

유형-2 퍼지 논리 기반 그린 IT 깊이 성숙도 모델

문경일*, 김 철**

호남대학교 컴퓨터공학과*, 광주교육대학교 컴퓨터교육과**

요 약

복잡계 관점에서 트래픽 패턴, 도시 및 다세포 생물학적 유기체 등이 하나의 창발적인 현상인 것처럼, '그린 IT'의 개념 또한 지구 온난화 문제로 인해 인간 세계에서 태동할 수밖에 없는 불가피한 창발적인 현상이다. 복잡계 이론의 관점에서 그린 IT는 무작위한 것으로부터 대단히 복잡한 방식으로 상호작용을 하는 상당히 뒤얽힌 시스템으로 발전할 가능성이 높다. 그렇지만, 그린 IT 시스템 또한 하나의 복잡계라 할 때, 그러한 시스템을 구동시키고 억제시키는 미지의 끝개들이 존재한다. 이러한 맥락에서 본 논문은 그린 IT 시스템의 잠정적인 끝개들을 식별하고, 평가할 수 있는 하나의 새로운 모델을 제안하고, 이를 교육적으로 활용하는데 있다. 구체적으로 그린 IT의 끝개라 할 수 있는 그린 IT 너비-깊이 행렬을 기반으로 그린 IT 진화 및 자기조직화 되어가는 과정을 측정할 수 있는 유형-2 퍼지 시스템을 구축한다.

키워드 : 그린 IT, 너비-깊이 행렬, 유형-2 퍼지 논리 시스템

A Type-2 Fuzzy Logic Base Maturity Model of Green IT Richness

KyungIl Moon*, Chul Kim**

Dept. of Computer Engineering, Honam University*,

Dept. of Computer Education, Gwangju National University of Education**

ABSTRACT

Emergent process or behaviour can be seen in many places, from any multicellular biological organism to traffic patterns, cities or organizational phenomena in computer simulations. Similarly, the concept of 'Green IT' refers to the way complex systems and patterns arise inevitably among groups due to environmental concerns in real world. Green IT has good possibility to evolve as very chaotic system, in which the number of interactions between components increases geometrically with the number of components, thus potentially allowing for many new types of behaviour to emerge. However, when Green IT system regards as a complexity one, there exists some attractors to derive and control the system. In this context, this paper presents a new model based on type-2 fuzzy logic system to identify and assess the attractors of Green IT system which correspond to Reach-Richness matrix of Green IT.

Keywords : Green IT, Reach-Richness Matrix, Type-2 fuzzy logic System

** 교신저자 : 김 철, 광주교육대학교 컴퓨터교육과 교수

논문투고 : 2010-06-05

논문심사 : 2010-06-08

심사완료 : 2010-06-11

1. 개 요

지난 수십 년 동안 정보기술 기반의 비즈니스 및 일상적인 사회적 활동들의 진보는 모두 그런 것은 아니지만, 경제를 e-경제로, 비즈니스 활동을 e-비즈니스로 하는 많은 변모를 가져왔다. 그렇지만, 제한된 자원, 에너지 가격 상승과 맞물린 지구 온난화 및 기후 변화는 글로벌 디지털 경제의 지속 가능성에 관한 심각한 도전이 되고 있다. 이러한 측면에서 IT 및 비즈니스 관리자들을 위한 주요 관심사 가운데 하나로 기술과 지속 가능성의 보다 넓은 전후관계 연결 고리라 할 수 있는 "그린 IT"라는 개념이 창발되고 있다.

그린 IT와 관련하여 Elliot은 다양한 문헌들에서 제시하고 있는 예들의 분석을 통해 정보통신 기술의 친환경적 지속 가능성에 관한 문제와 범위를 정의하고 있다[2]. 특히, 다양한 문헌들에서 다루어지고 있는 주제에 대한 포괄적인 개념, 문헌 및 경험들을 바탕으로 하는 개발 틀의 단계, 조직 실천 및 관련 정보 시스템 연구를 위한 도구들을 취급하고 있다. 또한, Cooper 등은 그린 IT 개념을 소개하면서 조직이 그린 IT의 채택을 위해 준비한 것들을 평가하는데 도움이 될 수 있는 중추적인 준비 틀이라 할 수 있는 g-readiness에 관한 개념을 논의하고 있다[9].

그린 IT 모델링과 관련하여 Molla의 연구가 대표적인데, 그린 IT 채택에 관한 실제 탐사적인 결과들을 하나의 그린 IT 행렬과 동기 모델(GIT2M)을 통해 논의하고 있다[5]. 특히, 그린 IT 채택에 관한 제도적인 힘과 경제 이론적인 근거의 영향에 관한 일부 검증을 나타내고 있다. 또한, GITAM이라는 하나의 모델도 제안하고 있다[6]. 서로 상이하지만, 자체적으로 관련된 4가지 관점들로부터 그린 IT를 정의하고 있다. 특히, 기술, 조직 및 환경적 전후 관계의 변수, 동적인 그린 IT 대비 차원 및 강한 순서의 그린 IT 드라이버를 통해 그린 IT의 의향 정도, 너비와 깊이의 정도를 예측할 수 있는 것으로

단언하고 있다. Schmidt 등은 정보 시스템 관리에 지속 가능성의 개념을 도입한 하나의 지속 가능 관리의 절차적인 모델을 제시하고 있다. 모델은 정보 시스템 구성에서 지속 가능성의 구현을 향한 아주 중요한 단계들을 포함한다[10].

본 논문은 그런 IT 모델링과 관련하여 그런 IT 깊이의 성숙도를 평가하기 위한 하나의 새로운 모델을 제안하는데 있다. 제안되는 모델은 유형-2의 퍼지 시스템을 기반으로 하며, 이러한 퍼지 논리 적용과 관련해 그런 IT 관점에서 "Super Warranty" 문제, 이른바 그런 보증 문제에 관련된 연구를 참조할 수 있다[3]. 그런 IT 깊이 성숙도 측정 모델로서 하나의 구간 유형-2 퍼지 논리 시스템은 다른 무엇보다도 그런 IT 깊이 측정 관련 개념들이 사람에 따라 상이하게 표현된다는 점에서 측정 규칙의 조건부에 사용된 그런 IT 깊이 관련 개념들의 불확실성을 감소시킬 수 있다는 점이다. 또한, 측정 규칙들이 전문가 그룹에 의해 언어질 때, 같은 규칙에 관해 결론 부분들이 상이하게 해석될 수 있다는 측면에서 (즉, 전문가 견해가 반드시 일치하지 않을 수도 있음) 결론 부분의 불확실한 측면을 감소시킬 수 있다는 것이다.

본 논문의 2장에서는 그런 IT 깊이 성숙도 측정과 관련된 입력 모듈로서 그린 IT의 너비와 깊이 행렬이라 할 수 있는 "Reach-Richness" 행렬에 관해 논의한다. 이러한 너비-깊이 행렬의 분석에 있어서 가장 문제가 되는 것은 너비-깊이에 관한 개념들의 언어적인 불확실성이다. 이러한 불확실성은 측정 모델의 견고성 및 일반화에 있어서 문제가 된다. 3장에서는 그린 IT 너비-깊이에 관한 언어적인 불확실성을 정량화시킬 수 있는 유형-2 퍼지 시스템 구축을 나타낸다. 4장에서는 제안된 모델의 평가 실험을 나타낸다. 평가 모델에 사용되는 데이터는 그린 IT의 확산 및 성숙 상태에 영향을 미치는 인자들에 관한 조사 보고서의 데이터를 활용한다[8].

2. 이론적 배경

그린 IT는 하나의 조직 내에서 지속 가능성을 담보하기 위한 IT 기반 설계, 생산, 대외 구매, IT 활용과 폐기와 관계되는 핵심 요소들의 체계적인 상호작용이라 할 수 있다. 따라서 그린 IT에 관한 두 가지 차원으로, 먼저 조직의 IT 활동 연계 고리에 스며들고 있는 정도인 그린 IT의 *Reach*를 들 수 있다. 다음으로 그린 IT 관련 정책, 실천 및 기술의 성숙과 관계되는 *Richness*를 들 수 있다. 두 차원의 조합은 <표 1>과 같은 그린 IT *Reach-Richness* 행렬을 생성할 수 있다. <표 1>은 행렬의 조합 성분들에 관해 [6]의 연구를 요약 정리한 결과이다.

<표 1> 그린 IT *Reach-Richness* 행렬

		<i>Rich</i> 차원 (깊이)		
		C ₁ : 정책	C ₂ : 실천	C ₃ : 기술/시스템
Reach 차원 (너비)	R ₁ : 소싱	IT 구매 지침 명료화	IT 제공자 추적 분석 실천성	제공자 탄소 궤도 추적 정보 시스템
	R ₂ : 운영	정책 내에서 그린 이슈의 운영 정도	IT 자산들의 그린 운영과 실천 조합	새로운 그린 기술 및 시스템 운영
	R ₃ : 목표	IT 수명 관리 정책 목표	IT 하드웨어 그린 목표 실천성	그린 IT 추적 시스템

그린 IT의 깊이 측정과 관련하여 먼저, 정책은 그린 및 지속 가능성 지침들이 조직을 가로 질러 어느 정도 IT 가치 사슬에 침투되어 보급되고 있는지를 나타낸다. <표 1>에서 셀 R₁C₁의 “IT 구매 지침 명료화”는 환경 우선 IT 구매 지침의 명료화 정도이다. 셀 R₁C₂의 “IT 제공자 추적 분석 실천성”은 IT 조달에서 그린 고려사항인 IT H/W, S/W 및 서비스 제공자 추적 분석의 실천 정도이다. 셀 R₁C₃의 “제공자 탄소 궤적 추적 정보 시스템”은 지속 가능성 평가 도구와 같은 제공자 탄소 족적 추적, 모니터링 및 분석 관련 정보 시스템의 외주 정도이다.

셀 R₂C₁의 “정책 내에서 그린 이슈 운영 정도”는 IT 자산 및 기반의 사용과 개발 관련 정책 틀 내에서 그린 이슈가 소중하게 간주되어 운영되는 정도

이다. 셀 R₂C₂의 “그린 IT 운영과 실천 조합”은 데이터 센터 등의 IT 자산과 관련하여 IT 및 네트워크의 핵심적인 물리적 기반 구조를 운영하는데 있어서 친환경적인 고려 사항들과 조직 IT 자산들의 에너지 성능 개선을 위해 계획된 운영 활동들의 성숙된 정도이다.

셀 R₂C₃의 “새로운 그린 기술 및 시스템의 운영”은 에너지, 온실가스, 그린 비즈니스 관련 새로운 기술/시스템과 운영의 결합 정도로 ① 데이터 센터 등 IT 자산 관련 전력 및 cooling 관련 에너지 소비 감소, ② IT 자산들의 에너지 효율성 최적화, ③ IT 기반 그린 하우스의 온실가스 감소, ④ 카본 방출 비즈니스 행위 대체, ⑤ 비즈니스 전체의 환경적 궤도 분석과 같은 항목들의 조합 정도를 측정한다.

셀 R₃C₁의 “IT 수명 관리 정책 목표”는 IT 수명 관리 목표와 정책의 부합 및 달성을 측정한다. 셀 R₃C₂의 “IT 하드웨어의 그린 목표 실천성”은 IT 하드웨어 부문의 재사용, 재순환 및 적절한 폐기 관련 목표와 실천 정도를 측정한다. 셀 R₃C₃의 “그린 IT 추적 시스템”은 환경 친화적인 방식으로 IT의 적절한 폐기 관련 목표의 추적 시스템의 기술 정도를 나타낸다. 그린 IT *Reach*와 *Richness*에서 그린 IT 성숙도는 친환경적인 지속 가능성 목표라 할 수 있는 오염 방지, 제품 관리 및 청정 기술의 사용과 관련된 조직의 그린 IT 전략과 보증의 깊이로 측정 할 수 있다[6]. 조직적인 동기 부여 및 제도적인 강요의 결합은 그린 IT 채택과 관련된 너비와 깊이에 영향을 미칠 수 있다.

2.1 정책의 성숙도 측정 지표

그린 IT 깊이에 관한 성숙도는 <표 1>에 주어진 정책, 실천, 기술/시스템으로 구분하여 측정할 수 있다. 먼저 정책의 깊이는 소싱, 운영 및 처리로 구분되는 그린 IT 너비의 각 지표들의 분석이 요구된다. 소싱의 대표적인 지표는 환경 친화적인 구매 수준, 운영의 대표적인 지표는 그린 데이터센터 운영 수준과 그린 공급 체인 관리 수준이다. 특히, 그린

데이터 센터는 카본 풋 프린트 감소를 위한 IT 기술 사용과 가장 밀접한 관련을 가진다. 이외에 그런 정보기술 정책 및 에너지 효율적인 고용인들의 IT 사용 정도와 유관 관계를 가진다. 그런 공급 체인 관리는 환경적인 지속 가능성, 기업의 사회적 책임 및 그런 에너지 차원으로의 이동과 유관한 관계를 가진다. 따라서 <표 2>와 같은 그런 IT 너비 관련 지표들과 정책의 전개 수준의 측정이 가능하다.

<표 2> 정책의 전개 수준

소성	환경 친화적 IT 구매 수준
운영	그린 데이터 센터, 그린 공급 체인 관리
목표	IT 수명 관리의 정책적인 목표 달성을

2.2 실천의 성숙도 측정 지표

<표 3> 실천의 전개 수준

소성	<ul style="list-style-type: none"> - 그런 추적 기록에 의한 IT 제공자 선호도 결정, - IT 조달에 있어서 환경적인 측면을 고려하는 경우에 있어서 가산 점수의 부여, - 보다 에너지 효율적인 장비의 액세스를 위한 IT 장비 대체 기간의 단축 - IT 반품 조건에 응하는 벤더 선호
운영	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 IT 시스템의 에너지 효율적인 방식 운영 - 기존 IT 시스템/기술들의 에너지 효율성 검사 - 정기적인 PC 전력 관리 - 별도의 IT 에너지 관련 청구서 분석 - 기관의 카본 풋 프린트 모니터링 프로젝트 수행 - 그런 IT에 관해 전문 서비스 제공자 참여도 - 비효율적인 에너지 시스템의 퇴출 정도
목표	- 재활용 및 IT의 환경 친화적 폐기의 실천 정도

정책은 그런 IT의 전략적인 차원을 포착한다. 그렇지만, 모든 정책이 완만히 실천된다고 할 수 없으며, 모든 실천이 전략에 부응한다고 볼 수는 없다. 그런 IT 실천은 운영 측면에서 그런 IT에 기여하는 실천 사항들의 성숙된 정도를 평가한다. 또한, 사회적인 시스템 혹은 조직이 어느 정도 그런 IT 관련 관심사 및 정책들을 행동으로 옮기고 있는지를 나타낸다. 먼저, 그런 IT 깊이의 실천 부문과 관련하여 <표 3>에 제시된 바와 같은 4가지 지표를 고려할 수 있다. 운영의 실천 정도의 측정에 관해서는 7

가지 지표를 설정할 수 있고, 그런 IT 수명 관리 목표의 실천과 관련하여 소비성 장비의 재활용 및 IT의 환경 친화적 폐기를 들 수 있다.

<표 4> 기술/시스템의 측정 지표

소성	제공자 지속 가능성 평가 도구 개수/사용 정도
운영	<ul style="list-style-type: none"> - 장비 통합/가상화, IT 장비 규모 적정성, Power down 시스템, End user 관련 기술 (desktop 가상화, print 최적화 등) - IT 장비의 liquid cooling, Airside/waterside 절약 장치, DC powered IT 장비, - 대규모 데이터 센터의 free cooling, - Water cooled chillers, Hot aisle/cool aisle data centre layout 등
목표	환경 친화적인 방식의 IT 폐기 관련 기술 및 정보 시스템의 운영 정도 (처리)

2.3 기술/시스템의 성숙도 측정 지표

정책 및 실천 분야는 그런 IT의 소프트적인 것이라 할 때, 기술/시스템 깊이 분야는 데이터 센터와 사용자의 GITI (Green IT Infrastructure)와 GNCPI (Green Network Critical Physical Infrastructure)의 에너지 효율성을 개선시킬 수 있는 하드적인 기술들을 포함한다고 할 수 있다. GITI에 관련하여 대표적으로 스토리지, 서버 및 네트워크를 들 수 있고, GNCPI에 관해 lighting, cooling 및 power 납품을 들 수 있다. 에너지 효율성이 외에 온실가스 감축 관련 청정 기술 또한 포함된다. 에너지 소비 감소와 관련하여 시간 지배적인 것과 구조적인 형태의 두 가지 유형을 들 수 있다. 시간 지배적인 것의 회피는 설치된 전력 기반 장비를 감소시키지 않고 에너지 사용을 최적화하는 것이고, 구조적인 회피는 전력 용량을 감소시키는 것이다.

소성 부문의 경우에 제공자 지속 가능성 평가 도구 개수와 사용 정도를 측정할 수 있고, 운영의 경우에 데이터 센터의 cooling, power delivery, lighting의 3가지 영역의 효율성 개선과 에너지 소비 감소에 관한 것과 장비 통합/가상화, 규모의 적

정화, End user 측면에서 가상화와 최적화 정도를 측정할 수 있다. IT 수명 관리 목표 측면에서는 환경 친화적인 방식의 IT 폐기 관련 기술 및 정보 시스템의 운영 정도를 측정할 수 있다(<표 4> 참조).

3. 퍼지 논리 기반 그린 IT 시스템 설계

이 절에서는 그린 IT 깊이 측정과 관련된 하나의 구간 유형-2 퍼지 논리 시스템을 설계한다. 그린 IT 깊이 성숙도 측정 모델로서 하나의 구간 유형-2 퍼지 논리 시스템은 다음과 같은 유형의 불확실성을 계량화시킬 수 있다.

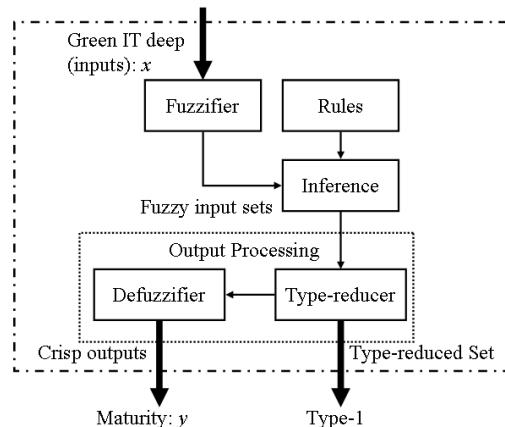
- ① 그린 IT의 너비와 깊이 관련 개념들이 전문가들에 따라 상이하게 표현된다는 점에서 규칙 조건부에 적용되는 그린 IT 너비 변수 관련 개념
- ② 규칙들이 전문가들에 의해 생성될 때, 같은 규칙에 관해 결론 부분들이 상이하게 해석될 수 있다는 측면에서 (즉, 전문가 견해가 반드시 일치하지 않을 수도 있음) 결론 부분의 불확실한 성숙도의 측정
- ③ 불확실한 너비-깊이 관련 데이터를 사용하여 소속 함수 관련 인자들을 최적화시키는 경우에 인자들이 불확실할 수 있다는 측면에서 소속 함수 인자들의 계량화

3.1 구간 유형-2 퍼지 논리 시스템 구성

하나의 구간 유형-2 퍼지 논리 시스템의 블록 구성은 (그림 1)과 같다. (그림 1)에서 그린 IT 깊이와 관련하여 측정된 입력들은 퍼지화 블록의 퍼지집합들로 변환된다. 구간 유형-2 퍼지 논리 시스템에서는 3가지 유형의 퍼지화가 가능하다. 측정치가 보통 값일 경우에는 하나의 보통 집합으로 모델화되고, 그다지 큰 문제가 되지 않는 정상적(stationary) 잡음을 갖는 경우에는 하나의 유형-1 퍼지집합으로 모델화된다. 그렇지만, 불안정한(non-stationary) 잡음이 섞인 경우에 하나의 구간 type-2 퍼지집합으로 모델화 된다.

그린 IT 깊이 성숙도 측정을 위한 유형-2 퍼지 논리 시스템은 다음 4가지 가정들을 전제로 한다.

- 1) 모든 유형-2 퍼지집합들은 그린 IT 너비의 각 부문들에 관한 측정이 관련 기업 및 전문가 견해의 불확실한 평균과 표준편차를 중심으로 이루어진다는 측면에서 구간 타입의 퍼지집합이다.
- 2) 조건 부문과 결론부의 소속 함수들은 평균과 표준편차에 해당되는 모수들을 갖는 기본 가우스 소속 함수들을 사용한다. 특히, 그린 IT 너비 관련 입력되는 소속 함수들은 불확실한 표준편차를 갖는다.
- 3) 퍼지 연산은 곱(product) 및 t-노옴을 사용한다.
- 4) 타입 변형은 집합 중심(centre-of-sets) 방법을 사용하며, 비퍼지화 과정은 단순 평균 방법을 사용한다.



(그림 1) 유형-2 퍼지 논리 시스템 구성

첫 번째와 두 번째 가정은 그린 IT 너비 부문의 측정에서 부문들 간에 연관성으로 인해 잡음들이 포함될 수 있는 일종의 불안정한 측정이 이루어질 수 있음을 전제로 한 것이다. 이러한 측정과 관련하여 정확한 확률분포의 추정은 일반적으로 어렵다. 구간 타입의 퍼지집합 및 가우스 기본 소속 함수의 설정은 다른 선택에 비해 보다 견고하다. 세 번째와 네 번째 가정은 계산의 편의를 위한 것이다.

식 (1)은 유형-2 퍼지집합의 정의를 나타낸다. 보

통 퍼지집합과는 다르게 소속 함수의 값 $M_A(x)$ 과 관련된 하나의 부수적인 차원 u 를 가진다. 즉, 보통 퍼지 논리의 경우에 $x=x'$ 일 때, 퍼지집합은 보통 소속 함수의 값을 갖지만, 유형-2 퍼지집합의 경우는 $x=x'$ 에 관해 여러 개의 소속 함수의 값을 가지게 된다. u 는 보통 퍼지집합으로 소속 함수 J_x 를 가지며, 식 (2)과 같이 표현된다. 여기서 f 는 0과 1 사이에 존재하고, 2차 소속 함수의 폭 혹은 크기를 나타낸다. 적분 기호는 유형-2 퍼지집합이 $x=x'$ 에 관해 등급 f 와 관련된 소속 함수의 값 u 를 가진다는 것을 의미한다. 구간 유형-2 퍼지집합은 유형-2 퍼지집합의 특수한 경우로 2차 소속 함수가 $f_x(u)=1, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1]$ 과 같이 정의된다. $x=x'$ 에 관해, 기본 소속 함수의 값 u 는 하나의 구간 $[l, r]$ 로 표현된다.

$$(1) \tilde{A} = \{(x, u), M_{\tilde{A}}(x, u)\} | \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1]\}$$

$$(2) M_{\tilde{A}}(x=x', u) \equiv M_{\tilde{A}}(x') = \int_{u \in J_x} f_{x'}(u)/u$$

구간 탑입의 퍼지집합은 상한 소속 함수와 하한 소속 함수를 가지게 된다. 이러한 구간 탑입의 성질은 통계에서 신뢰구간처럼 하나의 예측 구간 생성이 가능하도록 한다. 본 연구에서 기본 가우스 소속 함수는 두 가지 방식으로 전개된다. 하나는 식 (3)과 같이 불확실한 평균에 관해 고정된 표준편차 σ 를 사용하는 경우이다. 식 (3)에서 지수 항은 $N(\mu, \sigma^2 x)$ 로 표기된다. μ 의 각 값에 관해, 대응하는 소속 함수 곡선이 존재한다. 보통 μ_1 과 μ_2 의 선택은 전문가 조사의 통계적인 정보를 활용한다. 구간 탑입의 퍼지집합의 경우에 상한 및 하한 소속 함수는 식 (4)과 (5)로 각각 정의된다.

$$(3) M_A(x) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right), \mu \in [\mu_1, \mu_2]$$

$$(4) S_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} N(\mu_1, \sigma; x), & x \leq \mu_1 \\ 1, & \mu_1 \leq x \leq \mu_2 \\ N(\mu_2, \sigma; x), & x > \mu_2 \end{cases}$$

$$(5) L_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} N(\mu_2, \sigma; x), & x \leq (\mu_1 + \mu_2)/2 \\ N(\mu_1, \sigma; x), & x > (\mu_1 + \mu_2)/2 \end{cases}$$

두 번째로 고정된 평균 μ 와 불확실한 표준편차를

갖는 식 (6)과 같은 가우스 기본 소속 함수를 고려 할 수 있다. σ 의 각 값에 관해, 대응하는 소속 함수 곡선이 존재한다. 구간 탑입의 퍼지집합의 경우에 상한 및 하한 소속 함수는 식 (7)의 좌측 및 우측과 같다.

$$(6) M_A(x) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right), \sigma \in [\sigma_1, \sigma_2]$$

$$(7) S_{\tilde{A}}(x) = N(\mu, \sigma_2; x), L_{\tilde{A}}(x) = N(\mu, \sigma_1; x)$$

3.2 그린 IT 깊이 성숙도 측정 모듈 구축 단계

하나의 type-2 퍼지 논리 기반 그린 IT 깊이 성숙도 측정 모델의 설계와 관련하여 다음과 같은 5 단계를 설정할 수 있다.

[1단계: 퍼지화기 설계]

퍼지 논리 시스템의 입력 데이터는 보통 값들의 집합이다. 퍼지화기는 보통 값을 퍼지집합으로 (퍼지 소속 함수를 갖는 변수들) 변환시킨다. 그린 IT 깊이 성숙도 측정 모델에서 퍼지화기는 그린 IT 너비의 k -번째 부문에 관한 중심 값 x_{k0} 을 입력으로 취해 하나의 유형-2 퍼지집합을 생성한다.

$$(8) M_k(x_k) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_k - x_{k0}}{\sigma}\right)^2\right), \sigma \in [\sigma_1, \sigma_2]$$

그린 IT 깊이 변수들의 평균은 너비 변수들의 각 중심에 따라 차이가 있기 때문에 너비 부문과의 종속적인 관계를 갖도록 퍼지화기가 설계되어야 한다.

[2단계: 퍼지 규칙 설정]

퍼지 소속 함수가 결정되면, 다음 단계는 퍼지 입력의 처리를 위한 퍼지 규칙들의 구축이다. 구축 작업은 규칙의 조건 및 결론부에 나타나는 퍼지집합들의 중심을 찾기 위해 데이터 집합이 하나씩 사용되는 훈련과정과 유사하다. 전체 m 개의 규칙들이 사용된다고 할 때, i -번째 퍼지 규칙은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$(9) R^i: \text{IF } x_1 \text{ is } F_1^i \text{ and } x_2 \text{ is } F_2^i \text{ and } x_3 \text{ is } F_3^i \text{ THEN } y \text{ is } G^i, i=1, \dots, m$$

여기서 F 는 조건부분, G 는 퍼지 규칙의 결론부분, x_j 는 퍼지 논리 시스템의 입력, y 는 출력이다.

[3단계: 퍼지 추론 엔진 설계]

퍼지 논리 시스템의 핵심 성분은 퍼지 추론이다. 입력과 규칙들의 조건부분을 바탕으로 각 규칙에 관한 발화 수준을 결정하고, 이러한 수준들을 결론부분의 퍼지집합에 적용한다. 먼저, 유형-2 퍼지집합 \tilde{A} 와 \tilde{B} 의 합집합에 속한 소속 함수는 식 (10)과 같이 정의될 수 있다. 여기서 \vee 는 하나의 결합연산자로 어떠한 x 에 관해 $u \vee w$ 는 u 와 w 의 모든 가능한 조합들을 헤아려서 기본 소속 함수 값의 결과로 u 와 w 의 최대를 취하고, 2차 소속 함수의 폭 혹은 크기로 두 개의 이차 소속 함수 $f_x(u)$ 와 $g_x(w)$ 의 최소 혹은 곱을 결과로 취한다. 이러한 연산은 하나의 새로운 유형-2 퍼지집합을 나타내게 된다. 구간 타입의 퍼지집합의 경우에 결합연산자는 n 개의 구간 유형-1 집합들을 F_1, \dots, F_n 이라 할 때(각 영역이 $[l_1, r_1], \dots, [l_n, r_n]$ 인 경우에), $[(l_1 \vee l_2 \vee \dots \vee l_n), (r_1 \vee r_2 \vee \dots \vee r_n)]$ 와 같이 정의될 수 있다.

$$(10) M_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = M_{\tilde{A}}(x) \vee M_{\tilde{B}}(x), x \in X$$

유형-2 퍼지집합 \tilde{A} 와 \tilde{B} 의 교집합에 속한 소속 함수는 식 (11)과 같이 정의될 수 있다. 여기서 \wedge 는 최소 혹은 곱 연산자로 어떠한 x 에 관해 $u \wedge w$ 는 u 와 w 의 모든 가능한 조합들을 헤아려서 기본 소속 함수 값의 결과로 u 와 w 의 최소 혹은 곱을 구하고, 2차 소속 함수의 폭 혹은 크기로 두 개의 이차 소속 함수 $f_x(u)$ 와 $g_x(w)$ 의 최소 혹은 곱을 결과로 취한다. 이러한 연산은 하나의 새로운 유형-2 퍰지집합을 생성한다. 구간 타입의 퍼지집합의

경우에 이러한 결합연산자는 n 개의 구간 유형-1 집합들을 F_1, \dots, F_n 이라 할 때(각 영역이 $[l_1, r_1], \dots, [l_n, r_n]$ 인 경우에), $[(l_1 \wedge l_2 \wedge \dots \wedge l_n), (r_1 \wedge r_2 \wedge \dots \wedge r_n)]$ 와 같이 정의될 수 있다.

$$(11) M_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = M_{\tilde{A}}(x) \wedge M_{\tilde{B}}(x), x \in X$$

식 (9)과 같은 퍼지 추론 시스템에서 i -번째 퍼지 규칙의 추론에 관한 출력되는 퍼지집합은 식 (12)과 같이 정의할 수 있다. 식 (12)의 첫 번째 식에서 $M(y)$ 은 i -번째 규칙의 결론부분에 관한 유형-2 소속 함수이다. A_i 에서 첫 번째 M 함수는 입력에 관한 소속 함수, 두 번째 M 함수는 i -번째 규칙의 j -번째 조건부에 관한 소속 함수이다. 식 (12)은 식 (13)과 같이 나타낼 수 있는데, 여기서 F^i 는 i -번째 규칙에 관해 입력 데이터의 발화되는 정도이다. 구간 유형의 퍼지집합을 사용하는 경우에 F^i 은 식 (15)과 같이 정의될 수 있다.

$$(12) M_{\tilde{B}^i}(y) = M_{\tilde{G}^i}(y) \wedge \{A_1 \wedge A_2 \wedge A_3\}, y \in Y$$

$$A_j = \vee_{x_j \in X_j} M_{\tilde{X}_j}(x_j) \wedge M_{\tilde{F}_j^i}(x_j), j = 1, 2, 3$$

$$(13) M_{\tilde{B}^i}(y) = M_{\tilde{G}^i}(y) \wedge F^i(x')$$

$$(14) F^i(x') = [\underline{f}^i(x'), \overline{f}^i(x')] \equiv [\underline{f}^i, \overline{f}^i]$$

여기서

$$\overline{f}^i(x') = \vee_x [S_{\tilde{X}_1}(x_1) \wedge S_{\tilde{F}_1^i}(x_1)]$$

$$\underline{f}^i(x') = \vee_x [L_{\tilde{X}_1}(x_1) \wedge L_{\tilde{F}_1^i}(x_1)]$$

모든 m 개의 규칙들에 관해 유형-2 집합들을 결합시키는 경우에 식 (15)과 같은 하나의 유형-2 퍼지집합을 생성할 수 있다.

$$(15) M_{\tilde{B}}(y) = \vee_{i=1}^m M_{\tilde{B}^i}(y)$$

[4단계: 타입 변형]

그린 IT 깊이의 성숙도 측정을 위해 앞 단계로부터 생성된 퍼지집합은 하나의 명확한 값으로 변환될 필요가 있다. 이러한 작업은 타입 변형과 비퍼지화 작업을 통해 얻어질 수 있다. 타입 변형과 관련된 대표적인 방식으로 *centre-of-sums*, *height*, 수

정된 *height* 및 *centre-of-sets* 방식을 들 수 있다. 계산적인 측면을 고려했을 때, *centre-of-sets* 방식이 적절하다. 이 방식은 타입 변형에 앞서 모든 규칙들의 유형-2 집합을 결합하는 대신에 *centroid* 방법을 사용하여 각 규칙에 의한 유형-2 집합을 변형시켜서 하나의 구간 집합 $[y_1, y_2]$ 를 생성한다. 그런 다음에 모든 규칙을 반영한 최종 구간의 유형-1 집합 $[Y_1, Y_2]$ 를 가중치 조합의 형태로 식 (16)과 같이 생성한다.

$$(16) \quad Y_1 = \sum_{i=1}^m f_1^i y_1^i / \sum_{i=1}^m f_1^i, \quad Y_2 = \sum_{i=1}^m f_2^i y_2^i / \sum_{i=1}^m f_2^i$$

여기서 f_1 과 f_2 는 각 규칙에 관해 y_1 과 y_2 에 대응하는 발화 정도로 y_1 을 최소화시키고, y_2 를 최대화시키는 방식으로 결정된다. 각 규칙에 관해 f_1 과 f_2 는 식 (14)과 같은 구간으로 나열될 수 있다.

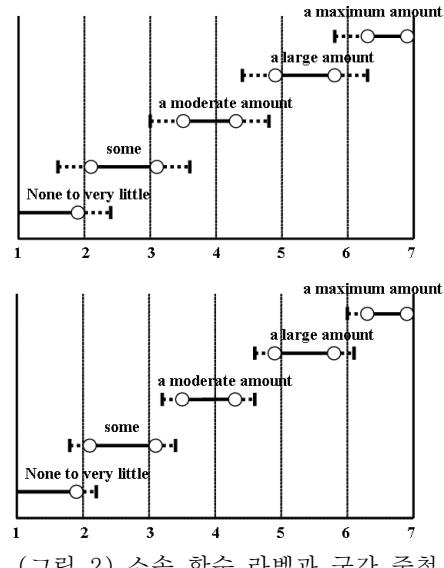
[5단계: 비퍼지화]

비퍼지화 단계는 그런 IT 깊이 성숙도의 최종 결과를 출력한다. 유형-2 퍼지 논리 시스템의 비퍼지화 과정은 유형-1 퍼지 논리 시스템과 동일하다. 비퍼지화 방법으로 가장 보편적인 것은 *centroid* 방법이다. 구간 집합에서 *centroid*는 y_1 과 y_2 의 평균을 취하는 방식으로 계산된다.

4. 결 과

제안된 모델의 성능을 테스트하기 위해 2009년 Molla에 의해 조사 분석된 데이터를 참조하기로 한다[7]. Molla의 보고서는 호주, 뉴질랜드, 미국의 143개 대기업, 중소기업 및 공공기관들의 관리자들을 대상으로 조사된 것으로 대단히 기술적이지만, 그런 IT의 확산 및 성숙되는 상태에 관한 기본적인 정보를 제공하고 있다. 먼저, 정책 부문의 그런 IT 깊이 성숙도 측정과 관련하여 제안된 시스템을 적용하기로 한다. 첫 번째 작업은 정책 부문의 너비 변수들에 해당되는 소싱, 운영 및 목표에 관한 구간 유형-2 퍼지집합 형태의 결정이다. 퍼지 논리의 전형적인 공학 응용에서 임의적으로 하나의 구간을

포장하는 퍼지집합들의 개수를 취해 이를 집합에 관해 임의의 명칭들을 부여하고 있다. 이러한 작업은 규칙들이 데이터로부터 추출되는 경우에 대부분의 응용에서 좋은 결과를 나타내고 있다. 그렇지만, 규칙들이 사람들로부터 추출되는 경우에 문제가 다소간 있다. 기계 학습은 워드들에 주의를 기울이지 않지만, 사람들은 그렇지 않다. 현재 워드들을 사용한 컴퓨팅에 관해 흥미로운 연구들이 지속되고 있고, 대부분이 수들을 사용하는 방식으로 진행되고 있기 때문에 수치 구간이 워드들과 연관되고 있다. 이러한 측면에서 [4]의 실험 결과는 언어적인 개념들의 적절한 표현을 나타낸다.

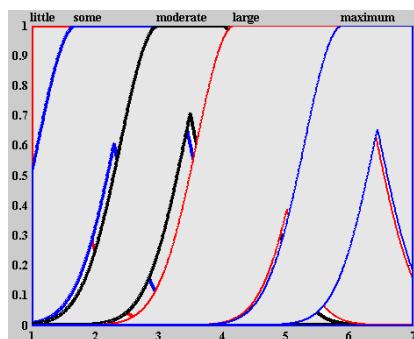


(그림 2) 소속 함수 라벨과 구간 중첩

그린 IT 깊이 측정과 관련하여 입력되는 각 너비 변수 및 결론 부분의 깊이 성숙도는 [4]의 관점에서 5가지 소속 함수들을 사용하기로 한다. (그림 2)는 너비 변수들인 소싱 및 목표에 관한 5가지 소속 함수 라벨에 관한 최대 구간 중첩을 나타낸다. Molla의 연구는 spider 플롯에 의한 7점 척도를 사용하기 때문에 비교분석을 위해 [1, 7]의 구간을 사용했고, 이러한 구간 중첩은 표준편차 정보를 통해 추정될 수 있다. 상단 그림은 정책 부문의 소싱에 관한 것으로 평균 0.4583의 폭을 가지며, 하단은 목표에 해

당하는데, 0.1732의 폭을 가진다. 유사하게 소성 및 결론부의 소속 함수를 나타낼 수 있다. 소성에 관한 폭은 0.621로 추정되기 때문에 (그림 2)의 상단 그림에 비해 보다 넓은 구간 중첩의 폭을 가지게 되며, 결론 부분에 해당되는 정책 깊이의 성숙도는 정책 부문의 너비 변수들의 전체 평균을 통해 추정하면, 0.421의 폭을 가진다.

(그림 3)은 너비 변수인 운영에 관한 구간 유형-2 퍼지집합이다. 다른 너비 변수들인 소성과 목표, 결론부의 성숙도 견해에 관한 구간 유형-2 퍼지집합 또한 유사하게 정의된다. <표 5>는 소성과 운영만을 고려하는 경우에 있어서 정책 부문 성숙도의 측정을 위한 퍼지 규칙들이다. 정책의 경우에 운영에 관련된 측정 지표들이 소성 및 목표에 비해 대부분을 차지하고 있기 때문에 운영 부문이 그런 IT 정책의 깊이 결정에 보다 높은 가중치를 가진다. (그림 4)는 <표 5>의 규칙들을 적용한 경우에 정책의 성숙도에 관한 의사결정 곡면이다. 유사하게, 운영과 목표, 소성과 목표를 입력으로 하는 정책의 성숙도 곡면을 생성할 수 있다.

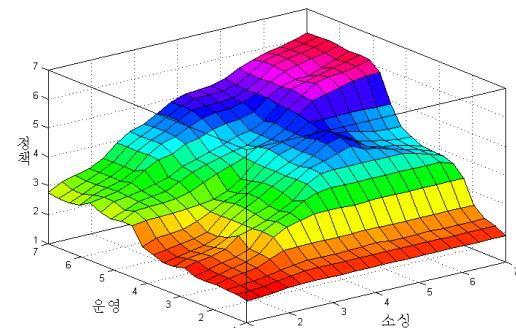


(그림 3) 운영 부문의 구간 유형-2 퍼지집합 형태

<표 5> 소성 및 운영에 관한 퍼지 규칙

소성	운영				
	little	some	moderate	large	maximum
little	little	little	little	little	little
some	little	some	moderate	moderate	moderate
moderate	little	some	moderate	large	large
large	some	moderate	moderate	large	maximum
maximum	some	moderate	large	large	maximum

Molla의 분석에 따르면, 호주 경우에 소성 평균은 3.6, 운영 평균은 4.2이기 때문에 호주의 정책 부문의 그런 IT 깊이는 대략 3.9로 추정되지만, 유형-2 퍼지 추론에 의하면 4.18이다. 유사하게 뉴질랜드 경우에 Molla 분석은 4.35이지만, 본 추론에 의하면 4.62, 미국의 경우에는 그런 IT 소성의 경우에 평균 3.2로 3개 국가 중에 가장 낮지만, 그런 IT 운영은 4.9로 가장 높다. Molla에 의한 경우에 4.05로 3개 국가 중에서 그런 IT 정책 부문의 깊이가 가장 낮게 나지만, 본 추론에 의하면 4.62로 뉴질랜드와 대등하게 추정된다. 소성, 운영 및 목표를 모두 고려하는 경우 최대 125개의 퍼지 규칙을 설정할 수 있고, 규칙 해석기를 통해 각 국가별 정책 성숙도뿐만 아니라, 실천 및 기술/시스템 부문 성숙도를 보다 정확히 추정할 수 있다.



(그림 4) 운영과 소성에 의한 정책의 성숙도 곡면

5. 결 론

본 논문은 하나의 창발적인 현상이라 할 수 있는 ‘그린 IT’의 평가 모델 구축과 관련하여, 그런 IT의 핵심 끝개라 할 수 있는 그런 IT 너비-깊이 행

렬을 바탕으로 그런 IT 성숙도를 평가하는 하나의 새로운 폐지 추론 시스템을 제안하였다. 본 연구의 목적은 크게 두 가지인데, 첫 번째는 최근에 그런 IT라는 개념이 자주 소개되고 있는데, 보다 구체적인 그런 IT의 개념이 일선 교육 현장에서 다루어지도록 하는데 있으며, 두 번째는 국내 그런 IT의 평가 지표의 표준화와 관련 성과지표를 마련하는데 있다. 최근에 그런 IT의 보다 명확한 개념 전개 및 모델링을 위한 여러 가지 접근방식들이 시도되고 있지만, 대부분 강한 독립성의 가정을 전제로 하는 통계적인 모델링을 기반으로 하고 있다. 문제는 지금까지 연구되어 오고 있는 그런 IT의 구성 지표들이 상호 의존성이 강하고, 정량적이라기보다는 정성적인 평가가 중심을 이루고 있다는 점이다. 따라서 강한 독립성 가정을 전제로 하는 통계적 접근방식에 의한 그런 IT의 평가 모델은 신뢰성이 떨어지며, 이는 Molla의 조사 연구 결과에서 보다 분명하게 드러난다. 다른 무엇보다도 전문가들의 주관적인 평가 간에 차이는 물론이고, 견해의 편차가 심하다는 점이다. 이러한 측면에서 유형-2의 폐지 추론 시스템은 그런 IT의 적절한 평가 모델이 될 수 있다.

참고문헌

- [1] Steve Elliot and David Binney (2008), Environmentally sustainable ICT: Developing corporate capabilities and An industry-relevant is research agenda, IN Proceedings of PACIS 2008, 4–7 July Suzhou China, 53–69.
- [2] Steve Elliot (2007), Environmentally Sustainable ICT: A Critical Topic for IS Research, In Tan F. and Thong J. (eds) Proceedings of PACIS 2007, AIS, 100–112.
- [3] Sanghyun Lee, Sangjun Lee, and Kyungil Moon (2010), "A Fuzzy Logic Based Approach to Two-Dimensional Automobile Warranty System," Journal of Circuits, Systems, and Computers, 19–1, 139–154.
- [4] Jerry Mendell (2002), An Architecture for Making Judgements Using Computing with Words. Int. J. Appl. Math. Comput. Sci, 12–3, 325–335.
- [5] Alemayehu Molla (2008), GITAM: A Model for the Acceptance of Green IT, 19th Australasian Conference on Information Systems, Christchurch, New Zealand, December 3–5, 877–899.
- [6] Alemayehu Molla (2009), Organizational Motivations For Green It: Exploring Green It Matrix And Motivation Models, Pacific Asia Conference on Information Systems, Hyderabad, India July 10–12, 1085–1097.
- [7] Alemayehu Molla (2009), An Exploration of Green IT Adoption, Drivers and Inhibitors, Annual Conference on Information Science & Technology Management, July 13–15, 1–9.
- [8] Alemayehu Molla (2009), Green IT Diffusion: An International Comparison, Green IT Working Paper Series, ISBN: 978–0–9805851–0–0.
- [9] Alemayehu Molla, Brian Corbitt, Hepu Deng, Konrad Peszynski, Siddhi Pittayachawan, and Say Yen Teoh (2008), E-readiness to G-readiness: Developing a green information technology readiness framework, 19th Australasian Conference on Information Systems. Christchurch, New Zealand, December 3–5, 669–678.
- [10] Nils-Holger Schmidt, Koray Erek, Lutz Marcel Kolbe, Rudiger Zarnekow (2009), "Towards a Procedural Model for Sustainable Information Systems Management," 42nd Hawaii International Conference on System Sciences, 1–10.

저자소개

문경일





1991 서울대학교 자연대학
계산통계학과(이학박사)
1987-현재 호남대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야 : 지능 시스템, 복잡성 과학
e-mail: kimoon@honam.ac.kr

김 철

1997 전남대학교 전산통계학과
(이학박사)
1998 University of Washington
(객원교수)
1992 - 현재 광주교육대학교
컴퓨터교육과 교수
관심분야 : 인터넷자원관리, 교육용콘텐츠, 메타데이터,
e-Learning
e-mail : chkim@gnue.ac.kr