

## 정성적 추론을 이용한 일상의 자연 현상에 대한 추론\*

### Everyday Physical Reasoning by Qualitative Reasoning

김 현 경\*\*

(Hyeon Kyeong Kim)

요약 유연성과 광범위성을 갖는 대규모 인지 시스템의 구축을 위해서는 전문적인 지식 뿐 아니라 상식 수준의 지식에 기초한 추론을 제공하는 필수 불가결하다. 본 논문에서는 정성적 추론을 이용하여 일상에서의 다양한 자연 현상에 대한 상식 추론을 제공하는 인지시스템에 대하여 소개하고자 한다. 기존의 정성적 추론은 다양한 일상의 개념과는 동떨어진 추상적인 개념에 기초하여 추론을 전개하여, 상식 추론에 이용되기에는 어려움이 있었다. 본 연구에서는 기존의 정성적 추론을 범용의 대용량 Cyc 지식베이스에 접목하여, 스케치와 일상의 개념에 기초한 상식 추론을 제공하고자 하였다. 본 시스템은 구현되어 여러 예제에 적용되어 그 실효성을 입증할 수 있었다.

주제어 인지 시스템, 정성적 추론, 상식 추론

*Abstract* To develop a cognitive system with the flexibility and breadth of human reasoning, it's very important to construct a large scale knowledge base which includes commonsense knowledge as well as expert knowledge. This paper introduces a cognitive system which provides a commonsense reasoning for everyday physical phenomena using qualitative reasoning. It is difficult to apply previous qualitative reasoning to commonsense reasoning since it provides reasoning based on abstract concepts which are apart from everyday real world concepts. Our research provides commonsense reasoning based on sketches and real world concepts by integrating qualitative reasoning and general large scale Cyc knowledge base. Our system has been implemented and tested on various examples

*Keywords* cognitive system, qualitative reasoning, commonsense reasoning

---

\* 이 논문은 2005학년도 한신대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

\*\* 한신대학교 정보통신학과, 연구세부분야: 인공지능

경기도 오산시 양산동 411번지, 전화: 031-370-6794, E-mail: hkim@hs.ac.kr

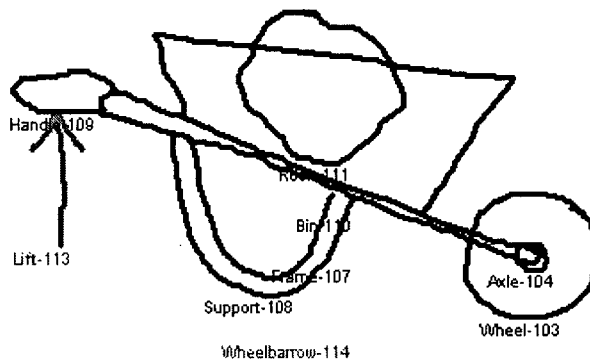
자연 세계에 대한 상식수준의 추론을 이해하는 것은 정성적 추론 연구의 주요한 목표 중 하나이다. 정성적 추론은 전자, 기계 등의 제한된, 전문적인 도메인에서 성공적으로 사용되어 그 실효성을 입증할 수 있었다(De Kleer & Brown, 1984; Forbus, 1996). 그러나 기존의 정성적 추론을 일상의 문제 해결을 위한 상식 수준의 추론(commmonsense reasoning)에 적용하기에는 여전히 어려움이 있다. 무엇보다도 일상의 문제들은 기술적인 전문 도메인에 비해 문제의 폭이 매우 넓다는 데 있다. 전자, 기계 등의 도메인의 경우 제한된 수의 구성 요소와 그 구성 요소 사이의 관계를 표현하여 주어진 문제를 해결 할 수 있었으나, 실제 우리의 생활에서는 구성 요소만 하더라도 그 다양성이 무궁무진하다.

Cyc corp.는 1984년 이후로 광범위한 일상의 인간 지식을 최적으로 코드화 한다는 목표 하에 몇 세기의 맨파워를 요구하는 방대한 분량의 지식베이스를 구축해 왔다(Lenat, 1995; OpenCyc site). Cyc 지식베이스는 기본적인 상식 수준의 인간 지식을 포함하고 있는 초용량

의 지식베이스로서 일상생활의 현상, 사건 등의 추론을 위한 토대를 제공하고 있다.

기존의 정성적 추론 연구는 정성적 분야 이론(domain theory) 및 추론 기법의 개발에 집중되어 왔다. 실제 상황의 일상적인 개념에 기초한 구조적 묘사로부터 추상적 구조 묘사의 매핑은 거의 언급되어 지지 않았다(De Kleer & Brown, 1984; Forbus, 1996). 추론은 분야 이론에서 사용하고 있는 정성적, 추상적 개념에 기초하여 진행되었다. 예를 들어 물체의 힘과 운동을 분석하는 미캐닉스 분야 이론은 강체, 강체의 표면, 표면의 법선 방향, 표면 접촉, 무게 중심, 회전 중심 등 정성적 물리학의 추상적인 개념에 기초하여 표현되었다(Kim, 1993). 사용자가 추론 시스템으로부터 주어진 상황에 대한 추론을 제공받기 위해서는 분야 이론에서 사용되는 추상적인 개념의 어휘를 사용하여 상황을 묘사하여야 했다.

일상의 자연 현상을 추론하기 위해 현실 세계의 개념과는 동떨어진, 물리학에서 사용되는 추상적인 개념의 사용을 요구하는 것은 상식 수준의 추론을 제공하는 시스템을 구축하



(그림 1) 돌을 바퀴 가까이로 움직여 놓으면, 손수레를 들고가 힘들어 질 것인가, 쉬워 질 것인가?

는 데 있어 큰 걸림돌이 되어왔다. 본 연구에서는 기존의 정성적 추론을 일상의 개념에 기초한 추론으로 확장하여 상식 수준의 추론에 적합한 시스템을 구축하고자 하였다. 이를 위해서는 일상에서 사용되어 지고 있는 객체, 개념으로부터 추상적인 객체, 개념으로의 매핑을 밝혀내어 정성적 추론을 적용하는 것이 핵심적인 역할을 한다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 일상의 자연 현상을 상식 수준에서 일상의 개념을 사용하여 추론하는 시스템을 위한 개념 매핑의 개발에 대하여 소개하고자 한다. 그림 1은 본 연구에서 사용하고 있는 스케치 기반 시스템인 sKEA(Forbus et al., 2004)에 의해 시스템에 입력되는 손수레의 스케치이다. 일상적 개념으로 구성된 구조적 묘사를 미캐닉스와 접목시키기 위하여 일상의 개념을 미캐닉스 관점에서 분석하여 물리학적 의미를 밝혀내어 코드화 하였다. 2장에서는 본 시스템에 대한 개요를 소개하였다. 3장에서는 Cyc 지식베이스에 기초하여 개발된 정성적 미캐닉스 분야 이론을 소개하였으며, 4장에서는 실생활 개념에서 추상적인 분야이론으로의 매

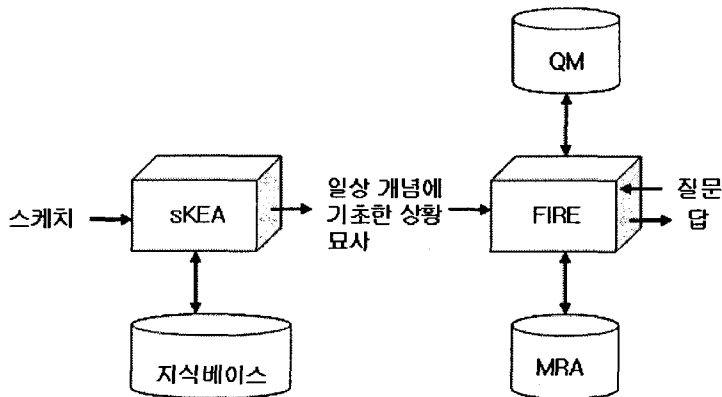
핑을 설명하였다. 5장에서는 예제를 소개하였으며, 마지막으로 결론 및 향후 과제를 제시하였다.

### 시스템 개요

EPR( Everyday Physical Reasoning)은 그림 1과 같은 일상의 자연 현상에 대한 정성적, 상식 수준의 추론을 제공하고자 개발되고 있는 시스템(그림 2)이다(Forbus & Hinrichs, 2004; 김현경 2004; Klenk et al., 2005). EPR은 사용자 인터페이스, 정성적 미캐닉스(QM: Qualitative Mechanics) 분야 모델, 실제 세계 객체(real world entities)에서 추상적인 객체(abstract entities)로의 매핑(MRA: Mapping from Real world entities to Abstract entities) 모델, 추론 기관 (FIRE)으로 구성되어 있다.

EPR의 지식베이스는 Cyc 지식베이스를 출발점으로 하여 QM, MRA가 추가, 확장되어 구축되었다.

상식 추론에서 스케치를 사용하는 하는 자



(그림 2) EPR 구성도

연스러운 방법이라 사료된다. 특히 특정한 자연 현상이나 시스템을 설명하는 경우에는 언어보다도 구체적인 정확한 묘사를 제공할 수 있는 장점이 있다. 이러한 특성으로 인해 스케치나 도형은 자연 과학 분야에서 많이 사용되어 지고 있다. EPR에서는 사용자 인터페이스로 현재 Northwestern 대학의 Qualitative Reasoning Group(QRG)에서 개발하고 있는 sKEA를 사용하여 주어진 상황을 스케치로 입력받는다. 스케치와 함께 각 물체나 물체사이의 구조적 묘사를 나타내는 일상의 개념이 지식베이스로부터 선택된다. QM에는 미캐닉스의 정성적 분야 모델이 Cyc 지식베이스에 기초하여 개발되었다(Klenk et al.,; 2005). MRA는 우리가 일상에서 사용하고 있는 물체, 구조적 묘사를 나타내는 관계성을 QM의 기초 원리에서 사용되는 추상적 묘사로 추론하는 지식을 포함하고 있다. 추론 엔진으로는 현재 QRG에서 개발 중인 FIRE를 사용하고 있다. FIRE는 대용량의 지식베이스에 대한 효율적인 추론을 위해 분할 후향 추론 방식을 채택하고 있다.

EPR에 문제가 주어지면 그 상황에 대한 시나리오 모델이 형성되고, 형성된 시나리오 모델에 분야 이론을 적용하여 그에 대한 인과 모델이 형성된다. 일단 정확한 시나리오 모델이 형성되면, 기존의 정성적 추론 기법을 사용하여 인과 모델이 생성되어 문제가 해결된다. 사용자가 분야 이론이 직접 적용될 수 있는 시나리오 모델을 작성했던 기존의 시스템과는 달리, 사용자는 실생활의 개념과 스케치로 상황을 묘사하면 EPR은 이로부터 시나리오 모델을 형성하게 된다. 이 과정을 간략하게 소개하면 다음과 같다.

1. 사용자는 sKEA를 통해 주어진 상황에 대한 스케치를 입력한다. 스케치에는 객체와 구조적 묘사에 대한 일상의 개념이 선택된다. 주어진 상황에 대한 질문이 FIRE에 주어진다.

2. sKEA는 주어진 스케치에 대한 Cyc 지식베이스의 파일을 생성한다.

3. MRA를 생성된 파일에 적용하여 시나리오 모델이 생성된다.

4. QM로부터 시나리오 모델에 대한 정성적 인과 모델이 형성된다.

5. 주어진 문제에 대한 답이 인과 모델로부터 추론된다.

## 정성적 미캐닉스

정성적 미캐닉스는 물체의 운동(motion)을 설명하는 미캐닉스를 정성적으로 표현한 분야 이론이다. 본 연구에서는 정성적 미캐닉스(김현경; 2004)를 Cyc 지식베이스에 접목하여 QM을 개발하였다.

물체의 운동을 설명하기 위해서는, 두 물체 사이의 힘의 전달을 이해하는 것이 그 핵심을 이루고 있다. QM은 기존의 정성적 미캐닉스에서 개발된 표현 방식에 기초하여 힘의 전달을 직선적인 힘과 토크의 전달로 구분하여 각각을 모델 단편(model fragment)으로 표현하였다. 정성적 추론에서 파라미터는 1차원으로 표현되고 있으므로, 힘의 전달 모델 단편은 x, y 방향으로 구분하여 표현하였다. 힘과 토크의 전달이외에 토크의 평형과 같은 힘과 물체의 운동의 상관 관계등도 모델 단편으로 포함시켰다.

힘과 토크의 전달은 두 물체의 표면이 접촉

할 때 가능성이 있으며, 접촉면의 법선방향과 힘을 가하는 물체의 힘의 방향에 의해 전달이 결정된다. 토크의 경우 물체의 회전 중심이 토크의 방향을 결정하는 중요한 역할을 한다. 이를 정리해 보면 다음과 같다.

1. 힘의 전달

두 강체의 표면이 접촉하고 있으며, 접촉하고 있는 강체에 힘 또는 토크가 작용하고 있다.

⇒ 작용하고 있는 힘, 토크의 방향과 접촉한 표면의 법선 방향의 분석을 통해 힘의 전달이 결정된다.

2. 토크의 전달

두 강체의 표면이 접촉하고 있으며, 접촉하고 있는 강체에 힘 또는 토크가 작용하고 있다.

⇒ 작용하고 있는 힘, 토크의 방향과 상대방 강체의 표면에서 회전중심으로의 방향의 분석을 통해 토크의 전달이 결정된다.

다음은 QM에서 사용되고 있는 주요 collection과 predicate의 일부를 보여주고 있다.

```
;;;-----
;;; object representations
;;;-----
(isa RigidOb Collection)

(comment RigidOb "RigidOb is the collection of
rigid objects.")
(gens RigidOb Thing)

(isa Surface Collection)
(comment Surface "Surface is the collection of
```

```
surfaces.")
(gens Surface Thing)

(isa surfaceNormal BinaryPredicate)
(arity surfaceNormal 2)
(comment surfaceNormal "surfaceNormal is true
iff the second argument is the direction of
surface normal at the first argument surface.")
(arg1Isa surfaceNormal Surface)
(arg2Isa surfaceNormal QualitativeVector)

(isa hasSurface BinaryPredicate)
(arity hasSurface 2)
(comment hasSurface "hasSurface is true iff the
second argument is a surface of the first
argument.")
(arg1Isa hasSurface RigidOb)
(art2Isa hasSurface Surface)

(isa surfaceContact SymmetricBinaryPredicate)
(comment surfaceContact "surfaceContact is true
iff the first argument touches the second
argument.")
(arity surfaceContact 2)
(arg1Isa surfaceContact Surface)
(arg2Isa surfaceContact Surface)

(isa originDir BinaryPredicate)
(arity originDir 2)
(comment originDir "originDir is true iff the
second argument is the direction from the
first argument on an object to the center of
rotation of that object.")
(arg1Isa originDir Surface)
```

```
(arg2Isa originDir QualitativeVector)
(isa forceApplied TernaryPredicate)
(comment forceApplied "(forceApplied ?surface
?dir ?agent) means ?agent causes a force on
?surface in the direction of ?dir")
(arg1Isa forceApplied Surface)
(arg2Isa forceApplied QualitativeVector)
(arg3Isa forceApplied Physob)
```

### 시나리오 모델 형성

사용자는 sKEA를 통해 주어진 상황에 대한 스케치를 입력하게 된다. sKEA(sketching Knowledge Entry Associate)는 Northwestern 대학의 Qualitative Reasoning Group에서 개발 중인 시스템으로, Cyc 지식 베이스에 구축된 최초의 범용의 스케치 시스템이다. 현재 지식 베이스에는 일상에서 사용되고 있는 39,000 개념의 120만개의 사실이 포함되어 있으며, 본 연구에서는 Cyc 지식베이스에 미캐닉스와 관련된 개념을 추가하여 확장하였다.

글리프(glyph)는 스케치를 구성하는 기본 요소인데 이는 하나의 객체(entity)를 표현한다. 객체는 지식 베이스에 저장되어 있는 개념의 인스턴스이다. 스케치를 그리는 것 이외에 사용자는 각 객체 및 객체사이의 구조적 묘사를 표현하는 개념들을 Cyc 지식베이스로부터 선택하게 된다.

우리가 일상에서 자연 세계에 대한 상황을 묘사하기 위해 사용하는 개념은 물리학적 의미를 함축하고 있는 경우가 대부분이다. 예를 들어, 'obj1이 obj2을 끌고 있다 (pull)'는 사실은 obj2에 obj1에 의해 obj2에서 obj1으로 향하는

힘이 가해진다는 것을 의미한다. 반면에 'obj1이 obj2을 밀고 있다 (push)'는 사실은 obj2에 obj1에 의해 obj1에서 obj2으로 향하는 힘이 가해진다는 것을 의미한다. 인간이 갖고 있는 이와 같은 상식적, 정성적 지식은 일상의 자연 현상을 이해하는 데 핵심적 역할을 한다. 본 연구에서는 Cyc에서 이미 구축되어 있는 이러한 일상의 자연 세계, 현상과 관련된 개념을 조사하여, 그 개념이 물리학의 관점에서 물리학적으로 의미하는 추상적인 의미를 밝혀 내어 이를 지식베이스로 구축하고 있다. 현재는 미캐닉스에 관한 매핑을 진행하고 있다.

sKEA는 주어진 스케치와 묘사로부터 상황에 대한 파일을 생성하고, FIRE는 MRA 지식 베이스를 이용하여 이로부터 시나리오 모델을 생성한다. 생성된 시나리오 모델은 QM에서 사용하고 있는 추상적인 개념으로 구성된다. 다음 절에서는 힘과 운동의 분석에 핵심적 역할을 하는 Cyc 지식베이스의 개념과 이러한 개념으로부터 추상적, 물리학적 개념으로의 매핑을 간략히 설명하고자 한다.

### 표면 접촉

두 물체가 접촉하는 경우의 묘사에는 Cyc에서 정의되어 있는 predicate인 touchesDirectly를 사용하였다. touchesDirectly는 두물체의 표면이 접촉하고 있음을 의미하고 있다. 계층구조에서 touchesDirectly은 touches의 아래에 있으며, touchesIndirectly도 touches의 아래에 있다.

(touchesDirectly ?obj1 ?obj2)이 주어지면 MRA는 접촉하고 있는 두 강체의 표면과 그에 대한 정보를 다음과 같이 각각 생성한다.

1. ?obj2와 접촉하고 있는 ?obj1의 표면을 생성
2. ?obj1과 접촉하고 있는 ?obj2의 표면을 생성
3. 생성된 두 표면이 접촉하고 있음을 나타냄
4. 각 표면의 법선방향과 그 표면에서 회전 중심으로의 방향은 주어진 스케치로부터 정성적 방향을 계산하여 생성한다.

다음은 이 과정을 통해 생성되는 문장들이다. (ContactSurfaceFn ?obj1 ?obj2)는 ?obj2와 접촉하고 있는 ?obj1 표면을 반환하는 함수이다.

```
(isa (ContactSurfaceFn ?obj1 ?obj2) Surface)
(hasSurface ?obj1 (ContactSurfaceFn ?obj1 ?obj2))
(isa (ContactSurfaceFn ?obj2 ?obj1) Surface)
(hasSurface ?obj2 (ContactSurfaceFn ?obj2 ?obj1))
(surfaceContact (ContactSurfaceFn ?obj1 ?obj2)
  (ContactSurfaceFn ?obj2 ?obj1))
(surfaceNormal (ContactSurfaceFn ?obj1 ?obj2)
  ?dir1)
(originDir (ContactSurfaceFn ?obj1 ?obj2) ?dir2)
```

## 힘

물체에 작용하는 힘은 다음과 같은 매핑을 통해 생성된다.

첫째, 힘은 스케치에서 화살표를 이용해 표현할 수 있다.

그림 1에서 손잡이에 화살표가 주어지면, 이는 화살표 방향으로 손잡이에 손잡이와 화살표가 닿는 표면에 외부로부터 힘이 가해짐을 의미한다. 이 경우 힘을 가하는 물체는 보여 지고 있지 않으나, 누구나 그런 물체가 존재함을 인식하고 있다. 따라서 스케치에서 어

떤 물체에 화살표의 머리 부분이 접촉하면, sKEA가 외부의 unknown 물체로부터 그 물체와 화살표의 머리가 접촉하는 면으로 화살표의 방향으로 힘이 가해진다고 가정한다는 사실을 다음과 같이 생성하도록 하였다. sKEA는 스케치로부터 화살표의 정성적 방향을 계산한다.

```
(forceAppliedAssumed
  (ContactSurfaceFn ?obj (ContactObjectFn ?obj))
  ?dir (ContactObjectFn ?obj)))
```

(ContactObjectFn ?obj)은 ?obj와 접촉하고 있는 물체를 나타내며, (forceAppliedAssumed ?surf ?obj)은 물체 ?obj가 ?dir의 방향으로 표면 ?surf에 힘을 가하고 있음을 가정한다는 의미이다. 그림 1의 경우는

```
(forceAppliedAssumed
  (ContactSurfaceFn Handle-109
    (ContactObjectFn Handle-109))
  Up (ContactObjectFn Handle-109)))이 sKEA로부터 생성된다.
```

forceAppliedAssumed에 대한 물리학적으로 내포된 의미를 밝혀보면, 우선 외부에서 힘을 가하는 강체가 존재함을 알 수 있다. 또한 이 외부의 강체는 ?dir 방향의 힘을 갖고 있으며, 화살표와 물체가 접촉하는 곳에서 두 물체가 접촉하고 있다고 유추할 수 있다. 따라서 MRA는

1. ?obj에 힘을 가하고 있는 unknown 강체를 생성한다.
2. unknown 강체가 화살표 방향 ?dir으로 힘을 갖고 있음을 생성한다.
3. ?obj와 unknown 강체사이의 표면 정보를

touchesDirectly의 경우와 같은 방법으로 생성한 강체다.

다음은 이 과정을 통해 생성되는 문장들이다. 3의 경우 생성되는 문장 중 2개만 보여주고 나머지는 생략되었다.

```
(isa (ContactObjectFn ?obj) RigidOb)
(force (ContactObjectFn ?obj) ?dir)
(isa (ContactSurfaceFn ?obj
      (ContactObjectFn ?obj)) Surface)
(hasSurface ?obj (ContactSurfaceFn ?obj
                          (ContactObjectFn ?obj)))
```

둘째, 구조적 묘사로부터 중력을 유추한다.

Cyc predicate인 (on-Physical ?over ?under), (hangsFrom ?over ?under), (supportedBy ?over ?under)은 모두 touchesDirectly의 한 형태이며, 계층 구조상에서 touchesDirectly가 그들의 위에 위치하고 있다. 따라서 touchesDirectly에 의한 접촉 표면에 대한 정보가 생성된다. 이러한 표면 접촉 정보 이외에도, ?over 물체로부터 ?under 물체로 중력, 즉 아래로 향하는 힘이 가해지고 있음을 유추할 수 있다.

1. ?over와 ?under 사이의 표면 접촉 정보를 touchesDirectly의 경우와 같은 방법으로 생성한다.

2. ?over가 아래로 향하는 힘을 갖고 있음을 생성한다.

```
(force ?over Down)
```

미캐닉스는 강체 사이에 작용하는 힘의 분석을 통해 강체의 운동을 예측한다. 이를 위해서는 힘의 전달을 추론하기 위해서는 전달의 주체가 되는 강체를 개별화하는 것이 필수 불가결하다. 예를 들어, 그림 1의 손수레의 경우 위로 향하는 힘이 손수레의 손잡이에 전달된다. 이 힘은 손잡이에만 전달되는 아니라 손수레 전체에 전달되고, 이 손수레의 무게 중심이 바퀴에 있으므로 시계 방향의 토크가 손수레에 전달된다. 이는 미캐닉스의 힘의 전달의 주체가 되는 강체는 손잡이가 아니라 손수레 전체이기 때문이다. 이와 같이 실생활에서 개별화된 물체가 물리학에서의 개별화된 물체와 반드시 일치하지는 않는다. 따라서 실생활에서의 개별화된 물체로부터 물리학의 원리가 적용되는 개별화된 물체로의 매핑이 필요하다. 현재 본 연구에서는 하나의 물체가 여러 부분으로 되어 구성되어 있는 경우, sKEA 입력 시 전체를 여러개의 글리프를 한 개의 그룹 글리프로 그룹핑하여 하나의 물체로 취급할 수 있도록 모델링 정보를 요구하게 하였다.

일단 강체가 개별화 되면, 강체의 회전 중심을 구하는 것이 중요한 문제로 대두된다. 강체의 회전 중심은 힘이 전달될 때, 토크를 결정하게 된다. Fulcrum, canPivotAround 와 같은 회전 중심에 대한 묘사가 있는 경우는 그러한 모델링 정보를 사용하며, 없을 경우는 물체의 중심점으로 가정 하고 있다.



## 예 제

본 시스템은 구현되어 여러 예제에 적용되어 그 실효성을 입증할 수 있었다. 특히 EPR은 기술자의 평가를 위해 미국에서 널리 사용되고 있는 Bennett 테스트(Bennett Mechanical Comprehension Test)를 주요 시험대로 삼고 개발을 계속하고 있다. 이 테스트는 정역학, 동역학, 열역학, 전기 등 광범위한 물리적 현상에 대한 문제를 포함하고 있다. 이 테스트는 사람의 물리학적 적성, 공간 능력을 평가하는 척도로 인지과학자 사이에서도 널리 사용되어 지고 있다. 모든 문제는 그림과 함께 상황이 텍스트로 주어지며, 이 상황으로부터 어떤 일이 발생하는가를 정성적으로 질문한다. EPR에서는 sKEA를 통해 Bennett 테스트의 스케치와 일상적 개념을 사용한 묘사가 주어지면, QM에서 사용되어 지는 추상적 묘사로 매핑이 되어 QM이 적용되어 주어진 상황에 대한 예측이 생성된다.

사용자가 sKEA를 통해 주어진 상황을 스케치로 입력할 때, 일상의 개념을 선택하여 각 글리프를 묘사하며 이와 함께 적합한 구조에 대한 묘사도 선택하게 된다. 예를 들어, 손수레의 본체인 새시는 일상의 개념인 VehicleChassis와 QM에서 사용되는 추상적 개념인 강체(RigidObject)로 표현할 수 있다. sKEA는 또한 두 글리프 사이의 구조적 묘사를 선택하게 하여 QM이 공간 추론을 위해 필요로 하는 정보를 제공한다. 예를 들어, 그림 1에서 돌과손수레 사이에는 on-Physical 관계가 성립된다. 이 과정을 그림 1의 손수레의 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

시스템에 주어지는 손수레에 대한 스케치는

입력하는 사람에 따라 차이가 있을 수 있다. 그림 1에서는 기본적으로 손잡이, 바퀴, 본체로 구성되어 있으며, 이들은 그룹핑을 통해 하나의 강체 RigidOb인 손수레(wheelbarrow-114)로 표현된다. 손잡이 Handle-109는 Handle의 인스턴스로, wheelbarrow-114는 Wheelbarrow의 인스턴스로 묘사하였다. 손수레에 놓여 있는 돌은 Rock의 인스턴스로 설정되어 있으며, 모든 글리프는 RigidOb로 묘사된다. Handle, Wheelbarrow, Rock, VehicleChassis 등은 이미 Cyc 지식베이스에 구축되어 있는 개념이며, RigidOb은 본 연구를 통해 추가된 개념이다. 다음은 그림 1에 대한 주요 묘사이다.

Handle-109 : Handle, RigidOb ;; 손잡이  
 Frame-107 : VehicleChassis RigidOb ;; 본체  
 Wheel-103 : Wheel Fulcrum RigidOb ;; 바퀴  
 Wheelbarrow-114 : Wheelbarrow RigidOb  
 ;; 손수레  
 Rock-111 : Rock RigidOb ;; 돌  
 Lift-113 : AssumedForceArrow ;; 화살표  
 (on-Physical Rock-111 Frame-107)

이러한 묘사와 질문이 주어지면 FIRE는 MRA로부터 추상적인 개념으로의 매핑을 추론하여 시나리오 모델을 생성한다. 다음은 위의 묘사로부터 생성된 시나리오 모델의 일부이다.

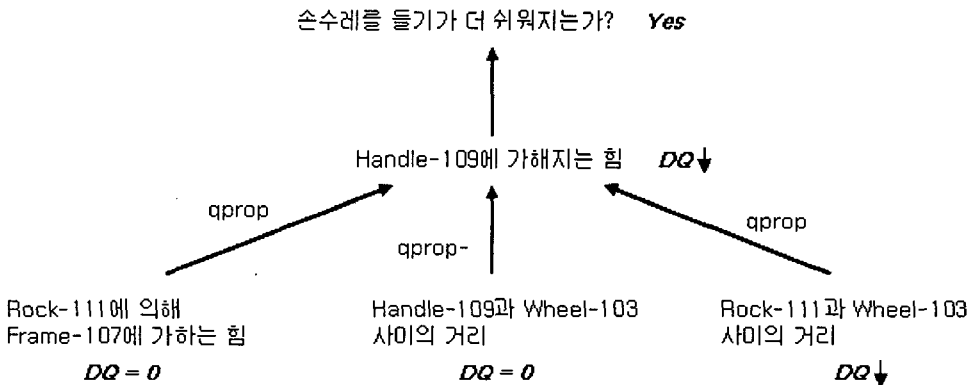
```
(forceApplied (ContactSurfaceFn Handle-109
                (ContactObjectFn Handle-109))
  Up (ContactObjectFn Handle-109))
(isa (ContactSurfaceFn Handle-109
     (ContactObjectFn Handle-109)) Surface)
(isa (ContactSurfaceFn
     (ContactObjectFn Handle-109))
```

Handle-109) Surface)  
 (surfaceContact  
     (ContactSurfaceFn Handle-109  
         (ContactObjectFn Handle-109))  
     (ContactSurfaceFn (ContactObjectFn  
         Handle-109) Handle-109))  
 (hasSurface (ContactObjectFn Handle-109)  
     (ContactSurfaceFn (ContactObjectFn  
         Handle-109) Handle-109)  
     (hasSurface Wheelbarrow-114  
         (ContactSurfaceFn Handle-109  
             (ContactObjectFn Handle-109))  
         (surfaceNormal  
             (ContactSurfaceFn Handle-109  
                 (ContactObjectFn Handle-109)) Down)  
         (surfaceNormal  
             (ContactSurfaceFn  
                 (ContactObjectFn Handle-109) Handle-109)  
             Up)  
         (originDir (ContactSurfaceFn Handle-109  
             (ContactObjectFn Handle-109)) Quad3))

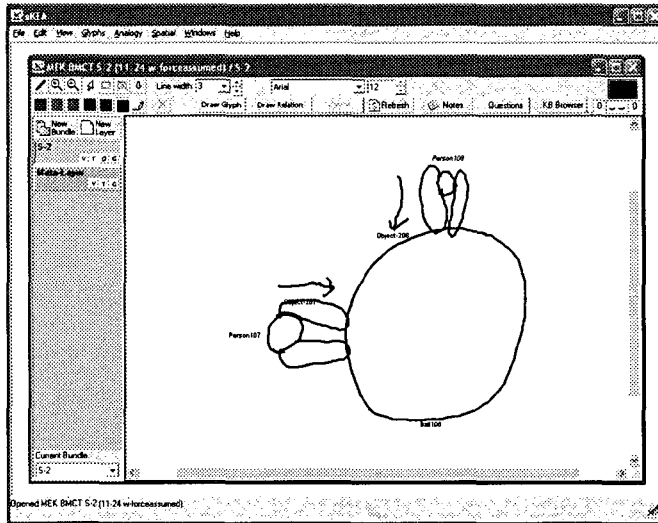
시나리오 모델이 일단 형성되면, FIRE는 QM으로부터 이에 대한 인과 모델을 생성하여 주어진 문제에 답을 추론하게 된다. 그림 3은 인과 모델 중 답과 직접적으로 연관된 부분을 보여주고 있다. qprop, qprop-는 정성적 비례를 나타내고, DQ는 파라미터의 비교값(감소, 변화없음, 증가)을 표시한다. 그림 1의 돌을 바퀴 근처로 옮기면 돌에서 바퀴까지의 거리가 감소하게 되고, 이는 손잡이에 가해야 하는 힘이 감소 되게 함을 알 수 있다.

Bennett 테스트는 힘, 운동, 장력, 유체, 광학, 음향, 물질, 기하 등 다양한 분야의 68개의 문제로 구성되어 있다. 현재 EPR은 힘, 운동, 장력, 유체, 기하에 관한 지식 베이스가 구축되어 이와 관련된 문제들에 적용되어 올바른 답을 얻을 수 있다. 적용된 문제들의 예를 들면 다음과 같다.

문제 2: 두 사람이 화살표 방향으로 공을 밀고 있을 때, 공은 어느 방향으로 움직일까? (그림 4). 그림 4의 스케치에서 사람과 공 사이에는 touchesDirectly의 관계가 주어진다.



(그림 3) 손수레의 인과 모델



(그림 4) 공은 어느 방향으로 움직일까?

문제4, 7: 기어가 맞물려 있는 상황이 스케치로 주어진 상태에서, 특정 기어가 어느 방향으로 움직일까를 예측하는 문제. 문제 4의 경우는 작은 기어가 큰 기어 안에 있는 경우로 gearEnmeshedInsideGear의 관계가 주어진다. 문제 7의 경우는 네 개의 기어가 서로 바깥면이 물려 있는 상태로 enmeshedGears-Adjacent의 관계가 주어진다.

## 결론

자연 세계에 대한 상식 추론을 이해하는 것은 정성적 추론 연구의 주요한 목표 중 하나이다. 기존의 정성적 추론은 일상의 개념이 아닌 추상적 개념에 기초하여 전개되어, 상식 추론에 이용되기에는 어려움이 있었다. 본 연구에서는 기존의 정성적 미캐닉스에 일상의 개념으로부터 추상적 개념으로의 매핑을 추가

하여, 상식 추론에 한 스텝 가까이 접근하고자 하였다. 또한 기존의 초용량 Cyc 지식베이스와 스케치 시스템과의 접목을 통해, 광범위한 일상의 자연현상에 대한 상식 추론을 제공하고자 하였다. 본 시스템은 기술자들 위한 평가 시험으로 널리 사용되고 있는 Bennett 테스트의 미캐닉스 문제에 적용되어, 올바른 답을 구할 수 있었다.

향후 과제로는 현재의 시스템에 유사 학습을 추가하여 유연성과 다양성을 갖춘 인지 시스템으로 확장하는 것이다. Bennett 테스트의 모든 문제를 해결하는 것이 그 시험대가 될 것이다.

## 참고문헌

- De Kleer, J. and Brown, J. S. (1984), A Qualitative Physics based on Confluences,

- Artificial Intelligence, 24
- Forbus, K. (1996), *Qualitative Reasoning* CRC Handbook of Computer Science and Engineering, CRC Press
- Lenat, D. (1995), *Cyc: A Large-Scale Investment in Knowledge Infrastructure*, The Communication of ACM, 38
- OpenCyc site : <http://www.opencyc.org>
- Kim, H. (1993), *Qualitative Reasoning about Mechanics and Fluids*, PhD thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign
- Forbus, K., Lockwood, K., Klenk, M., Tomai, E. and Usher, J. (2004), *Open-domain Sketch Understanding: The nuSketch Approach*, Proceedings of the AAAI Fall Symposium on Making Pen-based Interaction Intelligent and Natural, Washington, D. C.
- Forbus, K. and Hinrichs, T. (2004), *Companion Cognitive Systems: A step-towards human-level AI*, AAAI Fall Symposium on Achieving Human-level Intelligence through Integrated systems and Research, Washington,
- 김현경 (2004), *대규모 인지 시스템을 위한 정성적 지식 모델의 개발*, 한국인지과학회 논문지 15권 4호
- Klenk, M., Forbus, K., Tomai, E., Kim, H. and Kychelhahn, B. (2005), *Solving Everyday Physical Reasoning Problems by Analogy using Sketches*, submitted to the 19th International Qualitative Reasoning Workshop

1 차원고접수: 2005. 5. 2

최종게재승인: 2005. 7. 12