

청각장애 진단을 위한 의사결정 지원체계 개발에 관한 연구

연세대학교 의과대학 예방의학교실

채 영 문

연세대학교 의과대학 이비인후과교실

박 인 용 · 정 승 규 · 장 태 영

= Abstract =

A Clinical Decision Support System for Diagnosis of Hearing Loss

Young Moon Chae

*Department of Preventive Medicine and Public Health,
Yonsei University College of Medicine*

In Yong Park, Seung Kyu Jung, Tae Young Chang

*Department of otolaryngology,
Yonsei University College of Medicine*

A decision support system (DSS) was developed to support doctor's decision-making in diagnosing hearing loss. The final diagnosis encompassed 41 diseases with the problem of hearing loss. The system was developed by integrating model-oriented DSS technique and artificial intelligence technology. The system can be used as both diagnosis tool and teaching tool for medical students. Furthermore, the AI technology obtained from this study may also be used in developing DSS for hospital management.

I. 서 론

컴퓨터는 현재 병원에서 여러 부문에 널리 사용되고 있는데 이를 총괄적으로 병원정보체계(hospital information system, HIS)라 하며 응용분야와 성격에 의해 크게 업무처리체계(transaction processing system, TPS)와 의사결정지원체계(decision support system, DSS)로 구분한다. TPS가 다루는 대상은 의료보험청구나 인사급여 등 종래에 기계적으로 수작업 처리하던 것을 업무의 효율성을 높이기 위하여 전산화한 것으로 현재 우리나라

병원에서 쓰이고 있는 대부분의 전산체계가 이 부류에 속한다. DSS는 TPS와 대조적으로 단순업무처리 보다는 경영정보(예를들면 원가분석 결과나 손익분기점 등)를 제공하여 경영진의 의사결정을 돕는 시스템이다.

TPS는 수작업으로 인한 오류감소나 신속한 업무처리로 병원운영에 기여한 바가 컸으나, 날로 병원경영이 어려워지고 복잡해 짐에 따라 전략적이고 합리적인 경영방식이 요구되고 또한 DSS의 필요성 역시 증가하게 되었다. 그동안 DSS는 병상계획(Hancock 등, 1978; 김문식 등, 1987), 재무계획(Hatcher 등, 1984; Chae 등, 1985), 양질의 의료관리(Chae, 1985), 약품재고관리(채영문 등,

* 이 연구의 일부는 1986년도 연세대학교 의과대학 교수 연구비에 의해 이루어졌음.

1985), 외래환자관리(Katz, 1969; 전기홍과 채영문, 1986) 등 병원관리의 문제를 대상으로 주로 개발되어 왔다.

임상분야에서도 역시 진단에 관한 의사결정을 돕기 위한 시스템이 개발되고 있는데 이중에서 가장 대표적인 예가 70년대에 개발된 MYCIN(Buchanan과 Shortliffe, 1984)이다. 이는 뇌막염의 진단 및 치료에 대한 항생제의 처방을 결정하는 시스템이다. 이외에도 내과질환의 진단을 위한 CADUCEUS(Pople, 1982)와 이의 후속인 INTERNIST-1(Miller 등, 1982), Hodgkin's와 Non-Hodgkin's lymphoma 환자의 진단과 치료를 위한 ONCOCIN(Shortliffe, 1981) 등이 있다. 국내에서도 이 분야의 연구가 시작되고 있는데 아직 초창기로 한의 내과질환을 위한 OSD(김광중, 1988)과 신장질환 진단을 위한 RDS(김은경과 김기태, 1988)가 소개되어 있다.

이러한 진단시스템의 대부분은 인간의 지능을 컴퓨터로 실현시키고자 하는 인공지능(Artificial intelligence, AI) 분야의 이론과 기술로 의사의 전문지식을 표현하기 때문에 전문가 시스템(expert system, ES)이라고도 한다. ES와 DSS는 의사결정을 지원하는 컴퓨터 시스템이라는 공통점을 갖고 있으나 대상되는 문제나 접근방법에 있어 차이가 있다. 즉 ES는 문제의 범위가 넓지는 않으나 비교적 구조적인 문제를 대상으로 전문가의 지식을 시스템내에 저장하였다가 심볼이나 규칙등을 이용하여 문제를 해결하고 구체적인 답을 제시하는 반면에, DSS는 범위가 넓고 비구조적인 문제를 대상으로 모델이나 알고리즘을 이용하여 문제해결에 도움이 될 만한 정보를 제공하여 사용자의 의사결정을 지원한다.

그러나 만일 이 두 시스템이 결합할 수 있다면 각각의 제한점을 상호 보완할 수 있어 서로의 의사결정지원 지능을 향상시킬 수 있을 것이다. DSS의 경우 종전에는 병상정책이나 재무정책의 여러 대안별 시뮬레이션 결과만

제공하던 것을 ES의 지식표현 및 추론기술 도입으로 이 결과에 병원관리의 전문지식을 적용하여 구체적인 대안을 제안할 수 있게 될 것이며, 또한 ES도 DSS의 모델링 기법과 자료처리 방법의 도입으로 문제범위가 넓어지고 추론능력이 향상될 수 있을 것이다. Luconi 등(1986)은 이렇게 결합된 시스템을 ESS(expert support system) 또는 IDSS(intelligent decision support system)라고 이름지었는데 이 분야의 연구는 아직 개념정립 단계에 있다. 따라서 이 연구는 ES와 DSS를 결합하여 내용이 비교적 단순한 청각장애를 대상으로 이러한 분야의 모델시스템을 개발하는데 그 목적이 있다. 이 연구에서 얻은 경험으로 그동안 개발되어온 병원관리의 여러 DSS에 적용되어 이들의 기능을 향상시키는 데 사용될 수 있을 것이다.

II. 연구방법

청각장애 진단을 위한 DSS는 그림1에 있는 바와 같이 Waterman(1986)이 제시한 다섯 단계의 개발틀에 의해 개발되었다.

1단계 : 문제설정(identification)

DSS는 이비인후과 질환 중 난청을 호소하는 41가지의 질환을 대상으로 하였다. 41가지의 난청질환 중 전음성 난청(conductive hearing loss)은 26개이고 감음 신경성 난청(sensorineural hearing loss)는 15개이다. 이 질환을 택한 이유는 진단의 지식 수준이 낮은 부분에서부터 높은 부분까지 다양하게 요구되어 기초단계의 모델로 적합하기 때문이다. 이 문제의 특성과 필요자료가 표1에 기술되어 있다.

그림1. 청각장애 진단을 위한 DSS 개발단계

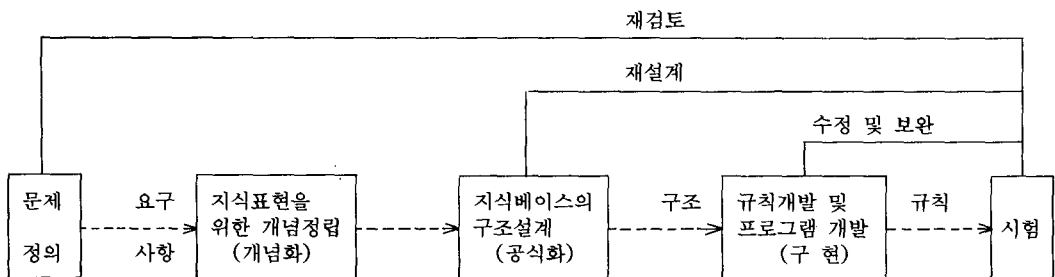


표1. 문제의 기술

구분	기술
주 문제	환자의 정보에 따라 어느 특정 질병일 확률 결정
하위문제	<ul style="list-style-type: none"> 질명에 이르는 규칙결정 증상이나 가족력 등 정보별 가중치 결정 지식표현에 합당한 소프트웨어 개발
문제의 특성	<ul style="list-style-type: none"> 질병의 예외사항이 많아 규칙이 복잡 진단에 필요한 자료가 불확실 정보별 가중치의 주관성
필요자료	<ul style="list-style-type: none"> 환자의 기본정보(성별, 연령) 가족력 증상 이학적 소견

2단계 : 개념화(conceptualization)

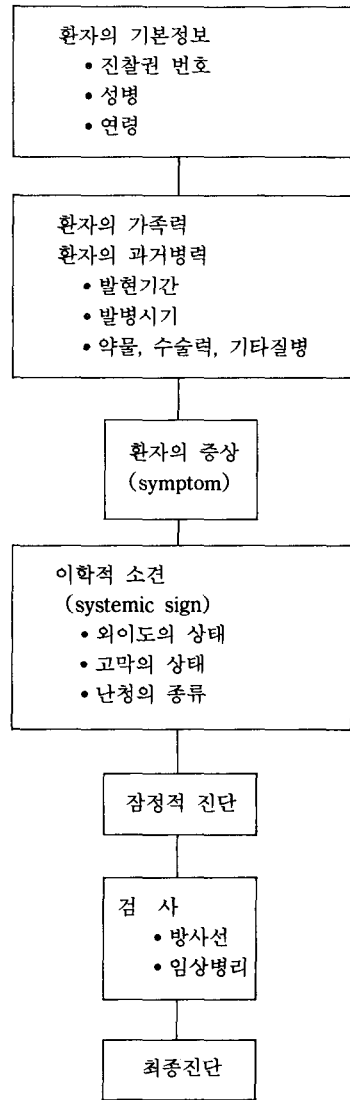
이 단계는 지식습득 단계라고도 하며 개념적인 모델을 구성할 수 있도록 하기 위하여 적절한 형태로 전문지식을 습득하고 표현한다. 이 연구에서는 여기서 진단과정을 분석하고 과정별로 전문지식을 습득한다(그림2).

3단계 : 공식화(formalization)

이 단계는 표현화 단계라고도 하는데 여기서 개념적인 모델을 구현하기 위한 시스템 설계를 한다. 일반적으로 진단용 전문가 시스템은 이 단계에서 전문지식을 저장하는 지식 베이스(knowledge base)와 지식을 어떻게 선택하고 어떠한 방법으로 문제에 적용시키는가를 결정하는 추론엔진(inference engine)을 결정한다. 그러나 종래의 지식베이스 구축방법은 규칙(rule)이나 논리적 방법을 사용하므로 지식을 표현하는데 있어 진단과정에서 예외사항을 잘 표현한다는 이점은 있으나, 진단에 필요한 자료를 저장하는 데는 문제가 있었다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위하여 규칙처리 방식을 이용한 전문가 시스템의 개발방법과 데이터베이스 방식을 이용한 DSS 개발 방법을 결합하여 시스템을 설계하였다.

그림 3에 있는 바와 같이 청각장애 DSS는 크게 네 부분으로 구성되어 있다.

그림2. 진단과정



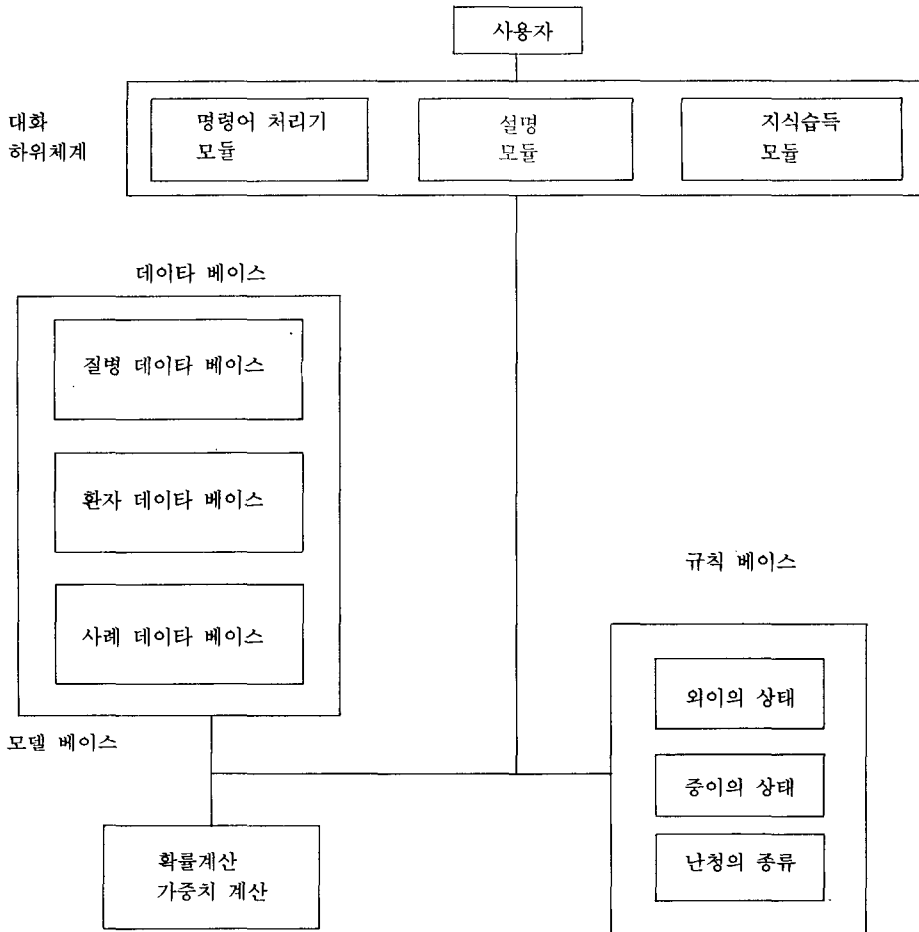
1. 대화 하위체계

이 부분은 사용자와 시스템을 연결시켜주는 역할을 한다. 이를 통하여 필요한 자료의 입·출력이 행해지면 세 개의 모듈로 구성되어 있다.

1) 명령어 처리기 모듈

이 모듈은 데이터 베이스, 모델 베이스, 그리고 규칙베이스에 저장되어 있는 자료나 규칙을 사용하는 데 필요한 모든 명령어를 제어한다.

그림 3. 청각장애 진단 DSS의 시스템 구성도



2) 설명 모듈

이 모듈은 추론결과에 대한 설명을 하는 부분으로 진단과정 중에 “how”나 “why”라는 명령어를 사용하여 질문에 관한 설명을 한다.

3) 습득모듈

이 모듈은 새로운 진단 지식을 받아들이고 수정하며 데이터 베이스에 있는 자료와의 일치성을 검사한다.

2. 데이터 베이스

이 부분은 진단에 필요한 여러 종류의 자료를 저장하고 관리한다.

1) 질병 데이터 베이스

이 부분은 환자의 증상, 발현기관, 발병시기, 가족력, 질병력 등 주로 질병에 관한 자료를 저장한다.

2) 환자 데이터 베이스

이 부분은 환자의 진찰권 번호, 성명, 성별, 연령 등 환자의 기본 인적사항을 저장한다.

3) 사례 데이터 베이스

이부분은 진단이나 치료에 도움이 될 만한 주요사례나 참고문헌을 수록한다.

3. 모델 베이스

이 부분은 진단에 영향을 미치는 요인들의 가중치를 계산하고 이에 따라 진단명의 확률을 계산한다. 여기서 고려된 요인은 주소(chief complaint), 증상, 발현기간, 과거병력, 가족력, 고막의 상태, 외이의 상태, 그리고 난청의 종류이다. 각 요인별 가중치 계산에는 다음과 같은 Bayes의 조건 확률을 이용하였다.

$$P(D_j | E_i) = \frac{P(D_j) P(E_i | D_j)}{P(E_i)}$$

$$\text{또는} = \frac{P(D_j) P(E_i | D_j)}{\sum_{k=1}^{41} P(D_k) P(E_i | D_k)}$$

여기서 D_j : 질병 j , $j=1, \dots, 41$

E_i : 진단에 영향을 미치는 요인 i , $i=1, \dots, 8$

$P(D_j | E_i)$: 요인이 E_i 일 때 질병이 D_j 일 조건 확률
(예를 들면 주소가 Earfulness일 때 질병이 acute otitis media일 조건확률)

위의 공식에서 가중치 $P(D_j | E_j)$ 계산에 필요한 확률은 확실한 정도에 따라 0.1미만, 0.1-0.25미만, 0.25-0.5미만, 0.5-0.75미만, 0.75-0.9미만, 0.9이상의 6등급으로 구분하고 각각의 값은 전문가들의 주관에 의해 정해졌다.

4. 규칙 베이스

이 부분은 판별적 지식을 표현하는 규칙을 관리하는데, 규칙의 형태는 다음과 같다.

IF(조건부) - THEN(결론부) WITH CF(신뢰계수)

즉, 규칙은 조건부, 결론부 그리고 신뢰계수로 이루어져 있다. 조건부에서는 규칙이 적용되기 위해 만족되어야 할 조건들을 나열하고 결론부에서 조건이 만족되었을 때 수행할 내용들을 나타낸다. 또한 규칙의 신뢰도나 확실성을 나타내기 위해 0부터 1사이의 신뢰계수(confidence factor, CF)를 사용한다. 규칙은 신뢰계수로 표시되는 사용자의 확신 정도에 따라 세가지 유형으로 구분된다.

1) 확정된 규칙(definite rule 또는 D-rule)

조건부가 모두 만족되면 다른 질병을 의심하지 않고 결론부의 질병을 선택하는 경우의 규칙이다. 예를 들면, 다음과 같은 규칙에서 조건부를 만족하면 Acute salpingitis로 규정할 수 있다.

IF drum finding is retraction
OR drum finding is visible fluid level
AND age > 15
AND duration < 1 month
THEN Acute salpingitis

2) 가능성이 높은 규칙(strongly suspect rule 또는 SS-rule)

조건부가 모두 만족되고 결론부의 질병이 가능성 높은 질병일 경우 적용되는 규칙으로 다른 질병일 가능성도 배제하지 않는다. 이때에 CF로 결론부의 질병일 확률을 표시한다.

3) 가능성이 낮은 규칙(weakly suspect rule 또는 WS-rule)

조건부가 모두 만족되어도 결론부의 질병일 가능성이 낮을 경우 적용되는 규칙이다.

4단계 : 구현단계

이 단계에서는 설계된 시스템의 각 모듈을 컴퓨터에서 실행될 수 있도록 프로그램 작성한다. 앞에서 언급한 바와 같이 청각장애진단 시스템은 DSS부분과 ES부분으로 구성되어 있는데 DSS 부분인 데이터 베이스와 모델베이스 구축에는 파스칼(Pascal)과 PC용 패키지인 DBASE III를 사용하였고 ES부분의 규칙베이스 구축에는 ES개발 도구인 Insight 2를 택하였다. 이때에 각 언어들 간의 연결은 모수교환(parameter passing) 방식으로 하였다.

Insight 2는 사실(fact)을 속성-값의 짝(attribute-value pairs)이나 대상-속성-값(object-attribute-value-triplet)으로 표현한다. 이 도구의 기본 단위는 if-then 규칙과 목표 윤곽(goal outline)이며, 목표 윤곽은 계층적으로 구성하고 목표를 만족할 수 있도록 후향 추론(backward chaining)을 사용한다. Insight 2는 추론엔진을 따로 구축할 필요가 없이 시스템을 간단히 구현할 수 있다는 이점이 있다.

이러한 시스템의 개발방법에는 개발단계에 따라 순차적으로 개발하는 시스템개발 수명주기(system development life cycle, SDLC)방법과 반복적으로 개발하는 원형개발(prototyping) 방법이 있는데 처음 개발하는 다소 복잡한 시스템개발에 효과적인 원형개발 방법을 택하였다.

5단계 : 시험(testing)

이 단계에서는 구현된 시스템을 이용하여 여러 경우의 환자사례를 시험함으로써 시스템의 성능을 평가하고 오류를 수정한다.

III. 결 과

청각장애 진단 DSS는 하드웨어로 IBM-PC/AT를 사용하여 개발하였다. 시스템의 구현 결과는 그림4에 있는 진단화면과 같다. 이 화면에는 가능한 진단명의 확률이 높은 순으로부터 나열되어 있고 그 아래 부분에는 진단에

그림 4. 진단화면

Tentative Diagnosis

 1 : Acute otitis media : 84%
 2 : Chronic otitis media : 59%
 3 : Aerotitis : 54%
 4 : External otitis : 52%
 5 : Traumatic drum perforation : 45%

 Do you want to see the information about disease?
 (yes : y) y
 Enter Disease Number : 1
 ** Disease : Acute otitis media Probability : 84%

 DURATION : Less than 3 weeks
 FAMILY Hx : No
 PAST Hx : Recent U. R. I.
 CHIEF COMPLAINT : Otorrhea
 SIGN OF MIDDLE EAR : Perforation, Retraction
 (Status of drum)
 HEARING IMPAIRMENT : Conductive hearing loss
 (Tuning Fork test)

 표2. 진단에 영향을 미치는 요인별 가중치

관련된 환자정보가 요약되어 있다. 즉, 메뉴방식으로 입력된 환자의 발현기간, 가족력, 병력, 주소, 고막상태, 그리고 난청의 종류가 요약되어 있어 진단명이 어떻게 결정되었는가를 이해할 수 있도록 되어 있다. 이 입력자료와 표2에 있는 가중치를 이용하여 진단명의 확률이 계산된다. 예를 들면, 주 진단명 Acute otitis media의 확률은 다음과 같이 각 요인들의 가중치를 더하여 계산되어 졌다.

	가중치	
발 현 기 간 : 3주이내	0.33	
가 족 력 : 없음	0.02	
과 거 병 력 : Recent U. R. I.	0.02	
주 소 : Otorrhea	0.02	
고 막 상 태 : Perforation	0.20	
	Retraction	0.20
난 청 의 종 류 : Conductive type	0.05	
계	0.84	

IV. 고 찰

이 연구에서는 청각장애 진단시스템을 ES와 DSS개발

진단명 코드	과거병력 코드	가중치	가족력 코드	가중치	주소 코드	가중치	발현기간 코드	가중치	고막의 상태 코드	가중치	난청의 종류 코드	가중치
1	20	0.02	2	0.02	1	0.02	1	0.33	1	0.02	1	0.05
					3	0.33			7	0.02		
					4	0.02			8	0.20		
									9	0.20		
2	15	0.02	2	0.02	3	0.02	3	0.25	2	0.30	1	0.05
					4	0.25			4	0.03		
					5	0.02			8	0.25		
					6	0.02			14	0.30		
3	6	0.45	2	0.03	1	0.20	1	0.20	7	0.20	1	0.05
					3	0.03			9	0.03		
					5	0.03			21	0.20		
					6	0.03						

진 단 명	과거병력	코 드	가족력	주 소
1=Acute otitis media	6=Pressure Change		1=있다	1=Earfullness
2=Chronic otitis media	10=S. O. M.		2=없다	3=Otagia
3=Aerotitis	15=Recent U. R. I.			4=Otorrhea
				5=Tinnitus
				6=Vertigo
발현기간	난청의 종류		고막의 상태	
1=3주미만	1=Conductive		1=Bulging	8=Perforation
2=3주부터 3달까지	2=Sensorineural		2=Cholesteatorma	9=Retraction
3=3달이상			4=Discharge	14=Granulation
			5=Atrophic	21=Purplish discoloration
			7=Injection	

방법을 결합하여 개발하였다. 이 두 방법의 결합으로 종래 ES개발 방법에만 의존하던 진단시스템에서 문제가 되어 왔던 자료의 저장 및 관리, 그리고 확률계산이 데이터 베이스와 모델 베이스의 구축으로 용이하게 되었으며 자료의 입·출력 역시 Insight 2와 DBASE III의 연계를 편리하게 되었다. 그러나 이 연구는 이러한 방법의 초기 시도 단계이며 임상 뿐 아니라 보건관리의 여러 분야에도 응용될 수 있으므로 앞으로 더욱 연구되어야 할 분야라고 생각된다. 이 연구의 문제점과 향후 연구방향을 개발단계 별로 살펴보면 다음과 같다.

문제설정에 있어서 진단시스템이 의사의 의사결정에 도움을 주기 위해서는 대상이 확진을 내리기가 어려운 질환이거나 진단에 필요한 자료가 많아 의사가 다 소화하기 힘든 질환이어야 한다. 후자의 예로는 알레르기 질환을 들 수가 있는데 그 이유는 진단시 환자의 증상, 과거병력, 항원 등 많은 문항의 설문결과를 참조해야 하기 때문이다. 따라서 향후 연구시에는 이러한 부류의 질환을 택해야 할 것이다. 또한 앞서 언급한 대로 종래 DSS 대상 분야인 병원관리의 여러문제 중 구체적인 경우에도 ES 기법이 적용될 수 있을 것이다. 예를들면 김문식 등(1987)이 개발한 DSS에서는 병상배정에 관한 네가지 대안별로 시뮬레이션 결과만이 제공되기 때문에 이를 사용하는 사람의 지식수준과 주관에 따라 그 이용이 각기 달라진다는 문제가 있었다. 그러나 ES기술에 의해 병상배정에 관한 지식이 이 DSS에 적용되면 더 많은 가정하에서 병상배정에 관한 구체적인 대안이 시스템에 의해 제시될 수 있으므로 사용자의 의사결정을 더 효과적으로 지원할 수 있게 될 것이다.

진단시스템이 산출하는 정보의 질에 가장 영향을 미치는 것은 시스템이 저장하고 있는 전문지식이다. 따라서 선정된 문제를 개념화하는데 있어서 어떻게 하면 질 높은 전문지식을 적절한 형태로 도출하여 표현하는가가 매우 중요한데 이를 위하여 repertory grid기법(Hart, 1986) 등 여러 지식습득 및 표현방법이 시도되고 있다. 이외에도 심리학자나 경영과학자들이 위주로 되어 전문기술 습득을 위한 면접방법(Johnson, 1983) 등도 소개가 되고 있는데 이러한 방법을 이용하면 의사와 시스템 개발자 간의 의사소통을 원활히 하여 지식습득을 위한 노력과 시간을 절약할 수 있다. 또한 DSS 개발시 복잡한 문제를 체계적으로 개발하는 여러 구조적 기법(structured tool)이

있는데, 아직 진단시스템 개발에 적용되지 않고 있어 향후 이러한 기법들도 문제의 성격에 따라 다양하게 쓰여져야 하리라 생각한다.

개념화된 모델을 공식화 하는데 있어서 이 연구에서는 ES와 DSS를 결합하는 방식을 택하였는데 먼저 DSS 부분에서 진단에 필요한 정보를 받고 요인별 가중치를 계산한 다음 이를 ES의 지식베이스로 넘기는 방식을 취하였다. 그러나 향후 연구에는 ES 부분을 DSS 뒷부분 뿐 아니라 DSS 앞부분으로도 결합하여 데이터 베이스 방식으로는 처리하기 힘든 복잡한 구조의 지식습득에 이용할 수 있을 것이다. 또한 이와 같이 ES를 DSS 앞이나 뒷부분에 결합시키는 방법 외에도 경우에 따라서는 Turban과 Watkins(1986)가 제시한 바와 같이 DSS의 각 부분별, 즉 데이터 베이스, 모델 베이스, 대화 시스템에 결합시키는 것이 더 효과적일 수도 있을 것이다. 또한 모델 베이스에서 진단명의 확률계산을 할 때 이 논문에서와 같이 몇몇 전문의의 주관에 의해 정한 가중치를 사용하는 것 보다는 앞으로 여러 병원을 선정하여 이를 거쳐간 환자의 기록에서 필요한 자료를 뽑아 계산한 확률을 사용하도록 하여야 할 것이다.

이 연구에서는 시스템 구현을 위해 데이터 베이스와 모델 베이스 구축에 파스칼과 DBASE III를, 그리고 규칙 베이스 구축에는 ES 개발도구인 Insight 2를 사용하였다. Insight2는 Lisp나 Prolog같은 인공지능용 언어가 아니라 개발도구이므로 추론엔진을 따로 개발할 필요가 없어 시스템을 빨리 구현할 수 있다는 이점은 있으나, 사용할 수 있는 규칙에 제한이 있고 다른 언어와의 연결상에도 문제가 있어서 앞으로 다른 개발도구 검토 등 소프트웨어 상의 여러 문제가 보완되어야 할 것이다.

이 연구에서는 개발된 시스템에서 산출된 진단결과를 의사의 주관에 의해 평가하였다. 그러나 이러한 방법으로는 의사의 진단결과와 시스템의 진단결과와의 일치여부를 객관적으로 비교할 수 없으므로 앞으로는 실험적 설계방법에 의해 일정기간 동안 동일 환자를 대상으로 몇명의 의사와 시스템의 진단결과를 비교하는 방법이 검토되어야 할 것이다.

IV. 결 론

이 연구는 종래의 ES 개발방법과 DSS 개발방법을 결

합하여 임상 뿐만 아니라 병원관리의 여러 분야에 더 유용하게 쓰일 수 있는 시스템 개발을 위한 시도로 청각장애 질환을 대상으로 하였다. 이 시스템은 대화하위 체계, 데이터베이스, 모델베이스, 그리고 규칙베이스로 구성되어 있으며 종전의 지식베이스만으로 구성되던 진단시스템에 비해 자료의 처리, 확률의 계산, 자료의 입·출력 등이 개선되었다.

앞으로 이 연구에서 도출된 지식습득 및 표현방법, 지식베이스의 설계, 그리고 소프트웨어상의 여러 문제가 해결되면 병상정책이나 재무계획 등 병원관리의 여러 분야의 DSS 개발에 많은 기여를 하게 되리라 생각된다.

참 고 문 헌

- 김광중. 한의 내과질환 진단전문가 시스템의 임상적 활동에 관한 연구. *동서의학* 1988; 37: 1-42
- 김문식, 유승흠, 채영문. 병원내 환자 흐름의 효율적 관리를 위한 의사결정 지원 체계에 관한 연구. *연세의대 논문집* 1987; 20(2): 256-283
- 김은경, 김기태. 신장질환 진단시스템. *인공지능소식* 1988; 12: 54-57
- 전기홍, 채영문. 외래환자의 예약제도 개선을 위한 시뮬레이션 모형. *예방의학회지* 1986; 19(1): 56-64
- 채영문, 유승흠, 김광렬. 약품재고 관리를 위한 의사결정 지원체계 개발에 관한 연구. *경영학 연구* 1985; 15(1): 37-55
- Buchanan BG, Shortliffe EH. *Rule-based expert systems: The MYCIN experiments of the stanford heuristic programming project*. Addison-Wesley, 1984
- Chae YM. *Computer-based quality assurance system*. *Yonsei Med J* 1985; 26(1): 49-58
- Chae YM, Suver JU, Chou D. *Goal programming as a capital investment tool for teaching hospitals*. *Health Care Manage Rev* 1985; 10(1): 27-35
- Goldman L et al. *A computer-driven protocol to aid in the diagnosis of emergency room patients*. *Engl J Med* 1982; 307: 588-596
- Hancock WM, Martin JB, Robert H. *Simulation-based occupancy recommendations for adult medical/surgical units using admissions scheduling system*. *Inquiry* 1978; 15: 25-32
- Hart A. *Knowledge acquisition for expert system*. Kogan Page, 1986, pp. 133-152
- Hatcher ME, Rao NB. *A financial simulation of the impact of new health care services on a hospital*. *Simulation in Health Care Delivery System*. Standridge CR ed, Society for Computer Simulation, 1984, pp. 27-34
- Johnson P. *The expert mind: A new challenge for the information scientist*. In *beyond productivity*. Bemelmans MA ed. North Holland Publishing Co, 1983
- Katz JH. *Simulation of outpatient appointment systems*. *Asso Comp Machinery* 1969; 12(4): 215-222
- Luconi FL, Malone TW, Scott Morton MS. *Expert systems: The next challenge for managers*. *Sloan Manage Rev* 1986 (summer): 3-13
- Miller RA, Pople HE, Myers JD. *Internist-1: An experimental computer-based diagnostic consultant for general internal medicine*. *Engl J Med* 1982; 307: 468-476
- Pople H. *Heuristic methods for imposing structure on III-structured problems: The structuring of medical diagnosis*. In *Artificial Intelligence in Medicine*, ed. Szolovits P. Westview Press, 1982; pp. 119-190
- Shortliffe EH. *Oncocin: An expert system for oncology protocol management*, *Proceedings 7th HJCAI*, 1981, pp. 876-881
- Turban E, Watkins PR. *Integrating expert systems and decision support systems*. *MIS Quarterly* 1986: 121-136
- Waterman DA. *A guide to expert systems*. Addison-Wesley, 1986, pp. 137