

## 퍼지 룰베이스에 의한 전선착설 예측 및 대책 지원 기법

### Fuzzy Rulebase Application for Estimation of Snow Accretion on Power Lines and Deicing Countermeasure Plan

최 규 형\*  
(Kyu-Hyoung Choi)

**Abstract** : Making deicing countermeasure plan against snow accretion on power line is a very complicated problem, which should take into account both the possibility of accidents due to snow accretion on power line and the stable operation of power system. As knowledge engineering can be a good solution to this field of problems, a prototype expert system to assist power system operators in forecasting snow accretion on power lines and making a list of all the feasible and effective deicing countermeasures has been developed. The system has been remodelled into a fuzzy expert system by adopting fuzzy rulebase and fuzzy inference method to systematically process the fuzziness included in the heuristic knowledges. Simulation results based on the past snow accretion accident data show that the proposed system is very promising.

**Keywords** : snow accretion on power lines, deicing countermeasure, fuzzy rulebase, fuzzy inference, fuzzy expert system

#### I. 서론

전선에의 착설로 인한 전력설비의 피해를 방지하기 위하여, 전선에 대전류를 흐르게 함으로써 전선에 부착한 빙설을 녹이는 전선착설 방지대책(이후, 착설대책이라고 함)을 강구할 수 있다[1-2]. 이와 같은 착설대책은, 착설이 진행된 후에는 효과가 작기 때문에 그 실시 시기가 매우 중요하고, 또한 선로에 대전류가 흐르도록 전력설비를 제어하기 때문에 전력계통의 신뢰도와 경제적 운용을 악화시킨다는 문제점이 있다[3-5]. 이에 따라, 전력계통운영자는 전선착설의 예측 및 그로 인한 전력설비의 피해 발생 가능성과 전력계통의 안정적 운용을 동시에 감안하여 착설대책의 선정과 그 실시 시기를 결정하여야 하기 때문에, 경험을 토대로 한 고도의 판단과 결단이 필요하게 된다. 이와 같이, 정형화된 문제 해결이 곤란하여 경험적 지식에 의존해야 하는 문제에 대해서는 지식공학적 수법을 적용하는 것이 효과적이므로, 전선착설의 예측 및 착설대책의 수립에 대한 전문가의 경험적 지식을 지식공학적 수법을 응용하여 시스템화함으로써, 전력설비 운용을 지원하는 방안이 검토되었다[6-7].

이상과 같은 배경을 토대로, 기상정보 및 전력계통정보로부터 전선착설 상황을 추론하고, 적절한 착설대책을 제시하여 전력계통운영자를 지원하기 위한 전문가 시스템을 개발하였다. 개발한 시스템에서는, (1)선로별/지구별로 전선착설에 대한 주의도를 추론하고, (2)현재의 전선착설 상황과 (3)향후의 전선착설 성장 가능성에 대한 추론을 통하여 (4)전선착설로 인한 사고의 발생가능성(착설대책의 필요성)을 도출하고, (5)전력계통 운용 측면에서 실시 가능함과 동시에 충분한 용설전류를 얻을 수 있는 착설대책을 제시하는

5 단계로 구분하여, if-then 룰(이후, 룰이라고 함)들의 집합인 룰베이스(rulebase)의 형식으로 지식 베이스를 구축하였다. 지식 시스템용 언어인 OPS83을 이용하여 지식 베이스를 기술하고, 전진 추론(forward chaining)방식으로 추론 엔진을 구현하였으며, 전용의 사용자 인터페이스를 구축하였다[8].

이상과 같은 전문가 시스템에서는, 특정 문제 영역에 있어서 불안정한 정보의 취득과 그 조작, 근사적 추론(approximate reasoning), 복잡한 대상의 평가, 불확실한 상황에서의 판단과 의사 결정 등과 같은 인간의 사고과정을 모의하고 있기 때문에 필연적으로 불확실성(fuzziness)을 포함하고 있으며, 이와 같은 전문 지식들의 불확실성을 추론에 반영하여 보다 실제적인 추론결과를 도출하기 위한 방법론으로써, 베이스 정리(Bayes' theorem)나 불확실성 계수(Uncertainty factor), 퍼지 추론(fuzzy inference) 방식 등이 연구되고 있다[9-11]. 제안 시스템에서도, 기상정보 및 전력계통 운영정보로부터 전선착설을 예측하고 적절한 대책을 결정하는 과정에서 이와 같은 불확실성을 포함하고 있기 때문에, 이에 대한 효과적인 처리 방법이 필요하다. 본고에서는, 퍼지(fuzzy) 이론의 개념을 도입하여 문제 영역의 전문 지식들을 퍼지 룰로 기술하고, 진리치 한정 규칙을 기초로 한 퍼지 추론을 수행함으로써 불확실성을 처리하는 방법을 제시하고 있다.

제안한 퍼지 룰베이스 및 퍼지 추론방식을 적용하여 퍼지 전문가 시스템을 구축하고, 과거 실제로 발생했던 전선착설 사고시의 사례 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행함으로써 그 유효성을 검토하였다.

#### II. 전선착설 예측 · 방지를 위한 지식 베이스

##### 1. 전선착설 예측 룰 베이스

전력계통측에서 전선착설을 검지하기 위한 방법으로는,

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 3. 26., 채택확정 : 2003. 8. 5.

최규형 : 한국철도기술연구원(khchoi@krii.re.kr)

선로에 로드셀(Load cell)을 장착하여 착설에 의한 전선의 기계적 하중의 변동을 측정하는 방법이 적용될 수 있다 [12]. 또한, 전선에 착설이 발생할 경우에는 대지 정전용량이 증대되어 전력선 반송파의 전송손실이 증가하므로, 반송파의 전송손실을 주기적으로 측정해서 착설상황을 판단하는 방법도 효과적으로 적용될 수 있다[13].

한편, 전선착설의 발생에 영향을 미치는 기상조건들은 지역에 따라 차이가 있으므로, 대상 지역별로 데이터베이스를 구축하여 그 특성을 정리할 필요가 있다. 본 연구에서 대상으로 한 지역에서의 기상조건 특성은 다음과 같다[14]. 전선에 착설이 부착되어 사고가 발생할 때의 지상 기온은, 대부분 -0.6~+2.1[°C]의 범위에 속하며, 상층부의 기온도 예년의 평균치에 비하여 높고, 이것이 수분 포함율이 높은 설편을 지상에 뿌리게 되는 원인이 되고 있다. 착설사고시와 그 6시간전의 습도의 평균치로 보면, 착설사고의 대부분은 90% 이상의 매우 높은 습도하에서 발생한다. 이상과 같은 기온과 습도의 기상조건으로부터, 습기를 많이 품은 습설이 되어 착설이 발생하기 쉬운 것으로 분석되었다. 전선착설의 발달에 기여하는 요인으로써 강설량에 대해 살펴보면, 사고 발생시의 강설량은 3~5[mm/H] 정도가 많이 관측되고 있다. 또한, 대형 착설사고의 대부분은 10[%] 이상의 강풍하에서 발생하고 있는데, 강풍하에서 전선에 실제로 충돌하는 실질 강설량  $In$ 은 (1)과 같이 나타난다[1].

$$In = Ig \frac{\sqrt{v^2 + u^2}}{u} \approx Ig \cdot v/u \quad (1)$$

단,  $In$  : 실질 강설량,  $Ig$  : 지상에서의 강설량,  
 $v$  : 풍속,  $u$  : 설편의 강하속도

이와 같이, 강풍시에는 실질 강설량이 증가하여 착설가능성이 높아짐과 동시에 강풍으로 인한 선로에의 기계적 하중이 가중됨에 따라, 철탑의 붕괴와 같은 대형 사고의 발생가능성이 높게 된다. 실질 강설량이 40~50[mm/H] 이상일 경우, 중대한 착설사고의 발생 확률이 높게 나타나고 있다.

제안 시스템에서는, 이상의 기상조건과 전선착설 프로세스와의 인과관계로부터 착설을 예측하는 수법과, 전력계통에 설치된 착설검지장치에서 획득된 데이터의 해석법을 체계화하여, "if(조건부) then(결론부)" 형식의 룰로 구성된 지식베이스를 구축했다. '그림 1'은 이러한 룰의 일부로써, 전선착설 상황 및 착설대책의 필요성을 추론하기 위한 룰들을 기술한 것이다. 이 추론과정에 있어서, 참조되는 기상조건과 착설검지장치 데이터의 기준 값은, 과거에 발생했던 착설사고시의 통계데이터와 착설대책 전문가로부터 얻어진 것으로서, 새로운 데이터가 있을 때는 용이하게 수정될 수 있도록 데이터베이스화되어 있다.

한편, 전선착설을 제거하기 위하여 사용되는 착설대책은 '표 1'과 같은 것들이 있다. 전선착설로 인하여 사고가 예상되는 선로에 대해서는, 이 중에서 적절한 대책을 선정하여 실시할 필요가 있다. 이에 대한 결정은, 각 착설대책의 실시 가능성(선로용량등의 전력계통 운영상 제약조건을 위반하지 않음)과 유효성(착설을 녹이는데 필요한 충분한 전류가 얻어짐)을 종합적으로 고려해서 수행된다. 이러한 착설

<b>Rule SLIGHT_SNOW_ACCRETION2 :</b> IF: Line-A of X-area has Proper_Temperature_for_Snow_Accretion_for_more_than_3_hours and Line-A of X-area has Proper_Wind_Speed_for_Snow_Accretion_for_more_than_3_hours and X-area has Some_Snowfall, <b>THEN:</b> Line-A of X-area has Slight_Snow_Accretion_on_Line.		
<b>Rule SNOW_ACCRETION_GROW2 :</b> IF: Line-A of X-area has Proper_Temperature_for_Snow_Accretion_Now and Line-A of X-area has Proper_Wind_Speed_for_Snow_Accretion_Now and X-area has Some_Snowfall, <b>THEN:</b> X-area may have Some_Possibility_of_Snow_Accretion_Development.		
<b>Rule NECESSITY_DEICING_COUNTERMEASURE1 :</b> IF: Line-A of X-area has Slight_Snow_Accretion and Line-A of X-area has Some_Possibility_of_Snow_Accretion, <b>THEN:</b> Line-A of X-area need Deicing_Countermeasure_As_Soon_As_Possible.		

그림 1. 전선착설 추론 룰의 예.

Fig. 1. Example of the rules for estimation of snow accretion.

표 1. 착설 대책.

Table 1. Decicing countermeasures.

구 분	착설 대책명	전력계통에의 영향 범위
계통 협조	발전 조정 부하 절체	전체 전력계통
2선로 협조	타 선로와 용설회선 구성 병행선로 정지 병행선로와 1회선 정지	2 선로
단독 대책	용설회선 구성 1회선 정지 인력에 의한 제설	해당 선로 단독

대책 결정에 관련된 계통운영자의 경험적 지식 및 전력계통 운영 정보를 시스템화해서, 전선착설 방지대책을 결정하기 위한 지식베이스를 구축했다.

2. 시스템 구성

전선착설의 예측과 착설대책의 결정등을 위한 전체의 룰들을 정리하여, '표 2'와 같은 추론단계에 따라 5개의 룰베이스로 구분하고, 각각 독립적인 모듈로 구성하였다. 이와 같이 룰베이스를 모듈화함으로써, 룰 상호간의 의존관계나 상반관계가 명확하게 되어, 추론과정의 파악 및 룰베이스의 관리가 용이하게 되었다.

데이터베이스는 '표 3'과 같은 특성 데이터베이스와 '표 4'에 보이는 온라인 데이터베이스로 구분된다. 특성 데이터베이스는, 각 선로·지구별로 고유한 데이터로써, 전력설비 구성에 대한 데이터, 각 선로별 착설검지설비나 착설대책 결정에 필요한 데이터 및 각 지구별로 착설이 발생하기 용이한 기상조건에 관한 데이터가 저장되어 있다. 여기서 지구라고 하는 것은, 기상 관측지점을 기준으로 감시 대상 지역을 여러 개의 소규모 지구로 분할한 것을 의미한다. 한편, 온라인 데이터베이스에는, 시시각각 변동하는 상황데이터를 온라인으로 전송받아 저장하는 데이터로써, 기상상황

표 2. 룰베이스의 구조.

Table 2. Configuration of rulebase.

추론 단계	추론 내용
1	전선착설에 대한 주의도
2	현재의 전선착설상황
3	향후의 전선착설 성장 가능성
4	전선착설 사고 발생 가능성 (착설대책의 필요성)
5	착설대책의 결정

표 3. 특성 데이터베이스.

Table 3. Characteristic database.

데이터 명	내용
지구명	포함하는 선로 목록, 위험 기압 패턴 목록, 착설 적은 범위, 착설 적합 풍속 범위, 위험 누적 강설량, 위험 누적 실질 강설량, 위험 누적 강설량 변화율
선로명	연선 지구 목록, 1회선 선로용량, 용설 적합 전류치, 노드 번호, 리액턴스, 위상각, 용설회선 설비, 병행선로, 로드셀 설치상황, 전력 반송과 전송손실 기준값,

데이터와 전력계통 운영상태 데이터가 포함되어 있다.

이상과 같은 룰베이스와 데이터베이스를 토대로 추론 엔진과 사용자 인터페이스를 포함하여, 전선착설을 예측하고 대책을 결정하기 위한 추론을 수행할 수 있는 전문가 시스템을 ‘그림 2’에 보이는 것처럼 구성하였다.

### III. 퍼지 추론 방식의 적용

#### 1. 퍼지 룰베이스

전선착설 현상에 대한 추론과정에서, 특히 현재의 전선착설 상황과 향후의 전선착설 성장 가능성에 관한 추론은, 기상통계 데이터와 경험적인 지식에 의존하는 비중이 높기 때문에 불확실성을 포함하고 있다. 개발한 시스템에서는, 전선착설 예측을 위한 전문 지식들을 프로덕션 룰의 형식으로 표현하고 있는데, 대다수 룰들의 조건부와 결론부가 경계가 애매한 불확실성(fuzziness)을 포함하고 있다는 점을 고려하여, 퍼지 룰베이스로 지식베이스를 구축하여 불확실성을 처리하도록 하였다. 즉, 룰들의 주된 추론내용이, 기상 데이터와 전력계통 운영 데이터들이 전선착설을 위한 일정 범위 내에 들어오는지를 판정하는 것으로 되어 있는데, 이때 일정 범위에 대한 불명확한 자연어 표현들을 퍼지 집합으로 기술하는 방식으로 퍼지 룰베이스를 구축하고 퍼지 추론을 수행할 수 있도록 개량하였다.

퍼지 룰의 예로써, 습기를 많이 포함한 습설의 경우에는 전선에서의 착설이 용이해지기 때문에, ‘그림 3’에 보이는 것

표 4. 온라인 데이터베이스.

Table 4. On-line database.

데이터명	내용
기상상황	기압 패턴, 기온, 습도, 풍속, 강수량, 상층 기온, 누적 강수량, 실질 강수량, 누적 실질 강수량, 누적 강수량 변화율, 누적 실질 강수량 변화율, 착설 적은 지속시간, 착설 적합 풍속 지속시간
전력계통 운영상황	부하전류, 전력선 반송과 전송손실과 그 변화율, 로드셀 동작상태

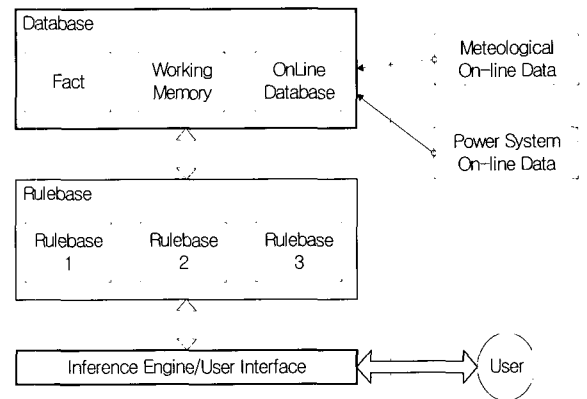


그림 2. 제안 시스템 구성도.

Fig. 2. Configuration of the proposed system.

처럼, 어떤 지역에서의 강설이 습설인지를 추론하는 룰이 있다. 이 룰을 구성하는 조건부는 입력 데이터가 위험 범위에 속해 있는 지를 검토하는 내용으로서, 다음과 같은 퍼지 명제로 구성되어 있다.

$$\begin{aligned} & \text{「}X\text{-area has High\_Temperature\_during\_Snow} \\ & \text{and 「}X\text{-area has High\_Humidity} \\ & \text{and 「}X\text{-area has Some\_Snowfall} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, 「강설중으로는 높은 기온」, 「높은 습도」, 「어느 정도의 강설량」이라는 자연어로 표현되는 집합에 대해서 그 경계가 명확하게 정해지지 않으므로, ‘그림 4’에 보이는 멤버십 함수에 의해 특징지어지는 퍼지 집합으로 표현할 수 있다. 또한, 룰의 결론부도 (3)과 같이 「습설」의 정도를 퍼지 집합으로 나타낼 수 있다.

이상과 같이, 룰의 조건부와 결론부를 구성하는 명제들에 퍼지 집합의 개념을 도입함으로써 관련된 50여개의 룰들을 퍼지 룰로 변환하였다.

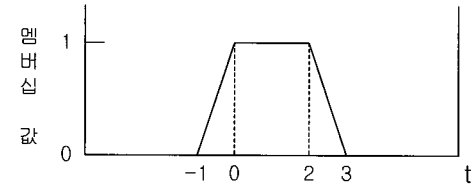
$$\text{「}X\text{-area has Some\_Sleet} \quad (3)$$

#### 2. 퍼지 추론 방식

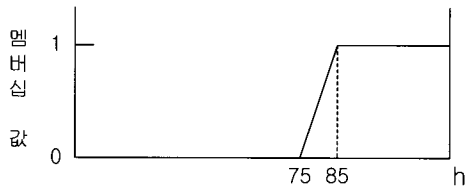
퍼지 룰로부터 결과를 추론하는 퍼지 추론방식으로는, 일반화된 연역추론(generalized modus ponens)이 가능하도록,

Rule Sleet :  
**IF:** X-area is High\_Temperature\_during\_Snow  
 and X-area is High\_Humidity  
 and X-area has Some\_Snowfall,  
**THEN:** X-area has Some\_Sleet.

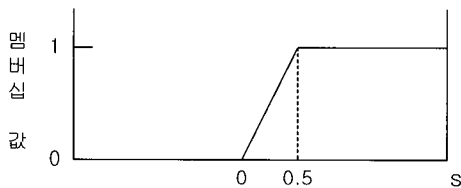
그림 3. 퍼지 추론 룰의 예.  
 Fig. 3. Example of fuzzy rule.



(a) “강설중으로는 고온임”



(b) “습도가 높음”



(c) “어느 정도 강설량이 있음”.

그림 4. 퍼지 집합에 대한 멤버십 함수.  
 Fig. 4. Examples of membership functions for fuzzy sets.

추론의 복합 규칙(compositional rule of inference)을 비롯한 여러 방식이 연구되고 있으나, 제안 시스템에서는 진리치 한정 규칙(truth value restriction)을 이용하여 추론하는 방법을 적용하였다[15].

예를 들어, 전선착설 상황에 대한 추론에서, 전선착설 상황을 「중도 착설(Heavy snow accretion)」 또는 「경도 착설(Light snow accretion)」, 「착설 없음(No snow accretion)」 등으로 구분하여 나타내는데, 이러한 자연어 표현들은 ‘그림 5’에 보이는 멤버십 함수로 특징지어지는 퍼지 집합으로 나타낼 수 있다. 그리고, 추론결과도 “Y선로는 중도의 전선착설 상태이다”라는 형태의 퍼지 명제로 도출될 수 있는데, 여기서 퍼지 명제에 대한 진리치가 주어진다면, 진리치 한정 규칙을 적용하여 전선착설량(전선 착설 직경)을 구할 수 있다. 즉, 전선착설 상황에 대한 추론의 결과, “중도의 전선착설”이라는 퍼지 명제에 대하여 퍼지 진리치  $\tau_{HS}$ 가 다음 식과 같이 주어질 수 있다.

$$\text{「Y-Line at X-Area has Heavy_Snow_Accretion」 is } \tau_{HS} \quad (4)$$

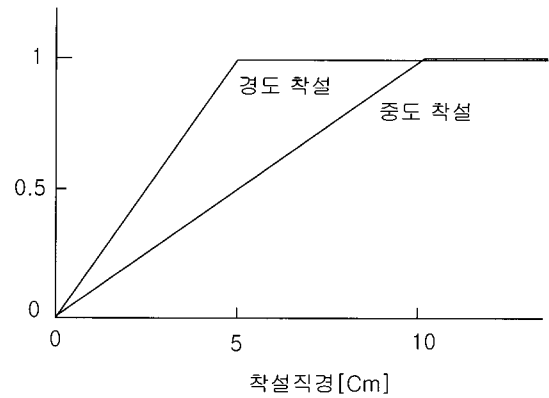


그림 5. “전선착설 상황”의 멤버십 함수.  
 Fig. 5. Membership function of “snow accretion”.

이때, 이와 등가의 퍼지 명제는 다음과 같다.

$$\text{「Y-Line at X-Area has Snow_Accretion_of_G」} \quad (5)$$

여기서, G는 전선착설량(전선착설 직경)을 나타내는 퍼지 집합으로 해석될 수 있으며, 그 멤버십 함수는 (6)과 같이, 진리치 한정 규칙에 의해 구해질 수 있다. ‘그림 6’은, 퍼지 진리치  $\tau_{HS}$ 를 구하는 계산과정을 나타낸다.

$$\mu_G(s) = \mu_\tau [\mu_{HS}(s)] \quad (6)$$

단, s : 전선착설 직경 [cm],  
 $\mu_{HS}$  : 중도 착설을 나타내는 멤버십함수,  
 $\mu_\tau$  :  $\tau_{HS}$ 의 멤버십함수

또한, 진리치  $\tau$ 가 퍼지 집합이 아닌 수치로 주어질 경우에는, 전선착설의 직경 G도 (7)에서 보이는 것처럼 비퍼지화된 수치로 표현된다.

$$\begin{aligned} \mu_G(s) &= 1, \quad s = \mu_{HS}^{-1}(\tau_{HS}) \\ \mu_G(s) &= 0, \quad s \neq \mu_{HS}^{-1}(\tau_{HS}) \end{aligned} \quad (7)$$

동일한 방법으로, 「경도의 전선착설」과 관련된 다른 룰들의 추론결과로부터도 전선착설량을 구할 수 있으며, 이와 같이 여러 룰들의 추론결과로부터 도출된 전선착설량중에서 최대치를 최종적인 전선착설 상황에 대한 추론결과로 한다. 이상과 같이, 각각의 룰들로부터 구체적인 전선착설량이 추론결과로 도출될 수 있으며, 여러 룰들로부터 추론된 전선착설량중에서 최대치를 종합적인 추론결과로 제시할 수 있다는 점에서, 진리치 한정 규칙을 이용한 추론방식을 적용하는 것이 타당하다고 할 수 있다.

한편, 퍼지 룰의 결론부를 구성하는 퍼지 명제에 대한 진리치는, 룰의 조건부를 구성하는 복합명제와 입력되는 데이터들과의 적합도를 구하는 방식으로 산출하였다[16]. 예를 들어, ‘그림 3’의 퍼지 룰에서 기온, 강설량, 습도에 대한 구체적인 데이터가 입력으로 주어질 경우, 룰의 결론부를 구성하는 (8)에 대한 퍼지 진리치  $\tau_{Sleet}$ 은 (9)와 같이 산출될 수 있다.

$$(X\text{-area has Sleet}) \text{ is } \tau_{Sleet} \quad (8)$$

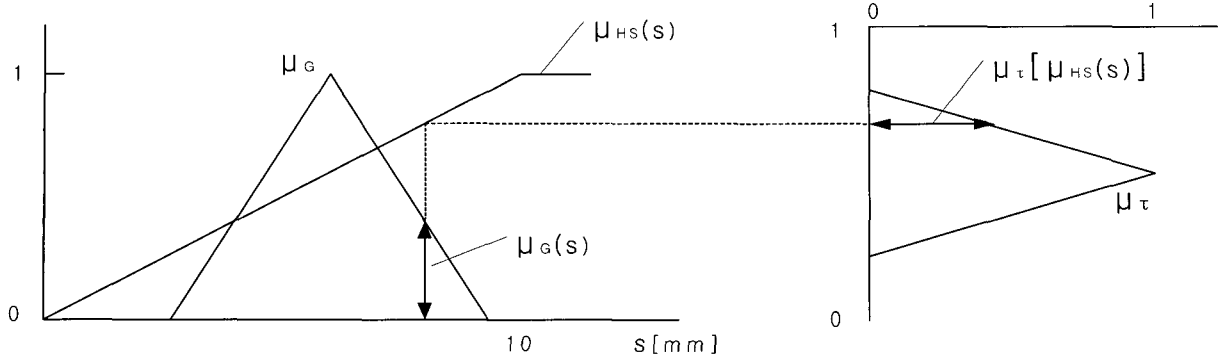


그림 6. 전선착설 직경 산출.  
Fig. 6. Calculation of snow accretion diameter.

$$\tau_{Steel} = \mu_{\tau}(t) \wedge \mu_H(h) \wedge \mu_S(s) \tag{9}$$

단,  $t$  : 기온,  $h$  : 습도,  $s$  : 강설량,  
 $\mu_{\tau}(t)$ ,  $\mu_H(h)$ ,  $\mu_S(s)$  : 멤버십함수,  
 퍼지 논리 연산 :  $\alpha \wedge \beta \equiv \min\{\alpha, \beta\}$ .

이상과 같은 방법으로, 「전선착설에 대한 주의도」 및 「현재의 착설상황」과 「향후의 착설 성장 가능성」, 그리고 「착설대책의 필요성」에 대하여 단계별로 추론을 수행하고, 그 추론결과를 퍼지 진리치로 제시한다.

IV. 사례 연구

제안한 퍼지 룰베이스 및 퍼지 추론방식의 유효성을 검증하기 위하여, '표 5'에 보이는 전선착설 사고 사례시의 데이터를 이용하여 전선착설 상황에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 여기서, “중대 사고”는 전선이나 철탁의 파괴적 손상을 가져온 사고 사례이고, “경미 사고”는 전력설비의 중대한 손상을 초래하지는 않았으나 차단기가 동작한 사고 사례이다. 각 사례에 대하여, 사고발생 또는 전선착설의 보고가 있었던 날의 전날부터 48시간에 걸쳐서 전선착설 상황 및 대책의 필요도 등에 대한 추론을 수행하였다. 사례별 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

**사례 1 :** 중대사고가 발생한 사례로써, 사고 발생으로부터 6시간 전의 시점에서부터 직경 3[cm]의 전선착설이 발생하였고 「착설대책의 필요도」가 0.5를 초과하였다. 사고발생 시점에서는 「착설대책의 필요도」가 0.97까지 증가하였고, 이 경고는 사고발생 2시간 후까지 계속되었으며, 전선착설은 직경 9[cm]까지 증가한 것으로 추론됨으로써, 착설대책이 절대적으로 필요했음을 추론하고 있다.

**사례 2 :** 경도의 전선착설이 발생된 사례로써, 종래의 전문가 시스템에서는 이를 감지하지 못하였으나, 퍼지 전문가 시스템에서는 직경 2[cm] 정도의 착설이 발생하였다는 추론결과를 제시함으로써, 퍼지 추론 방식의 도입에 의해 경미한 착설상태도 감지할 수 있음을 보여주었다. 「착설대책의 필요도」는 0.2 이하로써 착설대책은 필요하지 않다고 추론하였다.

**사례 3 :** 경도의 착설이 발생하였으나, 그로 인한 피해는 없었던 사례로써, 착설이 확인된 시점에서, 직경 4[cm] 정도

표 5. 전선착설 사고 사례.  
Table 5. Cases of snow accretion accidents.

사례 번호	선로명	지구명 (선로구간)	사고 발생시각	피해 유무	착설상황/ 피해정도
1	H	I	16:40	유	중대 사고
2	M	M	18:00	무	경도 착설
3	H	K	11:00	무	경도 착설
4	E	U	13:00	무	경도 착설
5	H	K	6:00	무	중도 착설
6	E	E	9:22	유	중대 사고
7	T	H	10:26	유	경도 사고
8	I	E	5:32	유	경도 사고

의 착설이 발생하였다는 추론결과로 되어 있다. 한편, 「착설대책의 필요도」는 최대 0.25 이하로 나타났고 그 지속시간도 1시간에 그쳐서, 착설대책의 필요성은 없는 것으로 추론되었다.

**사례 4 :** 착설을 확인한 시간대에 강설량이 비교적 적었음에도 불구하고 직경 6[cm] 정도의 전선착설이 발생하였다고 보고된 사례이다. 착설 확인 시점으로부터 1시간 전후에 걸쳐 직경 3.5[cm]의 착설이 발생하였고, 「착설대책의 필요성」은 없다는 추론결과로 되었다.

**사례 5 :** 단속적인 강설이 있었던 사례로써, 착설 확인 시점으로부터 4시간 전, 1시간 전, 2시간 후 및 4시간 후에 각각 2.9, 3.2, 4, 4.2[cm]의 전선착설이 발생한 것으로 추론되었다.

**사례 6 :** 대규모의 중대사고가 발생한 사례로써, 사고발생 7시간 전의 시점에서 직경 3[cm]의 착설이 발생하였고 1시간 전의 시점에서는 직경이 7[cm] 까지 증가한 것으로 추론되었다. 또한, 이 시간 동안 「착설성장 가능성」이 0.6~0.7로 매우 높게 나타났고, 「착설대책의 필요도」도 0.5~0.9까지 증가하는 것으로 추론됨으로써, 착설대책이 절대적으로 필요했음을 제시하였다.

**사례 7 :** 사고 발생 9시간 전이라는 빠른 시점에서부터 「착설대책의 필요도」가 0.5를 초과하기 시작하여 1시간 전의 시점에서는 0.7까지 증가하였으며, 직경 6[cm]의 전선착설이 발생한 것으로 추론되었다.

**사례 8 :** 사고 발생 3시간 전의 시점에서부터 「착설대책의 필요도」가 0.5를 초과하기 시작하였으며, 사고발생 1시간 전에는 0.9까지 증가하였고 직경 5[cm]의 전선착설이 발생한 것으로 추론되었다.

이상과 같은 사례에 대한 연구의 결과, 대부분의 사고사례에 대해서 실제의 전선착설 상황과 일치하는 추론결과와 함께 착설대책을 실시하기에 충분한 시간 여유를 두고 착설대책의 필요성을 제시함으로써, 전력계통운영자를 효과적으로 지원할 수 있다는 것을 알 수 있다. 특히, 퍼지 룰 및 퍼지 추론방식을 도입함에 따라, 불확실성을 보다 효과적으로 처리하고 추론결과도 보다 정확하게 제시할 수 있게 되었다. 즉, 퍼지 추론을 도입하기 이전에는, 「경도 착설」이라는 등급에 포함되지 못하는 착설 상황은 「착설이 없음」으로 분류될 수 밖에 없었는데, 기상조건의 미세한 차이에 의해 추론 오류가 발생할 여지가 있었으며, 이와 같은 추론 오류가 「착설대책의 필요도」에 대한 추론에도 영향을 미친다는 문제점이 있었다. 그러나, 퍼지 추론방식을 도입함에 따라, 전선착설 상황에 대한 추론결과를 「중도 착설」과 「경도 착설」이라는 등급외에 “전선에의 착설량(착설 직경)”이라는 물리적 의미를 갖는 수량으로 제시할 수 있게 되어, 보다 정밀한 추론이 가능하게 되었다.

퍼지 추론을 도입하는데 따른 또 하나의 효과로써, 특히 실시간으로 추론을 수행하는 과정에 있어서 추론결과의 시간적 변화에 대한 연속성이 향상됨으로써, 이용자에게 전체 상황을 파악하기 쉽도록 많은 정보를 제공할 수 있다는 점을 들 수 있다. 퍼지 추론을 도입하기 이전에는, 기준치 이상이 되어야 어떤 추론결과가 제시되기 때문에 추론결과의 시간적 변동이 단계적으로 급격하게 나타날 수 있어 이용자에게 혼란을 초래할 가능성이 있었다. 예를 들어, 어느 시점에서 갑자기 「착설대책이 가능한 빨리 필요함」과 같은 추론결과가 제시되었을 경우, 이용자는 당황하여 먼저 그 추론에 대한 신뢰도를 의심하게 된다. 그러나, 퍼지 추론 시스템에서는, 이와 같은 추론결과가 제시되기 이전의 「착설대책의 필요도」가 작은 시점에서부터 그 필요도를 제시하여 주의를 환기하여 줌으로써, 전체적인 상황과 과정에 대한 정확한 판단을 내리는 것을 용이하도록 지원한다.

## V. 결 론

전선착설 예측 및 방지대책의 결정 문제는, 전문 지식의 지식베이스화를 통한 전문가 시스템의 적용이 유력한 대안이며, 특히 전문 지식에 필연적으로 내재하는 불확실성을 처리하기 위하여 퍼지 이론을 도입한 퍼지 전문가 시스템이 효과적으로 응용될 수 있다는 것을 제시하였다.

이를 위해, 전선착설을 예측하고 전력계통을 제어하는 착설대책의 결정에 관한 전문 지식을 지식 베이스화하여 전문가 시스템을 구축하였고, 전문 지식들이 필연적으로 내포하고 있는 불확실성을 체계적으로 처리하기 위하여, 퍼지 논리를 적용하여 퍼지 룰베이스로 지식베이스를 재정리하고, 진리치 한정규칙에 근거한 퍼지 추론방식을 수행하도록 함으로써 퍼지 전문가 시스템으로 개량하였다. 이와 같은 퍼지 전문가 시스템의 적용을 통하여, 불확실성을 내포

한 전선착설의 예측과 착설대책 결정에 관한 지식들을 논리적으로 체계화함과 동시에 보다 실제적인 추론결과를 제시할 수 있게 되는 등, 퍼지 추론방식의 도입이 효과적이라는 것을 알 수 있었다. 전선착설 사고 사례시의 데이터를 토대로 시뮬레이션을 수행한 결과, 실제 상황에 적합한 추론결과를 제시함으로써, 제한한 퍼지 룰베이스 및 퍼지 추론방식이 유효하다는 것을 확인하였다.

제안 시스템을 실용화함에 따라, 전선착설에 대하여 전문가 수준의 체계적이고 효과적인 대응책을 강구하여 전력계통운영자를 지원할 수 있게 됨으로써, 전력설비의 중대 사고를 방지하는데 기여할 것으로 기대된다. 이 방법은 또한, 전선착설 및 착설대책 수립에 대한 전문 지식의 추가 및 개량을 용이하게 할 수 있도록 지원함으로써, 향후 관련 전문 지식의 계승·발전을 지원한다는 효과도 기대할 수 있다. 제안 시스템은 전력회사에서의 시험 운영을 통하여, 보다 실용적인 시스템으로 개량하기 위한 지식베이스 및 사용자 인터페이스의 보안을 추진하고 있다.

## 참고문헌

- [1] Y. Sakamoto, "Snow accretion mechanism on transmission lines and estimation of loads", *Journal of IEE Japan*, vol. 109, no. 1, pp. 21-28, Jan., 1989.
- [2] S. Kawanishi, et. al., "Current required for preventing wet snow accretion on transmission lines(Part 2)", *CRIEPI Research Report T89016*, Tokyo, Nov., 1989.
- [3] G. Wakahama, et. al., "Snow accretion on electric wires and its prevention", *Journal of Glaciology*, vol. 19, no. 8, pp. 479-487, Aug., 1977.
- [4] K. Sato, et. al., "Power transmission line maintenance information system for hokusei line with snow accretion monitoring capability", *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 7, no. 2, pp. 946-951, April, 1992.
- [5] S. Tachizaki, et. al., "Development of forecasting system of snow accretion on wires of overhead transmission line", *CRIEPI Research Report T89001*, Tokyo, May, 1989.
- [6] H. Tanaka and Y. Simoi, *Construction Method of Expert System*, Personal Media Co., 1988.
- [7] J. Hasegawa, et. al., "Expert system assisting power system operators to decide deicing countermeasure for snow accretion of transmission lines", *Proc. of the 2nd Symposium on Expert Systems Application to Power Systems*, p.359-365, Seattle, July, 1989.
- [8] C. L. Forgy, *Artificial Intelligence Language OPS83*, Personnel Media Co., 1986.
- [9] D. Dubois and H. Prade, *Fuzzy Sets and Systems : Theory and Applications*, Academic Press, 1980.
- [10] H. Prade, "A computational approach to approximate and plausible reasoning with applications to expert systems", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-7, no. 3, pp. 260-283, Mar., 1985.

- [11] M. Mizumoto, *Approximate Reasoning in Expert Systems*, Elsevier Science Pub., 1985.
- [12] D. E. Johannson, "Telemetry of ice loading on a power line conductor", *IEEE Winter Meeting Paper* 31 TP 65-131, pp. 187-191, New York, Jan., 1965.
- [13] M. C. Perz, "Analytical determination of high-frequency propagation on ice-covered power lines", *IEEE Trans. Power Apparatus on Systems*, vol. PAS-87, no. 3, pp. 695-703, Mar., 1968.
- [14] Meteorological Study Group for Snow Accretion on Line, *On the Meteorological Condition for Snow Accretion on Transmission Line in Hokkaido, Sapporo(Japan)*, Dec., 1981.
- [15] R. R. Yager, "Approximate reasoning as a basis for rule-based expert system", *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC-14, no. 4, pp. 636-643, 1984.
- [16] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modelling and control", *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-15, no. 1, pp. 116-123, 1985.



### 최규형

1981년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 Muroran공대(일본) 대학원 석사. 1992년 Hokkaido대(일본) 대학원 박사. 1981년~1996년 한국전기연구원, 1996년~현재 한국철도기술연구원 전기신호연구본부 수석연구원. 관심분야는

전문가시스템 및 퍼지시스템, 철도신호처리.