경향거리를 이용한 퍼지이론 기반 교우관계분석 기법 연구

정인준⁰, 전우천
서울망우초등학교⁰, 서울교육대학교 컴퓨터교육과
sopa@chol.com⁰, wocjun@snue.ac.kr

A Study on Fuzzy-Based Peer Relationship Analysis Technique Using Tendency Distance

In-Joon Jeong⁰, Woo-Chun Jun
Seoul Mangwoo Elementary School⁰, Seoul National University of Education

요 약

초등학교 학급에서의 아동 상호간의 관계 파악은 아동 그룹이나 짝을 지어주고 교우관계를 분석하는데 매우 유용하다. 그러나 인간관계의 감정을 단순한 수치로 나타내기에는 아동 상호간의 복잡한 감정을 제대로 분석하기 힘들기 때문에, 본 논문에서는 퍼지 (Fuzzy) 이론을 기초로 하여 분석하고자 한다. 본 논문에서는 퍼지이론의 해밍거리(Hamming Distance)와 α-수준집합을 적용하고 경향성을 계산할 수 있는 새로운 기법인 경향거리(Tendency Distance)를 제안하고 분석하는 기법을 연구하였다. 본 논문에서 제안하는 분석 방법의 특징은 첫째, 인간관계의 애매하고 모호한 점을 상대적 비교가 가능하게 함으로써 정확한 분석을 가능하게 하고, 둘째, 퍼지 이론의 적용을 통하여 해밍거리에 의한 유사도 분석에서 할 수 없었던 경향성의 분석을 가능하도록 하였으며, 셋째, 교육현장에서 발생할 수 있는 애매한 상황과 아동간의 교우 관계 등 수치적인 파악이 불가능한 부분을 분석이 가능한 데이터로 만들 수 있는 기법을 마련하였다는 데 의의를 둘 수 있다.

1. 서 론

초등학교 학급에서 학생들은 다양한 인간관계를 형성하고 교우관계도 변화가 심하며 자기가 호감을 가지고 있는 친구들도 뚜렷하게 나누어져 있다. 이러한 아동 상호간의 관계 파악은 학급 경영과 생활지도 등에서 유용한 자료가 될 수 있다.

아이들이 서로 '좋아한다', '많이 좋아한다'는 표현의 애매하고 모호함을 수치로 표현하여 좀 더 비교가 가능하고 분석이 용이한 자료로 만든다면 아동 상호간의 관계를 손쉽게 파악할 수 있을 것이다. 이러한 교우관계의 모호한 표현을 퍼지 이론을 응용하여 수학적으로 표현한다면 분석이 더욱 용이할 것이다.

1965년 미국 Berkely 대학의 Zadeh 교수는 이전까지 사용되어오던 일반 집합 이론(Crisp Set Theory)이 우리 인간의 사고, 추론, 판단과 결정에 관한 모든 사항을 처리하기에는 부적합하며 이를 적절하게 처리하기 위한 새로운 집합 이론이 필요하다고 주장하였고 그 새로운 집합 이론으로서 퍼지 집합 이론 (Fuzzy Set Theory)을 발표하였다[1].

1980년대 들어서면서 퍼지의 응용분야가 자동제어에 국한되지 않고 공학, 사회, 자연계 등 다방면에 걸쳐 유용하게 응용될 수 있다는 것이 입증되면서 여러 분야에서 활발히 퍼지 이론 및 응용에 관하여 연구하고 있고 지금은 자동제어나 공학설계 등의 범위를 벗어나서 각종 분야에서 골고루 연구되고 있다. 이에 초등학교 학급 내에서 이루어지는 학생 상호간의 복잡한 교우관계를 퍼지 이론을 이용하여 분석해낼 수 있다면 이는 퍼지이론의 응용분야를 더욱 더 넓힐 수 있는 계기가 될 것이다.

이에 본 논문에서는 아동 상호간의 교우관

계를 퍼지이론에 근거하여 분석하는 방법을 제안한다. 퍼지이론에서 사용되는 거리측정법인 해밍거리는 단순히 두 의견 사이의 차이만 계산을 하므로 서로간의 경향성은 수치에 반영되지 않는다는 한계점이 있어, 선호하는 경향에 초점을 맞춘 경향거리를 제안하고, 경향거리에 의한 분석 방법 및 그룹화 기법을 연구한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 퍼지이론에 대한 기초를 설명하고 본 논문에서 사용되는 퍼지이론에 대하여 다루었으며, 3장에서는 해밍거리의 제한점을 언급하고 경향거리의 개념과 분석 방법을 제안하고 마지막 4장에서는 결론 및 향후 연구과제를 제시하였다.

2. 이론적 배경

2.1 퍼지이론의 정의

1965년 캘리포니아 대학의 Zadeh 교수가 제창한 퍼지이론은 종래의 집합 이론의 틀에서 벗어난 확장된 새로운 집합 개념이다.

퍼지이론은 애매성을 수학적으로 잘 표현할 수 있는 도구이다. 애매성의 수학적 표현에 대하여 살펴보기 위해 20세에서 70세 사람들에 한정해서 '젊다'는 개념을 표현하고자 하면 20은 젊다, 25도 젊다, 35는 그럭저럭, 40은 이미 중년, 60은 결코 젊지 않다는 것처럼 명확하지 않은 젊기의 정도라는 것이 나타난다.

퍼지 이론에서는 이 정도를 0에서 1까지의 수치로 표시한다. 20은 1, 25는 0.9, 35는 0.5, 40은 0.2처럼 연령에 수치를 적용해서 그 수치에 따라서 '이러이러한 연령의 사람이 젊다고 간주되는 것은 이 정도다'라고 표현한다. 간주하는 정도를 0에서 1사이의 수치로 표현하면 <표 1>과 같다[2].

<표 1> 연령에 따른 '젊다' 정도의 수치화

젊다						
연령	20	25	30	35	40	45
수치	1	0.9	0.7	0.5	0.2	0

2.2 퍼지이론의 해밍거리와 α-cut

(1) 해밍거리

선호도의 차이를 알아내기 위해서는 퍼지집합간의 차이를 나타내는 거리 (Distance)라는 개념을 이용한다.

해밍거리는 다음과 같이 각 원소의 소속함수 값의 차이에 절대값을 취하여 합한 값과 같다[3].

$$d(A,B)= \sum_{\substack{i=1 \\ x_i \in X}}^{n} |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)|$$

예를 들어서 다음 두 집합을 생각해보자.

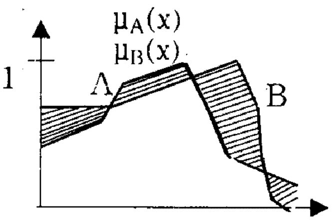
$A=\{(x_1,0.4),(x_2,0.5),(x_3,1),(x_4,0.3),(x_5,0.2)\}$

$B=\{(x_1,0.6),(x_2,0.6),(x_3,0.9),(x_4,1),(x_5,0)\}$

이 때 A와 B의 해밍거리 d(A,B)는 다음과 같이 계산된다.

$d(A,B)=|0.2|+|0.1|+|0.1|+|0.7|+|0.8| = 1.9$

<그림 1>은 해밍거리를 그래프로 표시한 것이다.



<그림 1> 해밍거리의 그래프 표현

여기서 전체집합 X의 원소가 n 개 있을 때, 즉 $|X| = n$ 일때, 다음을 상대 (Relative) 해밍거리라고 부른다.

$$\delta(A,B) = \frac{1}{n} d(A,B)$$

(2) α-수준집합

퍼지집합에 포함된 원소들 중에서 일정한 가능성 (소속함수 값) 이상 포함된 원소들로만 구성된 보통집합을 만들 수 있다. 이것을 α-수준 (α-cut)집합이라고 부르는데, 소속함수의 값이 α이상인 원소들로 이루어진다.

$$A_\alpha = \{ x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha \}$$

이 때 α는 임의로 선택할 수 있다. 이렇게 만들어진 α-수준집합은 보통집합이 된다. 예를 들어서 <표 2>의 퍼지집합 "젊은이"에서 α=0.2로 하여 만든 α-수준집합은 다음과 같다.

<표 2> 연령에 따른 '젊은이'의 정도

원소(나이)	5	15	25	35	45	55	65	75	85
젊은이	0	0.2	1	0.8	0.4	0.1	0	0	0

젊은이$_{0.2}$ = **{15, 25, 35, 45}**

이것의 의미는 "0.2 이상의 가능성으로 젊은이라고 할 수 있는 나이"이다.

만약 α=0.4로 하면 **젊은이**$_{0.4}$=**{25, 35, 45}** 가 되고 α=0.8로 하면 **젊은이**$_{0.8}$=**{25, 35}** 가 된다.

2.3 퍼지이론에서 분류 및 선정의 문제

퍼지이론의 다양한 응용분야 중에서 퍼지 의사결정분야의 한 응용방법 중에 분류 및 선정에 관한 것이 있다[4]. 퍼지이론에서 응용된 분류 및 선택의 의사결정 문제를 예를 통하여 살펴보자. 다음 <표 3>은 7명의 학생 {E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7} 서로에 대한 주관적인 선호도를 나타낸 퍼지관계 행렬이다.

<표 3> 선호도를 나타내는 퍼지관계 행렬

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	0	0.8	0.5	1	1	0.4	0.3
E2	0.8	0	0.6	0.4	0.3	0.7	0.6
E3	0.4	0.7	0	0.2	0.1	1	1
E4	0.6	0.9	1	0	0.7	0.4	0.4
E5	0.4	0.3	0.2	0.8	0	0.6	0.2
E6	1	1	0.5	0.3	0.7	0	0.8
E7	0.3	0.8	0.5	0.4	0.5	0.7	0

<표 3>에서 1은 선호도가 가장 높은 것을 나타내며, 0이 가장 낮은 선호도를 나타낸다. 학생 간의 상대해밍거리 δ(Ei, Ej)는 비유사도 및 유사도 표현으로 변환될 수 있으며, 그 결과는 <표 4>와 <표 5> 와 같은 관계행렬로 나타난다.

<표 4> 사람사이의 비유사도

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	0	.41	.51	.28	.24	.44	.29
E2		0	.28	.24	.42	.17	.31
E3			0	.38	.51	.31	.37
E4				0	.35	.30	.31
E5					0	.44	.30
E6						0	.39
E7							0

<표 5> 사람사이의 유사도

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	1	.59	.49	.72	.76	.56	.71
E2		1	.72	.76	.58	.83	.69
E3			1	.62	.49	.69	.63
E4				1	.65	.70	.69
E5					1	.56	.70
E6						1	.61
E7							1

이러한 선호도 조사의 결과를 통하여 α-수준을 이용하면 각각의 유사도 지표에 의한 상관 관계 분석을 행할 수 있다.

1) α=0.70 수준으로 유사한 사람들을 분류하면 3집단으로 나누어진다.

{E1,E5,E7}, {E2,E4,E6}, {E3}

2) α=0.65 수준으로 유사한 사람을 분류하면 4집단으로 나누어진다.

{E1,E4,E5,E7}, {E2,E4,E6}, {E2,E3,E6}, {E2,E4,E7}

3) α=0.61 수준으로 분류하면 2집단으로 나누어진다.

{E2,E3,E4,E6,E7}, {E1,E4,E5,E7}

2.4 관련 연구

퍼지 이론의 연구는 주로 제어시스템 등에서 이용되고 있으나 교육에 관련되어 퍼지 이론을 접목한 연구가 많지 않으며 주로 평가에 관련된 연구가 주를 이루는 편이다.

정경용[5]은 연관 사용자 군집을 이용한 선호도 예측 시스템을 제안하였다. 김광백[6]은 퍼지추론 규칙을 이용한 수행평가 시스템을 제안하였고, 엄명용[7]은 퍼지추론 규칙을 이용하여 적응형 평가 시스템을 제안하였으며, 장혜원[8]은 퍼지소속함수와 퍼지추론을 이용하여 수행평가 방법에 관한 연구를 하였다.

이동준[9]은 웹기반 원격교육시스템에서 퍼지이론을 적용한 학업 성취도 평가를 제안하였고 김용한[10]과 정창욱[11]은 퍼지를 이용한 성적평가방법에 관한 연구를 하였다.

관련 연구들을 살펴보면 퍼지이론을 이용하여 유사도를 분석해보고자 하는 논문도 있으나 대부분 퍼지이론을 평가 방법에 응용하여 연구를 하고 있다. 학급에 좀 더 밀접한 관계를 가지고 있는 연구가 부족하며 교우관계 분석에 관련된 연구는 본 논문이 최초의 시도라 할 수 있다.

3. 교우관계 분석 기법

3.1 해밍거리의 한계점

해밍거리 계산에 의해서 집합의 거리를 상대 해밍거리로 나타내었을 때 생기는 한계점이 있다.

학생 S1, S2, S3 이 과목 B1, B2, B3, B4, B5를 선호하는 정도를 조사하였을 때 <표 6>

은 학생들의 과목별 선호도를 나타낸다.

<표 6> 학생들의 과목별 선호도

	B1	B2	B3	B4	B5
S1	0.7	0.9	0.6	0.8	0.7
S2	0.9	0.7	0.9	0.5	0.8
S3	0.5	0.7	0.4	0.5	0.5

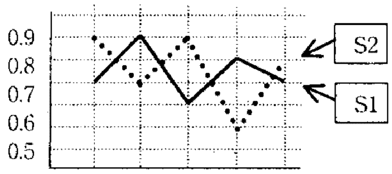
<표 6>과 같은 수치가 나타났을 때 해밍거를 구하면, 해밍거리 d(S1,S2), d(S1,S3), d(S2,S3)는 <표 7>과 같이 계산이 된다.

<표 7> 학생들의 과목별 선호도 해밍거리

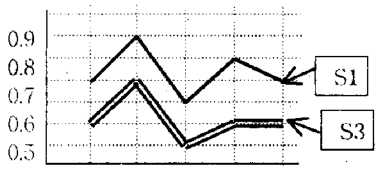
	S1	S2	S3
S1	1	1.1	1.1
S2		1	1.1
S3			1

<표 7>에서 처럼 1.1 이라는 수치로 해밍거리는 모두 같은 값이 나오게 된다. 이것을 눈으로 확인할 수 있도록 그래프를 그려서 살펴보면, <그림 2>는 S1과 S2의 차이를, <그림 3>은 S1과 S3의 차이를, <그림 4>는 S2와 S3의 차이를 보여준다.

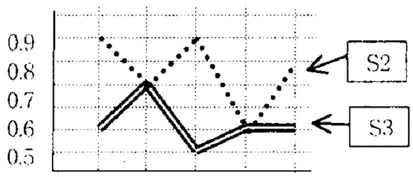
<그림 2> S1 과 S2 집합의 거리



<그림 3> S1 과 S3 집합의 거리



<그림 4> S2 와 S3 집합의 거리



<그림 2>, <그림 3>, <그림 4>에서처럼 해밍거리는 모두 1.1 의 거리를 나타내나 해밍거리로 나타낼 수 없는 또 다른 차이가 있음을 알 수 있다.

이는 서로의 호감도가 높은 경우와 낮은 경우의 차이만을 보여줄 뿐이지 서로 반대되는 의견을 나타내었을 때 이를 단순한 거리로 계산하는 한계점을 가지고 있다는 것이다. 반대되는 의견에서는 그만큼의 (-)적 요인을 나타내주고 같은 의견을 나타낼 때에는 (+)적 요인을 나타내어야 단순한 거리를 계산하는 것을 벗어나서 경향성을 나타낼 수 있을 것이다.

3.2 성향거리의 계산

앞에서 제시된 그림과 같이 높은 선호를 나타내는 경우와 낮은 선호를 나타내는 경우를 같이 계산하기 위해서는 자신의 선호도의 평균부터 계산한다.

$$\mathrm{Aver}(Si) = \sum_{\substack{i=1 \\ S_i \in S}}^{n} \mu(S_i) \quad / \ n$$

Aver(S1) = (0.7+0.9+0.6+0.8+0.7)/5= 3.7/5 = 0.74

Aver(S2) = (0.9+0.7+0.9+0.5+0.8)/5= 3.8/5 = 0.76

Aver(S3) = (0.5+0.7+0.4+0.5+0.5)/5= 2.6/5 = 0.52

이 평균치보다 자신의 선호도가 얼마큼 (+)인지 (-) 인지를 계산한다. <표 8>은 평균값에 대한 과목별 선호도의 차이를 나타낸다.

<표 8> 평균값과 과목별 선호도 차이

	C1	C2	C3	C4	C5
S1	-0.04	0.16	-0.14	0.06	-0.04
S2	0.14	-0.06	0.14	-0.26	0.04
S3	-0.02	0.18	-0.12	-0.02	-0.02

이 값들은 자신의 고유한 값이 된다. 자신의 평균값에서 변화된 값이므로 ΔS1, ΔS2, ΔS3 값이라고 정의하고, 이 값은 고유의 부호값 (+) 또는 (-)를 가지게 된다. 이 부호값은 자신의 평균값에서 선호도가 높은 쪽인지 낮은 쪽인지를 판가름하는 기준이 되는 셈이다.

$$\Delta Si = Sn - \mathrm{Aver}(Sn)$$

이 부호값이 상대방과의 선호도 부호값과 같은 (+) 값이면 같은 좋은 선호도를 나타내고 (-) 값이면 같은 좋아하지 않은 선호도를 나타내게 된다.

부호값은 Sign(ΔSi) 라고 하고, <표 9>와 같은 논리계산식을 따르게 된다.

<표 9> 부호값 계산 원칙.

Sign(ΔSi) Sign(ΔSj)	(+)	(-)
(+)	+	-
(-)	-	+

이런 부호값의 관계에 의해 같은 (+) 또는 (-)이면 같은 경향을 지니게 되므로 덧셈 계산을 하고 둘의 관계에서 부호값이 다르면 둘의 경향이 다르기 때문에 (-) 계산을 한다. 이런 부호값에 의해 성향거리를 계산하는데, Si와 Sj 의 성향거리를 Tend(Si,Sj) 라 정의하고 다음과 같은 계산식으로 계산을 할 수 있다.

$$Tend(Si,Sj) = \sum_{\substack{i\ j\ -1 \\ Si,Sj \in S}}^{n} \{Sign(\Delta Si,\Delta Sj) \cdot Min(\Delta Si,\Delta Sj)\}$$

여기서 성향거리 Tend(Si,Sj) 는 ΔSi 와 ΔSj의 최소값(Min)을 취한다. 두 값의 차이가 크다는 것은 한쪽 선호도 값에 의해 공통적인 값이 나오지 않고 높은 결과값이 나오게 된다. 예를 들어 $\Delta Si=0.24$를 나타내고 $\Delta Sj=0.06$ 정도일 때 이 둘의 선호도를 단순히 더하면 0.30의 수치를 나타내지만 이 수치가 두 값의 선호도를 잘 포함하고 있다고 말할 수는 없으므로 공통적으로 나타낸 선호도 값인 최소값을 취하여 0.06의 값을 나타내게 한다.

이렇게 최소값을 취한 것에 부호값을 같이 계산해주고 이 값을 모두 더하게 되면 성향거리 Tend(Si,Sj)를 구할 수 있다.

실제로 위 표에서 성향거리를 구해보면

Tend(S1,S2) =
(-0.04)+(-0.06)+(0)+(-0.06)+(0.04) = -0.12

Tend(S1,S3) =
(0.02)+(0.16)+(0.12)+(-0.02)+(0.02) = 0.30

Tend(S2,S3) =
(-0.02)+(-0.06)+(-0.12)+(0.02)+(-0.02)=-0.20

수치의 수가 커질수록 같은 경향을 보인 집합이 많은 것이며 작아질수록 서로 정반대의 성향을 보인 것이 많음을 알 수 있다. 수치를 비교해 보았을 때 S1과 S3은 아주 비슷한 성향을 지니고 있고, 나머지 경우는 성향이 많이 다르다는 것을 알 수 있다. 특히 S2와 S3이 많이 다른 성향을 나타냄을 알 수 있다.

3.3 교우관계 경향 분석

이론적 배경에서 제시된 <표3>의 자료를 해밍거리가 아닌 성향거리에 의한 분석을 하면 자료의 결과는 달라질 것이다.

먼저 평균값을 구한다. 다음 <표 10>은 평균값을 계산한 것이다.

$$Aver(Ei) = \sum_{\substack{i\ -1 \\ Ei \in E}}^{n} \mu(E_i) \quad / \ n$$

<표 10> Ei 의 평균값

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Aver(Ei)	0.67	0.57	0.57	0.67	0.42	0.72	0.53

자신의 값에서 평균값을 뺀 값을 구한다. 이 값은 각각의 고유한 값이 되고, 부호값도 생성이 된다. 다음 <표 11>은 변화값과 부호값을 나타낸다.

<표 11> 변화값과 부호값

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
ΔE1		0.13	-0.17	0.33	0.33	-0.27	-0.37
ΔE2	0.23		0.03	-0.17	-0.27	0.13	0.03
ΔE3	-0.17	0.13		-0.37	-0.47	0.43	0.43
ΔE4	-0.07	0.23	0.33		0.03	-0.27	-0.27
ΔE5	-0.02	-0.12	-0.22	0.38		0.18	-0.22
ΔE6	0.28	0.28	-0.22	-0.42	-0.02		0.08
ΔE7	-0.23	0.27	-0.03	-0.13	-0.03	0.17	

이렇게 계산된 부호값으로 성향거리를 최종적으로 계산한다.

$$Tend(Ei,Ej) = \sum_{\substack{i\ j\ -1 \\ Ei,Ej \in E}}^{n} \{Sign(\Delta Ei,\Delta Ej) \cdot Min(\Delta Ei,\Delta Ej)\}$$

<표 12>는 최종적으로 계산된 성향거리를 보여준다.

<표 12> 최종 계산된 성향거리

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	0	-0.27	-1.51	0.79	0.73	-0.12	-0.77
E2		0	0.59	-0.17	-0.51	0.83	0.33
E3			0	-0.41	-1.20	0.64	1.03
E4				0	0.13	-0.85	-0.33
E5					0	-0.22	-0.28
E6						0	0.47
E7							0

이렇게 계산된 최종자료는 성향도 분석에 이용된다.

성향거리 0.47 이상으로 분류하면,
{E2,E3,E6}, {E3,E6,E7}, {E1,E5}, {E1,E4}

성향거리 -0.17 이상으로 분류하면
{E2,E3,E6,E7},{E1,E4,E5},{E1,E6},{E2,E4}
성향거리 -0.33 이상으로 분류하면
{E1,E4,E5,E7}, {E2,E3,E6,E7}

위 결과는 해밍거리를 이용하여 계산할 때와 약간 다른 그룹화를 보여준다. 그룹화 기준을 낮추었을 때에는 그룹화가 점점 비슷해지기는 하나 다른 결과를 볼 수 있다. 이는 해밍거리로서는 알아낼 수 없는 경향성을 분석하여 같은 성향의 아동을 그룹화 할 수 있는 방법이 될 것이다.

4. 결론 및 향후 연구 과제

초등학교 교실에서 생겨나는 각종 인간관계를 분석하고 교우관계를 파악할 수 있는 시스템은 학급 경영이나 학습지도 면에 많은 도움이 될 것이다. 본 논문에서는 단순히 선호도 파악의 측면에서 이분법적인 질문으로 '좋아한다', '좋아하지 않는다'라는 조건만으로 교우관계를 분석하기에는 부족한 점이 많다고 느끼고 좀 더 불확실한 자료들을 비교 분석이 가능한 자료로 활용하기 위하여 퍼지이론을 응용하였다. 구체적으로 퍼지이론에서 퍼지집합간의 선호도의 차이를 알아내기 위한 해밍거리의 한계점을 지적하고, 새로운 개념인 성향거리를 제안하고 분석 기법을 연구하였다.

본 시스템의 특징은 다음과 같다.

첫째, 선호도와 같은 불확실한 면을 퍼지이론을 응용하여 좀 더 상대적 비교가 가능하도록 하였고, 둘째, 퍼지 이론의 적용을 통하여 해밍거리에 의한 유사도 분석에서 부족한 부분을 성향거리 분석을 통하여 가능하도록 제안 하였으며, 셋째, 교육현장에서 생겨나는 애매모호한 여러 상황을 해결할 수 있는 기초를 마련하였다.

본 연구의 향후 연구과제는 다음과 같다.

첫째, 상호관계를 더욱 정확하게 분석할 수 있는 방법을 개발해야 하고, 둘째 제시된 성향거리의 타당성을 조사하며 주변 환경에 따른 다양한 변수를 접목시켜 좀 더 정확하고 확인 가능한 분석 자료가 되도록 하는 연구가 필요하다.

5. 참고문헌

[1] 엄정국, "퍼지 이론 -기초와 응용입문-", 박영사, pp. 10, 1991.
[2] 퍼지기술연구회, "퍼지이론해설", 기전연구사, pp. 11, 1999.
[3] 이광형 오길록 공저, "퍼지이론 및 응용 I 권: 이론", 홍릉과학출판사, pp. 327, 1997.
[4] 이광형 오길록 공저, "퍼지이론 및 응용 II 권: 응용", 홍릉과학출판사, pp. 826, 1997.
[5] 정경용,최성용, "베이지안 추정치가 부여된 유사도 가중치와 연관 사용자 군집을 이용한 선호도 예측 시스템", 정보과학회논문지 제30권 제4호, 2003.
[6] 김광백, 조재현, "퍼지 추론 규칙을 이용한 수행평가 시스템", 한국컴퓨터정보학회논문지 제10권 제1호, 2005.
[7] 엄명용, 정순영, 이원규, "퍼지 추론 규칙을 이용한 적응형 평가 시스템", 한국컴퓨터교육학회논문지 제6권 제4호, 2003.
[8] 장혜원, "퍼지 소속 함수와 퍼지추론을 이용한 수행평가 방법에 관한 연구", 신라대학교 교육대학원 석사논문, 2003.
[9] 이동준, "웹기반 원격교육 시스템에서 퍼지이론을 적용한 학업성취도 평가", 대구카톨릭대학교 교육대학원 석사논문, 2002.
[10] 김용한, "퍼지를 이용한 성적평가방법에 관한 연구", 건국대학교 교육대학원 석사논문, 2000.
[11] 정창욱, "퍼지이론을 이용한 학습평가 방법에 관한 연구", 신라대학교 교육대학원 석사논문, 2003.