

그린 보증시스템을 위한 지식기반 퍼지로지 구축

이상현*, 이상준**, 문경일***

Construction of Fuzzy Logic Based on Knowledge for Greenery Warranty Systems

Sang-Hyun Lee*, Sang-Joon Lee**, Kyeong-Il Moon***

요 약

환경을 의미하는 녹색(Green)과 정보기술(IT)을 합성한 용어인 그린 IT는 에너지 절감과 탄소배출 감축을 목표로 IT 기술을 활용하고 있다. 그린 IT는 IT산업을 친환경화 하기 위한 범위를 벗어나서, 최근에는 IT를 활용한 타 산업분야의 그린화를 포함하여 기후변화 대응 방안으로까지 개념이 확장되고 있다. 전체 온실가스 배출량의 85%를 에너지 부문이 차지하고 있으며, 그 중에서도 수송부분이 20%를 차지하고 있는 만큼 자동차 산업 분야를 위한 IT의 연구가 필요한 시점이다. 본 논문에서는 자동차와 같이 보증 클레임이 빈번하게 발생하는 산업 분야의 온실가스 배출과 관련된 수명주기 분석을 제공하기 위하여 지식 기반 퍼지 로직을 이용한다. 온실가스 배출 관련 자동차 배기 시스템에 대한 보증 전문가 지식, 과거 오작동 테스트 결과, 과거 현장 분석 및 보증 데이터를 이용한 보증 클레임 분석 방법을 제안하였다. 또한, 수명 지식 기반의 GWS(Greenery Warranty System)를 제안하였다. 지식기반 퍼지 로직을 직접 구현하여, 실무에 적용함으로써 친환경 자동차 산업에 IT의 적용성을 증명하였다.

▶ Keyword : 지식베이스, 퍼지로지, 보증시스템, 그린IT

Abstract

Green IT, composed term with Green and Information Technology(IT), use IT for energy savings and carbon emission reductions. Green IT went beyond the scope of greening IT, and recently it's concept is expanded as far as counterplan of climate change including greening other industries by IT. 85% of total greenhouse gas emissions from the energy sector and 20% of them comes from transport parts, so it is time to research IT for automotive industry. In this paper, we take up the knowledge based fuzzy logic to provide life cycle analysis associated with greenhouse gas emissions for industry produced warranty claims frequently such as automobile industry. We propose a analysis method of warranty claims using expert knowledge about the warranty in car exhaust

• 제1저자 : 이상현 교신저자 : 이상준

• 투고일 : 2010. 10. 06, 심사일 : 2010. 10. 22, 게재확정일 : 2010. 11. 27.

* 목포대학교 컴퓨터공학과 겸임교수(Dept. of Computer Engineering, Mokpo National University)

** 전남대학교 경영학부 교수(School of Business Administration, Chonnam National University)

** 호남대학교 컴퓨터공학과 교수(Dept. of Computer Engineering, Honam University)

systems related to greenhouse gas emissions, past test results of malfunction, analysis of past field data, and warranty data. Furthermore, we propose life knowledge-based GWS (Greenery Warranty System). We demonstrate the applicability of IT in eco-friendly automotive industry by implementing knowledge-based fuzzy logic and applying.

▶ Keyword : Knowledge base, Fuzzy logic, Warranty System, Green IT

1. 서론

1992년 리우환경협약 이후, 1997년에는 구체적인 온실가스 감축 목표치를 규정한 교토의정서가 채택되어 발효됐으며, 2005년에는 발리로드맵이 채택되었다. 2009년에는 교토체제 이후의 구체적인 온실가스감축 목표를 다루고, 새로운 기후변화협약을 마련하기 위한 코펜하겐 기후변화 회의가 열리는 등 UN을 중심으로 전 지구적인 환경변화 대응노력이 지속되고 있다. 또한 UN 중심의 활동 외에도 다보스 세계경제포럼, APEC 정상회담, 미국 주도의 APP(Asia-Pacific Partnership on Clean Development and Climate), G8 혹은 G20 기후변화정상회의 등 다양한 형태의 모인고 활동에 의하여 기후변화와 환경대응이 글로벌 이슈화 되고 있다[1].

환경을 의미하는 녹색(Green)과 정보기술(IT)을 합성한 용어인 그린 IT는 에너지 절감과 탄소배출 감축을 목표로 IT 기술을 활용하고 있다. 그린 IT는 IT산업을 친환경화 할 것인지, 혹은 IT를 이용하여 타 산업을 친환경화 할 것인지에 따라 크게 'IT산업을 친환경화(Green of IT)'와 'IT를 활용한 타 산업의 친환경화(Green by IT)'로 나눌 수 있다. 기후 변화와 소유가가 글로벌 이슈로 떠오르면서 초기에는 그린 IT가 IT부문의 에너지 절감과 그에 따른 CO₂ 감축활동을 뜻하는 용어로 주로 사용되었으나, 최근에는 IT를 활용한 타 산업 분야의 그린화를 포함하여 기후변화 대응 방안으로까지 개념이 확장되고 있다. 이는 에너지 효율성 향상 및 불필요한 에너지 소비를 최소화하고 재택근무, 화상회의, 전자상거래 등을 통해 교통 및 물류 수요를 감소시켜 에너지 소비 절감 및 이산화탄소 배출 절감에 크게 기여하기 때문이다[2].

가트너가 발표한 2010년 주목할 만한 10대 전략기술에서 최근 2년간 포함되었던 그린 IT 대신 'Green by IT', 즉, IT를 활용한 타 산업의 친환경화가 선정된 점에서도 알 수 있듯이 여러 산업 분야에서 진행되고 있는 친환경화 노력에서 IT의 역할이 점점 커지고 있다. Forrester Research는 아예 'Green by IT' 기술을 그린 IT 2.0이라 정의하고, 탄소 배출 관리, 원격근무, 공급망 최적화 등의 비즈니스 프로세스 및 전략 단계와 스마트 그리드, 그린 시티, 기후변화 정책 등

의 공공정책 인프라 단계로의 이전을 제안하고 있다[3].

현대문명의 위기이자 기계문명의 꽃인 자동차는 1876년 동력원인 엔진이 개발된 이후 여러 가지 형태로 눈부신 발전을 거듭해 오고 있다. 그러나 자동차를 이용한 사람들의 이동에 대한 편리성이 있는 반면에 차체를 움직이는데 필요한 에너지원으로 화석연료를 사용함으로써 배출되는 공해물질과 온실가스가 우리에게 피해를 주고 있으며 갈수록 심각해지고 있는 실정이다. 그래서 오늘날 많은 과학자들은 자동차에서 배출되는 오염물질이 공기오염과 기후변화에 많은 변화가 일어날 것이라고 예언하고 있다. 자동차에서 배출되는 이산화탄소, 메탄, 이산화질소 등의 온실가스가 햇빛에 의한 복사에너지를 지표면에서 외계로 방출할 때 일부 복사에너지를 차단시킴으로써 지구가 더워지는 지구온난화현상이 발생하고 있다. 이대로 지구온난화현상을 방치한다면 홍수, 가뭄, 태풍 등과 같은 자연재난이 발생하고 이상기온으로 극지방의 얼음덩어리가 녹아서 해수면의 상승으로 육지가 바다 속으로 잠기며 생태계가 파괴되는 등 상상을 초월한 많은 피해를 전 지구 상에 줄 것으로 예상되고 있다.

우리나라와 같이 인구 및 산업 기지가 고밀화된 환경에서도 수송부분의 탄소배출량이 20%를 차지하고 있는 만큼 자동차 산업 분야를 위한 IT의 연구가 필요한 시점이다. 자동차에서 배출되는 온실가스 배출량을 줄이는 방법에는 크게 정책적인 방법과 기술적인 방법으로 있으며, 정책적인 방법에는 에너지 절약, 대중교통 개선, 신재생 에너지 지원 등이 있다. 또한, 기술적인 방법에는 에너지 효율개선, 저공해 자동차개발, 저공해 연소기술개발 등이 주류를 이루고 있다. 현재 미국, 유럽 및 일본 등에서는 자동차에서의 온실가스 저감을 위해 연료를 적게 사용하는 린변연소, 직접분사, 차량 경량화 등의 기술적용에 따른 고연비 자동차와 하이브리드 자동차, 전기자동차, 수소 자동차 등의 실용화와 개발단계에 있다.

기후변화 협약 체결에 미온적인 미국도 NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)의 CAFE (Corporate Average Fuel Economy) 표준을 설정하여 승용차 및 경량 트럭에 관한 연료 사용 및 유해물질 배출에 대한 목표들을 설정하고 있다. 특히, Federal Register (Vol. 73, No. 86, Docket No. NHTSA-2008-0089)에서 NHTSA는 2011~2015년 동안 평균 연비 증가와 온실가

스 배출량 감소에 따라 약 5억2천1백만톤의 이산화탄소를 감축하는 것과 동시에 약 550억 갤런의 연료를 절감할 수 있을 것으로 예상하고 있다[4]. “Super Warranty”로 불리는 온실가스 보증 문제는 대기 오염을 감소시키기 위해 자동차 제조업체들에게 10년 동안 혹은 200,000마일까지 연료 분사 장치와 같은 부품들에 대한 보증을 요구하고 있다[5].

본 논문에서는 이러한 “Super Warranty” 문제에 관한 하나의 접근방식으로서 수명 지식 기반의 GWS(Greenery Warranty System)를 제안하여, 온실가스 배출 장치의 보증 문제를 생산자 및 소비자 관점에서 균형을 취할 수 있는 하나의 틀을 개발하는 연구를 수행하였다. 자동차 산업과 같이 보증 클레임 분석이 현실적으로 매우 중요한 산업 분야에서, 수많은 부품들로 구성된 제품의 복잡성, 관련된 공학적인 설계와 개발에 포함된 높은 불확실성, 제품이 갖는 성능과 신뢰도 개선 분석의 어려움을 해결하기 위한 노력이 필요하다. 본 논문에서는 지식 기반 퍼지 로직을 개발하여 온실가스 배출 관련 자동차 배기 시스템의 보증 클레임 분석을 분석할 수 있다. GWS는 자동차와 같이 보증 클레임이 빈번하게 발생하는 제품 수명주기 분석에 있어서 제품 개발 단계 및 유지 보수 단계에서 온실가스 배출과 관련된 변화와 의사결정이 고객에 미치는 영향을 계산하고, 그린 IT의 측면에서 하나의 표준화된 분석 모델을 제공할 수 있다.

본 논문의 제2장에서는 관련 연구를 소개하고, 제3장에서는 퍼지논리 시스템 개발, 제4장은 구현 및 비교, 제5장에서는 결론을 내린다.

II. 관련 연구

2.1 수명 데이터 중심 보증 클레임 분석

보증 클레임 데이터의 주요 목적과 사용에 관한 연구로는 Murthy와 Blishcke [6], Murthy와 Djamaludin [7], Chukova와 Hayakawa [8]를 들 수 있는데, 대부분 다음 7가지 측면으로 요약될 수 있다.

- 1) 잘못된 설계, 빈약한 생산 과정, 불량 부품과 소재 등에 의한 조기 경고 및 탐지.
- 2) 새로운 제품 개발에 따른 목표 관측(목표 달성 여부와 관계가 없음).
- 3) 개발 단계, 생산 단계 및 현장에서 성과 관련 테스트 데이터들 간에 관계 포착.
- 4) 리콜, 생산 중단 혹은 변경의 결정
- 5) 유사 및 경쟁 제품의 신뢰도 비교

6) 오작동 모드 및 메커니즘, 환경 조건과 제품생산에 사용된 방법 간에 관계 DB 구축.

7) 추후 보증 클레임 및 관련 비용의 예측.

이러한 7가지 관점에서 보증 데이터 분석의 범주는 수명 기반 보증 클레임 분석, 총체적인 보증 클레임 분석, 보증 클레임 주변 빈도 분석, 공변량에 의한 보증 클레임 분석, 보조 데이터를 사용한 수명분포의 추정, 보증 비용 분석, 판매 및 보고 시차 분석, 보증 클레임의 예측 분석의 9가지로 구분될 수 있다. 보증 클레임 분석에서 많은 인자들이 불량품에 영향을 미치고 있는데, 보편적으로 분석되는 인자들은 제품의 수명(서비스 시간), 부품 특성, 작동 시점 혹은 환경 요인이라 할 수 있다. 특히, 제품 불량 데이터의 수명 중심 분석은 위 분석 방법의 근간을 이루고 있다.

수명 기반의 보증 클레임 분석에 관한 전형적인 연구들은 모두 통계적인 접근방식을 사용하고 있는데, 보통 서비스 시간의 함수로서 Poisson 모델을 사용한 분석과 예측에 관한 것으로 Kalbfleisch [9], Lawless et al [10]을 들 수 있다. 이러한 모델의 적용 한계로서 수명 분포에 관해 기지의 모수적인 분포를 가정하는데 따른 예측 에러 문제, 다른 무엇보다도 현실적으로 불완전한 혹은 결측 처리된 보증 수명 데이터를 들 수 있다. 또한, 보증 데이터가 불량품에 관해서만 사용되기 때문에 수명 분포의 추정을 위해서는 보완적인 데이터가 요구된다.

이외에 보증 데이터가 총괄적인 정보로 입력되는 경우가 빈번한 상황에서 수명 데이터의 추출 문제, 제품이 사용된 환경 및 제조 조건과 같은 인자들에 기인된 잘못된 보증 클레임 기대치 문제 등이 있다. 이러한 문제점들을 개선하기 위해 Karim et al. [11], Karim과 Suzuki [12], Crowder와 Stephens [13] 등에 의한 통계적 방법들이 제안되어 정량적인 필드 데이터 분석을 통한 고객 만족 개선과 제품 품질 및 신뢰도 개선 부문에서 어느 정도 성과를 거두고 있지만, 기존 확률론이 가지고 있는 강한 독립성의 문제, 우도(likelihood) 추정에 따른 최적화 문제의 시간 복잡도의 문제점들이 있다.

2.2 수명 데이터 중심 보증 클레임 분석

자동차 산업과 같이 보증 클레임 분석이 현실적으로 매우 중요한 상황에서 지식 기반 시스템 구축이 중요한 이유는 수많은 부품들로 구성된 제품의 복잡성에 있다. 제품의 복잡성은 공학적인 설계와 개발에 포함된 높은 불확실성의 양을 감안했을 때, 제품이 갖는 성능과 신뢰도 개선 분석에 있어서 어려움을 증가시킨다. 확률론을 바탕으로 하는 많은 통계적인 도구들이 개발되었지만, 대부분의 경우에 이들 도구들은 가장

된 통계적인 모수들에 종속되어 현실적으로 빚나가는 경우들이 많다.

지식 기반 시스템은 하나의 정의된 응용 영역에서 문제 해결을 위해 전문 지식을 제공하는 프로그램들로 지식 표현, 조정 및 학습 능력이 수반되는 인간 활동들의 거의 대부분의 영역에서 성공적으로 적용되고 있다. Liao et. al [14]의 연구는 지식 관리에 관해 가장 보편적으로 알려진 접근방식들에 세부적으로 논의하고 있다. 지식 기반 시스템은 인간 중심으로서 컴퓨터 시스템에서 인간 지식을 이해하고, 초기화시키기 위해 인공지능 개념을 접목한다. 지식 기반 시스템은 보통 지식베이스, 추론 엔진 및 지식 공학 도구로 구성된다. 전문가 시스템은 인공지능의 하나의 분야로 간주되지만, 인공 신경망 및 퍼지 논리와 같은 다른 인공지능 분야와 결합된다.

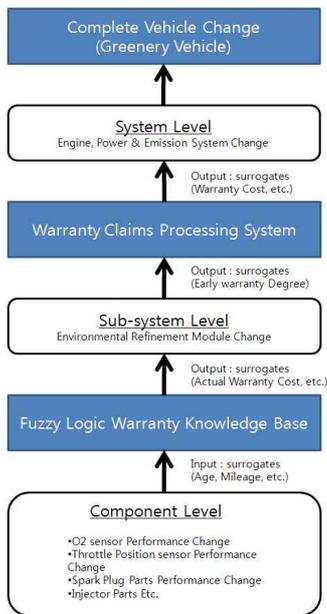


그림 1. 지식기반 보증 클레임 시스템 구조
Fig. 1. Knowledge-based warranty claims system structure

지식 기반 보증 클레임 분석과 관련하여 자동차 제품의 경우에 [그림 1]과 같은 4가지 주된 레벨로 구분할 수 있는데, 컴포넌트 레벨, 서브시스템 레벨, 시스템 레벨 및 완전 제품 레벨이다. 컴포넌트 레벨로부터 시작해서 완전 자동차 제품 레벨에 이르기까지 각 레벨은 그것의 상위 레벨로 수명 지식 기반 시스템으로 연결될 수 있다. 컴포넌트 레벨과 서브시스템 레벨은 하나의 지식 기반 퍼지 논리 시스템으로 연결되는데, 그 이유는 컴포넌트 레벨에서 많은 불확실성이 존재하고,

전문가에 의한 질적인 평가가 상당 부분 요구되기 때문이다.

서브시스템 이상의 나머지 레벨 연결은 보증 클레임 등급 판정과 밀접하게 관련된다. 이러한 등급 판정과 관련하여 유사하게 퍼지 시스템 혹은 신경망이 적용될 수 있다. 하위 레벨에서 퍼지 추론이 사용되기 때문에 퍼지 논리의 확대가 당연하지만, 보다 상위 레벨의 연결은 보통 집합의 다차원 수치 데이터로 구성된다. 따라서 다차원 비선형 함수의 근사라는 측면에서 신경망의 적용이 보다 바람직하다. 현재 이러한 보증 클레임 등급 판정에 관한 연구가 활발하게 진전되고 있는 상황이기 때문에[15], 본 연구에서는 컴포넌트 레벨과 서브시스템 레벨 연결 관련 퍼지 논리를 사용한 지식 기반 모듈만을 취급하기로 한다.

III. GWS Logic Module Construction

3.1 퍼지 논리 시스템의 구성

퍼지 논리 시스템은 3가지 주된 부분들로 구성되는데, 입력, 출력 및 규칙들이다. 규칙들은 입력을 출력과 연계시키기 위해 사용된다. 일반적인 자동차 보증 클레임 분석의 퍼지 추론과 관련하여 Lee et. al [16]의 연구를 참조할 수 있다. GWS에서 퍼지 논리의 지식 기반 모듈들은 입력으로서 제품 전체 판매 수, [그림 1]의 컴포넌트 레벨에서 관측된 그린 부품들의 수명 정보, 제품 신뢰성에 영향을 미치는 보증 클레임 개수 추정치를 취한다. 이러한 정보는 규칙들을 통해 출력과 연계되는 [그림 2]와 같은 시스템 레벨의 정제 모듈을 가진다.

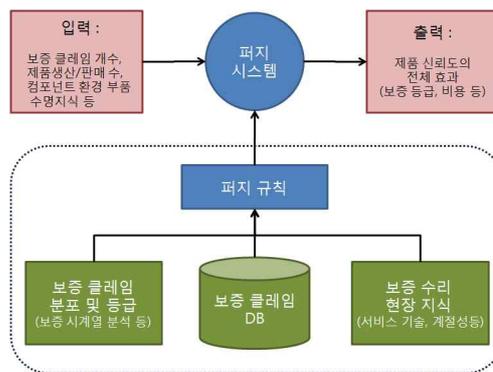


그림 2. 정보 소스와 퍼지 논리 모듈
Fig. 2. Information sources and fuzzy logic module

3.2 Super Warranty 지식 획득 단계

이 단계는 전체 퍼지 논리 구축 과정에서 가장 중요한 부분이다. 이 단계 중에 생성된 정보는 퍼지 시스템이 효과적인 기능을 발휘할 수 있도록 한다. 보증 클레임 관련 수명 지식 엔지니어가 정보를 추출할 수 있는 이용 가능한 많은 정보 원천들이 존재한다. 그러한 원천들에 관한 사항들은 Lee et al [16] 의 연구에서 논의되고 있다. 이러한 원천들 중에서 그린 문제에 관련된 부품 수명 지식을 취할 수 있다. 이러한 지식의 획득과 관련하여 제품 실험 도구의 설계, 오작동 방식과 효과 분석, 인간 전문가 지식의 적용을 통해 보증 클레임 건수를 줄이기 위한 그린 신뢰도 개선 문제는 Yadav et. al [17]을 참조할 수 있다.

첫 번째 작업은 보증 클레임이 발생한 자동차 시스템의 모든 오작동 모드를 식별하는 것이다. 이러한 작업은 보증 데이터의 분석을 계단식으로 진행시켜 오작동 모드 원인과 그것과 관련된 개별 컴포넌트 부품들(Ignition coil, Throttle Position Sensor, Sensor Oxygen, catalytic converter 등)의 수명 지식을 정의하고, 개선 혹은 교체에 이르는 특정 보증 행위로 연계시키기 위한 입력 부분을 설정한다. 다음 단계는 컴포넌트 구성 부품들의 수명 특징에 따른 변화에 기인된 모듈 혹은 시스템의 전체 신뢰도 효과를 계산한다. 이는 출력 계산 작업과 관계되는데, 보증 클레임 건수 및 그와 관련된 평균 단위 비용 등의 계산을 통한 보증 비용 등으로 추정할 수 있다.

3.3 입력 퍼지집합 형태 결정

퍼지 시스템의 입력은 시스템 레벨에서의 이른바 "age" 기반의 제품의 수명 지식과 컴포넌트 구성 부품 수명과 관련하여 소비자에 의해 요구된 보증 클레임 건수로 구성된다. 먼저, 소비자 관점과 생산자 관점에서 제품 수명은 서로 다르게 나타나는데, 소비자 입장에서는 제품 구입 초기부터 수명을 헤아리지만, 생산자 관점에서는 생산되어 판매된 시점부터 구분하기 때문에 제품의 수명은 다소간 불확실한 형태로 주어지게 된다. 따라서 제품의 재고 관련 부분을 감안했을 때, 퍼지 수 (fuzzy number)에 의한 수명 지식의 표현이 보다 적절하다. 문제는 제품의 시스템 레벨의 수명 지식만으로 Super Warranty의 추정이 어렵다는 것이다. 예를 들어, 영업용 자동차의 경우에 주행 거리에 관한 지식이 Super Warranty에 결정적인 영향을 미칠 수 있다. 아무리 새로운 차종이라도 주행거리가 많으면 컴포넌트 부품의 수명이 그만큼 짧아지게 된다. 따라서 컴포넌트 부품의 수명 관련 정보가 중요하다.

그린 보증 문제와 관련하여 국내 자동차 산업 현장에서 보증 수리 전문가들의 견해의 표준편차가 관점에 따라 상당히 크게 나타날 수 있다. 전문가 견해에 의한 실제 보증 클레임

비율을 표로 요약하면 <표 1>과 같다. 여기서 컴포넌트 부품의 수명과 관련하여 보고되는 보증 클레임 건수는 예를 들어, 국내 자동차 부품 중에 산소 센서의 경우에 제품 구입 초기 1년 동안에 발생한 보증 건수의 비율을 W0이라 할 때, 보통 2년 주기로 발생한 보증 클레임 건수의 변화 비율은 대략 $w1 \approx 1.5w0$, $w2 \approx w1$, $w3 \approx 0.5w2$, $w4 \approx 0.5w3$ 과 같은 관계인 것으로 보고되고 있다.

표 1. 전문가 견해에 의한 실제 보증 클레임 비율
Table 1. Real warranty claim ratio by expert opinion

Age	Components			
	W1	W2	W3	W4
1-2년	0.16	0.16	-	-
2-4년	0.50	0.52	0.55	-
4-6년	-	0.70	0.73	0.80
6-8년	-	0.88	0.92	0.97
8-10년	-	-	1	1

제품 수명이 오래됨에 따라 자동차의 경우에 환경 문제에 따른 의무적인 검사 수행이 요구되어 컴포넌트 레벨의 부품 교환이 자동 발생되기 때문에 제품 수명이 오래될수록 컴포넌트 레벨에서 보증 클레임의 건수는 상당 부분 감소하게 된다. [그림 3]은 시스템 레벨에서 제품 수명에 관한 퍼지 수와 컴포넌트 부품 측면에서 보증 클레임 건수의 비율을 최대 비율을 중심으로 정규화 시킨 경우에 있어서 퍼지집합 형태를 나타낸다. 특히, 입력 퍼지 변수의 소속 함수 결정과 관련하여 여러 가지 유형이 사용될 수 있지만, 단순성 및 보증 클레임의 신뢰성 문제와 관련하여 삼각형 함수가 보다 쉽게 이해될 수 있다(Bowles와 Pelaez[18]; Yadav 등 [17]).

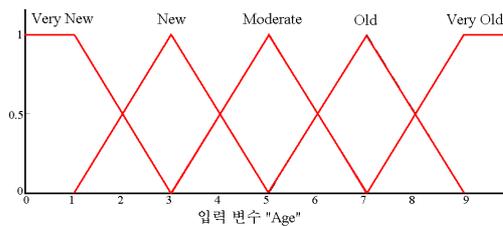


그림 3. 입력 변수들의 퍼지집합 형태
Fig. 3. Form of fuzzy sets of input variables

3.4 퍼지 규칙과 추론

보증 클레임 관련 입력 변수 X_1, \dots, X_n 에 관한 일반적인 퍼지 규칙들은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{If } X_1 \text{ is } A_1^j \text{ AND } \dots \text{ AND } X_M \text{ is } A_M^j$$

then $S^j = f^j(X_1, \dots, X_M)$

여기서 퍼지 규칙의 결론 부분인 출력 변수는 입력 변수들의 함수들이다. 출력 변수는 Super Warranty에 관한 하나의 지표로서 온실가스 문제에 영향을 미치는 허용치가 초과된 제품 구성 요소들에 관한 실제 보증 클레임 건수 및 보증 비용 추정 등과 관계된다. Sugeno 타입의 일반적인 선형 함수는 실수 값의 모수 c_k^j 에 관해 다음과 같다.

$$S^j = c_0^j + \sum_{k=1}^M c_k^j X_k$$

규칙의 결론 부분에 이러한 상수 혹은 선형 함수를 사용하는 Sugeno 시스템들은 명확한 모수들을 사용한 사상들이 되기 때문에 데이터 적합을 위한 최적화 기법의 적용이 가능하다. Mendel-Wang의 퍼지 논리 시스템을 적용할 경우에 Super Warranty 출력은 다음과 같이 계산된다.

$$S = \left\{ \sum_{j=1}^N g^j \left(\prod_{i=1}^M F_i^j(X_i) \right) \right\} / \left\{ \sum_{j=1}^N \left(\prod_{i=1}^M F_i^j(X_i) \right) \right\}$$

여기서 g^j 은 j-번째 규칙의 발화 정도를 나타내는 가중치이다. 소속 함수 F_i^j 은 j-번째 규칙의 입력 X_i 에 대응한다. 예를 들어, 입력 변수들에 관해 AND 규칙으로서 최대 연산자를 사용하는 경우에 가중치는 $F_i^j(X_i)$ 들 가운데 최대값이 된다. $\max(F_1, F_2)$ 이다. 여기서 F1과 F2는 각 입력 변수들에 대응하는 소속 함수이다.

규칙 조건 부분에 AND 연산은 곱 연산과 무게중심에 의한 비퍼지화 작업을 진행한다. 일종의 보증 기저 함수로서 다음과 같이 정의되는 B_j 를 정의하는 경우에 퍼지 시스템은 보다 간단히 나타낼 수 있다. 분모는 각 점에서 기저 함수들의 합이 1이 되도록 소속 함수들의 곱을 정규화 시킨다.

$$B_j = \prod_{i=1}^M F_i^j(X_i) / \sum_{j=1}^N \left(\prod_{i=1}^M F_i^j(X_i) \right)$$

$$S = \sum_{j=1}^N g^j B_j$$

이러한 형태는 정확한 퍼지 시스템이라 할 수는 없지만, 소속 함수, t-norm 및 t-conorm을 사용하기 때문에 하나의 퍼지 추론 시스템이라 할 수 있고, 다른 무엇보다도 퍼지 시스템 내에 모수 결정을 위한 Levenberg-Marquardt, 최소 제곱법, 가우스 뉴턴 등의 최적화 기법을 적용할 수 있다.

IV. 구현 및 비교

이 절에서는 실제 자동차 시스템에 관한 GWS의 적용을 나타내기로 한다. 고려되는 시스템은 온실가스 배출 관련 자동차 배기 시스템으로 컴포넌트 레벨에서 산소 센서 관련 보증 클레임을 취급하기로 한다. 산소 센서는 Super Warranty 문제와 매우 관련성이 높은 것으로 센서에 이상이 발생하면, ECU(Electronic Control Unit)에서 연료량을 증가시킨다. 연료의 양이 증가하게 되면, 연료가 불완전 연소되어 CO2의 발생이 가속된다. 이러한 산소 센서의 결함은 컴포넌트 레벨에서 센서의 수명과 밀접하게 관련되지만, Injector, Spark Plug, TPS와 같은 컴포넌트 레벨에서의 부품 결함과 밀접한 관계를 가진다.

국내 가솔린 자동차의 환경 부품에 관한 적용 기준은 세계에서 가장 엄격한 미국 캘리포니아의 초저 공해 차(Ultra Low Emission Vehicle: ULEV) 수준으로 2006년부터 강화되고 있지만, 이러한 그린 보증 문제와 관련하여 현재까지 신뢰성이 있는 접근방식이 제시되지 못하고 있다. [표 1]은 국내 자동차회사의 보증 클레임 DB로부터 2000~2007년까지 발생한 컴포넌트 레벨에서 환경 부품의 이상으로 보고된 보증 클레임 건수 및 실제 산소센서의 결함으로 인한 SW(Super Warranty)의 건수를 생산 판매된 시점을 기준으로 분류하여 요약한 것이다.

<표 2>에서 소비자의 관점에서 보고된 그린 보증과 관련된 클레임 건수는 초기 101건을 기준으로 대략 1.5배의 증가를 보이다가 0.5배의 감소를 보이고 있어서 제품의 수명 관점에서 일반적인 보증 클레임 건수의 변화와 거의 유사함을 확인할 수 있다. <표 2>에서 Normal은 비율의 정규화로 퍼지 규칙들의 가중치 결정에 사용될 수 있다. 자동차 산업에 있어서 GWS 구축과 관련하여 소속 함수 및 규칙 베이스의 생성은 [그림 2]를 참조할 수 있다. 이러한 정보 소스는 보증 전문가 지식, 과거 오작동 테스트 결과, 과거 현장 분석 및 보증 데이터의 분석을 포함한다. 이러한 정보 소스를 바탕으로 퍼지 규칙들을 설정하는 것은 GWS의 핵심이다.

표 2 현장 관계자 관심사들에 의한 값 비교
Table 2. Comparison on the interesting value of the field workers

Age (단위: 년)	0~2년	2~4년	4~6년	6~8년	8~10년
Counts	101	153	147	70	20
Rates	0.21	0.31	0.30	0.14	0.04
Normal	0.68	1.00	0.97	0.45	0.13
Super	16	80	108	68	19

GWS 시스템의 입력 변수로서 컴포넌트 부품에 해당되는 산소센서의 보증 클레임 비율의 정규화 퍼지집합 형태는 [그림 4]와 같다. 입력 변수 Age에 관한 퍼지집합 형태는 [그림 3]의 상단 그림과 같다. 출력 변수는 Super Warranty에 관한 하나의 지표로서 온실가스 문제에 영향을 미치는 허용치가 초과된 컴포넌트 부품에 관한 실제 보증 클레임 건수 추정과 관계된다. 국내 자동차 산업의 경우에 매년 발생 관련 소비자 보증 클레임과 관련하여 보증 수리 전문가의 견해에 의하면, 시스템 레벨의 제품 수명이 증가함에 따라 보고건수 대비 실제 보증 클레임 비율이 대략 3~4배의 증가율을 보이며, 제품 수명이 7년을 넘어서면 거의 100%로 교체 혹은 폐기되는 것으로 분석되고 있다. [표 1]에 의하면, 구체적으로 2년 이내의 제품의 경우에 보고 건수의 대략 16% 정도, 2~4년의 경우에 대략 52%, 4~6년의 경우에 73%, 6년 이상인 경우에 97% 이상이 Super Warranty 건수에 해당되고 있다.

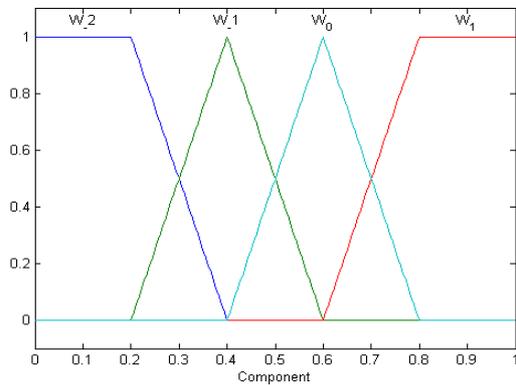


그림 4. 보증 클레임 비율의 정규화 퍼지집합 형태
Fig. 4. Normalized fuzzy set forms of percentage of warranty claims

퍼지 추론과 관련하여 Mamdani와 Sugeno 방법은 입력의 퍼지화 및 퍼지 연산자의 적용에 있어서 정확히 일치하지 않으나, 출력이 있어서 Sugeno 출력의 소속 함수들은 선형 혹은 상수이다. 하나의 Sugeno 퍼지 모델을 적용했을 때, Super Warranty의 건수 예측 비율 추정을 위한 규칙은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\text{If } Age = x \text{ and } W = y, \text{ then } S = ax + by + c$$

각 규칙에 관한 출력 수준은 규칙의 발화 정도를 나타내는 가중치를 적용한다. 예를 들어 $Age=x$ 와 $W=y$ 에 관한 AND 규칙으로서 최대 연산자를 사용하는 경우에 가중치는 $\max(F_1(x), F_2(y))$ 이다. 여기서 F_1 과 F_2 는 각 입력 변수들에 대응하는 소속 함수이다. 이리하여, Super Warranty의 예측 비율의 출력은 모든 규칙 출력들의 가중 평균으로 (각 규

칙의 출력과 대응되는 가중치의 곱의 합)/(가중치 합)으로 계산된다. a, b 및 c 의 추정을 위해 최소제곱법을 적용했을 때, $a=0.1267, b=0.3057, c=-0.1651$ 의 추정치를 얻을 수 있다.

단일 성분의 출력을 갖는 소속 함수의 사용은 비퍼지화에 따른 무게중심법의 적용시간을 단축시킬 수 있다. 즉 중심을 찾기 위해 적분을 취하는 것보다는 소수 몇 개의 점들의 가중 평균으로 계산한다. 이제 Super Warranty 건수 예측 비율 추정을 위한 10개의 규칙들은 다음과 같이 정의될 수 있다. 여기서 결론부의 S값들은 최소제곱법에 의해 얻어진 상수들을 곱해서 결정할 수 있지만, 현장 데이터를 사용한 실제 보증 클레임 비율을 지정하였다.

- If (Age is VeryNew) then (S is mf1) (0.68)
- If (Age is New) then (S is mf1) (1)
- If (Age is New) and (Component is W_1) then (S is mf2) (1)
- If (Age is Moderate) then (S is mf2) (0.97)
- If (Age is Moderate) and (Component is W_-1) then (S is mf3) (0.97)
- If (Age is Old) and (Component is W_-2) then (S is mf4) (0.45)
- If (Age is Old) and (Component is W_-1) then (S is mf4) (0.45)
- If (Age is Old) and (Component is W_0) then (S is mf3) (0.45)
- If (Age is Old) and (Component is W_1) then (S is mf3) (0.45)
- If (Age is Very Old) then (S is mf5) (0.13)

[그림 5]는 이러한 Sugeno 규칙들에 의한 GWS 시스템 출력 결과로 수명이 오래된 자동차 제품의 경우에 Super Warranty의 비율은 무조건 1에 수렴하게 된다.

실제 국내 자동차회사의 경우에 수명이 5년 이상인 환경 부품의 경우에 보고되는 보증 클레임 건수의 비율이 낮은 경우에 무조건 교체 작업을 진행하고 있다. 수명이 3년 이하인 신형 제품의 경우에 시스템 출력 곡면은 보고되는 보증 클레임 건수가 아무리 많아도 산소 센서의 교체 비율은 최대 30%를 넘어서지 않는다. 신형 제품의 경우에 컴포넌트 부품 자체가 환경 부품인 경우에 불량일 가능성은 매우 낮다. 그 이유는 국내 자동차 제품의 경우에 미국 캘리포니아의 초저 공해차(Ultra low emission vehicle: ULEV) 수준으로 강화되었기 때문이다.

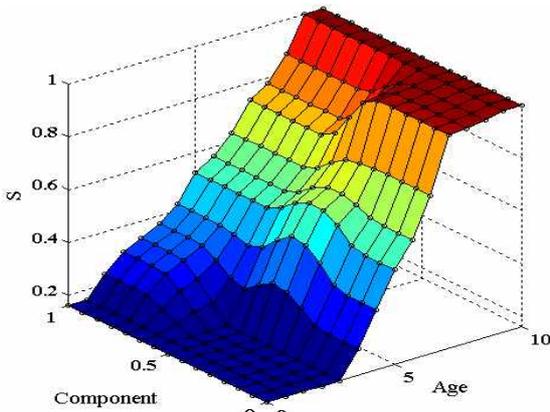


그림 5. GWS 시스템 출력
Fig. 5. GWS System output

클레임 변동이 가장 심한 경우는 제품 수명이 3~5년이고, 보고되는 보증 클레임 비율이 20~30%에 있을 때로 추정되고 있다. 보증 수리 전문가들의 경험에 따르면, 이러한 현상은 보통 자동차 제품의 경우에 3~5년에서 컴포넌트 부품들의 결합이 자주 발생하고, 하나의 부품의 결합은 연쇄적으로 다른 부품들의 성능에 영향을 많이 미치며, 클레임 건수의 비율 변화는 계절과 밀접한 관계가 있다. 또한 같은 차종이라도 모델이 많을수록 보고되는 보증 클레임 건수의 비율은 증가하게 된다. 결론적으로 자동차 제품의 경우에 Super Warranty 문제는 제품 수명과 밀접한 관련성이 있고, 계절적인 특징 및 차종 모델에 따라 그린 컴포넌트 부품들에 관한 보증 클레임 변동이 다소간 존재한다.

현재 그린 보증문제와 관련하여 전문가들의 통계 결과 거의 제시되지 못해 본 연구 결과에 따른 시스템 효율성 문제를 강하게 주장할 수는 없으나, 그림 5의 추론 결과가 일반적인 보증 클레임 추론의 잘 근사된 형태라는 점에서, 또한 그림 1의 절차에 의한 처리라는 점에서 본 논문은 그린 보증 클레임 추론을 위한 새로운 접근방식으로 평가될 수 있다.

<표 1>의 전문가 견해 비율과 Sugeno-퍼지 추론에 의한 MSE의 계산 결과는 0.05에 가까워서 신뢰성이 있다. 이러한 전문가 견해 비율이 물론 국내 특정 H-자동차 회사를 상대로 한 것이라는 점에서 다소간 신뢰할 수도 있으나, 그린 보증 문제와 관련하여 국제 표준적인 것이 아니라는 점에서 보다 구체적인 조사 관측이 필요하다.

V. 결론

본 논문에서는 그린 IT 관점에서 “Super Warranty”로 불리는 친환경 자동차 보증 클레임 분석과 관련하여 수명 지식을 기반으로 하는 하나의 의사결정 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 자동차 산업에서 최근 화두가 되고 있는 그린카의 개발 과정의 최적화 및 신뢰도 향상을 위한 개괄적인 접근방식으로 사용될 수 있다. 국내 자동차회사의 환경 부품에 대한 보증 클레임 데이터를 제안된 GWS 시스템에 적용해 본 결과 보증 클레임 관련 수리 전문가들의 견해에 상당히 부합됨을 확인하였다. 특히, Super Warranty 문제와 관련하여 현재 적절한 측정 지표 및 도구가 없다는 점에서 본 연구 시도가 상당히 의미가 있다고 할 수 있다. 그렇지만, 추후 연구를 통해 개선시킬 필요가 있는 구조 및 방법론에서 몇 가지 영역들이 존재한다. 다른 무엇보다도 수명 지식과 함께 새로운 보증 지식으로 마일리지와 같은 “usage”의 적용을 통한 시스템의 개선 문제를 들 수 있다.

참고문헌

- [1] Samsung Global Environment Research Center, "Climate Change Changes Business," 2008.
- [2] Kim, S H, "Green IT Economics," Yulgokbook Publishing Co., 2009.
- [3] Shin, J H, "Technical Trend of Green IT," Communication of the KIISE, Vol. 27, No. 11, pp. 30-41, 2009.
- [4] U.S. Department of energy, "Proposed New Standards to Increase Fuel Economy by 25% by 2015," http://apps1.eere.energy.gov/news/news_detail.cfm/news_id=11741.
- [5] California Air Resources Board, "Emission Control System Warranty Requirements," <http://o3.arb.ca.gov/regact/obdii06/warrantyregclean.pdf>
- [6] Murthy D. N. P. and Blichke W.R., "Warranty and reliability," in Balakrishnan, N. and Rao, C.R. (Eds), Handbook of Statistics: Advances in Reliability, Elsevier Science, Amsterdam, Vol. 20, pp. 541-583, 2001.
- [7] Murthy D. N. P., Djameludin. "New product warranty: a literature review," Int. J. Prod. Econ. Vol. 79, pp. 231-260, 2002.
- [8] Chukova S. and Hayakawa Y., "Warranty cost analysis: Non-renewing warranty with repair

time," Applied Stochastic Models in Business and Industry Vol. 20 No. 1, pp. 59-71, 2004.

[9] Hu J. X and Lawless J. F and Suzuki K, "Nonparametric estimation of a lifetime distribution when censoring times are missing," Technometrics, Vol. 40, pp. 3-13, 1998.

[10] Lawless J. F and Kalbfleisch J. D., "Statistical Analysis of Warranty Claims Data," in Product Warranty Handbook, W.R. Blischke and D.N.P. Murthy, eds., New York: Marcel Dekker Inc., pp. 231-259, 1995.

[11] Karim M. R and Yamamoto Wand Suzuki K, "Change-point Detection from Marginal Count Failure Data," Journal of the Japanese Society for Quality Control, Vol. 31, pp. 318-338, 2001.

[12] Karim M. R and Suzuki K, "Analysis of Warranty Claim Data: A Literature Review," International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 22, No. 7, pp. 667-686, 2005.

[13] Crowder M. and Stephens D., "On the analysis of quasi-life tables", LIFETIME DATA ANAL, Vol. 9, pp. 345-355, 2003.

[14] Liao S. H., "Knowledge Management Technologies and Applications-Literature Review from 1995 to 2002", Expert Systems with Applications, Vol. 25, pp. 155-164, 2003.

[15] Singh, B, Garg SK and Shama, SK, "Development of index for measuring leanness: study of an Indian auto component industry", Measuring Business Excellence, Vol. 14 Iss: 2, pp.46 - 53, 2010.

[16] Lee S. H and Lee S. J and Moon K. I., "A Fuzzy Logic-based Approach to Two-dimensional Automobile Warranty System, Journal of Circuits, Systems, and Computers, Vol. 19, No. 1, pp. 139-154, 2010.

[17] Yadav O. P and Singh N., Chinnam R. B and Goel P. S., "A Fuzzy Logic Based Approach to Reliability Improvement Estimation During Product Development," Reliability Engineering and System Safety, Vol. 80, pp. 63-74, 2003.

[18] Bowles J. B. and Pelaez C. E., "Application of Fuzzy Logic to Reliability Engineering," IEEE Proceedings, Vol. 83, pp. 435-449, 1995.

저 자 소개



이 상 현
 2002년 : 호남대학교 컴퓨터공학과 공학사
 2004년 : 호남대학교 컴퓨터공학과 공학석사
 2009년 : 전남대학교 전산학과 이학 박사
 2006년~2009 : 호남대학교 시간강사
 2009년~현재 : 목포대학교 시간강사
 2010년~현재 : 남부대학교 시간강사
 관심분야 : 인공지능, 데이터마이닝, 소프트웨어공학
 E-mail : leesang64@gmail.com



이 상 준
 1991년 : 전남대학교 전산통계학과 이학사
 1993년 : 전남대학교 전산통계학과 이학석사
 1999년 : 전남대학교 전산통계학과 이학박사
 1995년~2005년 : 서남대학교 경영전산정보학과 조교수
 2005년~2007년 : 신경대학교 인터넷정보통신학과 조교수
 2007년 ~ 현재 : 전남대학교 경영학과 부교수
 관심분야 : 소프트웨어공학, 경영정보 시스템, 서비스 사이언스
 E-mail : s-lee@chonnam.ac.kr



문 경 일
 1982년 : 서울대학교 계산통계학과 이학사
 1991년 : 서울대학교 계산통계학과 이학박사
 1982년~1987년 : 한국통신 사업지원 본부 전임 연구원
 1987~현재 : 호남대학교 컴퓨터공학과 교수
 관심분야 : 지능 시스템, 복잡계 이론
 E-mail : kimoon@honam.ac.kr