

논문 2009-46IE-3-10

Fuzzy Logic Systems을 이용한 X-선 영상의 진단평가

(Diagnostic Evaluation of X-Ray Imaging using Fuzzy Logic Systems)

이 용 구*

(Yong-Gu Lee)

요 약

본 논문에서는 퍼지논리시스템을 이용하여 ROC 곡선을 설계하였다. ROC 곡선은 진단평가를 위하여 이용되고, ROC 곡선을 평가하는 진단자는 초보 진단자를 선정하였다. 학습을 통한 ROC 곡선에 관한 진단능력을 평가하기 위하여 흉부 X-선 사진이 사용되었다. 진단을 위해 잡음과 신호(병변)를 갖는 X-선 필름을 사용하였다. 남성과 여성 간의 진단능력의 차이에 관하여 나타난 결과는 여성보다 남성이 우세한 것으로 나타났으나 그 차이는 작은 것으로 나타났다.

Abstract

In this paper, ROC curves were designed by using Fuzzy Logic Systems. ROC curve is used for diagnostic evaluation and the person evaluating ROC curve is chosen as a first-level diagnostician. For rating diagnostic capability on ROC curve through learning, the chest X-ray image is used. The images used for making a diagnosis are X-ray film being both noise and signal. The result over diagnostic capability difference between the male and the female represented a man had better than a woman but that difference can be ignored.

Keywords : Fuzzy Logic Systems, ROC Curve, X-ray imaging

I. 서 론

의료영상의 화질평가방법으로는 물리적인 평가방법으로 MTF, Winener spectrum, Entropy등이 있으며, 시각적인 방법으로는 CD(Contrast Detail) phantom, Hawlett chart 등을 이용한 방법과 응답특성에 관계하는 ROC 등의 방법이 있고, 현재 물리적인 여러 평가방법이 화질평가방법으로 대부분 사용되고 있다^[1].

그러나 물리적 평가방식은 정량적이고 객관적이지만 영상을 관찰하는 사람의 시각이나 지각능력을 고려하지 않았기 때문에 화질의 좋고 나쁨을 평가할 수 없는 경우가 많게 된다. 그러므로 X-선 영상의 평가는 최종적으로 관찰자의 시각 및 지각에 의해 판정되기 때문에

관찰자의 영역을 포함한 주관적 평가가 요구되고 있는 실정이다. 또한 심리적 평가는 물리적 평가가 가지고 있는 특성 전부를 포함하면서 관찰자의 관찰능력 내지는 심리상태, 주위환경의 영향까지도 포함시킨 종합평가 시스템으로 평가받고 있다^[2].

ROC 해석에서 의료영상에 포함되는 정상구조는 잡음으로 병변부의 음영을 신호로 정의한다. 잡음부의 음영을 negative 영상 또는 음성영상으로 그리고 잡음에 신호가 포함된 음영을 positive 영상 또는 양성영상으로 정의한다. ROC 해석을 위해서 사용되는 실험재료는 음성영상과 양성영상 각각에 대하여 몇 매에서 수 십 매의 조합으로 관찰을 시행한다^[3~4].

의료영상을 평가할 경우에는 그 의료영상이 진단에 어느 정도 도움이 되는가를 평가해야 하므로 의학적인 지식과 경험을 가지고 있는 진단자의 주관적이고 심리적인 판단이 의료영상의 진단 평가에 절대적으로 영향을 미치고 있다.

* 정희원, 한림성심대학 방사선과
(Department of Radiological Technology,
Hallym College)

접수일자: 2009년8월5일, 수정완료일: 2009년9월9일

ROC 곡선은 진단자의 주관적이고 심리적인 진단능력을 통계학에 기반을 둔 데이터 또는 형태학적인 비교로 평가가 가능하므로 진단의 정확도를 평가하는 방법으로 가장 우수한 방법으로 인정받고 있다^[5-6].

진단에 적합한 X-선 사진을 촬영하는 기술과 촬영된 X-선 영상이 담고 있는 의학 정보인 병변을 찾아내는 것은 의료진단에 매우 중요한 역할을 한다. 또한 방사선 영상 사진은 사진의 농도가 일정 정도 이상의 증감이 있어야만 진단자의 눈으로 증감 전 후의 X-선 사진의 식별이 가능하고, 암 등과 같은 여러 병변은 인체의 일반조직과 대조도가 뚜렷하지 않은 경우가 많아서 사진에서 병변을 찾아서 올바른 진단을 내리기가 어렵게 된다.

본 논문에서는 확신도에 의한 방법인 병변이 절대로 없다, 아마로 없을 것이다, 알 수 없다, 아마도 있을 것이다, 절대로 있다는 5가지 질문에 대한 퍼지집합을 정의하고 전문가에 의한 퍼지제어규칙을 기반으로 퍼지추론에 의한 ROC 곡선의 설계법을 제안하였다. X-선 영상의 진단평가를 위한 ROC 곡선을 이용하여 학습과정에 있는 진단자로 하여 교육에 의한 진단능력을 평가하여 ROC 곡선이 교육을 통한 진단능력에 적용하였다. 또한 특별히 동등한 훈련을 받은 남성 진단자와 여성 진단자 간의 진단능력을 평가하는데 이용하였다.

II. 본 론

1. ROC 곡선

의료영상에 포함되는 정상구조를 잡음, 병변부의 음영을 신호로 정하여 관찰자의 잡음에 대한 반응과 신호+잡음에 대한 반응을 관찰하면 각각 독립된 정규분포에 따르게 된다^[1]. 따라서 ROC 해석은 영상의 시각·지각적 평가방법으로 영상에 잡음만 포함되어 있는 것과 잡음에 작은 신호가 섞여 있는 것을 시료로 만들고 그 검출정도를 보는 것이다. 실험은 복수의 관찰자에 의해 실시하고 그 데이터의 평균을 취하면 관찰자 개인의 능력 차이에 의한 결과를 평균할 수 있다. “잡음”, “잡음+신호”의 두 종류의 입력에 대하여 관찰자의 응답은 아래와 4가지로 분류된다^[7].

- 신호+잡음을 “신호 있다(Yes)”로 응답 : 참양성(true positive : TP)
- 잡음만 있는 것에 “신호 없다(No)”로 응답 : 참음성

(true negative : TN)

- 신호+잡음을 “신호 없다(No)”로 응답 : 거짓음성(false negative : FN)
- 잡음만 있는 것에 “신호 있다(Yes)”로 응답 : 거짓양성(false positive : FP)

TP, TN, FN 및 FP로 응답할 경우의 조건에 대한 확률을 각각 P(S/s), P(N/n), P(N/s), P(S/n)로 표기하고 ROC 해석에서는 이것들 중 TP와 FP를 평가에 사용한다.

평가방법으로는 두 종류의 자극이 있는 영상을 각기 준비하고, 임의로 1매씩 표시해 두고 그 1매의 영상에 대해 다음과 같이 5단계 판정을 한다.

- I. 신호가 절대로 없다.
- II. 신호는 아마도 없을 것이다.
- III. 알 수 없다.
- IV. 신호는 아마 있을 것이다.
- V. 신호는 반드시 있다.

두 종류의 자극에 대하여 5단계 평가 결과에 의해 상대적인 관계를 정량적으로 표현하여 그래프로 그린 것이 ROC 곡선이다^[8-9].

2. Fuzzy Logic Systems을 이용한 ROC 곡선 설계

일반적인 퍼지논리시스템은 퍼지화, 지식베이스, 제

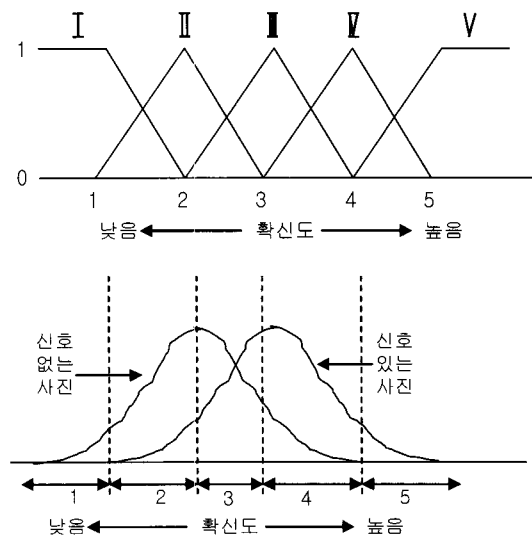


그림 1. 제어규칙에 사용된 퍼지집합의 소속함수
Fig. 1. Membership functions for fuzzy sets used in the control rules.

어규칙부, 퍼지추론, 비퍼지화로 구성된다. 퍼지화는 시스템의 입력 변수를 퍼지논리시스템의 입력으로 이용하고, 이 값은 실수이므로 아래의 그림 1과 같이 5개로 구성된 퍼지집합 I, II, III, IV, V 중 인접한 2개의 퍼지집합에 0~1 사이의 소속도를 가지고 포함된다^[10~12].

- I : 신호가 절대로 없는데 대한 퍼지집합
- II : 신호는 아마도 없을 것이다에 대한 퍼지집합
- III : 알 수 없는데 대한 퍼지집합
- IV : 신호는 아마 있을 것이다에 대한 퍼지집합
- V : 신호는 반드시 있다에 대한 퍼지집합

여기서 이용한 퍼지집합의 형태는 삼각형 퍼지집합 I, II, III, IV, V로 되며, 인접한 퍼지집합은 50 [%] 겹침을 갖는다. 지식베이스부는 입력 변수 전체 집합에 대한 정규화를 정의하고, 삼각형 퍼지집합의 소속함수를 사용하며, 16개의 제어규칙을 사용한다.

진단자가 의료영상사진을 평가할 때, 신호가 있는 사진에 대한 확신도를 a로 선택했을 때, 실수 a는 퍼지집합 I에 c의 소속도를 갖고, 퍼지집합 II에는 b의 소속도를 갖게 된다.

그림 2에서 확신도 a가 퍼지집합 I에 c만큼 속하고, 퍼지집합 II에 b만큼 속하는 경우, 추론 결과 퍼지집합 퍼지집합 I에 c만큼 속하게 된다. 마찬가지로 확신도 d가 퍼지집합 I에 e만큼 속하고, 퍼지집합 II에 f만큼

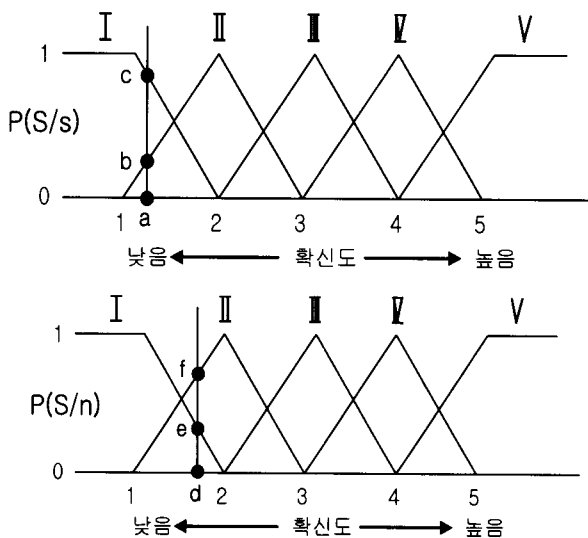


그림 2. 제어규칙에 사용된 퍼지집합의 소속함수
Fig. 2. Membership functions for fuzzy sets used in the control rules.

	I	II	III	IV	V
I		I			
II	I		II		
III		II		III	
IV			III		IV
V				IV	

	I	II	III	IV	V
I		II			
II	II		III		
III		III		IV	
IV			IV		V
V				V	

(a) II(b)<I(c) (b) II(f)>I(g)

그림 3. 퍼지제어규칙
Fig. 3. Fuzzy control rules.

속하는 경우, 추론 결과 퍼지집합 퍼지집합 II에 f만큼 속하게 된다. 이때 각 퍼지집합 I, II, III, IV, V에 속할 $P(S/s)_I, P(S/s)_II, P(S/s)_III, P(S/s)_IV, P(S/s)_V$ 는 각각 식(1), (2), (3), (4) 및 (5)로 된다.

$$P(S/s)_I = \frac{I(c) + II(c) + III(c) + IV(c) + V(c)}{I(c) + II(c) + III(c) + IV(c) + V(c)} \quad (1)$$

$$P(S/s)_II = \frac{II(c) + III(c) + IV(c) + V(c)}{I(c) + II(c) + III(c) + IV(c) + V(c)} \quad (2)$$

$$P(S/s)_III = \frac{III(c) + IV(c) + V(c)}{I(c) + II(c) + III(c) + IV(c) + V(c)} \quad (3)$$

$$P(S/s)_IV = \frac{IV(c) + V(c)}{I(c) + II(c) + III(c) + IV(c) + V(c)} \quad (4)$$

$$P(S/s)_V = \frac{V(c)}{I(c) + II(c) + III(c) + IV(c) + V(c)} \quad (5)$$

신호가 없는 사진에 대한 확신도를 d로 선택했을 때, 실수 d는 퍼지집합 I에 e의 소속도를 갖고, 퍼지집합 II에는 f의 소속도를 갖게 된다. 마찬가지로 각 퍼지집합 I, II, III, IV, V에 속할 $P(S/n)_I, P(S/n)_II, P(S/n)_III, P(S/n)_IV, P(S/n)_V$ 는 각각 식(6), (7), (8), (9) 및 (10)으로 된다.

$$P(S/n)_I = \frac{I(f) + II(f) + III(f) + IV(f) + V(f)}{I(f) + II(f) + III(f) + IV(f) + V(f)} \quad (6)$$

$$P(S/n)_II = \frac{II(f) + III(f) + IV(f) + V(f)}{I(f) + II(f) + III(f) + IV(f) + V(f)} \quad (7)$$

$$P(S/n)_III = \frac{III(f) + IV(f) + V(f)}{I(f) + II(f) + III(f) + IV(f) + V(f)} \quad (8)$$

$$P(S/n)_V = \frac{IV(f) + V(f)}{I(f) + II(f) + III(f) + IV(f) + V(f)} \quad (9)$$

$$P(S/n)_V = \frac{V(f)}{I(f) + II(f) + III(f) + IV(f) + V(f)} \quad (10)$$

P(S/n)을 가로축으로 P(S/s)를 세로축으로 하여 그래프를 그리면 ROC Curve이 된다.

3. 감도와 특이도 산출

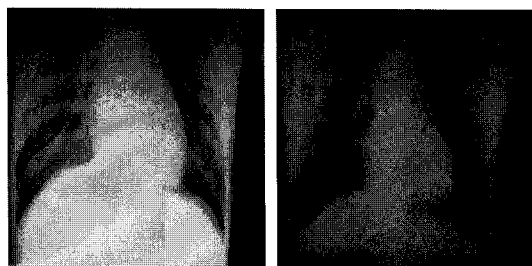
영상의 시·지각 평가에서는 병변(신호)이 있는 사진에서 신호가 있는 사진으로 올바르게 평가할 수 있는 능력과 잡음만 있는 사진에서 잡음만 있는 사진으로 올바르게 평가할 수 있는 능력을 알 필요가 있다. 신호를 신호로써 바르게 검출하는 능력을 감도(sensitivity)라 하고, 신호가 전혀 없고 잡음만 있는 사진을 잡음으로 바르게 검출하는 능력을 특이도(specificity)라 정의한다^[7].

$$\text{감도}(\%) = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (11)$$

$$\text{특이도}(\%) = \frac{TN}{TN + FP} \times 100 \quad (12)$$

III. 실험

Screen/film 시스템을 평가하기 위하여 시료 사이즈 10×10cm 에 잡음, 잡음+신호의 시료 각 20매를 사용하여 20명의 관찰자를 대상으로 각 시료에 대한 영상 평가를 위한 데이터를 표 2와 표 3으로 2차례에 걸쳐서 획득하였다. 실험에 사용된 X-선장치는 Listem REX-525R이고, 촬영된 필름을 현상하기 위하여 자동



(a) signal + noise

(b) noise

그림 4. Chest AP
Fig. 4. Chest AP.

현상기 PM6000SP를 사용하였다. Chest 촬영에 사용된 필름은 Fuji SHR 14"×17"이다.

진단자는 학습과정에 있는 진단자로 하여 성 별간 두 그룹으로 분류하였다. 흉부 촬영을 위하여 신호(병변)를 포함하는 사진을 얻기 위하여 지우개, 쌀알 등을 가상 결절을 병변(신호)으로 사용하여 촬영하였다.

이때 다음의 판정요령에 따라 5단계로 분류 응답하였다.

성별 간 그룹이 사진을 모두 판독하고, 필름에 대한 판독은 퍼지이론을 이용한 ROC 곡선을 사용하여 P(S/s)와 P(S/n)을 구하고 X축에 P(S/n), Y축에 P(S/s)

표 1. 5단계의 판정
Table 1. Five step evaluation.

영상 판독	신호가 있는 사진 (신호+잡음)	신호가 없는 사진 (잡음)
5단계 퍼지 집합	I. 신호는 절대로 존재하지 않는다.	I. 신호는 절대로 존재하지 않는다.
	II. 신호는 아마도 존재하지 않을 것 같다.	II. 신호는 아마도 존재하지 않을 것 같다.
	III. 잘 모르겠다.	III. 잘 모르겠다.
	IV. 신호는 아마도 존재할 것 같다.	IV. 신호는 아마도 존재할 것 같다.
	V. 신호는 절대로 존재한다.	V. 신호는 절대로 존재한다.

표 2. 영상에 대한 5단계의 판정
Table 2. Five step evaluation on the imaging.

Male	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	2.45	4.86	2.5	7.31	17.12
	T(Si/s)	34.24	31.79	26.93	24.43	17.12
	P(S/s)	1.0	0.93	0.79	0.71	0.5
잡음	T(S/n)	17.97	5.71	3.4	3.3	3.25
	T(Si/n)	33.63	15.66	9.95	6.55	3.25
	P(S/n)	1.0	0.47	0.3	0.19	0.097

표 3. 영상에 대한 5단계의 판정
Table 3. Five step evaluation on the imaging.

Female	Signal	판정기준				
		I	II	III	IV	V
신호+잡음	T(S/s)	1.65	6.61	1.7	8.21	16.32
	T(Si/s)	34.49	32.84	26.23	24.53	16.32
	P(S/s)	1.00	0.95	0.76	0.71	0.47
잡음	T(S/n)	18.87	4.21	2.45	4.95	4.0
	T(Si/n)	34.48	15.61	11.4	8.95	4.0
	P(S/n)	1.0	0.45	0.33	0.26	0.11

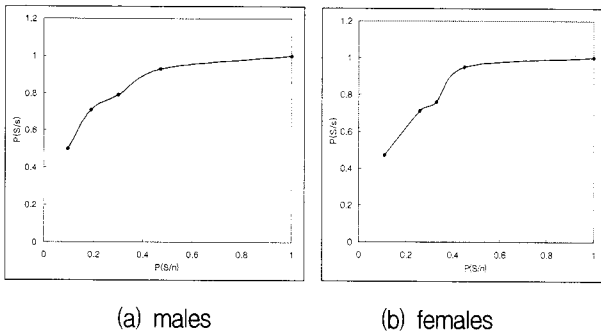


그림 5. ROC 곡선
Fig. 5. ROC Curves.

을 표시하여 ROC곡선을 작성하였다.

표 2와 표 3의 데이터를 기초로 한 ROC 곡선을 이용한 형상에 의한 판독 결과 남성 진단자가 여성 진단자보다 진단능이 약간 우수하였으나 전반적으로 큰 차이는 보이지 않았다.

표 2와 3의 데이터와 그림 3의 ROC 곡선에서 구한 남성 진단자와 여성 진단자의 감도와 특이도는 각각 식 (13), (14), (15), (16)으로 된다.

$$\text{남성진단자의 감도}(\%) = \frac{7.31 + 17.12}{34.24} \times 100 = 71.35(\%) \quad (13)$$

$$\text{남성진단자의 특이도}(\%) = \frac{17.97 + 5.71}{33.63} \times 100 = 70.41(\%) \quad (14)$$

$$\text{여성진단자의 감도}(\%) = \frac{8.21 + 16.32}{34.49} \times 100 = 71.12(\%) \quad (15)$$

$$\text{여성진단자의 특이도}(\%) = \frac{18.87 + 4.21}{34.48} \times 100 = 66.94(\%) \quad (16)$$

감도와 특이도에 의한 진단능의 결과, 남성 진단자와 여성 진단자 각각 71.35%와 71.12%의 감도를 나타내어 병변이 있는 사진에서 병변을 관찰할 수 있는 능력이 거의 같게 나타났다. 그러나 병변이 없는 사진에서 병변이 없다고 올바르게 판독할 수 있는 특이도에서는 남성 진단자가 여성 진단자보다 약 3.47% 정도 나은 진단능을 나타내는 것으로 나타났으나 전체적으로 볼 때 진단능력의 차이는 무시할 만 하다고 사료된다.

본 연구에서 가상결절에 대한 흉부촬영사진을 판독하는 진단능에 대한 결과를 ROC 곡선의 형상과 감도 및 특이도에 의해 판독한 결과 성별 간의 진단능의 차이는 거의 같게 나타났다. 따라서 흉부 촬영에 대한 진단능력에서 남성 진단자와 여성 진단자는 거의 같은 판독 능력을 가졌다고 생각된다. 본 연구 결과에 대하여

좀 더 많은 시료와 성 별간 인원을 추가하면 연구 결과의 신뢰성이 보다 높아지리라 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 X-선 사진의 진단을 위하여 퍼지이론을 이용하여 ROC 곡선을 설계하였고, 진단자의 설정은 남성과 여성 진단자의 진단 능력 차이에 대한 연구를 하였다. 실험에 의하면 같은 정도의 훈련을 받은 남성 진단자가 여성 진단자보다 진단능이 우수한 것으로 나타났다으나 그 정도는 미미한 것으로 확인되었다.

본 연구를 위한 실험에서 퍼지이론을 ROC 연구에 적용할 수 있었으며 진단능이 우수한 의사를 진단자로 설정하고 시료의 수를 많이 사용하면 보다 신뢰도가 높은 연구 결과가 될 것으로 사료된다.

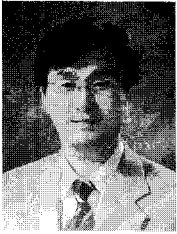
참 고 문 헌

- [1] 김선철, 김성철, 의료영상정보학, 한미의학, pp.189-193, 2009.
- [2] 이용구, 이선엽, 이원석, 엄기환, "Fuzzy Logic Systems을 이용한 ROC 곡선 설계", 대한전자공학회 추계학술대회논문집, 제30권, 제2호, pp.862-863, 서울, 대한민국, 2007.
- [3] 최중학 외 공저, 방사선감광학, 신광출판사, pp.337-342, 2006
- [4] 강세식 외 공저, 방사선감광학실험, 청구문화사, pp.335-348, 2005.
- [5] 이용구, 이선엽, 이원석, 엄기환, "X-선영상의 심리적 평가를 위한 판정기준축의 결정", 대한전자공학회 하계종합학술대회논문집, 제30권, 제1호, pp.439-440, 부산, 대한민국, 2007.
- [6] 허준, 이인자, "ROC 곡선에 의한 화질의 평가", 방사선기술학회지논문집, Vol. 14, No.2, pp.33-36, 1991.
- [7] 권덕문 외, 의료영상정보학, 대학서림, pp.174-182, 2004.
- [8] 안진신, 장명미, 정경모, 정환, "고관전압 흉부촬영의 가상결절을 이용한 ROC 평가", 방사선기술학회지논문집, Vol. 15, No.2, pp.25-30, 1992.
- [9] 허준, 이선숙, 이인자, 김성수, "증감지와 격자에 따른 화상의 ROC 곡선의 평가", 방사선기술학회지논문집, Vol. 17, No.2, pp.45-49, 1994.
- [10] R. Jhonston, "Fuzzy Logic Control", GEC Journal of Research, Vol. 11, No. 2, pp. 99-109, 1994.
- [11] 이상진, 황성훈, 여지환, 정호선, "Fuzzy Logic을 이용한 영상분할 알고리즘", 대한전자공학회논문지

-B, 제28권 B편 제9호, pp. 719-726, 1991.

- [12] 김수환, 강경진, 이태원, “확장된 Fuzzy Clustering 알고리즘을 이용한 자동 목표물 검출”, 대한전자공학회논문지-B, 제28권 B편 제10호, pp. 842-851, 1991.

저 자 소 개



이 용 구(정회원)

1987년 2월 동국대학교
전기공학과 학사 졸업.

1993년 2월 동국대학교
전기공학과 석사 졸업.

1997년 2월 동국대학교
전자공학과 박사 졸업.

1998년 3월~2005년 2월 한림성심대학 전자정보
통신과 전임강사, 조교수, 부교수

2005년 3월~2007년 2월 한림성심대학
의용정보과 부교수

2007년 3월~2009년 현재 한림성심대학
방사선과 부교수

<주관심분야 : 퍼지논리시스템, 신경회로망, 패턴
인식, 의학영상>