

정성적 모델에 기초한 비교분석의 확장 기법

김 현 경
한신대학교 정보통신학과
(hkim@hs.ac.kr)

.....

정성적 추론은 자연 세계에 대한 정성적, 직관적인 지식을 밝혀내어 코드화하는 목표를 갖고 연구되어 왔다. 정성적 추론은 전자, 기계 등의 도메인에서 성공적으로 사용되어 그 실효성을 입증할 수 있었으나, 대부분의 추론은 시뮬레이션에 집중되어 왔다. 본 연구에서는 주어진 상황에서 변화가 발생했을 때, 이 변화가 어떻게 영향을 미치며 파급되는지를 예측할 수 있는 정성적 비교분석 기법을 소개하고자 한다. 본 연구에서는 파라미터의 상대적인 변화의 파급만을 예측한 기존의 연구에 상대적 변화의 증가율 변화에 대한 추론을 추가하여 확장하였다. 상대적인 주어진 상황에 대한 인과모델이 정성적 분야 모델로부터 형성되고, 여기에 비교분석 추론 기법을 적용하여 변화의 연쇄적인 인과 관계를 추적하게 된다. 이러한 기법은 변화의 예측 뿐 아니라, 이런 변화를 이끌어낸 인과 관계를 설명하는 기능을 제공하게 되어, 디자인, 진단, 지능형 교육 시스템, 환경 영향평가 등에 이용되리라 기대된다.

.....

논문접수일 : 2006년 06월 게재확정일 : 2006년 12월 교신저자 : 김현경

1. 서론

정성적 추론(qualitative reasoning)은 상식수준의 정성적 모델에 기초하여 주어진 문제를 해결하는 방식이다. 정성적 추론은 특성상 정량적 접근 방식과 같이 정확한 예측을 제공할 수는 없으나, 많은 경우에 정량적 접근 방식과 상호 보완적인 역할을 수행할 수 있다. 정성적 추론은 생태계나 환경과 같이 정량적 수식에 의해 완벽히 표현하기 어려운 경우나, 분야의 특성상 정확하고 완벽한 정량적 데이터를 얻기 어려운 경우에 적합한 방식이다. 또한 교육, 디자인, 진단 시스템과 같이 정량적 해결 방식이 아닌, 상식 수준의 정성적 해결을 요구하는 경우에 널리 사용 되어 지고 있다(Bobrow, 1985; Forbus, 1996; Salles and Bredeweg, 2003).

주어진 문제를 정성적으로 해결하기 위해서는 정성적 표현에 의한 정성적 분야 모델(domain model)과 이에 기초한 추론 기법의 개발이 필요하다. 주어진 문제에 대한 정성적 묘사가 주어지면, 추론 기관은 분야 모델로부터 주어진 문제의 인과 모델(causal model)을 생성하여 문제를 해결하게 된다. 추론 기법에는 시뮬레이션(Kuiper, 1993; Kuiper, 2001), 진단(diagnosis) (de Kleer and Williams, 1987; Weld, 1992; Collins, 1993), 비교 분석(comparative analysis) (Weld, 1988, Weld, 1990), 계획(planning) (Forbus, 1989; Hinrich et al, 2006), 데이터 해석(measurement interpretation) (DeCoste, 1992)등이 개발되어 사용되어져 왔다.

정성적 시뮬레이션은 시간이 흐름에 따라 주어진 시스템의 거동(behavior)이 어떻게 변화하는

가를 분석하는 추론 기법이다. 정성적 시뮬레이션이 주어진 시스템의 구조적 묘사로부터 그 시스템의 거동을 예측하는 반면, 비교 분석은 어떤 변화가 생겼을 때, 이 변화의 연쇄적인 파급 효과를 추론하는 기법이다. 예를 들어, 생활 폐기물을 소각하는 과정은 음식물, 종이, 플라스틱 등 폐기물의 성분의 변화에 따라 다이옥신 배출과 같은 소각 과정이 연쇄적인 영향을 받게 되는데, 이러한 폐기물의 성분 변화에 따른 연쇄적인 파급 효과를 예측하기 위해서는 비교 분석이 효과적이다.

전통적으로 비교 분석 기법은 정성적 시뮬레이션의 보조적인 역할로 제한적으로 사용되어져 왔다. Weld는 전통적인 감도 분석(sensitivity analysis)의 정성적 버전에 해당하는 비교 분석 기법의 이론적 토대를 구축하였다(Weld, 1988). Weld의 비교 분석의 기본적인 추론 기법은 모델 기반 진단 시스템의 일부로 구현되어 고장을 찾는데 보조 역할을 수행하였다(Collins, 1993). Weld의 비교 분석이 구조적으로 동일한 시스템을 비교하여 변화된 파라미터 값으로 인한 거동의 변화를 예측하는 반면 Struss(Struss, 2004)는 서로 다른 시스템을 비교하여 거동 분석을 시도하였다. 편차 모델(deviation model)을 위한 수학적 토대를 제한적으로 구축하였으나, 서로 다른 시스템을 비교 하는 것 자체에선 오는 어려움으로 인해 일반적인 해법을 제공할 수는 없었다. (Klenk et al. 2005)에서는 두 개의 구조적으로 동일한 시나리오를 구조 매핑을 통하여 비교하여 둘 사이의 파라미터 간의 대응관계를 찾아 어떤 파라미터의 값이 상대적으로 변화 하였는가를 찾는다. 이러한 상대적 변화에 기초하여 Weld의 비교 분석 기법을 적용하여, 변화의 파급 효과 예측을 통해 베넷 테스트의 문제를 해결할 수 있었다. 베넷 테스트는 실제로 공간에서

의 추론 능력을 테스트하는 시험으로 미국에서 널리 행해지고 있는 시험이다. 그러나 기존의 연구에서 사용된 기법은 파라미터의 상대적인 변화 즉 그 값의 증가, 감소, 무변화 만을 예측한다. Collins의 진단 시스템, 베넷 테스트는 간단한 단답형의 문제만을 다루고 있어 기존의 기법으로 충분히 예측이 가능하였다. 비교 분석은 연구의 주된 초점으로 대두되고 있지는 않았었다. 그러나, 기존의 기법은 파라미터의 변화의 증가율을 예측하기에는 불충분하여 많은 문제의 해결에는 어려움이 있었다. 예를 들어, 기존의 비교 분석 기법은 열역학 프로세스의 복잡한 상호 작용이 진행되는 있는 소각의 경우, 폐기물 성분 변화에 따른 연쇄적인 파급 효과를 예측하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 기존의 Weld의 정성적 비교 분석 기법을 상대적 변화의 증가율에 대한 예측으로 확장하였다. 확장된 기법을 통해 기존의 기법으로는 예측에 어려움이 있었던 생태계, 소각로와 같은 복잡한 시스템의 변화 예측을 할 수 있었다. 확장된 기법은 주어진 환경의 변화에 따른 예측이 중요한 역할을 지능형 시스템, 예를 들어 유비쿼터스 환경의 자율적, 지능형 시스템 구현 등에 중요한 역할을 하리라 기대 된다.

2. 정성적 모델링

정성적 추론을 위해서는 정성적 모델을 구축하는 것이 필수 불가결하다. 정성적 모델 개발의 목표는 인간이 갖고 있는 직관적, 상식 수준의 정성적 지식을 표현하는 것이다. 정성적 모델은 정량적 데이터를 얻기 어려운 경우, 인과 관계에 대한 추론이 필요한 경우에 특히 적합하다(Kim, 2006).

본 연구에서는 Forbus의 정성적 프로세스(Qualitative Process : QP) 이론 (Forbus, 1984)에 기초하여 모델을 개발하였다. QP 이론의 핵심은 자연 세계에서 모든 변화는 프로세스에 의해 발생된다는 것이다. 프로세스의 예를 들자면 유체의 흐름, 운동, 가속, 액체의 비등 등이다. 정성적 모델은 객체(object), 객체 사이의 관계성(relationship), 프로세스로 구성된다. 모든 객체는 그 객체의 속성인 파라미터에 의해 묘사된다(QP이론에서는 파라미터 대신 quantity 용어를 사용하였다. quantity는 연속적인 값을 갖는 파라미터를 나타낸다. 본 논문에서는 quantity 보다 일반적으로 사용되고 있는 용어인 파라미터를 사용하고 있다). 파라미터의 값은 그 값의 부호로 표현 된다: “+”는 양수, “-”는 음수, “0”은 0을 나타낸다. 또한 다른 값과의 대소 관계로도 표현 된다<. = , >. 변화를 표현하는 도함수도 같은 방식으로 표현 된다: “+”는 증가, “-”는 감소, “0”은 변화 없음을 나타낸다.

정성적 비례 관계(qualitative proportionality)는 부분적인 정보에 기초하여 두 개의 파라미터 사이의 인과관계를 표현한다. (qprop A B)는 A가 B에 비례함을 의미한다. 대수학적 용어를 사용하면, $A = f(\dots, B, \dots)$ 의 관계가 성립하고 있음을 나타낸다. 예를 들어서, 어떤 물체의 온도는 그 물체가 갖고 있는 열에 비례한다는 사실은 (qprop (temperature ?obj) (heat ?obj))로 표현된다. (qprop - A B) A가 B에 반비례함을 의미한다.

직접적 영향 (direct influence : i+, i-)은 도함수에 대한 부분적인 정보를 나타낸다. 직접적 영향은 프로세스에 의해서만 발생하게 되는데 프로세스에 의한 파라미터의 변화를 나타낸다. 예를 들어, 유체 흐름 (fluid flow) 프로세스에서, 유체가 흘러 들어가는 쪽의 유체의 양은 그 유체 흐름 속도의 직접적 영향을 받게 된다는 사실은(i+ (amounOf

?dst) (flowRate ?inflow))로 표현된다.

<표 1>은 가스의 흐름(gas flow)에 대한 프로세스를 보여주고 있다. 두 개의 가스를 담은 용기가 연결되어 있고 둘 사이의 압력의 차이가 있으면 gas-flow 프로세스가 활동(active)하게 된다. 흐름의 속도는 둘 사이의 압력의 차이에 비례한다. 이 프로세스의 영향으로 인해 압력이 높은 쪽(?src)의 가스량은 줄어들고, 압력이 낮은 쪽(?dst)의 가스량은 줄어들게 된다.

<표 1> gas-flow 프로세스

```

Process gas-flow
:participants (?src :type contained-gas)
              (?dst :type contained-gas)
              (?path :type fluid-path, fluid-Connected(?src, ?dst,
              ?path))
:conditions (Aligned ?path)
              (pressure ?src) > (pressure ?dst)
:relations (quantity (flow-rate ?src ?dst))
              (qprop (flow-rate ?src ?dst) ((pressure ?src) -
              (pressure ?dst))
:influences (i+ (amount-of ?dst) (flow-rate ?src ?dst))
              (i- (amount-of ?src) (flow-rate ?src ?dst))
    
```

3. 비교 분석

정성적 추론을 통해 주어진 상황에 대한 문제를 해결하기 위해서는 정성적 모델링에 기초한 분야 모델의 구축이 필수적이다. 분야 모델은 미커닉스, 열역학 등 특정 분야에 대한 지식을 정성적으로 표현한 것으로, 특정 상황에 대한 묘사인 시나리오가 주어지면 분야 모델로부터 인과 모델이 형성되게 된다. 인과 모델은 파라미터 사이의 직접적인 영향, 정성적 비례관계로 구성되어 있다. 형성된 인과 모델로부터 주어진 상황에 대한 추론이 전개되어 문제를 해결하게 된다.

비교 분석은 추론 기법의 하나로 주어진 상황에서 특정 파라미터의 변화가 일어났을 때, 이러한 변화의 연쇄적인 파급을 분석하는 방식이다. 기존의 QP 이론에 기초한 비교 분석은 정성적 시뮬레이션의 보완적 역할에 국한되어, 정성적 비례에 의한 변화의 파급 효과에만 제한적으로 사용되었다 (Collins, 1993; Klenk et al., 2005). 따라서 프로세스에 의해 발생된 직접적 영향에 의한 파급 효과와 이에 부수되는 추론에 적용시킬 수 없었다. 본 논문에서는 정성적 비례에 의한 변화의 추론 뿐 아니라, 프로세스에서 발생하는 직접적인 영향에 의한 변화에 대한 정성적 추론 기법을 소개하고자 한다.

다음은 비교 분석을 위해 사용되는 용어에 대한 정의들이다.

• 정의 1 : (dQValueOf)

(dQValueOf ?q ?dQValue)는 파라미터 ?q 상대적 값의 변화(differential qualitative value)가 ?dQValue 임을 나타낸다. ?dQValue의 가능한 값은 IncreasedDQ, DecreasedDQ, UnchangedDQ 이며, 상대적 값의 증가, 감소, 변화 없음을 각각 묘사한다.

예를 들어, (dQValueOf (proportionOf paper solidWaste1) IncreasedDQ)는 폐기물 solidWaste1에서 종이의 비율이 증가하였음을 나타낸다.

• 정의 2 : (dQRateOf)

(dQRateOf ?q ?change ?dQRate)는 파라미터 ?q 값의 변화인 ?change의 변화율이 ?dQRate임을 나타낸다. ?change의 가능한 값은 Increase, Decrease 이며 이는 변화가 증가와 감소임을 각각 나타낸다. ?dQRate의 가능한 값은 IncreasedDQ, DecreasedDQ, UnchangedDQ 이며, 변화의 비율이 증가, 감소, 변화 없음을 각각 묘사한다.

예를 들어, (dQRateOf (amountOf exhaustgas incinerator1) Increase IncreasedDQ)는 소각로 inciner-

ator1에 생성되는 배가스 양의 증가 속도가 증가함을 나타낸다. 즉 빨리 증가함을 표현한다.

• 정의 3 : (M)

(M ?q ?s)은 시나리오 ?s에서 파라미터 ?q의 값(magnitude)을 나타낸다. 시나리오는 특정 상황에 대한 정성적 묘사들의 집합이다.

예를 들어 (M (temperature incinerator1) s1) > ZERO는 s1에서 incinerator1의 온도가 0보다 크다는 것을 표현한다.

(M ?q ?s2)를 (M ?q ?s1)와 비교하여 (dQValueOf ?q ?dQValue)를 다음과 같이 정의한다. ?s2는 현재 추론의 관심 대상인 상황이며, ?s1은 기준 상황이다.

(M ?q ?s1) > (M ?q ?s2) (dQValueOf ?q DecreasedDQ)

(M ?q ?s1) < (M ?q ?s2) (dQValueOf ?q IncreasedDQ)

(M ?q ?s1) = (M ?q ?s2) (dQValueOf ?q UnchangedDQ)

예를 들어, (M (temperature incinerator1) s1) < (M (temperature incinerator1) s2)이면 incinerator1의 온도가 s1에 비해 s2에서 감소하였음을 의미하며, 이는 (dQValueOf (temperature incinerator1) DecreasedDQ)으로 표현한다.

• 정의 4 : (Dm)

(Dm ?q ?s)는 시나리오 ?s에서 파라미터 ?q의 도함수의 크기(magnitude of derivative)를 나타낸다.

• 정의 5 : (Ds)

(Ds ?q ?s)는 시나리오 ?s에서 파라미터 ?q의 도함수의 부호(sign of derivative) 즉 변화의 방향을 나타낸다. Ds의 가능한 값은 Increasing, Decreasing, NoChange이다.

Dm과 Ds를 사용하여 dQRate는 다음과 같이 정의된다. ?s2는 현재 추론의 관심 대상인 상황이

며, s_1 은 기준 상황이다.

$$(Ds \ ?q \ ?s_1) = (Ds \ ?q \ ?s_2) \wedge (Dm \ ?q \ ?s_1) > (Dm \ ?q \ ?s_2)$$

$$(dQRateOf \ ?q \ (Ds \ ?q \ ?s_1) \ DecreasedDQ)$$

$$(Ds \ ?q \ ?s_1) = (Ds \ ?q \ ?s_2) \wedge (Dm \ ?q \ ?s_1) < (Dm \ ?q \ ?s_2)$$

$$(dQRateOf \ ?q \ (Ds \ ?q \ ?s_1) \ IncreasedDQ)$$

$$(Ds \ ?q \ ?s_1) = (Ds \ ?q \ ?s_2) \wedge (Dm \ ?q \ ?s_1) = (Dm \ ?q \ ?s_2)$$

$$(dQRateOf \ ?q \ (Ds \ ?q \ ?s_1) \ UnchangedDQ)$$

예를 들어, s_1 과 s_2 에서 incinerator1에서 배가스의 양이 증가한다고 가정하자. 즉, $(Ds \ (amountOf \ exhaustgas \ incinerator1) \ s_1) = (Ds \ (amountOf \ exhaustgas \ incinerator1) \ s_2) = Increase$ 이 성립하고 있다. 이때, $(Dm \ (amountOf \ exhaustgas \ incinerator1) \ s_1) < (Dm \ (amountOf \ exhaustgas \ incinerator1) \ s_2)$ 이면, 즉 s_2 에서의 증가율이 s_1 에서의 증가율 보다 크면, $(dQRateOf \ (amountOf \ exhaustgas \ incinerator1) \ Increase \ IncreasedDQ)$ 이 성립한다.

dQValue는 인과관계를 나타내는 직접적 영향, 정성적 비례관계에 적용되어 파급(propagate) 된다 <표 2>. <표 2>에서 $?q \uparrow$ 는 $(dQValueOf \ ?q \ Increased \ DQ)$ 를 $?q \downarrow$ 는 $(dQValueOf \ ?q \ DecreasedDQ)$ 를 각각 나타낸다. $(?q \uparrow) \uparrow$ 는 $(dQRateOf \ ?q \ Increase \ IncreasedDQ)$ 와 $(?q \uparrow) \downarrow$ 는 $(dQRateOf \ ?q \ Increase \ DecreasedDQ)$ 를 각각 나타낸다. $(?q \downarrow) \uparrow$ 와 $(?q \downarrow) \downarrow$ 도 같은 방법으로 표현되었다. dQRate도 직접적 영향, 정성적 비례관계를 통해 파급된다. 예를 들어, $(q+ \ (temperature \ obj1) \ (heat \ obj1))$ 인 상황에서 $obj1$ 의 heat가 증가되었으면 (e.g., $(dQValueOf \ (heat \ obj1) \ IncreasedDQ)$), 비교분석을 적용하여 $obj1$ 의 temperature도 인과관계에 의해 증가 (e.g., $(dQValueOf \ (temperature \ obj1) \ IncreasedDQ)$) 되었음을 추론할 수 있다.

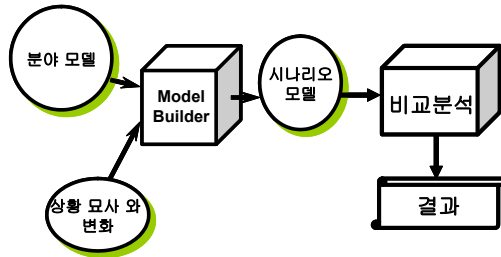
<표 2> dQValue의 파급

| | ?constrainer ↑ | ?constrainer ↓ |
|----------------------|----------------|----------------|
| (q+ ?q ?constrainer) | ?q ↑ | ?q ↓ |
| (q- ?q ?constrainer) | ?q ↓ | ?q ↑ |
| (i+ ?q ?constrainer) | (?q ↑) ↑ | (?q ↑) ↓ |
| (i- ?q ?constrainer) | (?q ↓) ↑ | (?q ↓) ↓ |

4. 시스템 구성 및 소각로 예제

본 연구에서는 앞 장에서 소개한 정성적 모델링과 비교 분석 기법에 기초하여 정성적 비교 분석 추론 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템은 주어진 상황에 대한 정성적 구조 묘사(qualitative structural description)와 변화가 주어지면 비교분석 추론을 통해 그 변화에 따른 연쇄적인 파급효과를 제공한다. 본 시스템은 주어진 상황에 대해 시나리오 모델을 생성하는 모델 구축(model builder) 모듈과 비교 분석을 제공하는 추론기관으로 구성된다. 주어진 상황에 대한 문제를 해결하기 위해서는 기초적인 지식 베이스의 구축이 선행되어야 한다. 본 시스템을 실제 예제에 적용하기 위하여 Forbus의 프로세스 이론에 기초한 정성적 지식베이스인 분야 모델이 구축되었다. [그림 1]은 본 시스템의 추론 과정을 보여주고 있다. 정성적 추론 시스템에서 분야 모델은 인간이 그 분야에 대하여 갖고 있는 직관적, 상식 수준의 정성적인 지식을 밝혀내어 코드화한 것이다. 시나리오는 특정 상황에 대한 구조적 묘사를 의미하는데, 변화와 함께 주어진다. 구조적 묘사가 주어지면 분야 모델로부터 그 시나리오에 대한 시나리오 모델을 생성한다. 시나리오 모델은 파라미터 사이의 인과 관계를 표현하는 인과 모델로서, 직접적 영향, 정성적 비례관계로 구성된다. 시나리오 모델이 형성되면 추론이 적용되어 문제를 해결하게 된다. 본 연구에서는 상대적 변화에

따른 파급 효과를 예측하는 비교 분석 기법을 적용하여 변화의 파급 효과를 예측한다.



[그림 1] 정성적 비교 분석 추론 시스템의 추론 과정

시스템은 규칙 기반 시스템인 CLIPS(Girratano and Riley, 1998)로 구현되었으며, 소각에 대한 분야 모델(Kim et al., 2006)과 생태계 분야 모델(Salles and Bredeweg, 2003)을 구축하여 여러 예제에 적용하였다. 소각 과정과 생태계는 분야의 특성상 정확히 수식으로 그 과정을 완벽하게 표현하기에는 어려움이 있는 분야이다. 또한 완벽한 수식이 존재한다 하더라도 정확하고 완벽한 정량적 입력 데이터를 얻기 어려움이 있다. 예를 들어 소각로에 제공되는 생활 폐기물의 성분이 정확히 입력되어야 하는데 실제적으로 이러한 완벽한 정량적 데이터를 얻기에는 어려움이 있다. 생태계의 경우도 정확한 개체 유입의 개수, 출생률 등에 대한 데이터를 완벽하게 얻기에는 어려움이 있다. 특히 두 분야 모델은 파라미터 사이에 정성적 비례와 직접적 영향에 의한 인과관계가 다양하게 표출되므로 본 논문에서 제안된 비교분석 기법을 시험해보기에는 좋은 시험대로 여겨져 두 분야 모델을 구축하여 시험하였다.

소각로 분야 모델은 1차 소각로, 2차 소각로, 배가스 처리실로 구성된 소각 과정을 정성적으로 예

측할 수 있게 구성되어 있다. 소각로 모델은 기본적인 열역학 프로세스-heat flow, gas flow, incineration, incineration decomposition-와 기체의 영역학적 성질 등이 Forbus의 프로세스 이론의 표현방식에 기초하여 구축되었다. 폐기물, 기체, 소각로 등의 객체는 CLIPS의 사실(fact)로 표현되었으며, 인과관계를 표현하는 정성적 비례, 직접적 영향은 술어(predicate)로 구현되었다. 객체들 사이의 관계도 술어로 표현되었다. 정성적 비례관계를 비롯한 정성적 수학 표현 방식도 술어로 표현되었다. 프로세스는 규칙(rule)으로 표현되었다. 프로세스의 participants와 conditions가 규칙의 선행조건(antecedent)으로 표현되며, relations와 influences는 규칙의 결과(consequence)로 표현된다. 생태계 모델은 birth, death, immigration, emigration의 프로세스로 구성되어 있으며, 개체수의 증감에 대한 인과적 관계가 복잡하게 연결되어 있다. 모델 구축 모듈은 주어진 시나리오에 분야모델을 적용하여 유추되는 사실과 인과관계로부터 시나리오 모델을 생성한다. 추론 기관은 3장의 비교 분석 기법 표현에 기초하여 dQValue와 dQRate의 파급을 규칙으로 구축하였으며, 시나리오 모델에 적용하여 추론을 제공하게 된다. 다음은 <표 2>의 (q + ?q ?constrainer)에서 ?constrainer ↑인 경우 ?q ↑를 구현한 규칙을 보여주고 있다.

```

(defrule findPositiveDQValue 1
  (qprop (qty1 $?q) (qty2 $?constrainer))
  (dQValueOf (qty $?constrainer) (dQValue IncreasedDQ))
  (not (dQValueOf (qty $?q) (dQValue Decreased DQ)))
  =>
  (assert (dQValueOf (qty $?q) (dQValue Increased DQ))))
  
```

다음은 소각로 시나리오의 일부이다. qty는 QP 이론의 용어 quantity를 나타낸다. 이 시나리오에는 주어진 폐기물 중 종이의 양이 증가되었음을 포함하고 있다.

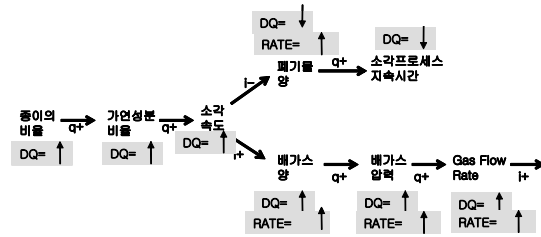
```

;;; 1st incinerator
(incinerator incinerator1)
(solidWaste sw1)
(containedIn sw1 incinerator1)
(qGreaterThan (qty1 amountOf sw1) (qty2 ZERO))
(thermalPhysob burner1)
(heatPath path1)
(heatConnection path1 burner1 incinerator1)
(heatAligned path1)
(sparkIn incinerator1)

;;; the proportion of paper in sw is increased
(dQValueOf (qty proportionOf paper sw1) (dQValue IncreasedDQ) (source init))
    
```

[그림 2]는 위의 시나리오가 주어졌을 때 생성되는 시나리오 모델의 일부를 보여주고 있다. 그림에서 $q+$, $q-$ 는 $qprop+$ 과 $qprop-$ 을 나타낸다. 시나리오 모델은 관련된 파라미터와 그들 사이의 인과관계가 $i+$, $i-$, $q+$, $q-$ 로 연결되어 있다. 가연 성분의 비율은 종이의 비율에 비례하고 소각 속도는 가연 성분의 비율에 비례함을 보여 주고 있다. 또한 배가스의 양은 소각 속도의 직접적 영향을 받아 증가함을 알 수 있다. 그림에는 형성된 인과 모델에 추론이 전개되는 과정이 각 파라미터 옆 DQ와 RATE의 화살표로 표현되고 있다. $DQ = \uparrow$ 는 (dQValueOf ?q IncreasedDQ) 즉, 그 파라미터의 증가함을 나타낸다. $DQ = \downarrow$ 는 (dQValueOf ?q DecreasedDQ) 즉, 그 파라미터 값이 감소함을 의미한다. $DQ = \uparrow$, $RATE = \uparrow$ 는 (dQRateOf ?q Increase IncreasedDQ) 즉, 그 파라미터의 증가속

도가 증가함을 표현한다. 같은 방식으로 $DQ = \downarrow$, $RATE = \uparrow$ 는 (dQRateOf ?q Decrease IncreasedDQ) 즉, 그 파라미터의 감소 속도가 증가함을 표현한다. [그림 2]에 나타난 추론 과정을 일부 설명하면 다음과 같다. 폐기물 중 종이의 비율이 증가하면 가연성분의 비율이 증가한다. 가연 성분의 증가는 소각 속도의 증가로 이어지고, 이는 배가스의 양이 증가하는 속도를 증가시키게 된다. 이는 소각로내의 배가의 압력이 증가하는 속도를 증가시키고, 이러한 변화는 가스 흐름 프로세스의 속도를 증가시켜 배가스가 빨리 흘러나가게 하는 연쇄적인 반응으로 이어진다. 폐기물 중 음식물의 양이 많아지면, 소각 속도는 감소하게 되어 [그림 2]의 경우와는 반대 현상이 일어나게 된다.



[그림 2] 소각로 : 인과모델과 비교 분석

5. 결론

정성적 추론에서 다양한 기법의 추론 기법을 개발하는 것은 광범위한 문제의 해결을 위해 중요하다. 정성적 시뮬레이션은 가장 많이 사용되어지고 있는 정성적 추론 방식이다. 정성적 추론은 정확하고 완벽한 정량적 지식이 아닌 정성적 지식에 기초하고 있으므로, 정성적 시뮬레이션은 정확한 예측보다는 모든 가능성을 제시해 주는 경우가 많다. 비교 분석은 시뮬레이션이 제공할 수 없는 추론을

제공할 뿐 아니라, 파급 효과를 파라미터 사이의 인과 관계를 따라 추적하게 되므로 애매모호한 경우가 훨씬 적어 정확한 예측을 제공할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 기존의 정성적 비례에 의한 인과 관계 분석을 통한 비교 분석 기법에 프로세스에 의한 직접적 영향에 의한 인과 관계에 대한 분석 방법을 추가하여 확장하였다. 본 기법은 파라미터의 상대적인 변화의 파급 뿐만 아니라 상대적 변화의 증가율 변화에 대한 추론을 제공한다. 기존의 기법은 정성적 비례로만 구성된 간단한 단답형 문제에만 적용되어 실효성을 얻을 수 있었으나, 정성적 비례와 직접적 영향이 공존하는 일반적인 상황에는 적용할 수 없었다. 본 연구에서는 개발된 비교분석 기법을 테스트하기 위한 시험대로 열역학적 과정을 통해 파라미터 사이의 정성적 비례 및 직접적 영향의 인과관계가 다양하게 연결되어 있는 소각 과정 분야 모델을 구축하였다. 또한 개체 수 사이의 인과 관계가 프로세스 간에 긴밀한 상호 연관성을 갖고 있는 생태계 분야 모델도 구축하였으며, 이러한 분야의 예제들을 통해 확장된 비교분석 기법의 유효성을 시험할 수 있었다.

향후 과제로는 다양한 추론 방식과 비교 분석 기법을 결합하여, 유연성과 context awareness 기능을 갖춘 지능형 인지 시스템으로 확장, 개발하는 것이다.

참고문헌

- [1] Bobrow, D. G., Qualitative Reasoning about Physical Systems, The MIT Press., Cambridge, 1985.
- [2] Collins, J. W., Process-based diagnosis: An approach to understanding novel failures, Tech Rep. No.48, Northwestern University, The Institute for the Learning Sciences, 1993.
- [3] DeCoste, D., "Dynamic across-time Measurement Interpretation", In Hamscher, W., et al, (Ed), Readings in Model-Based Diagnosis, Morgan Kauffmann, 1992.
- [4] de Kleer, J., and Williams, B.C., "Diagnosing multiple Faults", Artificial Intelligence 32, 1987.
- [5] Forbus, K., "Qualitative Process Theory", Artificial Intelligence 24, 1984.
- [6] Forbus, K., "Introducing Actions into Qualitative Simulation", Proceeding of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1989.
- [7] Forbus, K., Qualitative Reasoning, CRC Handbook of Computer Science and Engineering, CRC Press, 1996.
- [8] Girratano, J. and Riley, G., Expert Systems: Principles and Programming, PWS Publishing Company, Boston, 1998.
- [9] Hinrich, T., Nichols, D., and Forbus, K., "Using Qualitative Reasoning in Learning Strategy Games: A Preliminary Report", Proceedings of 20th International Workshop on Qualitative Reasoning, 2006.
- [10] Kim, H., Kim, S., and Kim, M., "Conceptual Modeling for Incineration Process", Proceedings of the 4th International Conference on Combustion, Incineration/Pyrolysis and Emission Control, 2006.
- [11] Klenk, M., Forbus, K., Kim, H., and Kychelhahn, B., "Solving Everyday Physical Reasoning Problems by Analogy using Sketches", Proceedings of the 20th Conference on Artificial Intelligence, 2005.
- [12] Kuiper, B., "Qualitative Simulation: then and now", Artificial Intelligence 59, 1993.

- [13] Kuiper, B., "Qualitative Simulation", in R. A. Meyers (Ed.), Encyclopedia of Physical Science and Technology, Third Edition, Academic Press, NY, 2001.
- [14] Salles, P. and Bredeweg, B., "Qualitative Reasoning about Population and Community Ecology", Artificial Intelligence Magazine, Vol.24(2003).
- [15] Struss, P., "Models of Behavior Deviations in Model-based Systems", Proceedings of the 16th European Conference on Artificial Intelligence, 2004.
- [16] Sun, Y. and Weld, D., "Innovative Design as Systematic Search", Proceedings of AAAI-93, Washington, D.C., 1993.
- [17] Weld, D., Theories of Comparative Analysis, Ph.D. diss., Dept. of Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, 1988.
- [18] Weld, D., "Exaggeration", Artificial Intelligence, 1990.
- [19] Weld, D., "Reasoning about Model Accuracy", Artificial Intelligence, 1992.

Abstract

An Extension Technique of Comparative Analysis based on Qualitative Model

Hyeon Kyeong Kim*

The goal of qualitative analysis is to capture and formalize qualitative and intuitive knowledge about physical world. Qualitative reasoning has been successfully applied to electric and mechanical mechanism domains, in which most of reasoning has focused on simulation. This paper introduces a qualitative comparative analysis technique which predicts how a change in a given situation propagates. We developed a comparative analysis technique which extends previous research by including a reasoning technique about the relative rate of the change of a parameter. Previous research focuses only on the relative change of a parameter. Causal model for the given situation is generated from qualitative domain model. The propagation by the change in causal relations are traced by applying our comparative analysis. By providing explanation as well as prediction for the given change, our technique is expected to be used in design, diagnosis, intelligent tutoring system, environmental evaluation.

Key words : Qualitative Reasoning, Comparative Analysis, Causal Model

* Dept. of Information Science and Telecommunication, Hanshin University