

퍼지론에 의한 강수 예측 : II. 퍼지 시계열의 적용성

Precipitation Forecasting by Fuzzy Theory : II. Applicability of Fuzzy Time Series

김형수* / 나창진** / 김종훈*** / 강인주****

Kim Hung Soo / La Chang Jin / Kim Joong Hoon / Kang In Joo

Abstract

Stochastic model has been widely used for the forecasting of time series. However, this study tries to perform the precipitation forecasting by fuzzy time series model using fuzzy concept. The published fuzzy based models are used for the forecasting of time series and also we suggest that the combination of fuzzy time series models and neuro-fuzzy system can increase the forecastability of the models. The precipitation time series in Illinois, USA is analyzed for the forecasting by the known fuzzy time series models and the suggested methodology in this study. As a result, we know that the suggested methodology shows more exact results than the known models.

keywords : time series, stochastic model, fuzzy time series, neuro-fuzzy system

요 지

시계열의 예측은 통상 추계학적 모형에 의해 수행하여 왔다. 그러나 본 연구에서는 퍼지 개념을 이용한 퍼지 시계열 모형에 의해 강수량 예측을 수행하였다. 기존에 제안된 퍼지 시계열 모형을 이용하여 예측을 수행하고, 예측 능력을 향상시키기 위하여 퍼지 시계열과 뉴로-퍼지 시스템을 연계한 새로운 방법론을 제안하여 상호 비교 분석하였다. 이를 위하여 미국 일리노이주의 강수량 시계열 예측에 적용하였으며, 예측 결과, 기존의 모형보다 본 연구에서 제안한 방법론의 결과가 더 정확함을 알수 있었다.

핵심용어 : 시계열, 추계학적 모형, 퍼지 시계열, 뉴로-퍼지 시스템

* 선문대학교 토목공학과 조교수
** (주)건일 ENG 부설기술연구소 연구원
*** 고려대학교 토목환경공학과 교수
**** (주)대경 ENC 전무이사

1. 서론

물의 순환에 대한 연구, 즉 강수 발생에 관한 연구는 많은 현상 중에서도 특별히 관심의 대상이 되어 왔으며, 이에 관한 분석 및 연구는 수공학에 있어 기본이 되는 연구 활동이라 할 수 있다. 많은 연구자들이 이러한 강수량의 예측의 중요성을 알고 있음에도 불구하고 기존에 그러한 연구가 타 과제에 비하여 적었던 것은 강수의 발생이 일정한 특성 없이 발생함에 그 원인이 있다. 또한 강수에 영향을 주는 인자 역시 불규칙하게 끊임없이 발생한다. 이러한 이유로 기존의 연구의 경우 대략 24시간전 혹은 12시간, 6시간의 단기간의 강수를 예측하는 것이 대부분이거나 지구 전체 또는 큰 대륙의 강수 거동변화에 대한 연구가 있어 왔다. 그러나 수자원 관리 및 계획, 농업용수 또는 생태계 연구등을 위해서 월 강수량이나 계절 강수량등의 물 가용용량(water availability)을 예측하는 것도 여전히 필요하다.

기존에 수문 시계열을 예측하기 위하여 추계학적 모형(stochastic models)들이 널리 이용되어 왔다. 즉, 수문 시계열간의 상관관계와 잡음(noise)을 통계적 견지에서 모형을 구성함으로써 예측을 수행하여 왔다. 그러나 본 연구에서는 추계학적 모형 대신에 Song과 Chissom(1993, 1994)에 의해 처음으로 제시된 퍼지 시계열(fuzzy time series)의 개념을 도입하여 예측을 수행하였다.

퍼지 시계열은 Song과 Chissom(1993, 1994)에 의하여 처음으로 정의되어 사회 및 경제 분야의 예측에 활용되어 왔으며, Sullivan(1994)은 Song과 Chissom(1993, 1994)의 모형과 Markov 모형을 비교하였다. Chen(1996, 1998)은 Song과 Chissom(1993, 1994)의 퍼지 시계열 개념을 이용하여 새로운 방안을 제시하고, 퍼지 시계열의 개념 및 적용을 재정립하였다. Huarng(2001)은 Chen(1996, 1998)의 퍼지 시계열에 경험적(heuristic) 개념을 도입하여 예측의 능력을 높인 퍼지 시계열을 제안한바 있으나 수문 분야에는 아직 적용된 바가 없다. 따라서, 본 연구에서는 퍼지 시계열 개념과 뉴로-퍼지 시스템(neuro-fuzzy system)을 결합한 강수량 예측 모형을 제안하고, 이 모형에 의해 기후 현상의 상호작용을 근간으로 강수에 영향을 미치는 인자들을 고려한 효과적인 강수량 예측을 수행하였다.

2. 퍼지 시계열

퍼지 시계열의 개념은 먼저 전통적인 시계열과 비교

할 수 있는데, 전통적인 시계열은 실험 또는 관측치들을 시간에 따라 구성하는데 반해 퍼지 시계열은 퍼지 집합(fuzzy set)과 퍼지 경계(fuzzy boundary)에 의해 시계열이 구성된다.

Song과 Chissom(1993)에 의해 정의된 퍼지 시계열의 정의는 다음과 같다.

U를 계열의 전체라 한다면, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 와 같이 나타낼 수 있다. 또한 U의 퍼지 집합 A_i 는 $A_i = f_{A_i}(u_1)/u_1 + f_{A_i}(u_2)/u_2 + \dots + f_{A_i}(u_n)/u_n$ 로 정의된다. 여기서 f_{A_i} 는 퍼지 집합 A_i 의 소속 함수이며, $f_{A_i}: U \rightarrow [0, 1]$ 이된다. u_k 는 퍼지 집합 A_i 에 소속되며 $f_{A_i}(u_k)$ 는 u_k 의 A_i 에 소속 정도를 나타낸다.

- ① 퍼지 시계열 $F(t)$ 는 퍼지 집합 $f_i(t)$ 의 조합으로 정의되어진다.
- ② $F(t) = F(t-1) \times R(t-1, t)$ 과 같이 퍼지 관계성(fuzzy relationship) $R(t-1, t)$ 이 존재한다면, $F(t-1) \rightarrow F(t)$ 로 나타낼 수 있다.
- ③ $F(t-1) = A_i$, $F(t) = A_j$ 일 때 퍼지 논리관계(fuzzy logical relation)는 $A_i \rightarrow A_j$ 로 정의될 때 A_i 는 퍼지 논리관계의 'left-hand side', A_j 는 'right-hand side'라 정의된다.
- ④ 퍼지 논리관계성(fuzzy logical relationship)은 퍼지 논리관계의 'left-hand side'에 의하여 그룹화될 수 있다. $A_i \rightarrow A_{j_1}, A_{j_2}, \dots$
- ⑤ $F(t)$ 가 $F(t-1)$ 에 의하여 발생할 경우, $F(t) = F(t-1) \times R(t-1, t)$ 의 $R(t-1, t)$ 가 t에 독립적일 경우 시불변(time invariant) 퍼지 시계열이 되며 t에 의존적일 경우 시변(time variant) 퍼지 시계열이 된다.

2.1 Chen의 퍼지 시계열

Chen(1996, 1998)이 제안한 모형의 적용은 다음과 같은 절차를 지닌다.

- ① 전체 집합의 범위를 결정하고 구간을 결정한다.
- ② 퍼지 집합들을 정의하고 자료를 퍼지화(fuzzify)한다.
- ③ 퍼지 관계성을 구축한다.
- ④ 예측을 수행한다.

Chen(1996, 1998)의 모형은 수학적 조작을 통하여 탈퍼지화(defuzzification) 및 퍼지 관계성을 동시에 구축함으로써 Song과 Chissom(1993, 1994)의 시불

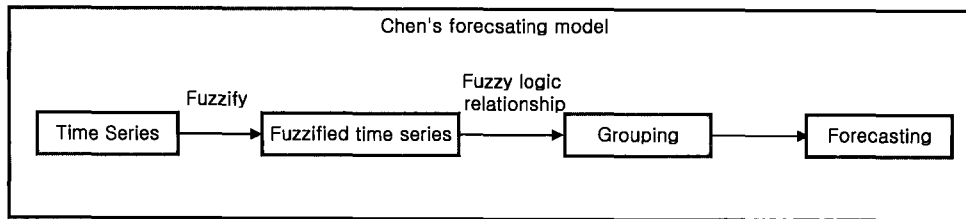


그림 1. Chen의 퍼지 시계열 예측 모형

변과 시변 모형에서의 복잡한 계산을 단순화시켰다.

2.2 경험적 퍼지 시계열

경험적(heuristic) 퍼지 시계열은 Huarng(2001)에 의하여 제안된 방법으로서 Chen(1996, 1998)의 퍼지 시계열에 경험적 지식을 종합하여 예측의 능력을 증대시키기 위한 모델이다. 퍼지 시계열에서 경험적 함수는 퍼지 논리관계성 그룹 및 관련 변수들을 매개 변수로 삼는다. 또한 경험적 함수는 퍼지 논리관계성 그룹으로부터 경험적 퍼지 논리관계성(heuristic fuzzy logical relationship) 그룹을 구축하기 위하여 적절한 퍼지 집합들을 선정하는데 활용된다.

3. 퍼지 시계열에 의한 강수량 예측

2절에서 Chen(1996, 1998)과 경험적 퍼지 시계열(Huarng, 2001)에 대하여 설명하였다. 본 절에서는 Chen의 방법(case 3)과 Chen의 방법에 뉴로-퍼지 시스템을 결합한 모형(case 3-C), 그리고 Huarng(2001)에 의한 경험적 퍼지 시계열 방법(case 4)과 이 방법에 뉴로-퍼지 시스템을 결합한 모형(case 4-H)을 이용하여 나창진 등(2002)에서 이용한 강수량 자료의 예측을 수행하였다. 뉴로-퍼지 시스템에 대한 설명은 나창진 등(2002)을 참고하면 될 것으로 사료된다. 또한 나창진 등(2002)에서 퍼지 예측 방법론에 따라 case 1, 2로 구분하여 본 연구에서는 case 3부터 시작하여 방법론의 연속성을 유지하고자 한다.

3.1 Chen의 퍼지 시계열과 뉴로-퍼지 시스템(case 3)

2.1절을 근거로 Chen(1996, 1998)의 모형을 강수량 예측에 이용하기 위해서는 아래와 같은 절차가 필요하며, 그림 1은 절차를 표현하기 위하여 도식화 한 것이다.

- ① 강수량 자료계열의 상한과 하한을 결정한다. 이는

자료계열의 최소(minimum)값과 최대(maximum) 값을 산정한 후 조정한다.

- ② 결정된 상한과 하한을 일정 간격으로 분류하고 각 구간에 대한 언어적인 값을 부여한다. 즉 구간의 강수에 많다 혹은 적다 등의 의미를 부여하는데 이는 시계열을 퍼지화하는 것이다.
- ③ 퍼지화한 시계열의 경우 시점 $t-1$ 에서 t 로 가는 길을 논리적으로 분류하여 그룹화 한다.
- ④ 예측 기간의 시계열을 퍼지화 한다.
- ⑤ 과정 ③에서 만든 그룹을 예측 구간에 적용하여 t 시점의 강수량을 예측한다.
- ⑥ Chen 모형의 경우 예측시 분류된 구간의 중간값의 평균을 활용한다.

위의 절차에 따라 Chen에 의해 제안된 Chen의 퍼지 시계열 모형을 적용하였다. Chen의 예측 모형은 평균법을 이용한 예측으로 단순히 강수량만을 그룹화하여 예측하는 기법이다. 따라서 본 연구에서는 강수량 그룹화에 있어 기온, 토양수분 등의 인자가 따라 들어갈 수 있도록 뉴로-퍼지 시스템을 Chen의 모형에 도입함으로써 예측의 정도를 높이고자 하였다.

먼저 나창진 등(2002)에서 이용한 일리노이주의 21일간 강수량 자료계열을 퍼지 시계열로 작성하기 위하여 퍼지 집합의 상한과 하한을 각각 10과 770(0.01 inches)로 결정한 후 일정간격 40(0.01 inches)을 기준으로 $A_1 \sim A_{19}$ 로 분류하였다. 분류된 자료계열을 전이 그룹으로 나눈 결과는 표 1과 같으며 표 2는 1996 입력 자료계열의 퍼지 시계열 그룹을 나타내고 있다.

Chen의 모형에서 평균법을 이용한 예측은 전 단계 강수량 자료에서 전이 가능한 상태의 총 평균으로 나타난다. Chen의 모형에 의한 강수량 예측 결과는 그림 2와 같다.

Chen의 평균법 예측 모형의 예측 정도를 높이기 위하여 표 1에 나타난 그룹의 그룹별 뉴로-퍼지 모형을 구성하여 case 3-C 모형을 작성한다. 이때 입력으로는

표 1. 강수량에 대한 Chen 퍼지 시계열 그룹화

t-1	t	t-1	t
A_1	$A_2, A_3, A_4, A_5, A_7, A_{12}$	A_{11}	A_4, A_5, A_8, A_{10}
A_2	$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_{12}, A_{15}$	A_{12}	A_3, A_4, A_7, A_{10}
A_3	$A_1, A_2, A_3, A_4, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}, A_{14}$	A_{13}	A_6, A_{11}
A_4	$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}, A_{17}$	A_{14}	A_{12}, A_{16}
A_5	$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}$	A_{15}	A_8
A_6	$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{12}$	A_{16}	A_8, A_{10}
A_7	$A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_{10}, A_{13}$	A_{17}	A_3
A_8	$A_1, A_2, A_3, A_4, A_6, A_8, A_9, A_{10}, A_{12}, A_{16}, A_{19}$	A_{18}	A_5
A_9	$A_1, A_2, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{14}, A_{18}$	A_{19}	A_5
A_{10}	$A_1, A_2, A_3, A_4, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}, A_{13}$		

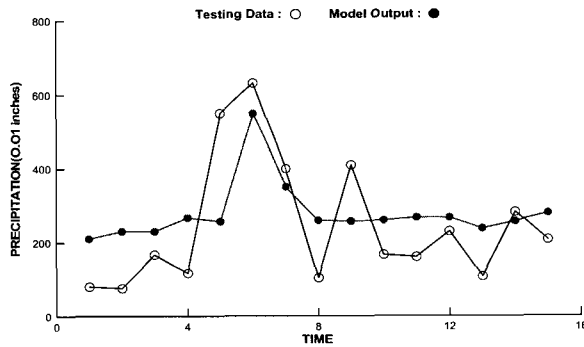


그림 2. Chen 모형에 의한 일리노이주 강수량 예측(case 3)

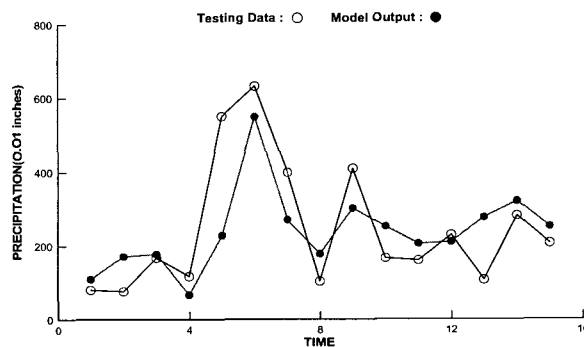


그림 3. Case 3-C 모형에 의한 일리노이주 강수량 예측

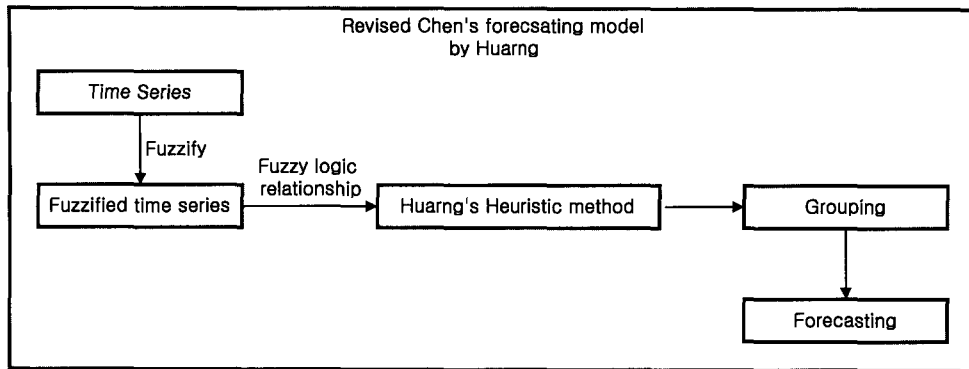


그림 4. Huarng의 퍼지 시계열 예측 모형

강수량, 기온, 토양수분이 들어간다. 또한 검정 기간의 분류 상태인 표 2에 따라 구축된 그룹별 모형을 적용하여 강수량을 예측할 수 있다. 그림 3에서는 그 예측 결과를 보이고 있다.

3.2 경험적 퍼지 시계열과 뉴로-퍼지 시스템 (case 4)

Huarng(2001)의 예측 모형은 Chen의 모형에 일부를 수정하였을 뿐 모형은 Chen의 모형을 그대로 사용한다. Huarng은 자료계열의 그룹화시 경험적(heuristic) 기법을 사용하여 적절한 그룹화를 위한 기준을 선정하여 모형의 예측 능력을 증대시킬 수 있도록 하였다. 그림 4는 Huarng에 의하여 수정된 Chen의 퍼지 시계열 모형을 간략히 설명하고 있다.

먼저 자료계열의 그룹화를 완성한 후, 그룹을 시점 $t-1$ 과 t 를 비교하여 오차의 정도를 가지고 다시 그룹화한다. 그러나 Huarng의 예측 모형의 경우 시점 t 와 $t-1$ 의 오차정도가 모형에 들어가므로 진정한 의미의 예측이라 할 수는 없다. 그러므로 본 연구에서는 예측 과정에 있어 나창진 등(2002)에 의한 case 2의 확률개념을 활용한다.

시점 $t-1$ 의 상태가 A_7 일 경우 시점 t 에서 $\{A_8, A_5, A_7, A_9\}$ 의 상태가 될 수 있다고 가정할 경우, t 와 $t-1$ 의 오차 정도에 따라 A_7 그룹은 $A_7 \rightarrow \{A_8, A_7, A_9\}$, $A_7 \rightarrow \{A_8, A_5, A_7, A_9\}$, $A_7 \rightarrow \{A_5, A_7\}$, 로 다시 그룹화된다.

Huarng 모형의 경우 세부 그룹을 알고 예측을 하나 이는 진정한 의미의 예측이라 할 수 없으므로 세부그룹에 대한 확률 즉, A_7 그룹의 경우 3/9, 4/9, 2/9의 확률을 갖는다. 이러한 확률개념을 이용하여 출력된 3개의 결과를 확률 평균한다. 각 모형의 결과는 Chen의 모형과 마찬가지로 구간의 중간값을 평균하는 방법을 이용한다.

Huarng이 제안한 경험적 퍼지 시계열은 Chen의 퍼지 시계열 그룹화를 자세히 하여 Chen의 예측 모형의 정도를 높였다. Huarng 모형의 경우 그룹화에 있어 경험적 기법을 사용하여 그룹 분류의 기준을 선정하는 것이다. Huarng의 기법에 의하면 표 1은 더욱 많은 그룹이 발생하게 된다. 앞에서 설명한 것과 같이 Huarng의 모형은 출력의 특성치가 모형에 들어감으로서 실제적인 예측이라 할 수는 없다. 그러므로 학습 자료를 통하여 그룹별 전이확률개념을 이용해 Huarng 모형의 문제점을 개선하도록 하였다. 오차정도를 통한 재그룹화에 있어 오차정도의 기준은 자료의 양의 오차, 음의 오차를 기준으로 하여 자료를 분류하였다. 퍼지 시계열 그룹화는 표 1의 Chen 모형과 같으나 이를 오차정도를 기준으로 재그룹화 하였다. 재그룹화된 퍼지 시계열과 각 그룹의 발생확률은 표 3과 같다.

그림 5는 표 2의 자료계열 분류와 표 3의 그룹을 활용하여 전이 가능한 분류를 평균법을 이용하여 1996년의 강수량을 예측한 결과이다. 모형에 있어서 예측 결과는 양의 오차를 갖는 경우와 음의 오차를 갖는 경우

표 2. 각 case들을 위한 1996년 강수량 자료계열 분류

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
그룹	A_5	A_2	A_2	A_4	A_3	A_{14}	A_{16}	A_{10}	A_3	A_{10}	A_4	A_4	A_6	A_3	A_7

표 3. 강수량에 대한 Huarng 퍼지 시계열 그룹화

	양(+) ¹ 의 오차		음(-) ² 의 오차	
	그룹	발생확률	그룹	발생확률
A ₁	A ₂ , A ₃ , A ₄ , A ₅ , A ₇ , A ₁₂	1.000	-	0.000
A ₂	A ₂ , A ₃ , A ₄ , A ₅ , A ₁₂ , A ₁₅	0.882	A ₁ , A ₂	0.118
A ₃	A ₃ , A ₄ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₉ , A ₁₀ , A ₁₁ , A ₁₄	0.727	A ₁ , A ₂ , A ₃	0.273
A ₄	A ₄ , A ₅ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₉ , A ₁₀ , A ₁₁ , A ₁₇	0.737	A ₁ , A ₂ , A ₃ , A ₄	0.263
A ₅	A ₅ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₉ , A ₁₀	0.588	A ₁ , A ₂ , A ₃ , A ₄ , A ₅	0.412
A ₆	A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₉ , A ₁₀ , A ₁₂	0.526	A ₁ , A ₂ , A ₃ , A ₄ , A ₅ , A ₆	0.474
A ₇	A ₇ , A ₈ , A ₁₀ , A ₁₃	0.304	A ₂ , A ₃ , A ₄ , A ₅ , A ₆ , A ₇	0.696
A ₈	A ₉ , A ₁₀ , A ₁₂ , A ₁₆ , A ₁₉	0.455	A ₁ , A ₂ , A ₃ , A ₄ , A ₆ , A ₈	0.545
A ₉	A ₁₀ , A ₁₄ , A ₁₈	0.176	A ₁ , A ₂ , A ₄ , A ₅ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₉	0.824
A ₁₀	A ₁₁ , A ₁₃	0.133	A ₁ , A ₂ , A ₃ , A ₄ , A ₆ , A ₇ , A ₈ , A ₉ , A ₁₀	0.867
A ₁₁	-	0.000	A ₄ , A ₅ , A ₈ , A ₁₀	1.000
A ₁₂	-	0.000	A ₃ , A ₄ , A ₇ , A ₁₀	1.000
A ₁₃	-	0.000	A ₆ , A ₁₁	1.000
A ₁₄	A ₁₆	0.500	A ₁₂	0.500
A ₁₅	-	0.000	A ₈	1.000
A ₁₆	-	0.000	A ₈ , A ₁₀	1.000
A ₁₇	-	0.000	A ₃	1.000
A ₁₈	-	0.000	A ₅	1.000
A ₁₉	-	0.000	A ₅	1.000

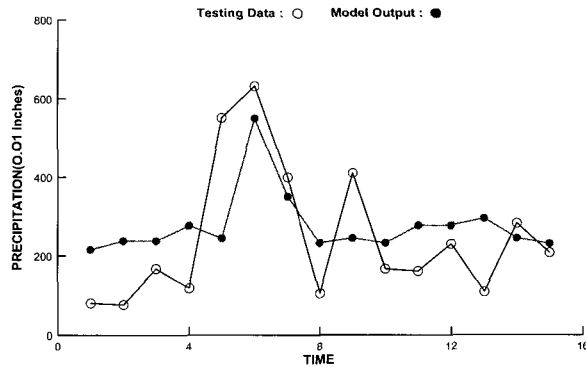


그림 5. Huarng(또는 경험적) 모형에 의한 일리노이주 강수량 예측(case 4)

두 가지의 경우에 대한 결과가 발생하며, 두 가지 경우의 발생확률은 출력된 결과에 확률가중평균되어 최종 예측 결과를 보인다.

그림 6은 표 3에 나타난 그룹에 따른 뉴로-퍼지 모형을 구성하여 case 4-H 모형을 작성한 후 표 2에 나타난 1996년 자료계열의 분류에 따라 모형을 적용하여 강수량을 예측한 결과이다. 그림 6은 그림 3의 결과와

마찬가지로 양의 오차와 음의 오차를 갖는 경우의 발생 확률에 대한 확률가중평균을 하여 최종 예측 결과를 얻었다.

Chen 모형(case 3) 적용결과, 대기순환 입력인자로 강수량만이 들어가는 경우 최종 출력 생성 능력의 한계를 보였으며, Huarng의 경험적 모형(case 4)의 경우 실제적인 예측을 위하여 확률개념의 도입이 불가피 하

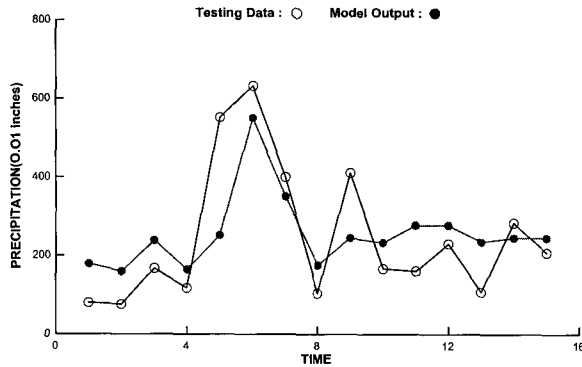


그림 6. Case 4-H 모형에 의한 일리노이주 강수량 예측

표 4. 예측결과 오차

	미국 일리노이주(1996년)			
	case 3	case 3-C	case 4	case 4-H
P.E(%)	73.32	46.38	75.93	52.42
RMSE (inches)	130.22	115.25	136.42	113.39

며 마찬가지로 최종 출력 생성 능력의 한계를 보였다. 본 연구에서 제안한 case 3-C와 case 4-H 모형의 경우 앞에서 언급한 다양한 대기순환인자를 입력으로 사용하였으며, 기존의 퍼지시계열 모형인 case 3 및 case 4의 문제점을 해결하였다. 표 4는 이러한 모형의 예측 결과를 보이고 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 각종 인자들의 복합적인 상호작용 및 기후의 비선형적 특성의 문제를 해결하기 위하여 애매함(fuzziness)을 수리적으로 취급이 가능하도록 하는 퍼지이론을 활용하였다. 또한 세부적인 퍼지이론의 적용은 전통적인 시계열을 퍼지화(fuzzify)한 퍼지시계열을 사용하는 퍼지시계열 모형과 신경망의 학습기법을 이용한 뉴로-퍼지 모형을 제안 적용하였다.

강수량 예측 모형은 강수의 특성인 각종 인자들과의 복합적인 상호작용을 고려하기 위해 다양한 대기 순환 인자를 이용하여 모형을 구축하였다. 본 연구에서는 강수량, 기온, 토양수분, 해수면 온도, 해면 기압의 인자들이 사용되었다.

본 연구에서 제안한 모형을 가지고 미국 일리노이주의 1996년 21일 간격의 1년간 강수량을 예측하였고, 본 연구의 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수

있었다.

- ① 기존에 제안된 퍼지 시계열 예측 모형의 경우 다양한 인자에 영향을 받는 강수의 예측에는 미흡한 점이 많다.
- ② 뉴로-퍼지 모형의 경우 복합적인 작용을 고려하는데 용이하므로, 본 연구에서 제안한 퍼지 시계열과 뉴로-퍼지 모형을 이용한 예측 모형은 강수와 같은 자연현상의 예측에 기존의 퍼지 시계열 모형에 비하여 효과적임을 알 수 있었다.

참고 문헌

- 나창진, 김형수, 김중훈, 강인주(2002) “퍼지론에 의한 강수량 예측 : I. 뉴로-퍼지 시스템과 마코프 연쇄의 적용”, 한국수자원학회 논문집, 제출.
- Chen, S.M. (1996) “Forecasting enrollments based on fuzzy time series”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 81, p. 311~319
- Huang, K. (2001) “Heuristic models of fuzzy time series for forecasting”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 123, p. 369~386
- Hwang, J.R., Chen, S.M. and Lee, C.H. (1998) “Handling forecasting problems using fuzzy time series”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.

100, p. 217~228

- Song, Q. and Chissom, B.S. (1993). "Forecastin enrollments with fuzzy time series-Part 1", *Fuzzy Sets and System*, Vol. 53, p. 1~9
- Song, Q. and Chissom, B.S. (1994). "Forecasting enrollments with fuzzy time series-Part 2",

Fuzzy Sets and Systems, Vol. 62, p. 1~8

- Sullivan, J.(1994). A Comparison of Fuzzy forecasting and Markov modeling, Ph.D. Dissertation, The University of Alabama

(논문번호:02-65·접수:2002.8.29/심사완료:2002.09.27)