

환경 시나리오 발생기 개발을 위한 퍼지 논리 기반 환경 자료의 검색 사례 구현

박종철 · 김만규[†]

Implement of Search Cases of Environmental Data Based on Fuzzy Criteria for Development of Environmental Scenario Generator

Jongchul Park · Man-Kyu Kim[†]

ABSTRACT

Environmental data plays an important role to enhance the reliability of experimental results in M&S(Modeling and Simulation). Especially in Military M&S, extreme weather events can be used for virtual training and simulation importantly. However, the environmental data is huge and it is dispersed among multiple organizations. It is difficult for M&S operators to select the date and area where the weather phenomenon occurs in the real environmental data and to acquire them. Environmental data retrieval technology based on Fuzzy criteria is one of the important technologies for developing Environmental Scenario Generator. As a result of this study, a fuzzy retrieval algorithm composed of four main parameters(RV, MF, FRA, and MRV) was presented. This study suggests that the RV can be used as 14 m/s for wind speed and 80 mm/d for precipitation to search the date of storm accompanied by high wind. The MF, the FRA, and MRV can be used sigmoid, 0.2, and 1 respectively. The algorithm proposed in this study is expected to be very useful for searching the date on which weather phenomena necessary for simulation occurred.

Key words : Modeling and Simulation, Environmental Scenario Generator, Fuzzy, Precipitation, Wind speed

요약

환경 자료는 M&S(Modeling and Simulation)에서 실험 결과의 신뢰도를 높이는 데 중요한 역할을 한다. 특히 국방 M&S에서는 극한 기상 현상들이 가상훈련 및 실험에서 중요하게 활용될 수 있다. 그러나 환경 자료는 여러 기관에 분산되어 있고 방대하다. 이 때문에 M&S 운영자들이 실제 환경 자료에서 극한 기상 현상이 발생한 일지와 지역을 선정하여 획득하는 것은 어려운 일이다. 퍼지논리 기반의 환경 자료 검색 기술은 환경 시나리오 발생기 개발의 핵심 기술 중 하나이다. 연구 결과 4개의 주요 매개변수(RV, MF, FRA, MRV)로 구성된 퍼지 검색 알고리즘을 제시하였다. 이 연구는 강풍을 동반한 호우 발생 일지를 검색하기 위해 RV는 풍속과 강수량을 위해 각각 14 m/s와 80 mm/d, FRA는 0.2, MRV는 1, 그리고 MF는 시그모이드를 활용할 것을 제안한다. 이 연구에서 제안하는 알고리즘은 국방 M&S에서 필요로 하는 극한 기상 현상들이 발생한 일지를 검색하는데 매우 유용할 것으로 기대된다.

주요어 : 모델링 & 시뮬레이션, 환경 시나리오 발생기, 퍼지, 강수량, 풍속

1. 서론

Modeling and Simulation(M&S)에서는 독립된 가상 환경들이 분산 시뮬레이션 환경에서 서로 상호작용을 한다(Miedema *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2014; Kim and Lee, 2016). 합성자연환경은 가상환경 중 하나로 지리적 인 위치를 참조하는 환경들을 표현하며, 시뮬레이션 개체 들을 둘러싸는 지형고도, 지표 피복, 해양, 대기, 근우주

* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(UD140022PD).

Received: 19 January 2017, Revised: 25 June 2017,

Accepted: 03 August 2017

[†] Corresponding Author: Man-Kyu Kim

E-mail: aquasia@kongju.ac.kr

Dept. of Geography, Kongju Nat'l Univ., Gongju, Korea

영역의 환경을 포함한다(Morris and Tarr, 2002).

국방 M&S에서는 일반적인 상태의 합성자연환경 뿐 아니라 태풍, 강풍, 폭우, 짙은 안개와 같은 극한 기상 환경들을 필요로 한다. 일례로 Cho *et al.*(2010)의 연구는 많은 비가 내릴 때와 그렇지 않을 때 전차 간의 탐지 확률에 차이가 있음을 보여주었고, 이를 통해 가상훈련 및 무기 실험에서 극한 환경을 포함한 다양한 환경을 구현할 필요가 있음을 보여주었다.

육군본부 야전교범(Headquarter of Korea Army, 2001) 역시 강한 바람이 국방 M&S에서 중요한 현상이라는 것을 보여준다. 이에 의하면 풍속이 4 m/s 이상일 때 연막 작전이 영향을 받거나 레이더에 잡음이 발생하며, 풍속이 10 m/s 이상이면 모래 또는 눈의 비산으로 시계에 제한이 발생한다. 풍속이 15 m/s 이상이 되면 대전차 미사일의 정확도가 감소하고 풍속이 약 40 m/s 이상이 되면 안테나 및 차량 등 각종 장비에 피해가 발생할 수 있다. 공군전투발전단 기상환경지침서(Aerial Combat Development Group, 2004)에 의하면 약 4 m/s의 풍속에서 레이더에 소음이 발생하고, 약 13 m/s 이상에서는 가시 및 대기권 반사 안테나에 이상이 발생할 수 있다. 또한 40 m/s 이상에서는 단거리 및 광대역 무전안테나에 피해가 발생할 수 있다.

육군본부 야전교범(Headquarter of Korea Army, 2001)에 의하면 3 mm/hr (72 mm/d), 즉 호우가 발생했을 때 온도 및 습도에 따라 토질이 영향을 받고, 이는 지상기동에 제한을 미칠 수 있다. 50 mm/12hr (100 mm/d) 이상이면 차량 및 진지 이동, 이륙 및 재보급의 지연이 발생할 수 있다. 특수부대는 호우가 발생했을 때 낙하울 및 표적지역 획득 전단의 분산에 영향을 받는다. 공군전투발전단 기상환경지침서(Aerial Combat Development Group, 2004)에 의하면 13 mm/hr 이상의 강수량이 발생하면 레이더 탐지거리 및 정확도가 감소하고 단거리 광대역 무전기의 성능이 제한된다. 아울러 항공작전에서 표적을 확인하는데 제한이 발생한다. 이 외에도 강풍, 폭우, 호우 등 극한 기상 현상이 국방 M&S의 무기 실험 및 훈련에서도 중요하게 활용될 수 있는 현상이라는 것은 기상환경지침서에서 다양하게 확인할 수 있다.

그러나 이러한 환경이 언제 어디에서 발생했는지 파악하고, 그 때의 실제 환경 자료들을 수집하여 M&S에 적용하기는 쉽지 않았다. 그럼에도 국방 M&S에서 극한 기상 현상을 포함한 자연환경 자료들에 대한 요구가 증대되자 Defense Modeling and Simulation Office는 여러 기관에 다양한 포맷으로 분산되어 있는 환경 자료를

수집하고 합성자연환경을 구현하기 위해 MEL(Master Environmental Library) 프로젝트를 추진하였다(Siquig, 1997).

이 프로젝트는 Defense Modeling and Simulation Office에서 지원하고 미 육/해/공군, National Imagery and Mapping Agency가 참여하였으며 미국 Naval Research Laboratory가 주관하였다. MEL은 M&S 사용자들과 미국 전역에 분포하는 여러 자료 제공기관 사이에 공용 인터페이스를 제공하는 역할을 한다(Donelson, 1999; Temizer, 2007).

MEL에서 실제적으로 환경 자료를 탐색하고 가공하여 M&S 사용자들에게 제공하는 시스템을 ESG(Environmental Scenario Generator)라고 하며, ESG의 첫 단계는 사용자 요구에 부합하는 환경이 발생한 일자를 목록화하여 제시하는 것이다(Kihn *et al.*, 2004). Kim *et al.*(2012)에 의하면 ESG는 5개의 핵심 기술과 13개의 요소 기술로 구성되어 있고, 5개의 핵심 기술은 검색 및 수집, 가시화 및 매핑, 마이닝 및 모델링, 변환 및 전송 기술이다. 이 중 가시화 및 매핑 기술, 마이닝 및 모델링, 변환 기술, 환경 자료의 공유 기술 등에 대해서는 많은 연구들이 있었다(Park and Kim, 2009; Gang *et al.*, 2013; Park and Kim, 2016; Cho *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2010; Moon and Han, 2005). 이에 비해 환경 자료를 검색하기 위한 연구는 상대적으로 부족하였다.

Kihn *et al.*(2004)는 ESG에서 환경 자료의 검색이 퍼지 논리에 의해 검색되고 있음을 소개한 바 있다. 퍼지는 Zadeh(1965)가 집합에서 각 인자의 불확실한 정도를 수학적인 형태로 나타내기 위해 제안한 이후 군사 시뮬레이션 분야(Lee *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2011) 뿐 아니라 무선 네트워크 보안(Lee and Cho, 2005; Seo, 2008), 선박 충돌 예측(Yi, 2016) 등 여러 분야에서 폭넓게 활용되고 있는 이론이다. 퍼지 이론은 ESG에서 ‘건조한’, ‘습한’, ‘강풍’, ‘폭우’, ‘폭염’ 등과 같은 언어적 표현을 사용하여 환경 자료를 검색하는 근간이 된다.

하지만 Kihn *et al.*(2004)의 연구 뿐 아니라 국내에서도 국방 M&S에서 폭넓게 활용될 수 있는 현상인 ‘강풍’과 ‘폭우’를 검색하기 위한 퍼지의 구체적인 적용 방안을 제시한 연구는 찾아보기 어렵다. Kang and Lee(2012)와 Salina *et al.*(2016) 등에 의하면 퍼지 기반의 검색에서 소속 함수와 확률 분포의 형태를 결정하는 매개변수 값은 검색 결과에 영향을 주는 중요한 요소이다. 따라서 ‘강풍’과 ‘폭우’ 현상의 검색에 필요한 소속 함수와 매개변수 값에 대한 연구는 추후 국방 M&S를 위한 ESG 구

현에 중요한 기초 정보가 될 것으로 기대된다.

한편 기존에 기상 자료를 이용한 퍼지 적용 연구는 홍수 (Yi and Choi, 2008), 침수위험(Eun *et al.*, 2014), 가뭄 발생(Choubin *et al.*, 2015) 등 특정현상의 출현 여부를 결정하는데 활용되었다. 이에 따라 퍼지 조합 시 단순 평균 또는 특정 점수(예를 들어, 0.5) 이상인 변수의 퍼지 값만을 사용하였다. 그러나 ESG에서 요구되는 현상의 유사도를 측정하기 위해 퍼지를 이용할 때는 특정 점수 이상인 변수의 퍼지 값만을 취할 수 없으며 단순 평균을 사용하면 풍속과 강수량 중 어느 한 변수에 편향된 결과를 제시할 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 사용자 요구에 부합하는 환경을 목록화하기 위해 조건부 퍼지 평균을 사용하여 특정 변수에 편향된 결과를 제시하지 않도록 하였다.

아울러 기존 연구에서는 특정 현상이 발생한 전·후에 나타난 관측 값의 분포에서 왜곡도와 변동계수를 분석하여 소속 함수의 확률 분포 형태를 결정한다. 그러나 현상의 유사도 측정에서는 확률 분포 함수에 대한 왜곡도와 변동계수가 임의적일 수밖에 없다. 본 연구에서는 사용자들이 찾고자 하는 환경의 기준값에 대한 비율과 배수를 확률 분포 형태의 매개변수로 이용하여 사용자들이 직관적으로 퍼지 매개변수를 지정하고 검색 결과를 예측할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 위와 같이 검색 결과의 편향을 방지하고, 국방M&S 사용자들이 직관적으로 사용할 수 있는 퍼지 알고리즘 및 매개변수를 설계하여 강풍을 동반한 호우 검색 사례를 구현하였다. 그 과정에서 제시되는 퍼지 소속 함수와 매개변수 값은 추후 ESG 구현을 위한 토대를 마련하는데 기여할 수 있을 것이다.

2. 관련 연구

환경에 대한 언어적 표현들은 지역과 나라에 따라 다르다(Lee *et al.*, 2016). 따라서 본 연구에서는 국내의 언어적 표현을 참고하여 강풍과 호우를 정의하였다.

호우, 집중호우 또는 폭우 등의 용어는 공식적인 기상 용어는 아니었고, 언론에서 먼저 사용되던 것이 일반화된 용어이다. 호우는 많은 비를 의미하며 집중호우와 폭우는 시·공간적으로 집중하여 발생한 비를 의미한다. 기상청 위험기상정보포털(Korea Meteorological Administration, 2017)에 의하면 집중호우는 한 시간에 30 mm 이상의 비가 내리는 현상으로 정의되며, Song *et al.*(2014)에 의하면 폭우는 50 mm/hr 이상으로 정의할

수도 있다. 그리고 호우는 일반적으로 하루에 80 mm 이상의 비가 내렸을 때 사용되고는 한다(예를 들어, Money Today, 2017). 본 연구에서는 호우 현상을 80 mm/d 이상으로 정의하였다.

강풍은 기상청의 강풍주의보 발령기준(Korea Meteorological Administration, 2017)을 참고하여 14 m/s 이상의 풍속으로 정의하였다. 풍속의 언어적인 표현에서 보편적으로 활용되는 보퍼트의 풍력계급(Beer, 1997)에서 그 풍속은 7번째 등급, 13~15 m/s의 풍속에 해당한다. Beer(1997)에 의하면, 이 풍속에서는 나무 전체가 흔들리며 바람을 안고서 걷기 곤란하다. 해상에서는 파도가 높아지고, 파도가 서로 부서져서 물거품이 생겨 줄을 이룬다. 기상청의 강풍주의보 기준이 보편적으로 이용되는 보퍼트의 풍력계급에도 잘 부합하기 때문에 본 연구에서는 기상청 기준을 준용하였다.

한편 퍼지 소속 함수는 각 인자의 불확실한 정도를 0에서 1 사이의 값으로 표현하는 개념으로 제안되었으며(Zadeh, 1965), Fig. 1에서와 같이 삼각형, 사다리꼴, 가우시안, 시그모이드 형태 등으로 나타낼 수 있다.

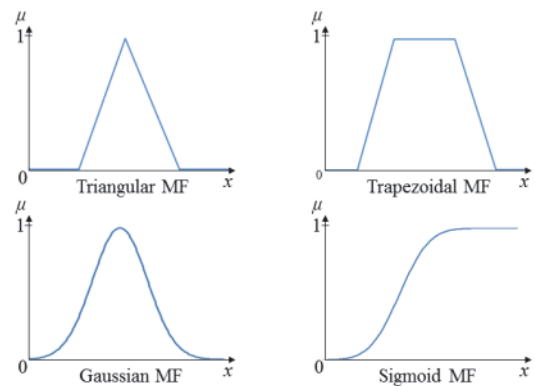


Fig. 1. Type of fuzzy membership function

기상 관련 시뮬레이션 분야에서 퍼지는 다양하게 활용되고 있다. Yi and Choi(2008)은 홍수 예·경보를 위해, Kang and Lee(2012), Eun *et al.*(2014)는 강우강도와 저수위 등이 침수 위험에 미치는 정도를 평가하기 위해, Choubin *et al.*(2015)는 가뭄 발생에 영향을 미치는 주요한 기후 지수를 선정하기 위해 퍼지를 활용하였다. 이 연구들에서는 각 현상이 나타나는 과정에 주요한 영향을 미치는 환경 변수를 식별하거나 환경 변수가 미치는 영향의 정도를 측정하기 위한 수단으로 퍼지가 활용되었다. Ko *et al.*(2015)은 레이더 자료에서 강수와 비강수를 구

분하기 위해 퍼지를 활용하였다. 또한 Salinas *et al.*(2016)은 역사적인 문서에 기록된 언어적인 표현들에서 홍수에 가까운 현상을 찾기 위해 퍼지와 베이지안을 활용하였다.

연구에 이용되는 퍼지 소속 함수는 기계 학습 과정에 의해 결정하거나(Yi and Choi, 2008), 문헌에 기록된 언어적인 표현을 수치화할 때 사다리꼴이 사용되기도 하였다(Salinas *et al.*, 2016). 하지만 연속형 척도인 기상 관측 자료가 특정 현상에 얼마나 가까운지를 판단하려는 대부분의 연구에서는 가우시안 모형이 사용되었다.

기존 연구들에서는 가우시안 확률분포의 형태가 왜곡도(skewness)와 변동계수(coefficient of variation)에 의해 결정되었다(Eun *et al.*, 2014). 그리고 발생 여부에 관심을 갖고 있기 때문에 확률분포에 의한 퍼지 점수가 0.5 이상인 변수만을 분석에 사용하였다(Eun *et al.*, 2014, Kang and Lee, 2012). 여러 변수에 대한 퍼지 결과를 조합할 때는 평균(Kang and Lee, 2012)를 사용하여 발생 여부를 판단하기도 하였으며, 퍼지 점수가 0.5를 넘는 변수들의 수를 이용하여 판단하기도 하였다(Eun *et al.*, 2014).

본 연구는 특정 현상의 출현 여부를 판단하는 것이 아니고, 그 현상에 가까운 정도를 순위로 제시한다는 점에서 기존 연구들과 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구들과 퍼지의 활용에 있어 다음과 같은 공통점과 차이점이 있다.

본 연구에서는 기존 연구와 마찬가지로 각 현상의 정의에 사용되는 기준값을 전후하여 퍼지 점수의 증감 경향을 나타내기 위해 가우시안 함수를 사용하였다. 본 연구에서도 연속형 척도의 자료를 활용하여 강풍과 호우 현상을 검색하기 때문이다. 다만 강풍과 폭우가 각각 80 mm/d 이상과 14 m/s 이상으로 정의되기 때문에 검색에 사용되는 최종적인 퍼지 소속 함수는 특정값 이상을 모두 동일한 현상으로 취급하는 누적확률밀도함수, 시그모이드를 사용하였다. 시그모이드에서는 80 mm/d 이상의 강수가 발생했을 때 모두 호우라는 단일 현상으로 해석되거나 강수량이 증가할수록 호우에 더 가깝다고 해석될 수 있다.

본 연구에서 강풍과 호우의 퍼지 조합 함수는 조건부 평균을 사용하였다. 기존 연구들에서는 단순 평균하거나, 발생 여부의 판단에 초점을 맞춰 퍼지 점수가 0.5 이상인 변수만을 조합에 이용하였다. 이에 비해 본 연구는 현상의 유사도를 판단하기 때문에 0.5 미만의 값도 모두 조합에 사용하였고, 퍼지 조합 평균이 동률을 이루는 사례들이 있을 때 두 변수 모두의 퍼지 점수가 0.5 이상인 때를 상위 순위로 배정하여 0.5라는 기준을 우선순위 결정

에 고려하였다.

마지막으로 기존 연구에서는 확률밀도함수의 형태를 결정할 때 왜곡도와 변동계수를 이용하였는데, 본 연구에서는 검색하고자 하는 현상의 기준 값에 대비한 매개변수를 구성하여 실무 수준에서 검색 매개변수 값을 쉽게 설정할 수 있도록 하였다.

3. 알고리즘 및 매개변수 설계

퍼지 검색을 위한 매개변수는 다음의 4개로 구성하였다. 첫째, 탐색 현상에 대한 기준값(Reference value, RV), 둘째, 퍼지 소속 함수(Membership function, MF), 셋째, 기준값에 대한 비율(Fraction of reference value, FRA), 넷째, 기준값에 대한 배수(Multiples of the reference value, MRV)이다.

Table 1. Default values of parameters for fuzzy search

Phenomenon	RV	MF	FRA	MRV
Storm	80 mm/d	sigmoid	0.2	1
High wind	14 m/s	sigmoid	0.2	1

RV: Reference value

MF: Membership function

FRA: Fraction to reference value

MRV: Multiples of the reference value

Table 1은 본 연구에서 각 매개변수의 초기 값 설정을 보여준다. RV는 주어진 현상을 정의할 때 사용되는 값을 의미하며 호우에 대해 80 mm/d, 강풍에 대해 14 m/s가 각각 사용되었다. 호우와 강풍이 기준값 이상으로 정의되기 때문에 MF는 시그모이드가 사용되었다. FRA는 확률 밀도함수의 형태를 결정하는데 사용된다. 기존 연구에서는 상대표준편차라고도 하는 변동계수(표준편차/평균)를 사용한다. 그러나 본 연구는 현상의 유사도를 측정하는데 관심이 있기 때문에 관측 값의 실제 분포를 기반으로 확률밀도함수를 작성하지 않는다. 이에 따라 변동계수의 지정이 임의적일 수밖에 없다. 하지만 변동계수를 현업의 실무자들이 직관적으로 임의 지정하는데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 기준값에 대한 비율을 사용하여 실무자가 직관적으로 확률밀도함수의 형태를 결정할 수 있도록 하였으며 0.2를 초기 값으로 사용하였다. MRV는 시그모이드 함수에서 기준값 이상이 나타났을 때 그 값이 주어진 현상에 더욱 가까운 것인지 아니면 기준값 이상은 모두 주어진 현상을 동일하게 설명하는지를 결정하는데 사용된다. 예를 들어 80 mm/d와 100 mm/d는 퍼지 함수 값이 모두 1로 동일한 정도의 호우라고 해석할 것인

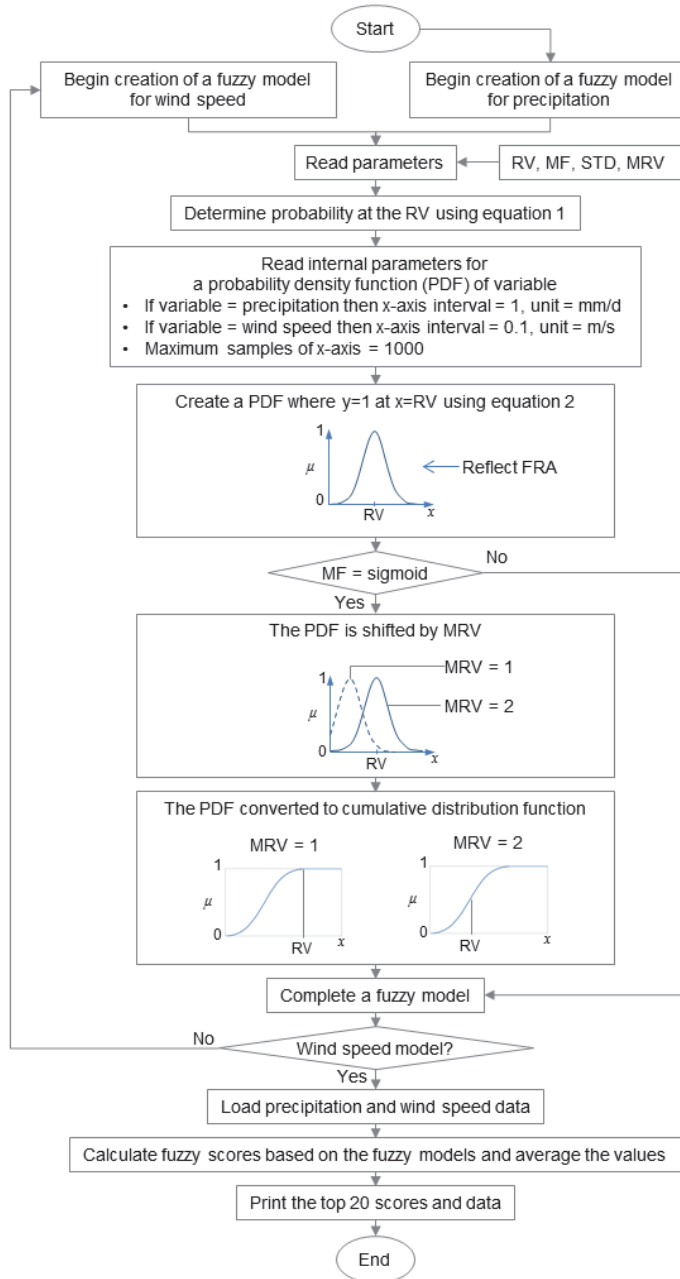


Fig. 2. Flow-chart of fuzzy search algorithm for storm and high wind

지, 아니면 둘 모두 호우이지만 100 mm/d가 80 mm/d에 비해서는 더 호우에 가깝다고 해석할 것인지를 조절하는데 사용된다. MRV가 1이면 80 mm/d 이상일때 모두 동일한 정도의 호우이며, MRV가 2이면 160 mm/d까지는 강수량이 증가할수록 호우에 더욱 가까운 현상으로 간주

된다. 기존 연구들은 대체로 현상의 발생 여부에 초점을 맞추기 때문에 MRV가 1로 설정되어 있다. 본 연구에서 역시 MRV의 초기값은 1로 설정하였다.

Table 1의 변수들은 본 연구에서 설계한 Fig. 2의 퍼지 검색 알고리즘에서 호우와 강풍에 가까운 자료를 검

색하는데 사용된다. 퍼지 검색 알고리즘의 흐름은 다음과 같다. 퍼지 검색 알고리즘은 먼저 퍼지 모델을 작성한다. 이를 위해 앞서의 4개 변수가 입력된다. 그리고 식 1을 토대로 RV에서의 확률(Probability at the RV, P)이 결정되고, 식 2에 의해 x축은 강수량 또는 풍속 값, y축은 0~1의 분포와 RV의 y는 늘 1이 되는 확률밀도함수(Probability density function, PDF)가 작성된다. 이 때 x축의 간격은 강수량의 경우 1 mm/d, 풍속의 경우에는 0.1 m/s이며 최대 샘플 수는 1000개이다. 즉 이 알고리즘은 최대 1000 mm/d의 강수량과 100 m/s의 풍속까지 해석할 수 있도록 설계되었다. RV로부터 변량들의 거리는 RV와 FRA의 곱에 의해 결정된다.

만약 MF가 가우시안이라면 확률밀도함수가 퍼지 모델이 되고, 시그모이드라면 확률밀도함수가 누적분포함수로 변환된다. 이 때 확률밀도함수에서 최솟값, 1이 RV에서 나타날지 RV보다 높은 값에서 나타날지가 MRV에 의해 조정된다. MRV에 의해 조정된 확률밀도함수는 누적분포함수를 작성하는데 이용된다. 시그모이드에서는 누적분포함수가 퍼지 모델이 된다. 퍼지 모델이 완성되면 관측된 강수량 또는 풍속 자료가 입력된다. 각 자료는 퍼지 모델에 대입되며 점수화 된다.

$$P = \left(\frac{1}{\text{sqr}(fra1) \times \text{sqr}(2 \times \pi)} \right) \times 100 \quad (1)$$

$P = \text{probability at the RV}$
 $fra1 = RV \times FRA$

$$\mu(x) = \frac{A \times \text{Exp}(B) \times 100}{P} \quad (2)$$

$$A = \frac{1}{\text{sqr}(fra1) \times \text{sqr}(2 \times \pi)}$$

$$B = -\frac{(x - RV)^2}{2 \times fra1^2}$$

$x = 1 \text{ to } 1000 \text{ in precipitation, } 0.1 \text{ to } 100 \text{ in wind speed}$

최종 순위는 강풍에 의한 점수와 호우에 의한 점수를 평균하여 결정된다. 이 때 평균 점수가 동물인 사례들이 발생하면 강풍과 호우에 의한 점수가 모두 0.5 이상인 사례에 우선순위가 부여된다. 마지막으로 상위 10개의 점수와 그에 해당하는 기상자료가 일자 등과 함께 출력된다.

4. 실험 방법 및 사용 자료

본 연구에서는 설계된 알고리즘을 Microsoft Excel과 그에 내장된 Visual Basic for Applications를 활용하여 구현하였다. 그리고 기존 방법들과의 비교를 통해 알고리즘의 타당성을 검증하고 민감도 분석을 통해 알고리즘에 사용될 매개변수를 추정하기 위해 다음과 같은 실험을 수행하였다.

첫째, 매개변수 초기값을 사용하여 기상 자료로부터 강풍과 호우에 해당하는 상위 20개의 사례를 검색하였다. 그리고 일반적인 자료 검색 개념(강수량 ≥ 80 mm/d and 일최대 풍속 ≥ 14 m/s)의 결과를 모두 포함하고, 이에 미치지 못하는 유사한 사례들이 검색되어 제시되는 지 확인하였다.

사례 지점으로는 기상청의 중관기상관측장비(Automatic synoptic observing system, ASOS)로부터 기상 자료를 수집하는 고산 지점을 선택하였다. 고산은 Fig. 3에서 보는 것과 같이 제주도의 서쪽에 위치해 있으며 다우 지역인 제주도 내에서 상대적으로 적은 강수량이 관측되는 반면(Park and Kim, 2009; Kim *et al.*, 2010) 높은 풍속이 관측되는 곳이다(Park and Jang, 2015). 따라서 다양한 규모의 강수량과 풍속이 존재하는 지점이기 때문에 사례 지점으로 삼았다.

고산 ASOS의 자료는 기상자료개방포털(National Climate Data Service System, 2017)로부터 수집하였고, 수집한 자료는 최근 10년(2007년 1월부터 2016년 12월)의 일강수량과 일최대 풍속이다. 일최대풍속은 하루 중 임의의 10분간 가장 세게 불었던 평균 풍속을 의미하며 세계기상기구에서는 태풍 등 극한 기상에서의 풍속으로 사용된다(Korea Meteorological Administration, 2017). 일강수량은 호우 현상을 탐색하는데 쓰이고, 일최대 풍속은 강풍을 탐색하는데 사용되었다.

둘째, FRA와 MRV의 민감도 분석을 통해 적절한 매개변수 값을 도출하였다. FRA와 MRV는 모두 누적확률밀도함수의 형태에 영향을 주는 요인이기 때문에 교차 적용하여 검색 결과를 비교하였다. 이때 기존 연구들에서 MRV를 1로만 설정하였던 것에 비해 본 연구에서는 MRV를 2로도 설정하여 검색 목적에 부합하는 매개변수 값이 무엇인지 제시하였다.

셋째, 퍼지 점수를 조합할 때 동물이 발생하면 강수량과 풍속 점수가 모두 0.5를 넘는 사례에 우선순위를 부여하는 경우와 기존 연구에서와 같이 단순 평균하거나 강수량과 풍속 중 어느 하나의 점수가 0.5 미만인 경우 검색

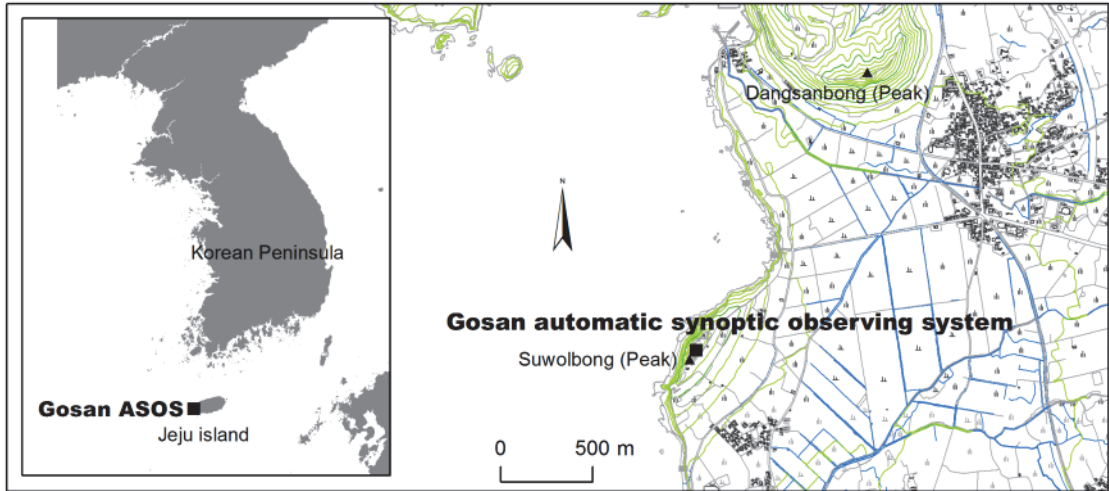


Fig. 3. A location of automatic synoptic observing system(ASOS) used in this study

색에서 제외했을 때의 차이를 비교하였다.

5. 연구 결과

고산 ASOS에 대해 강수량이 80 mm/d 이상이고, 일 최대 풍속이 14 m/s 이상인 사례를 일반적인 방법으로 검색하면 총 3개의 사례가 검색된다. 국방 M&S에서는 항공사진 및 위성영상 등 다양한 형태의 공간 자료들이 요구되는데(Kihn, 2004), 자료 획득 가능 일자가 소수이기 때문에 만족할만한 공간 자료를 확보할 수 있다고 보장하기 어렵다. 여러 환경 자료들이 시간해상도(예를 들어 Landsat-7 ETM+는 16일)를 갖고 있기 때문이다. 극한 기상이 발생한 시기에 즈음하여 획득 가능한 공간 자료들이 제한적이라면 M&S에서는 비록 요구되는 현상에 완전히 부합하지 않을지라도 유사한 현상이 발생하고 다양한 공간 자료를 획득할 수 있는 일자를 필요로 할 수 있다. 따라서 퍼지 기반 검색을 통해 유사한 현상이 발생한 일자들도 획득할 필요가 있다.

Table 2는 sigmoid membership function와 FRA 0.2, MRV 1을 사용한 퍼지 검색 결과에서 상위 20개의 결과를 보여준다. 이 중 1순위로 세 개의 사례가 검출되었는데 이는 일반적인 검색을 했을 때의 3개 사례에 해당한다. 그 중 두 건은 태풍이 한국에 영향을 미쳤던 때이고, 나머지 하나는 태풍이 상륙한 때는 아니지만 80 mm/d의 강수와 14 m/s의 풍속에 가장 근접한 현상이었다. 1 순위로 선정된 사례는 2015년 5월 11일, 2007년 9월 16일, 2012년 4월 21일의 세 사례이었다. 2015년 5월 11일은

Table 2. The top 20 results from the search by default parameter values

Ranking	Date	Precipitation (mm/d)	Wind speed (m/s)	Fuzzy Score
1	2015-05-11	115.5	19.3	1.000
1	2007-09-16	113.5	43.0	1.000
1	2012-04-21	84.5	15.6	1.000
2	2015-09-30	93.5	13.3	0.997
3	2007-09-05	75.0	14.2	0.996
4	2012-08-23	134.5	12.7	0.993
5	2009-11-08	86.0	12.7	0.993
8	2007-07-09	71.0	13.4	0.988
9	2015-03-18	79.4	11.8	0.981
10	2011-08-07	67.0	28.0	0.981
11	2016-07-12	70.5	12.6	0.981
12	2009-02-22	65.0	15.2	0.975
13	2010-07-13	100.5	11.0	0.966
14	2014-08-20	81.3	10.8	0.960
15	2014-07-06	101.5	10.5	0.951
16	2014-05-20	83.9	10.3	0.944
16	2010-06-17	60.7	11.7	0.932
18	2009-06-30	88.5	9.9	0.929
18	2014-09-16	55.0	24.2	0.919
20	2010-08-28	55.0	14.1	0.919

태풍 노을(NOUL)이 한국에 영향을 미쳤던 때이고, 2007년 9월 16일은 태풍 나리(NARI)가 제주도 동쪽 해안을 통과하던 날이었다. 2012년 4월 21일은 태풍이 통과하지는 않았지만 호우와 강풍이 발생했던 날이었다.

퍼지 검색 결과에서는 조건에 완벽하게 일치하지 않지만 그와 유사한 사례들도 제시함으로써 다양한 공간 자

료를 검색하여 활용할 수 있는 구간을 마련해 주고 있다. 상위 20개의 검색 사례에서도 일강수량이 80 mm/d에 미치지 못하거나 풍속이 14 m/s에 미치지 못한 일자들이 나타났다. 예를 들어 2순위부터 5순위의 일자에는 풍속이 14 m/s에는 다소 미치지 못하였고, 2순위와 8순위 등에서는 강수량이 80 mm/d 이하였다. 그러나 고산 관측 지점에서 호우와 강풍에 근접한 현상이 발생한 때로 이해할 수 있다. 이러한 결과는 실세계에서 M&S 운영자들이 원하는 현상이 일어나지 않았더라도, 그에 준하는 현상이 발생한 때를 퍼지 검색을 통해 확인할 수 있다는 것을 의미한다. 그리고 이는 M&S 운영자들이 실험에 필요한 환경 자료를 획득하고, 사례 일자를 결정함에 있어 정해진 수치에 반드시 부합하는 자료를 검색하는 방식에 비해 매우 유용한 방식일 것으로 판단된다.

한편 퍼지 검색 결과는 찾고자 하는 현상의 기준값(RV) 외에도 FRA와 MRV의 영향을 받는다. Fig. 4는 FRA에 따른 강수량의 누적분포함수(cumulative distribution function, CDF)이다. 호우의 경우 0.1~0.3 사이의 FRA에서 Fuzzy 점수의 급격한 차이가 발생하고, 0.3~0.6 사이에서는 큰 차이가 발생하지 않는다. 풍속의 CDF에서 역시 동일한 패턴이 나타난다.

또한 MRV가 1일 때는 80 mm/d 또는 14 m/s 이상의 현상에 모두 동일한 퍼지 점수가 부여되지만 MRV가 2일 때는 그 이상의 값이 나타났을 때 일정 수준, 즉 기준값의 두 배까지는 더 높은 점수가 부여된다(Fig. 5). 따라서 FRA는 0.1~0.3 사이에서 퍼지 점수의 차이를 뚜렷한 차이를 유발하며, FRA와 MRV의 조합 방법에 의해 퍼지 검색 순위는 달라질 수 있다.

Table 3은 FRA와 MRV의 조합에 따른 퍼지 점수와 검색된 결과를 보여준다. FRA가 증가하면 퍼지 점수 1.0의 사례가 줄고 1.0 미만의 사례에서 순위가 정교해진다. MRV가 증가하면 1.0의 사례는 줄지만 1.0 미만의 사례에서 변별력이 떨어진다. 특히 강수량에 대한 변별력이 떨어진다.

MRV가 1일 때 FRA가 0.1이면 퍼지 점수 1.0의 사례는 12개이고, FRA가 0.3이면 3개이다. FRA를 0.1에서 0.2로 변경하면, 퍼지 점수 1.0을 받았던 12개의 사례들 중 9개의 사례에 순위가 발생한다. MRV가 2일 때 FRA가 0.1이면 퍼지 점수가 1.0인 사례가 나타나지만 FRA가 0.3이면 퍼지 점수가 1.0인 사례가 없어지고 20개의 검색된 사례 사이에 퍼지 점수의 차이가 나타나며 순위가 발생한다. 따라서 FRA가 증가하면 보다 정교한 순위를 획득할 수 있다. 이는 Fig. 4에서와 같이 FRA가 증가하면

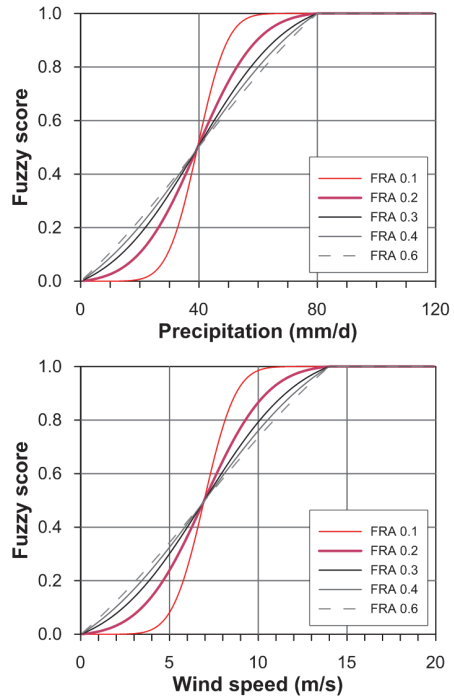


Fig. 4. CDF graphs by FRAs in MRV 1

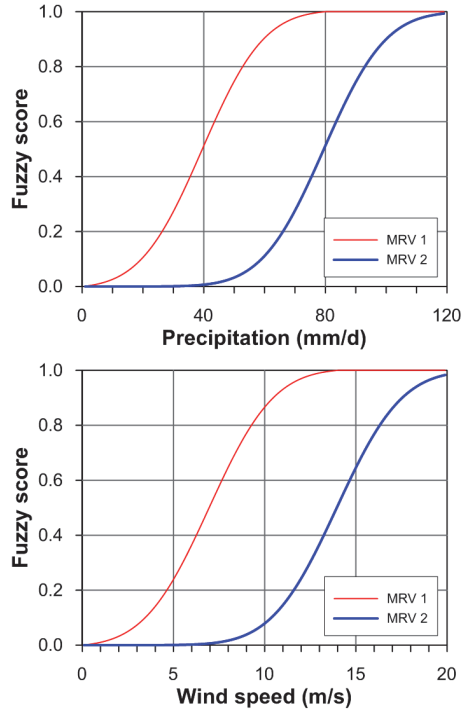


Fig. 5. CDF graphs by MRVs in FRA 0.2

Table 3. The top 20 results from the search by fuzzy combination of parameter values

Seq.	MRV=1						MRV=2					
	FRA= 0.1			FRA= 0.3			FRA= 0.1			FRA= 0.3		
	Prcp (mm/d)	WS (m/s)	FS	Prcp (mm/d)	WS (m/s)	FS	Prcp (mm/d)	WS (m/s)	FS	Prcp (mm/d)	WS (m/s)	FS
1	115.5	19.3	1.000	115.5	19.3	1.000	113.5	43.0	1.000	113.5	43.0	0.959
2	113.5	43.0	1.000	113.5	43.0	1.000	115.5	19.3	1.000	115.5	19.3	0.915
3	93.5	13.3	1.000	84.5	15.6	1.000	84.5	15.6	0.797	134.5	12.7	0.686
4	84.5	15.6	1.000	93.5	13.3	0.990	93.5	13.3	0.638	67.0	28.0	0.651
5	75.0	14.2	1.000	75.0	14.2	0.987	134.5	12.7	0.593	84.5	15.6	0.614
6	134.5	12.7	1.000	134.5	12.7	0.979	67.0	28.0	0.529	93.5	13.3	0.576
7	86.0	12.7	1.000	86.0	12.7	0.979	100.5	11.0	0.506	55.0	24.2	0.573
8	71.0	13.4	1.000	71.0	13.4	0.964	101.5	10.5	0.502	55.0	20.4	0.546
9	70.5	12.6	1.000	67.0	28.0	0.956	55.0	24.2	0.501	41.5	28.8	0.527
10	79.4	11.8	1.000	79.4	11.8	0.955	55.0	20.4	0.501	100.5	11.0	0.522
11	67.0	28.0	1.000	65.0	15.2	0.946	110.5	8.7	0.500	37.5	29.3	0.519
12	65.0	15.2	1.000	70.5	12.6	0.945	18.2	49.0	0.500	101.5	10.5	0.510
13	100.5	11.0	0.999	100.5	11.0	0.933	12.5	21.4	0.500	28.0	27.2	0.508
14	81.3	10.8	0.999	81.3	10.8	0.926	10.0	21.8	0.500	30.5	24.2	0.506
15	60.7	11.7	0.997	101.5	10.5	0.916	2.5	24.2	0.500	24.5	29.9	0.505
16	101.5	10.5	0.997	83.9	10.3	0.908	2.0	20.8	0.500	25.3	25.7	0.504
17	62.5	10.6	0.997	88.5	9.9	0.892	2.0	22.3	0.500	24.5	25.4	0.504
18	83.9	10.3	0.996	55.0	14.1	0.882	1.0	21.0	0.500	18.2	49.0	0.502
19	61.5	10.3	0.994	55.0	20.4	0.882	1.0	23.9	0.500	110.5	8.7	0.502
20	63.0	10.0	0.992	55.0	24.2	0.882	1.0	27.6	0.500	2.1	27.8	0.500

Seq: Sequence, Prcp: Precipitation, WS: Wind speed, FS: Fuzzy score

강수량 또는 풍속의 증감에 따른 퍼지 점수의 변화 기틀도 증가하기 때문이다. 이러한 경향은 Fig. 6에서도 확인할 수 있다. MRV 1일 때 FRA 0.1에 비해 0.3의 퍼지 점수 변화는 더 가파른 변화 경향을 보인다. MRV 2에서 역시 FRA 0.3의 퍼지 점수가 더욱 빠르게 감소하는 것을 확인할 수 있다.

한편 FRA 0.2를 사용했을 때의 결과인 Table 2와 FRA 0.3을 비교했을 때 중하위권의 순위는 근소한 차이가 있을 뿐 뚜렷한 차이를 보이지는 않는다. 따라서 FRA 0.2 또는 0.3은 유사한 검색 결과를 제시하는 것으로 판단된다.

MRV가 1에서 2로 변할 때 FRA가 0.1인 사례를 비교해 보면 퍼지 점수 1.0의 사례가 12개에서 2개로 감소한다. 그리고 10개의 사례는 새로운 순위로 재편된다. 이 과정에서 MRV가 2일 때 11번째 자료부터의 퍼지 점수는 모두 0.5로 동일한 점수가 된다. 이는 MRV가 1에서 2로 바뀌면 상위권의 현상에 대한 변별력은 증가하지만 하위권의 현상에 대한 변별력은 크게 감소한다는 것을 의미한다. MRV가 2일 때 많은 사례가 하향 평준화된 점수를 부여받으면서 강수량이 10 mm/d 이하인 사례들도 20개의 사례에 포함되었다.

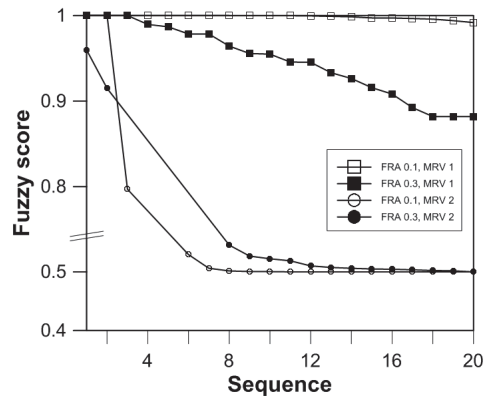


Fig. 6. Fuzzy scores according to parameters

Fig. 7을 살펴보면 MRV 2를 지정했을 때 강수량의 퍼지 점수가 하향 평준화되면서 MRV 1에 비해 상대적으로 낮은 강수량의 사례들이 다수 상위 순위로 올라 왔음을 알 수 있다. 이 그림에서 MRV 1을 사용한 (a)와 (b)에서는 대부분의 강수량이 80 mm/d와 유사하지만 MRV 2를 사용한 (c)와 (d)에서는 40 mm/d 이하의 사례들이 다수 포함된 것을 볼 수 있다.

이를 종합적으로 고려하면 강풍을 동반한 폭우의 퍼지

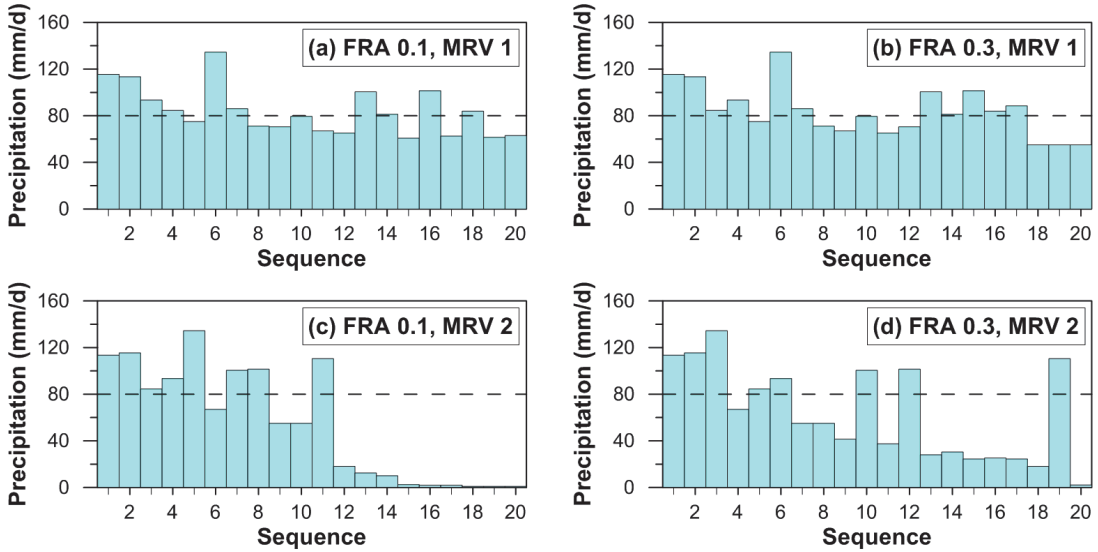


Fig. 7. Search results for precipitation by parameters

검색에서는 MRV가 1이고 FRA는 0.2 또는 0.3을 사용하는 것이 퍼지 점수 상위권 뿐 아니라 중하위권에서 의미 있는 검색 결과를 획득하는데 유용할 것으로 판단된다. 다만 퍼지 점수 상위권의 사례에서 정교한 검색 결과를 획득하고자 할 때는 MRV를 2로 설정하는 것이 도움이 될 것이다.

MRV 1에서 기존 연구에서와 같이 강수량과 퍼지 모두 0.5 이상인 자료만을 검색해도 Table 3의 검색 결과와 차이가 없다. Table 3의 결과들이 모두 이 조건을 만족하기 때문이다. 그러나 MRV 2와 같이 퍼지 점수가 하향 평준화된 상황에서는 상위 3개의 결과만이 검색 결과로 반환되었다. 따라서 MRV 2를 이용했을 때는 기존 방식에 비해 본 연구에서의 조건부 퍼지 평균이 본 연구의 퍼지 활용 목적인 유사 사례 목록화를 위해 더욱 적합한 것으로 판단된다.

강수량과 퍼지를 단순 평균하였을 때는 강수량과 퍼지 중 한 가지 조건에 의해서도 퍼지 점수가 높아질 수 있고 이것이 검색 결과의 질을 떨어뜨릴 수 있는 것으로 나타났다. Fig. 8은 MRV 2와 FRA 0.3에서 단순 퍼지 평균을 사용하여 자료를 검색했을 때의 결과를 보여준다. 이 결과에서 8번째 자료부터의 강수량은 조건부 퍼지 조합의 결과물인 Fig. 7의 (d)와 비교했을 때에 비해 현저히 낮다. 그럼에도 이 사례들이 상위권에 위치할 수 있었던 이유는 높은 풍속 때문이다. Fig. 8에서 강수량이 적을 때 매우 높은 풍속이 나타나는 것을 볼 수 있다. 강수량이

적음에도 풍속이 높기 때문에 이 사례들에 최종적인 퍼지 점수가 높게 부여된 것이다.

이러한 결과는 퍼지의 평균이 동물일 때 강수량과 풍속에서 모두 퍼지 점수가 0.5를 보인 사례에 더 높은 순위를 부여한, 본 연구의 조건부 퍼지 평균이 단순 퍼지 평균 또는 0.5 이상의 퍼지 점수만을 고려한 기존의 방법에 비해 환경 자료 검색에 효과적이라는 것을 의미한다.

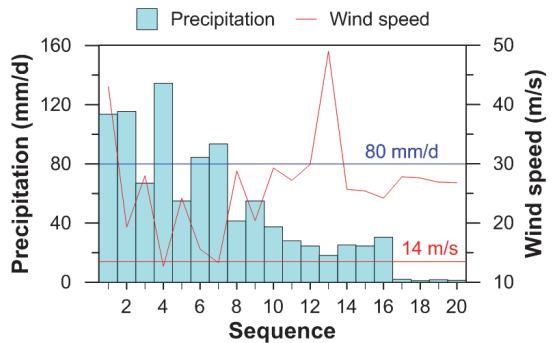


Fig. 8. Search results based on average of fuzzy sets using FRA 0.3 and MRV 2

6. 결론

본 연구는 강풍을 동반한 호우를 검색할 수 있는 퍼지 알고리즘을 구현하여 제시하였고, 이를 제주도 고산 관측

지점에 적용하여 알고리즘의 타당성을 증명하였다. 나아가 알고리즘에 구성된 매개변수 값이 검색 결과에 미치는 영향도 제시하였다.

개발된 퍼지 검색 알고리즘의 주요 변수는 탐색 현상에 대한 기준값(RV), 퍼지 소속 함수(MF), 기준값에 대한 비율(FRA), 기준값에 대한 배수(MRV)이다. 강풍과 호우의 RV는 각각 80 mm/d와 14 m/s가 사용되었고 MF는 시그모이드가 사용되었다. FRA와 MRV는 각각 0.2와 1이 사용되었다.

구현된 알고리즘을 활용하여 강풍을 동반한 호우를 검색했을 때 강한 바람과 많은 비를 동반한 태풍이 한반도에 상륙하거나 인근을 통과할 때의 사례들이 상위 순위에 올랐다. 또한 강풍과 호우의 기준에 완전히 부합하지는 않지만 그에 준하는 현상들이 나타났던 날들을 검색 결과로 제시하고 있었다. 이를 통해 본 연구에서 구현한 알고리즘이 국방 M&S에서 필요로 하는 극한 기상 현상들이 발생한 일자를 검색하는데 매우 유용하다는 것을 확인하였다.

알고리즘의 주요 매개변수 중 FRA와 MRV는 검색 결과에 영향을 미치는데 퍼지 점수의 상위권에 대한 순위를 정교하게 부여하고자 할 때는 FRA는 0.2 또는 0.3, MRV 2를 사용할 수 있다. MRV가 2일 때는 중하위권의 순위에서 변별력이 크게 떨어진다. 따라서 중하위권의 변별력을 높여 연구자가 찾고자 하는 환경에 근접한 여러 사례를 획득하고자 한다면 FRA는 0.2 또는 0.3, MRV는 1을 사용하는 것이 바람직하다. FRA는 0.2 또는 0.3은 어느 값을 사용하여도 검색 결과에 큰 영향을 미치지 않으며 중하위권의 퍼지 점수 순위에서 미미한 영향을 미칠 뿐이다.

강풍과 호우만 사례로 알고리즘을 적용하였지만 이 알고리즘은 시그모이드와 가우시안 퍼지 소속 함수가 함께 적용될 수 있는 사례들, 예를 들어 강풍은 있었지만 비는 10 mm/d 내외로 내린 날, 비는 호우 수준으로 내렸지만 바람은 3 m/s 내외로 비교적 약하게 불었던 날 등의 검색에도 적용할 수 있다.

극한 기상을 포함한 다양한 환경 자료들이 국방 M&S에서 다양하게 활용될 수 있다는 것은 잘 알려져 있다. 이와 더불어 기존 연구들은 퍼지 기반의 환경 자료 검색 기술이 국방 M&S에 필요한 실제 환경을 획득하는 과정에 기여할 수 있다고 제안해 왔다. 그럼에도 불구하고 그 구체적인 방법, 특히 퍼지 소속 함수와 매개변수 값의 구성에 필요한 정보들은 잘 알려져 있지 않았다. 따라서 본 연구의 결과는 추후 국방 M&S에서 환경 자료 획득 과정

을 체계화하는데 기초 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 나아가 환경 자료 획득 과정의 하나인 ESG를 구현하는데 핵심 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

다만 본 연구에서 수행된 고산 지역에 대한 적용 실험은 알고리즘의 타당성을 확인하기 위한 것이므로 공학수준에서 전국 여러 지역에 대한 자료 검색 기술을 획득하기 위해서는 추후 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- Aerial Combat Development Group (2004) "Weather Environment Guidelines for ROC Creation, Test Evaluation, Operation Operation", 29-72.
(공군전투발전단, 2004, ROC 작성·시험평가·작전 운영을 위한 기상환경지침서, 29-72).
- Cho, N., J. Park and M.K. Kim (2010) "The Application of Distributed Synthetic Environment Data to a Military Simulation", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 19(4), 235-247.
(조내현, 박종철, 김만규, 2010, 분포형 합성환경자료의 군사시뮬레이션 적용, 한국시뮬레이션학회 논문지, 19(4), 235-247).
- Choubin, B., S. Khalighi-Sigaroodi and A. Malekian (2014) "Drought forecasting in a semi-arid watershed using climate signals: a neuro-fuzzy modeling approach", *Journal of Mountain Science*, 11(6), 1593-1605.
- Donalson, B.J. (1990) Master Environmental Library.
- Eun, S., Kim, T., Lee, J., M.W. Jang and K. Suh (2014) "Estimating Real-time Inundation Vulnerability Index at Point-unit Farmland Scale using Fuzzy set", *Journal of the Korean Society of Rural Planning*, 20(2), 1-10.
(은상규, 김태곤, 이지민, 장민원, 서교, 2014, Fuzzy set을 이용한 실시간 지점단위 농경지 침수위험 지수 산정, 농촌계획, 20(2), 1-10).
- Han, C., J. Cho and S.K. Lee (2011) "A Study for Autonomous Intelligence of Computer-Generated Forces", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 20(1), 69-77.
(한창희, 조준호, 이성기, 2011, 가상군(Computer-Generated Forces)의 자율지능화 방안 연구, 한국시

- 물레이션학회 논문지, 20(1), 69-77).
- Headquarter of Korea Army (2001) Field Manual 6-32. (육군본부, 2001, 야전교범 6-32 지형 및 기상정보).
- Kang, J.E. and M.J. Lee (2012) "Assessment of Flood Vulnerability to Climate Change Using Fuzzy Model and GIS in Seoul", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 15(3), 119-136.
- (강정은, 이명진, 2012, 퍼지모형과 GIS를 활용한 기후변화 홍수취약성 평가 - 서울시 사례를 중심으로 -, 한국지리정보학회지, 15(3), 119-136).
- Kang, Y., Kim, H., S. Han and M.K. Kim (2013) "Development of a Converter for Visualizing SEDRIS", *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 18(3), 189-199.
- (강윤아, 김형기, 한순홍, 김만규, 2013, SEDRIS 합성 환경 데이터 가시화를 위한 변환기 개발, 한국 CAD/CAM 저널, 18(3), 189-199).
- Kihn E.A., Zhizhin M., R. Siquig and R. Redmon (2004) "THE ENVIRONMENTAL SCENARIO GENERATOR (ESG): A DISTRIBUTED ENVIRONMENTAL DATA ARCHIVE ANALYSIS TOOL", *Data Science Journal*, 3(4), 10-28.
- Kim, H.J. and H.Y. Lee (2016) "Defense System Acquisition Management System Considering SBA Effectiveness Analysis", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 25(4), 137-144.
- (김형중, 이해영, 2016, SBA 효과도 분석을 고려한 국방 무기체계도입 관리시스템 구조, 한국시물레이션학회 논문지, 25(4), 137-144).
- Kim, H., Kang, Y. and S. Han (2010) "Standard Representation of Simulation Data Based on SEDRIS", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 19(4), 149-259.
- (김형기, 강윤아, 한순홍, 2010, SEDRIS기반의 모의 자료 표현 표준화, 한국시물레이션학회 논문지, 19(4), 149-259).
- Kim, M.K., J. Park and S.W. Lee (2010) "The Background of the Formation of the Elevated Water Storage Tank Landscape in the Western Region of Jeju Island", *Journal of the Korean association of regional geographers*, 16(6), 623-634.
- (김만규, 박종철, 이성우, 2010, 제주도 서부 지역 고가수조 경관의 형성배경, 한국지역지리학회지, 16(6), 623-634).
- Kim, M.K., Park, J., Y. Kim and S. Han (2012) "Critical technology elements of synthetic natural environment for military modeling and simulation", *Proceedings of the Korean Operations and Management Science Society Conference*, 1051-1061.
- (김만규, 박종철, 김유미, 한순홍, 2012, 국방 M&S를 위한 합성자연환경의 기술 요소, 2012년 한국경영과학회 추계학술대회, 1051-1061).
- Ko, J.H., H.K. Kim and S.K. Oh (2015) "Design of Precipitation/non-precipitation Pattern Classification System based on Neuro-fuzzy Algorithm using Meteorological Radar Data : Instance Classifier and Echo Classifier", *Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 64(7), 1114-1124.
- (고준현, 김현기, 오성권, 2015, 기상레이더를 이용한 뉴로-퍼지 알고리즘 기반 강수/비강수 패턴분류, 전기학회논문지, 64(7), 1114-1124).
- Lee, J. and T. Cho (2005) "Modeling and simulation of CNP-applied network security models with application of fuzzy rule-based system", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 14(1), 9-18.
- (이진아, 조대호, 2005, 퍼지를 적용한 계약망 프로토콜 기반의 네트워크 보안 모델의 설계 및 시물레이션, 한국시물레이션학회 논문지, 14(1), 9-18).
- Lee, J., M.K. Kim and J. Park (2016) "The effects of socioeconomic factors on mortality under high temperature in Seoul, South Korea", *Journal of the Korean association of regional geographers*, 22(1), 195-210.
- (이지수, 김만규, 박종철, 2016, 서울의 사회·경제적 요인이 고온 현상 발생 시 사망자에 미치는 영향, 한국지역지리학회지, 22(1), 195-210).
- Lee, Y., K. Kim, H. Na and J. Park (2008) "A Fuzzy AHP based Decision making Model for ground operations", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 17(4), 159-165.
- (이영균, 김기양, 나홍범, 박진우, 2008, 지상작전수립을 위한 Fuzzy-AHP 기반의 의사결정 모델 연구, 한국시물레이션학회 논문지, 17(4), 159-165).
- Miedema, J., M.C. van der Voort and F.J.A.M. van

- Houten (2009) "Advantageous application of Synthetic Environments in product design", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 1(3), 159-164.
- Moon, H.i. and S. Han (2005) "Mapping Digital Manufacturing Simulation to Synthetic Environment using SEDRIS", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 14(2), 15-24.
(문홍일, 한순홍, 2005, SEDRIS를 이용한 디지털 생산 시뮬레이션과 합성 환경 매핑, 한국시뮬레이션학회 논문지, 14(2), 15-24).
- Morris, C.S. and R.W. Tarr (2002) "Templates for selecting PC-based synthetic environments for application to human performance enhancement and training, Virtual Reality", *2002 Proceedings. IEEE*, pp.109-115.
- Park, J. and D.H. Jang (2015) "Development and validation of MK-PRISM-Wind for wind speed interpolation", *Climate Research*, 10(4), 313-327.
(박종철, 장동호, 2015, 풍속 내삽을 위한 MK-PRISM-Wind의 개발과 검증, 기후연구, 10(4), 313-327).
- Park, J. and M.K. Kim (2009) "A Study on the Use of a Terrain Aspect Variable in Producing the Precipitation Distribution Map applying Cokriging: A Case of Jeju Island", *Journal of the Korean geomorphological association*, 16(3), 59 -66.
(박종철, 김만규, 2009, 공동 크리깅을 이용한 강수 분포도 작성에서 지형 사면방향 변수 사용에 대한 연구: 제주도를 사례지역으로, 한국지형학회지, 16(3), 59-66).
- Park, J. and M.K. Kim (2016) "PRISM-KNU Development and Monthly Precipitation Mapping in South Korea", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 19(2), 27-46.
(박종철, 김만규, 2016, PRISM-KNU의 개발과 남한 월강수량 분포도 작성, 한국지리정보학회, 19(2), 27-46).
- Park, K.M., Lee, E.B., Shin, S.H., S. Han and S.D. Chi (2014) "Modeling and Simulation for Anti-submarine HVU Escort Mission", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 23(4), 75-83.
(박강문, 이은복, 신석훈, 한승진, 지승도, 2014, 대잠수함 HVU 호위 임무 분석 모델링 및 시뮬레이션, 한국시뮬레이션학회 논문지, 23(4), 75-83).
- Salinas, J.L., A. Kiss, A. Viglione, R. Viertl and G. Blöschl (2016), "A fuzzy Bayesian approach to flood frequency estimation with imprecise historical information", *Water Resources Research*, 52, 6730-6750.
- Seo, H.S. (2008) "A Study on performance improvement of network security system applying fuzzy logic", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 17(3), 9-18.
(서희석, 2008, 퍼지로직을 적용한 네트워크 보안 시스템의 성능향상에 관한 연구, 한국시뮬레이션학회 논문지, 17(3), 9-18).
- Siquig, R., Alper, N., C. Stein and S. Lowe (1997), "A Master Environmental Library (MEL)", *SimTect* 97, 113-119.
- Song, J., Lee, B.J., Lee, C.H., J.H. Yoo and O.B. Sim (2014) "Analysis of the frequency and characteristics of heavy rain", *Proceeding of The Korean Society of Hazard Mitigation Conference*, 13, 78.
(송주일, 이병재, 이찬희, 유재환, 심우배, 2014, 폭우 발생 빈도 및 특성 분석, 한국방재학회 학술발표대회 논문집, 13, 78).
- Temizer, S. (2007) "The state of the art and the future of modeling and simulation systems", *Journal of Aeronautics and Space technologies*, 3(1), 41-50.
- Yi, J. and C. Choi (2008) "Flood Forecasting and Warning Using Neuro-Fuzzy Inference Technique", *Journal of Korea Water Resources Association*, 41(3), 341-351.
(이재용, 최창원, 2008, Neuro-Fuzzy 추론기법을 이용한 홍수 예·경보, 한국수자원학회논문집, 41(3), 341-351).
- Yi, M. (2016) "Design of the Model for Predicting Ship Collision Risk using Fuzzy and DEVS", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 25(4), 127-135.
(이미라, 2016, 퍼지와 DEVS를 이용한 선박 충돌 위험 예측 모델 설계, 한국시뮬레이션학회 논문지, 25(4), 127-135).
- Zadeh, L. (1965) "Fuzzy Sets", *Information Control*, 8, 338-353.

Korea Meteorological Administration (2017) “기상특보 발표기준”, Available at <http://www.kma.go.kr/weather/warning/standard.jsp> (Accessed July 17, 2017).

Money Today (2017) “호우주의보 발령, 호우와 폭우의 차이는?... 시간당 최대강수량은 언제?” Available at

<http://www.moneys.news/news/mwView.php?no=2014072309398029670> (Accessed July 17, 2017).

National Climate Data Service System (2017) “기상자료개방포털”, Available at <https://data.kma.go.kr> (Accessed July 17, 2017).



박 종 철 (jcpark@kei.re.kr)

- 2001 공주대학교 지리학과 학사
- 2003 공주대학교 지리학과 석사
- 2009 공주대학교 지리정보학과 이학박사
- 2010 공주대학교 지리정보과학연구소 연구교수
- 2016 국립생태원 생태조사연구실 전문위원
- 2017~ 현재 한국환경·정책평가연구원 기후융합연구실 초빙연구원

관심분야 : 데이터마이닝, GIS, 공간분석, 기후변화



김 만 규 (aquasia@kongju.ac.kr)

- 1988 고려대 지리교육과 학사
- 1991 고려대 지리학과 석사
- 1997 독일 브라운슈바이크 과기대 이학박사
- 2011 공주대 안보과학대학원장
- 1998~ 현재 공주대학교 인문사회과학대학 지리학과 교수

관심분야 : 데이터마이닝, GIS, 공간분석, 자연지리학