 같다. 전화번호부에 등록하고 싶은 임의의 단어를 3번 발음한 후, 전화번호를 한자리씩 발음한다. 이 때 오인식된 단어는 '정지'를 발음함으로써 다시 발음할 수 있고, 전화번호를 모두 발음하였으면 '통화종료'를 발음하여 전화번호를 모두 발음하였음을 알린다. 또한 전화번호 등록 및 모델 생성

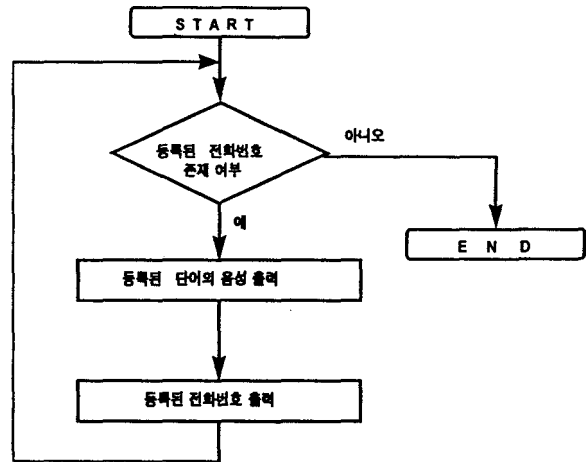


그림 5. 등록된 전화번호 리스트의 출력 흐름도
Fig. 5. Output flowchart of registered phone number.

이후에 또 다른 전화번호를 입력할 때 계속해서 등록할 수 있다. 여기에서 '정지'와 '통화종료'를 사용하는 것은 기준모델에 참여한 단어를 사용하기 위한 것이며, 이 단어들이 이 환경에 적절하기 때문이다. 이 기능을 이용하여 '우리 집', '학교', '회사', '연구실' 등 다양한 전화번호를 등록할 수 있다. 그리고 그림 4는 전화번호를 삭제할 수 있는 삭제기능으로 등록된 전화번호를 연속해서 삭제할 수 있으며, 삭제 처리를 종료하고 싶을 때 '정지'를 발음하게 되면 삭제기능을 종료한다. 그림 5는 등록된 전화번호 리스트 출력기능의 흐름도이며, 이 기능은 등록되어 있는 모든 전화번호를 사용자에게 음성을 통하여 출력함으로써 사용자가 전화번호 등록 및 삭제, 그리고 전화통화 등을 편하게 할 수 있도록 도움을 주는 기능이다.

V. 실험 및 고찰

5.1. 실험 환경 및 기준모델 선정

본 논문에서 구현한 시스템의 음성 입력은 핀-타입 전방향성 콘덴서 마이크를 통해 이루어지며, 11.025kHz 샘플링 주파수로 이산화 되어 16bits로 양자화된다. 이 과정은 일반적인 PC용 사운드카드를 통해서 이루어지며, 음성취득 및 실험은 일반 국도, 시내도로 그리고 고속도로에서 이루어졌다. 그리고 인식실험에 사용된 차량은 기아 자동차의 포텐샤이다. 본 논문에서 사용한 인식단어 수는 표1.과 같이 차량을 제어하기 위한 22개의 고립단어와, 전화번호 등록 및 제어기능을 위한 숫자음 고립단어 11개로 구성한다.

표 2는 그림 2 제안한 잠음환경에서의 기준모델의 저속(80km/h 이내) 주행중인 차량환경에 강인한 모델을 선정하기 위하여 20, 30, 40대 남자 화자 6명의 Idle 상태와 40km/h 주행상태에서 취득한 데이터를 이용하여 모델을 생성한 것이고, 표 3은 표 2에 대한 30~80km/h의 데이터 1287개(33단어를 39회 발음)를 사용하여 화자중속 실험을

한 결과이다. PLP의 1프레임의 길이는 23.2ms이며, 프레임과 프레임은 11.6ms씩 겹치도록 하였고, 차수는 13차이다. 그리고 표 2의 Section은 DMS를 이용하여 모델을 생성할 때의 얼마의 Section으로 나누었는지를 의미한다.

표 1. 차량 편의장치 제어용 데이터베이스
Table 1. Database for control of automobile convenience equipment.

1. 비상등 켜	2. 비상등 꺼	3. 실내등 켜	4. 실내등 꺼
5. 오디오 켜	6. 오디오 꺼	7. 소리 크게	8. 소리 작게
9. 다음 채널	10. 이전 채널	11. 라디오 스캔	12. 정지
13. 에어컨 켜	14. 에어컨 꺼	15. 히터 켜	16. 히터 꺼
17. 온도 올려	18. 온도 내려	19. 창문 올려	20. 창문 내려
21. 통화 시작	22. 통화 종료	23. 일(1)	24. 이(2)
25. 삼(3)	26. 사(4)	27. 오(5)	28. 육(6)
29. 칠(7)	30. 팔(8)	31. 구(9)	32. 영(0)
33. 공(0)			

표 2. 저속 주행중인 차량의 모델 구성
Table 2. Model structures in a low-speed automobile.

모델		차속도						
		1	2	3	4	5	6	7
Idle	발음	2	2	2	2	3	2	3
40km/h	횟수	0	2	1	2	0	0	0
Section		15	15	15	20	15	20	20

표 3. 표 2의 1모델과 2모델에 대한 인식율
Table 3. Recognition rate of the one-model and two-model in table 2.

모델	1	2	3	4	5	6	7
1모델 인식율	93.94	92.39	95.10	93.32	93.94	94.79	95.57
2모델 인식율	94.47	93.32	95.10	93.53	94.51	95.02	95.72

표 2와 3에서 볼 수 있듯이 저속환경에서의 인식율은 idle 상태로 구성된 모델(표 2의 7번 모델)의 인식율이 다른 모델보다 높다는 것을 확인할 수 있다.

표 4. 고속 주행중인 차량의 모델 구성
Table 4. Model structure in a high-speed automobile.

모델		차속도									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Idle	발음	2	1	2	3	1	3	3	3	0	0
40km/h	횟수	2	3	3	3	2	2	1	0	3	2

표 4는 그림 2 제안한 잠음환경에서의 기준모델의 고속 주행중인 차량환경에서 잠음에 강한 모델을 선정하기 위하여 20, 30, 40대 남자 화자 6명의 Idle 상태와 40km/h 주행상태에서 취득한 데이터를 이용하여 모델을 생성한 것이며, 그림 6은 이에 대한 인식율을 보이고 있다. 저속 주행중인 차량 환경에서는 idle 상태에서 취득한

데이터로 구성된 모델의 인식률이 높았으나, 고속 주행중인 자동차 환경에서는 40km/h 주행중인 차량에서 취득한 데이터(모델 9) 또는 idle 상태와 40km/h에서 취득한 데이터로 구성된 모델(모델 2)의 인식률이 높았다. 이 실험은 똑같은 환경 하에서 실험한 오프 라인 결과이며, 화자 수 및 인식실험에 참여한 단어 수는 다음과 같다.

- ① 화자독립용 중부 고속도로 : 화자 수 3명, 462단어 (14회 반복)
- ② 화자독립용 경부 고속도로 : 화자 수 3명, 462단어 (14회 반복)
- ③ 화자종속용 경부 고속도로 : 화자 수 1명, 198단어 (6회 반복)

본 논문에서 제안한 그림 2 2개의 모델 A, B를 증명하기 위하여 2개의 모델을 생성한 후 표 4의 환경과 같은 실험을 하였다. 그림 6은 표 4의 모델종류에 대하여 1모델과 2모델에 대한 인식률 결과를 겪으신 그래프로 표시한 것으로 중부, 경부는 중부 고속도로와 경부 고속도로를, 독립, 종속은 화자독립, 화자종속을 의미한다. 그리고 2M, 1M은 1모델과 2모델에 대한 것을 나타낸다. 이 결과 1모델을 이용하는 것 보다, 2모델을 이용하는 것이 인식률이 높았으나, 2개의 모델을 사용하므로 인식시간이 0.3초 더 걸렸다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 경부 고속도로의 인식률이 중부 고속도로보다 높게 인식율이 나온 것은 시멘트 도로의 차량 바퀴와 노면사이 잡음이 아스팔트 도로 잡음보다 심하기 때문으로 분석된다.

표 5. 그림 6의 실험 결과 분석 (2모델 사용)
Table 5. Analysis of experimental results in Fig. 6(using two-model).

모델	모델 2의 오인식 단어수	모델 8의 오인식 단어수	모델 9의 오인식 단어수
중부 (화자독립)	88(24)	109(38)	81(19)
경부 (화자독립)	65(5)	86(20)	69(7)
경부 (화자종속)	13(6)	28(13)	15(6)

() : 비슷한 단어의 오인식 단어 수

표 5는 그림 6의 모델 2, 8, 9에 대한 오인식 단어들에 대한 분석결과이다. 괄호안에 있는 숫자는 비슷한 단어에서 오인식 된 단어-예를 들면 '비상등 켜'가 '비상등 꺼'로 '창문 올려'가 '창문 내려'로 그리고 '소리 크게'가 '소리 작게' 등으로 오인식 되는 경우-수를 나타낸 것이다. 모델 8의 경우 켜, 꺼, 올려, 내려, 크게, 작게와 같은 비슷한 단어들에 대한 오인식이 모델 2나 모델 9보다 많았다. 이는 가변으로 변하는 차량환경의 잠음과 같은 환경에서는 1개의 환경에 맞는 모델을 사용하는 것보다 어휘간의 변별력이 높고 잠음에 대한 강인성을 높이기

위하여 적당한 잡음요소를 첨가하여 잡음환경에 나누어 그림 2.처럼 모델을 구성하는 것이 인식을 향상에 도움이 되는 것으로 분석된다.

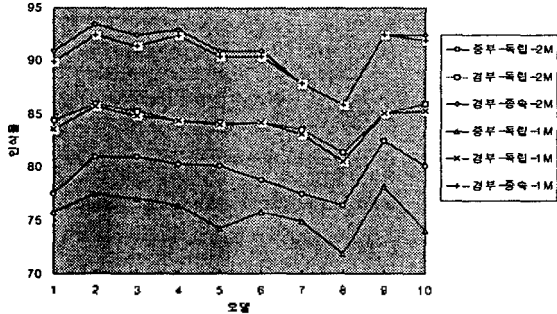


그림 6. 1모델과 2모델의 인식을 비교
Fig. 6. A Comparison one-model recognition rate with two-model recognition rate.

5.2. 실시간 인식실험

본 논문에서는, 주행중인 차량 환경에서의 실시간 인식실험을 하기 위하여, 오프라인 실험을 통하여 다음과 같은 환경을 설정하였다.

- 1) 특징 파라미터 및 VQ : PLP 13차, DMS
- 2) 기준 모델에 참여한 화자 : 남성 20대화자 2인, 30대화자 3인, 40대화자 1인, 총 6명
- 3) 모델수 : 2 (그림 2.처럼 2개의 모델을 동시에 searching)
- 4) 모델 구성 및 구분 방법
 - ① 저속환경 : 표 2.의 모델 7
 - ② 아스팔트 도로의 고속환경 : 표 4.의 모델 2
 - ③ 시멘트 도로의 고속환경 : 표 4.의 모델 9
 - ④ 모델 구분 방법 : 잡음 에너지 값
- 5) 실시간 인식실험에 참여한 화자 : 남성 화자독립 14명, 화자중속 2명

표 6. 아스팔트 도로에서의 고속주행 남성 인식율
Table 6. Male recognition rate in a high-speed on the paved road.

화자	1	2	3	4	5	6	계	인식률
화자독립 A	93.94	96.97	93.94				94/99	92.29 (335 / 363)
	75-95km	85-95	90-95					
	93.94	96.97	93.94	96.97	96.97		158/165	
화자독립 B	60-110km	100-110	95-110	100-105	90-100			
	84.85	81.82	84.85				83/99	
화자독립 C	80-105km	90-100	80-105					
	84.85	90.91	93.94				89/99	
화자중속 G	85-110km	95-110	95-100					
	90.91	93.94	93.94				94/99	
화자중속 H	80-95km	70-80	75-105					
	90.91	93.94	93.94				94/99	

실험 환경을 설계, 구현한 후 실제 주행중인 기아자동차 포텐샤 환경에서 인식실험을 하였다. 인식실험은 인식실험 대상 화자가 조수석에 승차하여 무릎 위에 노트 북 PC를 위치시켰고, 마이크는 화자와 약 30cm 떨어진 모니터 상단에 고정시켰다. 30-80km/h로 주행중인 차량환경에서 화자독립 92.89% (6명 화자, 759단어), 화자중속 94.44% (6명 화자, 990단어)의 인식률을 보였다.

표 6., 7.은 고속 주행환경에서의 남성 인식률을 보이고 있으며, 표 8.은 소형차(아반떼, 70- 100km/h 주행) 차량에서 실험한 결과를 보이고 있다. 특히 본 논문에서 구현한 시스템은 고속도로 100km/h에서도 인식률이 90% 이상을 보였다. 그리고 주행중인 차량환경에 강인함을 보였으며, 주행중인 차량 환경에서의 인식률이 오프라인 인식률 보다 높은 이유는 실제 차량이 시멘트 도로를 고속 주행하고 있다 하더라도, 저속환경과 아스팔트 고속 주행환경과 같은 잡음이 존재할 수 있고, 저속 주행상태에서도 고속 주행과 같은 잡음이 발생할 수 있기 때문이다.

표 7. 시멘트 도로에서의 고속주행 남성 인식율
Table 7. Male recognition rate in a high-speed on the cemented road.

화자	1	2	3	4	5	6	계	인식률
화자독립 A	93.94	93.94	96.97				94/99	89.75 (1007 / 1122)
	80-90km	80-90	75-85					
	93.94	93.94	90.91	96.97	96.97	96.97	188/198	
화자독립 B	70-100km	85-100	70-85	80-110	70-100	95-105		
	90.91	84.85	87.88	90.91	87.88	84.85	262/297	
화자독립 C	60-80km	80-100	90-100	75-90	85-100	60-90		
	87.88	87.88	90.91					
화자독립 D	70-90km	70-90	70-90					
	90.91	90.91	90.91	90.91	87.88	90.91	179/198	
화자독립 E	70-100km	80-100	80-90	85-105	70-90	80-90		
	90.91	84.85	93.94	90.91	87.88		148/165	
화자독립 F	80-90km	80-85	80-85	90-105	80-105			
	84.85	81.82	81.82	78.79	84.85		136/165	
화자중속 G	70-90km	80-90	80-85	70-80	70-90			
	78.79	90.91	87.88	90.91	84.85	87.88	235/264	
화자중속 H	80-100km	80-80	80-100	70-100	80-100	85-105		
	96.97	93.94					90.08 (327 / 363)	
화자중속 I	80-100km	80-100						
	90.91	93.94	93.94				92/99	

표 8. 소형차의 아스팔트 도로에서의 고속주행 남성 인식율
Table 8. Male recognition rate in a high-speed small car the paved road.

화자	1	2	3	4	5	6	인식률
화자독립 I	87.88	93.94	87.88	90.91			88.26
화자독립 J	93.94	90.91	78.79	81.82			
화자중속 G	90.91	90.91	90.91	93.94	93.94	87.88	

VI. 결 론

본 논문은 주행중인 자동차 환경에서의 음성인식 설계 및 구현에 대하여 연구하였다. 여기에서 사용한 기준패턴은 DMS로 화자의 변별력을 높이기 위하여 2모델을 구성하였다. 그리고 잡음환경에 강인성을 갖도록 하기 위하여 idle 상태에서 취득한 데이터와 40km/h 이내로 주행중인 차량에서 취득한 데이터를 적절하게 사용하여 모델을 구성하여, 오프 라인 실험 결과를 바탕으로 기준모델을 결정하였다. 실험결과 중부, 영동 고속도로에서 남성 화자독립 89.75%, 화자종속 90.08%의 인식율을 구하였으며, 경부 고속도로에서는 남성 화자독립 92.29%, 화자종속 92.42%의 인식율을 구하였다. 그리고 저속 주행중인 자동차 환경에서는 남성 화자독립 92.89%, 화자종속 94.44%의 인식율을 구하였다. 추후 연구과제는 임의의 단어가 입력되었을 때 리젝션 할 수 있는 기능을 추가해야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 1999년도 광주대학교 학술 연구비 지원에 의하여 이루어진 것입니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 유봉근, 이경기, 김순협, 박찬석, 이순재, "주행중인 자동차 환경에서의 고립단어 음성인식 연구," 1998년도 한국음향학회 학술발표대회 논문집 제17권 제 2(s)호, pp. 381~384, 1998. 11
2. H. Hermansky, "Perceptual Linear Predictive (PLP) Analysis of Speech," *J. Acoust. Soc. Am.* 87(4), pp. 1738~1752, April 1990.
3. Hermann Ney, "The Use of a One-Stage Dynamic Programming Algorithm for Connected Word Recognition," *IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-32, no.2, pp. 263~271, April 1984.
4. R. M. Gray, "Vector Quantization," *IEEE ASSP Magazine*, Vol.1, pp. 4 ~ 29, Apr., 1984.
5. 안태욱 외, "개선된 MSVQ 인식 시스템을 이용한 단독어 인식에 관한 연구," 한국 통신 학회, 제16권 제2호, pp. 1 ~ 10, 1991. 3.
6. 안태욱, "Fuzzy와 MSVQ에 기초를 둔 MSHMM을 이용한 음성인식에 관한 연구", 박사학위 논문, 광주대학교, 1991. 12
7. 변용규, "DMS 모델을 이용한 단독어 인식에 관한 연구," 박사학위 논문, 광주대학교, 1990. 12.

▲ 양 진 우(Yang Jin Woo)

한국음향학회지 제15권 3호 참조

▲ 김 순 협(Kim Soon Hyob)

한국음향학회지 제10권 1호 참조