

제조 온톨로지 기반 품질예측 프레임워크 및 시스템 개발 : 사출성형공정 사례

이경훈¹ · 강용신² · 이용한^{1*}

¹동국대학교 서울캠퍼스 산업시스템공학과 / ²동국대학교 나노정보기술연구원 u-SCM 연구센터

Development of Manufacturing Ontology-based Quality Prediction Framework and System : Injection Molding Process

Kyoung-Hun Lee¹ · Yong-Shin Kang² · Yong-Han Lee¹

¹Department of Industrial and Systems Engineering, Dongguk University-Seoul

²u-SCM Research Center in Nano Information Technology Academy, Dongguk University

Today, many manufacturing companies realize that collaboration is crucial for their survival. Especially, in the perspective of quality, the importance of collaboration is emphasized because economic loss increases exponentially while defective parts go through the process in supply chain. However, the manufacturing companies are facing two main difficulties in implementing collaborative relationships with their suppliers. First, it is difficult for the suppliers to produce reliable products due to their obsolete facilities. The problem gets worse for second- or third-tire vendors. Second, the companies experience the lack of universally understandable set of terminology and effective methodologies for knowledge representation. Ontology is one of the best approaches to expressing and processing a domain knowledge. In this paper, we propose the manufacturing ontology-based quality prediction framework to represent and share the knowledge of industrial environment and to predict product quality in manufacturing processes. In addition, we develop the ontology-based quality prediction system based on the proposed framework. We carried out a series of experiments for an injection molding process at an automotive part supplier. The experimental results demonstrated that the proposed framework and system can be successfully applicable in manufacturing industry.

Keyword: quality prediction, ontology, facility monitoring, collaboration, knowledge representation

1. 서론

오늘날 기업은 보유자산을 최소화하고 핵심역량에 집중하기 위해 고도의 기술력이 필요로 하지 않는 제품에 대해서 협력업체를 통해 부품·모듈을 공급받는 생산 방식을 취하고 있다

(Lee *et al.*, 2006). 이러한 환경에서는 개별 기업의 경쟁력만으로는 성장에 한계가 있기 때문에 공급 사슬을 형성하고 있는 협력업체와의 협업이 중요시 되고 있다(Choi *et al.*, 2006). 이를 위해 제품주문정보, 설계정보, 공정정보, 품질정보, 재고정보, 생산정보 등을 공유하는 수많은 정보기술들이 제시되고 있다

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업(과제번호 10035509)의 연구지원으로 수행되었습니다.

*연락처 : 이용한 교수, 100-715 서울시 중구 필동 3가 26번지 동국대학교 산업시스템공학과,

Fax : 02-2269-2212, E-mail : yonghan@dgu.edu

투고일(2012년 01월 09일), 심사일(1차 : 2012년 01월 24일), 게재확정일(2012년 02월 06일).

(Park *et al.*, 2003; Ryu *et al.*, 2005). 하지만 협력업체의 글로벌화와 협력 관계의 다변화로 인해 공유해야 하는 정보의 양은 엄청나게 증가하고 있으며, 정보 형식, 플랫폼이 상이하기 때문에 이를 효율적으로 관리하는 데에는 막대한 비용과 시간이 요구된다(NIST, 2009). 현재 이런 일련의 문제를 해결하기 위해 미국 상무부의 국립표준기술원(NIST : National Institute of Standards and Technology)은 자국 기업들이 생산과 제조에 있어서 상호 운용성을 갖출 수 있도록 지침과 시험방법 제정을 추진 중에 있다. 이 추진 내용의 핵심은 바로 시맨틱 웹(semantic web)의 구현 기술인 온톨로지(ontology)이다(NIST, 2009). 온톨로지는 관심 있는 영역의 지식을 용이하게 표현하며, 의미기반으로 처리 할 수 있게 함으로써, 컴퓨터가 개념의 의미를 이해하고 개념에 대해 추론할 수 있도록 한다(Horridge *et al.*, 2004). 따라서 기업 간의 정보 공유가 가능하도록 합의된 데이터 모델을 제공해주며, 필요한 정보를 추론할 수 있다. 일찍이 Gartner사의 연구보고에서는 “응용 통합 프로젝트의 80%는 강력한 지식 표현을 사용하는 온톨로지를 기반으로 하게 될 것이다.”라고 언급하여 그 필요성에 대해 역설하였다(Gartner, 2002).

한편, 우리나라의 자동차 산업관련 중소기업 중 공급기업(suppliers)의 비중은 68%(이 중 1차 공급기업 : 60.4%, 2차 공급기업 : 27.3%, 3차 이상 공급기업 : 12.3%)(SMBA, 2009)로 협업이 필요한 대표적인 산업이다. 특히 품질측면에서, 불량을 내포하는 부품이 발견되지 않고 완성차 업체에 공급되고 소비자에게까지 전달되면, 그에 대한 경제적 손실은 기하급수적으로 증가하게 된다. 이를 방지하기 위해 완성차 업체는 공급업체에서 생산되는 제품들의 적정 품질을 확보하기 위해서 품질인증제도(SQ-Mark : Supplier Quality Mark)등을 도입하여 인증 받은 업체에서만 부품을 공급받는 활동을 시행하고 있다(Kim *et al.*, 2007). 하지만 2차, 3차 협력업체로 갈수록 설비가 낙후되어, 작은 환경변화에 따라 민감하게 반응하여 초기 설비의 설정 값이 실제로 정확하게 지켜지지 않아 일관된 품질의 제품 생산을 보장할 수 없다. 또한 생산 및 품질검사에 대해 숙련된 작업자의 경험에 의존하고 있어, 기업은 공급받는 부품에 대해 자체적으로 품질검사를 실시하여 많은 비용과 시간을 소모하고 있다. 실제로 완성차 업체 A사에 Cockpit 모듈을 공급하는 B사는 연간 45~55건의 품질 문제를 제기 받으며, 이중 1~2건은 리콜을 실시한다.

이러한 문제를 배경으로 본 연구에서는 협력업체 간 품질관련 지식의 표현(knowledge representation) 및 품질 예측 정보 공유를 목적으로 온톨로지 기반 품질예측 프레임워크를 제안하고, 제안된 프레임워크를 활용한 시스템을 개발하였다. 또한 모듈 부품 생산성 및 제품품질에 지대한 영향을 미치는 사출성형공정에 시스템을 적용해보고, 결과를 제시함으로써 제안된 시스템의 타당성을 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 온톨로지의 개념, 제조 산업에서의 온톨로지 그리고 품질예측 관련 선행연구를 정리한다. 제 3장에서는 제조 온톨로지 기반 품질예

측 프레임워크를 제안하고, 제 4장에서는 이 프레임워크를 활용한 품질예측 시스템 개발에 대해 설명한다. 제 5장에서는 사출성형공정 사례에 시스템을 적용해보고 그 결과를 토의한다. 마지막으로 제 6장에서는 향후 연구방향을 포함한 결론으로 마무리한다.

2. 배경지식 및 관련연구

2.1 온톨로지

온톨로지는 철학에서 유래되어 자연에 존재하는 것들의 식별과 설명에 관한 학문 분야이다. 최근 정보과학 분야에서 많이 사용되면서 “개념화에 대한 명시적이고 형식적인 명세”(Gruber, 1993)와 같은 기술적 의미를 지니게 되었다. 일반적으로 온톨로지는 클래스(class), 관계(relation), 함수(function), 공리(axiom), 인스턴스(instance)의 다섯 가지 요소로 이루어져 있다. 클래스는 관심 영역의 중요한 개념에 해당하며, 관계는 개념들을 규정하는 속성의 유형을 의미한다. 함수는 관계가 특정 값을 가질 때 성립되는 것이며, 공리는 논리의 전개나 추론에 근거가 되는 것으로 하나의 이론에서 증명 없이 바르다고 하는 명제를 나타낸다. 마지막으로 인스턴스는 이와 같은 요소들이 결합되어진 실제의 값을 의미한다(Lee *et al.*, 2006).

온톨로지 구축을 위한 대표적인 표현 언어로는 RDF(Resource Description Framework), RDFS(Resource Description Framework Schema), DAML(DARPA Agent Markup Language)+OIL(Ontology Interface Layer), OWL(Web Ontology Language)등이 있으며, OWL은 RDF, RDFS, DAML+OIL을 확장한 언어로서 풍부한 의미 표현과 추론기능을 제공한다(W3C, 2004). 또한 속성간의 지식추론을 위한 온톨로지 규칙 표현 언어인 SWRL(Semantic Web Rule Language)은 OWL과 RuleML(Rule Markup Language)의 하부언어인 ‘Unary/Binary Datalog RuleML’을 통합한 언어로서 혼(Horn) 규칙과 OWL 지식베이스와의 통합을 제공한다(W3C, 2004).

온톨로지 구축을 위한 방법론은 목적, 분야에 맞게 다양하게 제시되어 왔다. 대표적인 방법론으로 SENSUS, OTKM(On-To-Knowledge Methodology), Methontology, ONIONS(Ontological Integration Of Naive Sources), Ontology Development 101, Common KADS(Common Knowledge Acquisition and Documentation Structuring) 등이 있으며, 일반적으로 목적 확인, 개념화, 기호화, 기존 온톨로지 통합, 평가, 문서화와 같은 기본 과정으로 이루어져 있다(Kim *et al.*, 2004).

2.2 제조 산업에서의 온톨로지

미국 상무부의 국립표준기술원 연구보고 자료에 따르면, 제조 산업에서의 온톨로지 사용 필요성에 대해 1) 애매모호한 개념 정의를 통한 분명한 의사소통 및 제조 산업 표준 생성, 2) 의

미론적 개념 정립 및 용어의 공유, 3) 차세대 제조 산업의 자동화 및 정보 통합을 위한 인프라 구축을 언급하였다(NIST, 1999). 현재까지 제조 산업에서의 온톨로지 관련 연구의 대부분은 위 3가지 요구를 충족시키는 것을 목적으로 하며, 이러한 목적에 따라 분류할 수 있다.

첫 번째 목적을 가지는 연구들은 수많은 제조 환경에서 적용 가능하도록 일반적인 개념을 상위 온톨로지(Upper ontology or Top-level ontology or Foundation ontology)라는 것으로 정의한 활동이다. 대표적인 연구로는 Cyc(Siegel *et al.*, 2004), SUMO(the Suggested Upper Merged Ontology)(Niles and Pease, 2001), DOLCE(the Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering)(Masolo *et al.*, 2003), GFO(the General Formal Ontology)(Herre *et al.*, 2007), OCHRE(the Object-Centered High-level Reference Ontology)(Schneider, 2003) 등이 있으며, 제조 산업을 포함한 모든 분야에서의 상위 온톨로지 구축을 진행하고 있다. 또한 Borgo and Letiao(2004), Zhou and Rose(2004), Lemaignan *et al.*(2006)은 제조 환경에서 특화된 상위 온톨로지를 구축하였다. <표 1>은 이들이 구축한 상위 온톨로지를 보여준다.

표 1. 상위 온톨로지

연구자	상위 온톨로지
Borgo <i>et al.</i> (2004)	Resource, Product, Process, Order, ProcessPlan, Operation, RawMaterial, Disturbance, Setup
Zhou <i>et al.</i> (2004)	Product, Activity, Actor, Organization, Method, Facility, Value
Lemaignan <i>et al.</i> (2006)	Entities(Geometric entities, Raw material, cost entities), Operation(manufacturing operation, logistic operation, human operation, launching operation), Resource(machine-tools, tools, human resource, geographic resource)

두 번째 목적을 가지는 연구들은 분산된 제조 환경에서 용어의 공유를 위해 중간 가교 역할을 할 온톨로지를 제시하고 그 활용 방법에 대해 서술하였다. Pouchard *et al.*(2000)는 생산 프로세스에 관한 정보화가 진행됨에 따라 관련된 프로그램이 서로 정보를 교환하거나 공동 작업을 하는 대에 있어서, 상호 운영성 제공을 위해 PSL(Process Specification Language : NIST에서 개발한 제조 프로세스를 나타낼 수 있는 온톨로지 언어)의 사용방법을 제시하였다. Lin and Harding(2007)는 분산된 제조 온톨로지 간의 중개역할을 수행하는 MSE(Manufacturing System Engineering)온톨로지 모델을 제시하여 정보의 공유 방법을 제안하였다. Vujasinovic *et al.*(2008)는 이기종의 제조 공급망 어플리케이션에서의 다양한 메시지 포맷을 다루기 위해 의미론적 중개(semantic-mediation) 구조를 제시하였다.

세 번째 목적을 가지는 연구들은 차세대 제조 시스템 인프라 구축을 위한 비즈니스 프로세스 통합, 분산된 에이전트·객체에 온톨로지 적용방법을 서술하였다. Ye and Ding(2009)은 분산된 이기종 환경에서의 지식 통합을 위해 5가지 레벨(tech-

nology support, business process ontology model, knowledge ontology, internet/intranet, application)로 구성되어 있는 온톨로지 기반 비즈니스 프로세스 통합 구조를 제안하였다. Georgoudakis *et al.*(2007)는 분산된 작업현장에서의 지능화 된 에이전트 간의 통신을 위해 온톨로지 사용방법을 제안하였다. Huang(2008)는 동적인 제조 환경에서의 무인 시스템의 운영을 위한 자동 성능 측정을 위해 온톨로지 사용방법을 제안하였다. 이렇듯 제조 온톨로지 모델링과 그 활용방법에 대한 다양한 연구가 소개되었지만 품질관련 온톨로지 구축과 그 활용방법에 대한 연구는 아직까지 전무한 실정이다.

2.3 품질예측 관련 연구

제조 산업에서의 제품 품질예측에 대한 연구는 러프집합이론, 퍼지이론, 다변량 회귀분석, 인공신경망이론, 의사결정나무 등 기계학습 알고리즘을 적용하는 연구가 많이 제안되었다. Tseng *et al.*(2005)은 러프집합이론을 바탕으로 CNC 기계에 설정된 공정 정보를 규칙으로 생성하여 이를 제품 표면 품질 예측에 활용하였다. Chong *et al.*(2011)는 퍼지이론을 바탕으로 커팅기계에서 생산된 제품 표면 품질을 예측하였다. 이 연구들은 규칙기반으로 품질예측 결과에 이르는 과정을 파악할 수 있지만 실시간으로 변경되는 설비의 공정정보는 고려하지 않았다. Zeaiter *et al.*(2011)는 사출성형공정에서 실시간 캐비티 압력 센서데이터를 이용하여 제품의 무게와 치수를 예측하는 다변량 회귀 분석 모델을 제시하였다. Chen *et al.*(2008)은 사출성형공정에서 설정된 사출성형조건 값과 실시간으로 수집된 사출속도, 사출압력을 활용하여 제품 무게를 예측하는 SOM-BPNN 모델을 제시하였다. 이 연구들은 설비의 실시간 공정정보를 고려하였지만 알고리즘의 특성상 예측 결과에 이르는 과정을 파악하기 어려워 품질문제의 원인을 분석하기에 적합하지 않다.

3. 제조 온톨로지 기반 품질예측 프레임워크

본 연구에서 제안하는 프레임워크는 제조 온톨로지 모델로부터 품질 예측하는 과정을 다섯 단계로 나타내었다. <그림 1>은 제안된 프레임워크의 전체적인 구성과 단계별 결과물을 보여준다.

우선 품질 관련 제조 온톨로지를 구축하고(단계 1), 정의된 온톨로지를 참조하여 전문가가 경험을 통해 이미 알고 있는 품질예측 규칙, 의사결정나무 분석기법을 통해 도출한 품질예측 규칙을 정의한다(단계 2). 이를 바탕으로 센서데이터로부터 추출한 실시간 공정정보(제품 인스턴스별 실시간 공정변수의 최댓값, 적분값 등)와 규칙을 매칭하여 품질을 예측하게 된다(단계 3). 예측된 결과는 작업자에게 전달되어 적절한 품질 관리 활동을 할 수 있게 하며(단계 4), 제조 공정의 반복에 따라 새로운 품질문제 예측규칙을 생성하기 위해 품질정보(양품,

불량품)와 실시간 공정정보를 이용하여 새로운 품질예측 규칙을 도출한다(단계 5). 도출된 규칙은 규칙 모델링을 통해 모델링되는 순환 구조의 프레임워크이다.

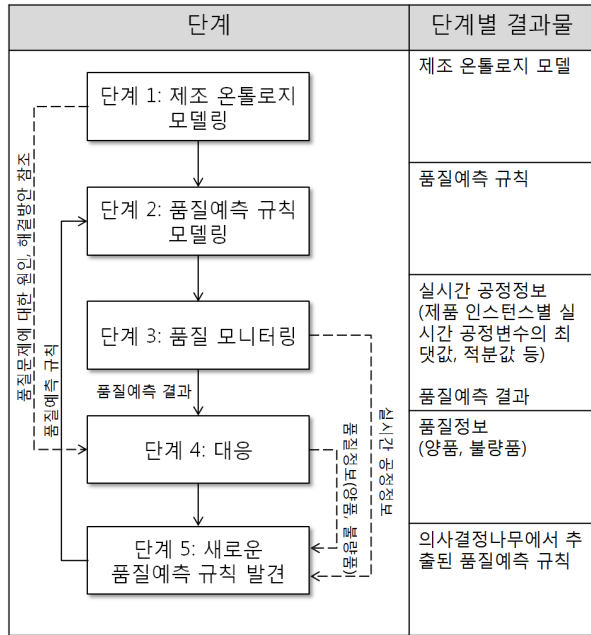


그림 1. 제조 온톨로지 기반 품질예측 프레임워크

3.1 단계 1 : 제조 온톨로지 모델링

온톨로지는 적용 범위에 있어서 크게 상위 온톨로지와 하위 온톨로지로 구분할 수 있다. 상위 온톨로지란 다양한 영역에 적용될 수 있는 상식적인 개념들을 정의하여 우리가 일반적으로 이해하고 있는 현실 세계를 표현한 것이다. 반면 하위 온톨로지는 특정 영역의 현실 세계를 구체화하는 것을 목적으로 하고 있다. 따라서 이 단계에서는 여러 제조 분야에서의 품질 정보 활용에 기반이 되는 상위 온톨로지와 이를 바탕으로 특정 영역에서 품질 추론을 위한 하위 온톨로지를 모델링한다. 상위 온톨로지는 현재 구축되어 있는 Cyc, SUMO, DOLCE, GFO, OCHRE 등과 같은 지식 베이스를 참조하여 제품, 품질, 설비, 생산 등의 개념을 정립하여 <그림 2>와 같이 정의하였다. Resource 클래스는 작업자, 기계, 도구, 센서를 나타내기 위해 각각 HumanResource, MachineResource, Tool, Sensor 하위클래스를 가지는 형태로 정의하였으며, 제조 공정 작업(예 : 밀링, 건조)은 Operation 클래스로 정의하였다. 제조 공정작업에서의 기계 설정 값을 표현하기 위해 Setup 클래스를 정의하였으며, 작업 일정, 작업에 따른 Resource 사용, 작업량을 나타내기 위해 WorkOrder 클래스 정의하였다. Product와 Material 클래스를 정의하여 제품과 재료를 표현하였으며, 제품의 품질은 그에 따른 원인에 의해 발생하고, 원인은 그에 따른 해결책을 가지고 있다는 의미를 부여할 수 있게 하기 위해 각각 Quality, Cause, Solution 세 가지 품질 관련 클래스를 정의하였다.

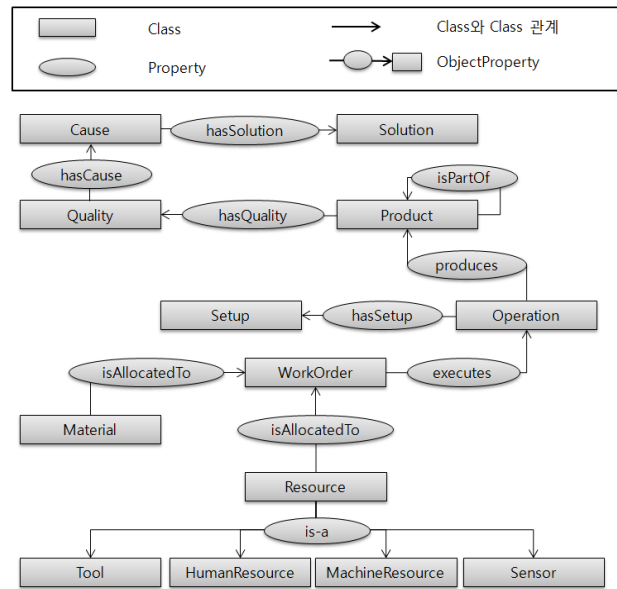


그림 2. 상위 온톨로지 구조

하위 온톨로지는 정의된 상위 온톨로지의 하위 클래스나 인스턴스로 정의된다. 특정 영역을 구체화하고 체계화하기 알맞은 온톨로지 구축방법론인 Ontology Development 101(Noy and McGuinness, 2000)을 참조하여 다음과 같이 6개의 단계로 모델링을 진행하여 구축한다:

- ① 온톨로지의 영역과 범위를 결정
- ② 품질과 관련된 어휘 수집
- ③ 독립적인 존재를 갖는 개체를 클래스로 정의
- ④ 클래스의 계층 구조 정의
- ⑤ 클래스의 속성 및 관계 정의
- ⑥ 인스턴스 생성

3.2 단계 2 : 품질예측 규칙 모델링

이 단계에서는 단계 1에서 정의된 상위·하위 온톨로지를 바탕으로 품질예측 규칙을 if-then 형태로 정의한다. 예를 들어, <그림 3>은 단계 1에서 제시된 상위 온톨로지 클래스인 제품(Product)과 품질(Quality)에 인스턴스(P1, P2, Q1, Q2)와 실시간 공정정보를 나타내는 속성(hasFeature1, hasFeature2)을 정의한 상위·하위 온톨로지 모델이다. 이를 바탕으로 <표 2>와 같이 정의된 규칙은 제품 클래스의 어떤 인스턴스가 가지는 속성 값 hasFeature1가 50보다 크고 hasFeature2가 100보다 작으면, 그 인스턴스는 Q1이라는 품질을 가진다는 것을 의미한다. 품질예측 규칙은 온톨로지 개념에 대한 속성간의 지식추론이 필요하며, 이는 온톨로지 규칙 언어인 SWRL을 통해 <표 2>와 같이 표현된다. 정의되는 규칙은 지식에 출처에 따라 두 가지 형태로 구분된다. 하나는 전문가가 경험을 통해 이미 알고 있는 품질예측 규칙이며, 다른 하나는 데이터마이닝 기술을 통해 도출한 품질예측 규칙이다.

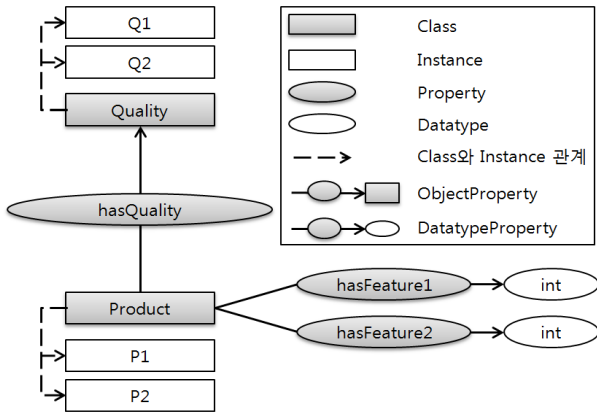


그림 3. 품질예측 규칙 생성을 위한 온톨로지의 예

표 2. 서술논리로 표현한 품질예측 규칙의 예

규칙
$Product(?x) \wedge hasFeature1(?x, ?y) \wedge hasFeature2(?x, ?z) \wedge swrlb : greaterThan(?y, 50) \wedge swrlb : lessThan(?z, 100) \rightarrow hasQuality(?x, Q1)$

3.3 단계 3 : 품질 모니터링

이 단계에서는 단계 2에서 정의된 품질예측 규칙과 센서데이터로부터 추출한 실시간 공정정보를 매칭시켜 품질예측을 수행한다. 실시간 공정정보는 <그림 4>와 같이 센서로부터 얻은 공정변수 곡선의 특징을 추출하여 구성한다.

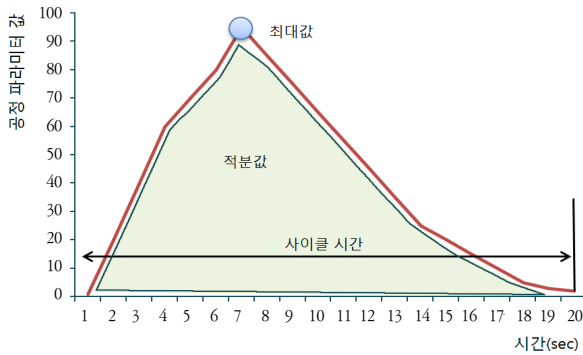


그림 4. 제품 당 공정 데이터 추출

품질예측에서의 온톨로지 활용은 일반적으로 지속적으로 생산되는 제품 인스턴스를 온톨로지 저장소에 저장할 것인지에 따라 두 가지 방법으로 생각될 수 있다. 첫 번째는 제품 인스턴스를 온톨로지 저장소에 저장하지 않고 온톨로지 저장소에 저장된 품질규칙을 이용하여 제품 인스턴스에 대한 품질을 예측하고 그 결과를 인스턴스화하여 온톨로지 저장소에 저장하는 방법이다. 두 번째는 제품 인스턴스를 온톨로지 저장소에 저장하고 온톨로지 및 규칙 엔진의 추론에 의해 품질을 예측하는 방법이다. 첫 번째 방법은 온톨로지를 단순히 데이터 저장 공간으로만 활용하는 것으로써 온톨로지의 확장성과 범용

성의 장점을 이용하지 못한다. 현재 JESS(Java Expert System Shell)와 같은 규칙기반 추론엔진과 연동한 온톨로지 추론기술이 개발되어 두 번째 방법 활용이 가능해졌다(O'Connor, 2004). 실시간 정보를 다루는 본 연구와 유사한 상황인지 분야에서는 주로 두 번째 방법을 택하고 있으며(Lee et al., 2007), 본 연구에서도 또한 두 번째 방법을 사용한다.

3.4 단계 4 : 대응

이 단계에서는 정의된 온톨로지와 품질 추론 결과를 활용하여 적절한 품질 대응을 한다. 또한 새로운 품질예측 규칙을 발견하기 위해 품질검사 작업자가 품질정보(양품, 불량품)를 단계 5에 제공한다. 시스템 사용자에게 따라 4가지 형태의 대응이 가능해진다. 첫째 생산 작업자는 품질 예측 결과를 바탕으로 모델링 된 온톨로지를 참조하여 문제에 따른 원인과 해결책을 기계 설정 값에 반영하여 품질문제를 예방할 수 있다. 설비 관리자는 빈번한 품질 문제 발생에 의한 설비의 상태를 전달받아 유지보수에 활용할 수 있다. 품질 검사 작업자는 예측된 결과를 전수 검사 및 샘플링 검사에 반영하여 신뢰도 향상에 기여할 수 있다. 협력업체는 제품 생산 정보를 실시간으로 확인하고, 관리하는 시스템으로 활용이 가능하다.

3.5 단계 5 : 새로운 품질예측 규칙 발견

이 단계에서는 의사결정나무를 이용하여 품질문제 예측규칙을 발견한다. 의사결정나무는 의사결정규칙을 트리구조로도 표화하여 관심대상이 되는 몇 개의 소집단으로 분류하거나 예측을 수행하는 분석방법이다. 이 방법은 분류 또는 예측의 과정이 if-then 형태의 규칙으로 표현되기 때문에 다른 데이터마이닝 기법에 비해 연구자가 분석과정을 쉽게 이해하고 설명할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 품질예측 규칙으로의 변환과 품질문제 원인분석에 용이하다. 단계 3에서 수집된 실시간 공정정보를 독립 변수로 설정하고, 단계 4에서 수집된

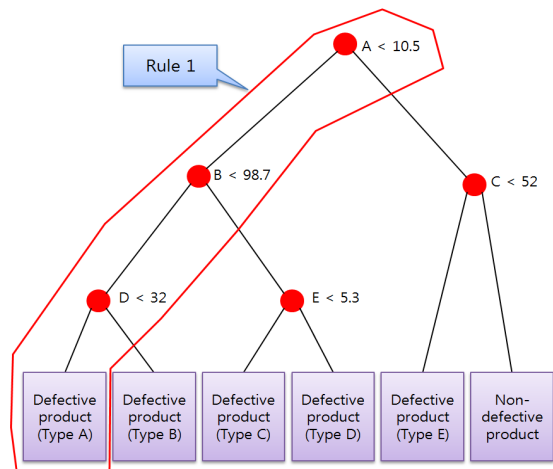


그림 5. 의사결정나무를 이용한 품질예측 규칙 추출

제품의 품질정보를 종속 변수로 설정하여 <그림 5>와 같이 품질예측 규칙을 발견한다. <그림 5>는 실시간 공정정보에 범위에 따라 품질이 분류되어지고 이를 규칙으로 변환시키는 예시이다.

4. 제조 온톨로지 기반 품질예측 시스템

제조 온톨로지 기반 품질예측 프레임워크를 따르는 시스템은 Java 언어를 기반으로 개발되었으며, 오픈 소스 웹 서버(glassfish 3.0.1)기반 웹 서비스 형태로 구현되었다. 구현된 시스템은 세 가지의 기능을 포함한다. 첫째 온톨로지 및 규칙의 저장·수정·추가 기능, 둘째 센서데이터로부터 실시간 공정정보 추출 및 의사결정나무를 이용한 품질 예측규칙 생성 기능, 셋째 실시간 공정정보와 품질예측 규칙 매칭을 통한 품질예측 기능이다. <그림 6>은 위의 세 가지 기능을 포함하는 시스템 구조이며, 애플리케이션·엔진·저장소로 구성된다. 각 구성요소에 대한 설명은 다음과 같다:

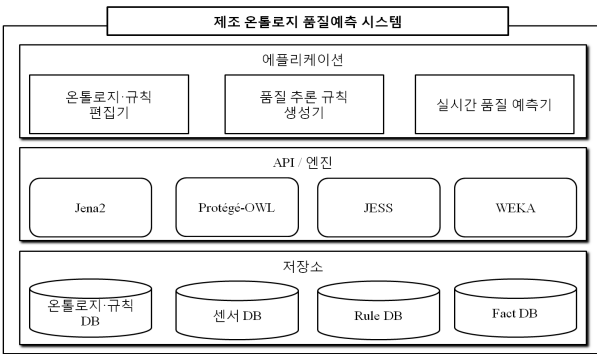


그림 6. 제조 온톨로지 기반 품질예측 시스템 구조

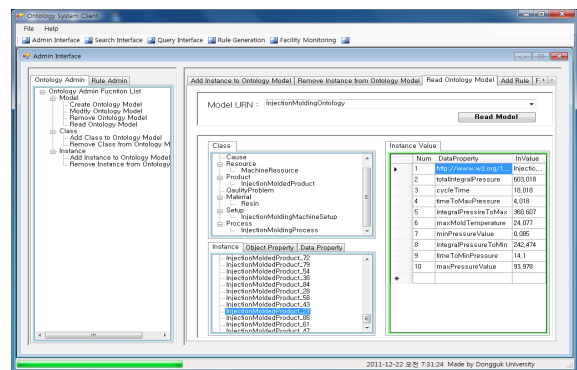
① 애플리케이션

- 온톨로지·규칙 편집기 : 품질예측을 위한 제조 온톨로지 및 품질예측 규칙을 모델링하는 역할을 한다.
- 품질 추론 규칙 생성기 : 실시간으로 수집되는 센서데이터로부터 사이클 시간, 최댓값, 적분값 등을 추출하여 실시간 공정정보를 생성하고, 생성된 공정정보를 독립변수로, 제품 당 품질 정보를 종속변수로 설정하여 의사결정나무 분석기법을 통해 품질예측 규칙을 생성하는 역할을 한다.
- 실시간 품질 예측기 : 실시간 공정정보와 품질예측 규칙을 매칭시켜 제품의 품질을 추론하는 역할을 한다.

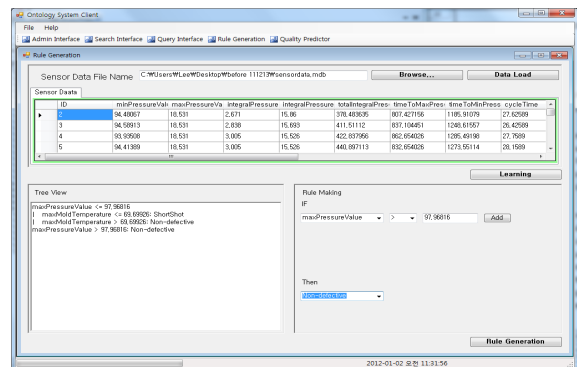
② 엔진

- Jena2 : HP Lap에서 개발한 온톨로지 및 규칙 처리 엔진으로 OWL, SWRL로 표현된 온톨로지 및 규칙을 저장·조회·추론을 수행하는 역할을 한다.
- Protege-OWL : Stanford 대학교에서 개발한 온톨로지 및 규칙 처리엔진으로 OWL을 Jess의 Fact언어로, SWRL을 Jess의 Rule언어로 변환하는 역할을 수행한다.

- JESS : 새로운 Fact들이 들어올 경우 이미 정의해 놓은 Rule에 의해 추론이 되는 엔진으로 실시간 품질 예측기에서의 품질 예측을 위한 API 제공하는 역할을 한다.
 - WEKA : 인공지능망, 의사결정나무 등의 데이터 마이닝을 지원하는 엔진으로 품질추론 규칙 생성기에 의사결정나무 분석 API를 제공하는 역할을 한다.
- ③ 저장소
- 온톨로지·규칙 DB : 제조 온톨로지 및 품질문제 예측규칙 (온톨로지 언어로 표현) 저장소
 - Fact DB : 규칙 기반 지식 추론을 위한 Fact 저장소
 - Rule DB : 품질예측 규칙(JESS 언어로 표현) 저장소
 - 센서 DB : 실시간 설비 센서 데이터 저장소



(a) 온톨로지·규칙 편집 실행화면



(b) 품질 추론 규칙 생성기 실행화면



(c) 실시간 품질 예측기 실행화면
그림 7. 개발 시스템의 화면 예시

구현된 시스템의 온톨로지 · 규칙 편집기, 품질 추론 규칙 생성기, 실시간 품질 예측기 실행화면은 각각 <그림 7>(a)~<그림 7>(c)와 같다.

5. 실험 적용 : 사출성형공정

5.1 실험개요

본 실험에서는 제안된 프레임워크와 시스템의 적용 가능성 검증을 위하여 자동차 모듈부품 전체 공급사슬의 최하단부에 위치하고 있지만 모듈부품 생산성 및 제품품질에 지대한 영향을 미치는 사출성형공정을 타겟 프로세스로 설정하였다.

(1) 플라스틱 사출 성형의 특징

플라스틱 사출성형품의 품질은 사출성형변수(사출속도, 사출압력, 보압, 보압절환점 노즐온도, 냉각수온도, 보압시간, 냉각시간)에 따라 다르게 나타나므로 최적사출성형조건 설정이 중요하다. 하지만 최적의 사출성형조건으로 제품을 생산하더라도 용융수지가 금형 캐비티를 채우는 과정을 확인할 수 없으며, 사출성형기가 노후화되면 압력 손실과 온도 등 환경변화에 따라서도 민감하게 반응하므로, 설정된 사출성형조건이 실제로 정확하게 지켜지는지 알기 어렵다(Zeater et al., 2011, Tsai et al. 2009, Postawa et al., 2005). 이 때문에 제품 양산 단계에서 품질 불량 발생되고 있으며, 이를 해결하기 위해 작업자의 경험에 의존한 문제해결(trouble shooting)에 많은 시간과 비용을 소모하고 있다. 또한 이와 같은 품질 불량은 사출성형기의 종류, 수지 재료의 종류, 사출성형품의 형상이나 치수 등의 설계변수, 금형의 구조 특성 등에도 밀접하게 연관되어 있어 금형업체, 발주기업, 수주기업 간의 품질정보 공유가 요구된다.

(2) 사출성형품의 품질문제 종류 및 예측 대상

사출성형품의 품질문제에는 미성형(short shot), 플래시(flash or burr), 싱크 마크(sink mark), 플로 마크(flow mark), 은줄(silver streak), 웰드 라인(weld Line), 제팅(jetting), 크레이징(crazing) 및 크랙(crack), 탄화자국(black streak), 기포(void), 편육(deflection), 휨(warpage)등이 있으며 본 실험에서는 제일 빈번하게 발생하고 육안으로 쉽게 구별이 가능한 미성형을 타겟 품질문제로 설정하였다.

(3) 실시간 공정 변수

본 실험에서는 미성형을 예측하기 위해 캐비티 압력과 금형 내부 온도 데이터를 센서를 이용하여 실시간으로 수집하였다. 캐비티 압력은 사출성형변수(사출압력, 사출속도, 사출시간, 보압, 보압시간, 냉각시간)와 주변 성형 환경이 모두 반영된 최종 결과로서, <그림 8>과 같이 성형품의 충전, 압축, 고화 과정을 자세히 보여준다. 따라서 금형 캐비티 내에 압력센서를 설치, 사출과정 중 시간에 따른 압력 변화를 측정하면 품질과

의 직접적인 연관 관계를 가장 정확하게 알아 낼 수 있다. 금형 내부 온도는 용융된 수지와 냉각수온도로써 결정되어지므로 사출공정에서의 온도를 대변할 수 있다.

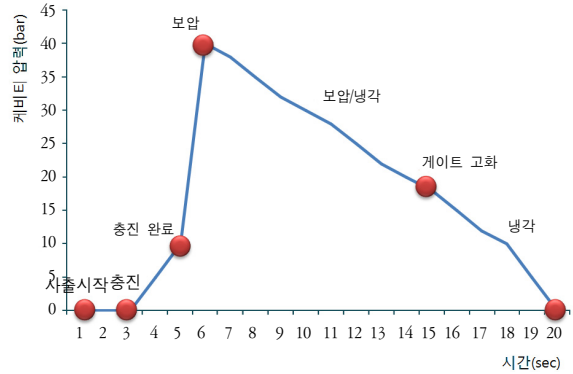


그림 8. 캐비티 압력 곡선

따라서 센서들로부터 수집된 캐비티 압력 곡선과 금형내부 온도 곡선에서 추출할 수 있는 실시간 공정변수 9가지를 정의하였으며 <표 3> 과 같다.

표 3. 추출된 실시간 공정변수

실시간 공정변수	설명
minPressureValue	최소압력 값
maxPressureValue	최대압력 값
integralPressureToMax	사이클 시작에서 최대압력 값까지의 압력곡선 적분 값
integralPressureToMin	최대압력 값에서 사이클 끝까지 압력곡선 적분 값
totalIntegralPressure	사이클 시작에서 끝까지 압력곡선 적분 값
timeToMaxPressure	사이클 시작에서 최대압력 값까지의 시간
timeToMinPressure	최대압력 값에서 사이클 끝까지의 시간
cycleTime	사이클 시간
maxMoldTemperature	최대금형온도 값



그림 9. 실험에 사용된 사출성형기

(4) 실험 장비 및 재료

본 실험에는 <그림 9>과 같이 Arburg 사의 25톤 유압식 사출성형기(최대 사출압력 : 1570bar)를 사용하였다. 금형 캐비티 압력 및 금형 내부 온도 측정 데이터는 Kistler 사의 센서를 통하여 수집하였다. 제품은 <그림 10> 과 같이 사각 형상(크기 : 30mm×30mm×3mm)이며, 재료는 LG 케미칼의 ABS(Grade : HF 380)을 사용하였다.



그림 10. 실험에 사용된 제품 모양

5.2 실험계획

실험은 다양한 캐비티 압력 및 금형 내부 온도에서의 품질 추론을 위해 사출속도, 보압절환점, 냉각수온도에 대하여 3수준의 L₉ 직교배열표를 이용한 다구찌 실험을 진행하였다. <표 4>는 3인자 3수준의 실험을 정의한 것이며, <표 5>은 L₉ 직교배열표에 따른 실험을 나타낸다.

표 4. 3인자 3수준

	1수준	2수준	3수준
사출 속도(cm/sec)	3	4	5
보압절환점(ccm)	1.5	2	2.5
냉각수 온도(°C)	10	30	50

표 5. L₉ 직교배열표에 따른 실험

실험번호	냉각수 온도	사출속도	보압절환점
1	10	3	1.5
2	10	4	2
3	10	5	2.5
4	30	3	2
5	30	4	2.5
6	30	5	1.5
7	50	3	2.5
8	50	4	1.5
9	50	5	2

그 이외의 조건인 노즐온도, 보압시간, 냉각시간, 보압은 모

두 동일하게 적용하였다. 각각의 실험은 30번씩 반복 수행하여 총 270개 실험을 진행하였으며, 0.2초 단위로 캐비티 압력과 금형 내부온도를 수집하였다. 또한 육안으로 미성형을 확인하여 270개 제품의 품질을 양품과 미성형으로 구분하여 수집하였다.

5.3 제조 온톨로지 기반 품질예측 프레임워크 적용

(1) 단계 1 : 제조 온톨로지 모델링

제조 온톨로지 기반 품질예측 프레임워크에서 제시된 상위 온톨로지를 기반으로 사출성형공정에서의 품질 추론을 위한 하위 온톨로지를 구축하였다. 하위 온톨로지는 품질예측에 필요한 사출성형기, 재료, 제품, 사출성형프로세스, 센서, 센서데이터로부터 추출된 특징, 설정된 사출성형조건, 품질문제, 품질문제에 따른 원인 및 해결책으로 상위 온톨로지의 하위 클래스, 인스턴스, 속성으로 표현하였다. <그림 11>은 본 실험에서의 사출성형품 품질 예측을 위해 사용되는 하위 온톨로지 구조를 나타낸다.

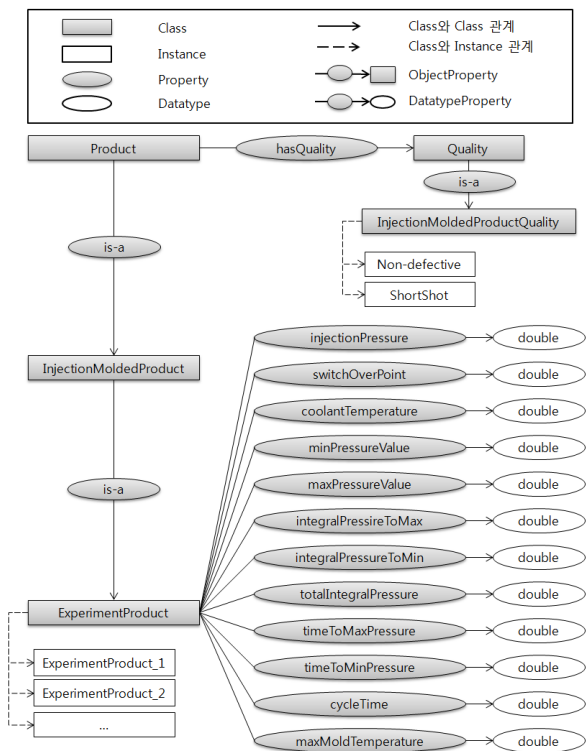


그림 11. 사출성형품 품질 예측을 위한 하위 온톨로지 구조

제시된 온톨로지 구조는 상위 온톨로지에서의 Product 클래스의 하위 클래스로 사출성형 제품을 나타내는 Injection Molded Product 클래스, 그리고 이 클래스의 하위 클래스로 실험에 사용된 제품을 표현하는 ExperimentProduct 클래스를 정의하였다. 또한 Quality 클래스의 하위 클래스로 사출성형품의 품질을 InjectionMoldedProductQuality 클래스로 정의하였다. ExperimentProduct 클래스는 각 실험에서 사출된 270개의 제품 인스턴스를

가지며, InjectionMoldedProductQaulity 클래스는 양품(Non-defective)과 미성형(ShortShot) 인스턴스를 갖는다. 또한 ‘제품은 품질 가지고 있다’는 클래스간의 관계(hasQuality), 제품이 생산될 때의 설정된 사출성형변수(injectionPressure, switchOverPoint, coolantTemperature)와 실시간 공정변수(minPressureValue, maxPressureValue, integralPressureToMax, integralPressure ToMin, totalIntegralPressure, timeToMaxPressure, timeToMin Pressure, cycleTime, maxMoldTemperature)을 정의하였다.

(2) 단계 2: 품질예측 규칙모델링

실험에 앞서 전문가와의 인터뷰를 통해 9개의 실험조건에서 예상되는 제품의 품질을 <표 6>과 같은 품질예측 규칙으로 모델링하였다. 규칙 1을 예를 들어 설명하면, 첫 번째 실험조건으로 실험을 진행하면 일반적으로 양품이 나온다는 작업자의 지식을 표현한 것이다. 의사결정나무 분석기법을 통해 도출한 품질예측 규칙은 단계 5를 거쳐 모델링됨으로 흐름상 단계 5에서 설명한다.

(3) 단계 3: 품질 모니터링

정의된 품질예측 규칙은 실험 제품 인스턴스가 가지는 사출성형변수 값에 따라 제품 인스턴스와 품질 인스턴스의 관계(hasQuality)를 연결시켜 품질을 추론한다. 예측 결과 94%의 높은 예측결과를 보였고, 이는 현장 작업자들의 경험으로부터 만들어진 지식이 시스템화되어 공유되어야 함을 강조 설명한다.

(4) 단계 4: 대응

품질예측 결과를 바탕으로 품질문제에 따른 원인과 해결책

을 개발된 온톨로지 시스템을 통해 <그림 12>와 같이 살펴보았다. 미성형의 원인인 낮은 사출압력(LowInjectionPressure), 느린 수지흐름(SlowResinFlow), 낮은 금형온도(LowMoldTemperature), 수지 공급부족(LackOfResin), 강한 런너저항(HighResistanceOfRunner)과 해결책인 사출압력높임(IncreaseInjectoPressure), 실린더온도높임(IncreaseCylinderTemperature), 사출속도높임(IncreaseInjectionVelocity), 수지공급추가(IncreaseResin), 금형온도높임(IncreaseMoldTemperature)의 인스턴스들이 검색됨을 확인할 수 있었다.

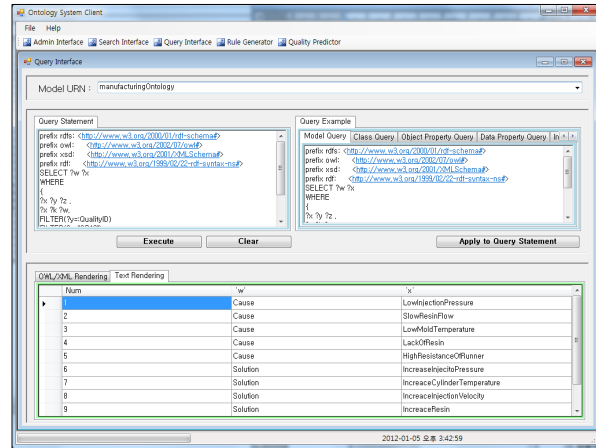


그림 12. 품질문제에 따른 원인 및 해결책

(5) 단계 5: 새로운 품질예측 규칙 발견

의사결정나무 기법을 이용하여 품질 예측 규칙을 발견하기 위하여 총 270개의 데이터 중 무작위로 선정한 180개의 데이터로 훈련 셋을 구성하여 분류 모형(classifier model)을 생성하였으

표 6. 전문가 경험에 의한 품질예측 규칙

규칙번호	규칙
1	ExperimentProduct(?x) ^ injectionPressure(?x, ?y) ^ switchOverPoint(?x, ?z) ^ coolantTemperature(?x, ?t) ^ swrlb : equal(?y, 3) ^ swrlb : equal(?z, 1.5) ^ swrlb : equal(?t, 10) → hasQaulity(?x, Non-defective)
2	ExperimentProduct(?x) ^ injectionPressure(?x, ?y) ^ switchOverPoint(?x, ?z) ^ coolantTemperature(?x, ?t) ^ swrlb : equal(?y, 4) ^ swrlb : equal(?z, 2) ^ swrlb : equal(?t, 10) → hasQaulity(?x, Non-defective)
3	ExperimentProduct(?x) ^ injectionPressure(?x, ?y) ^ switchOverPoint(?x, ?z) ^ coolantTemperature(?x, ?t) ^ swrlb : equal(?y, 5) ^ swrlb : equal(?z, 2.5) ^ swrlb : equal(?t, 10) → hasQaulity(?x, ShortShot)
4	ExperimentProduct(?x) ^ injectionPressure(?x, ?y) ^ switchOverPoint(?x, ?z) ^ coolantTemperature(?x, ?t) ^ swrlb : equal(?y, 4) ^ swrlb : equal(?z, 2) ^ swrlb : equal(?t, 30) → hasQaulity(?x, ShortShot)
5	ExperimentProduct(?x) ^ injectionPressure(?x, ?y) ^ switchOverPoint(?x, ?z) ^ coolantTemperature(?x, ?t) ^ swrlb : equal(?y, 4) ^ swrlb : equal(?z, 2.5) ^ swrlb : equal(?t, 30) → hasQaulity(?x, ShortShot)
6	ExperimentProduct(?x) ^ injectionPressure(?x, ?y) ^ switchOverPoint(?x, ?z) ^ coolantTemperature(?x, ?t) ^ swrlb : equal(?y, 5) ^ swrlb : equal(?z, 1.5) ^ swrlb : equal(?t, 30) → hasQaulity(?x, Non-defective)
7	ExperimentProduct(?x) ^ injectionPressure(?x, ?y) ^ switchOverPoint(?x, ?z) ^ coolantTemperature(?x, ?t) ^ swrlb : equal(?y, 3) ^ swrlb : equal(?z, 2.5) ^ swrlb : equal(?t, 50) → hasQaulity(?x, Non-defective)
8	ExperimentProduct(?x) ^ injectionPressure(?x, ?y) ^ switchOverPoint(?x, ?z) ^ coolantTemperature(?x, ?t) ^ swrlb : equal(?y, 4) ^ swrlb : equal(?z, 1.5) ^ swrlb : equal(?t, 50) → hasQaulity(?x, Non-defective)
9	ExperimentProduct(?x) ^ injectionPressure(?x, ?y) ^ switchOverPoint(?x, ?z) ^ coolantTemperature(?x, ?t) ^ swrlb : equal(?y, 5) ^ swrlb : equal(?z, 2) ^ swrlb : equal(?t, 50) → hasQaulity(?x, Non-defective)

며, 나머지 90개의 데이터로 모형을 테스트하였다. <표 7>은 학습을 통하여 생성된 새로운 품질예측 규칙이다.

표 7. 추출된 품질 예측 규칙

규칙 번호	규칙
1	ExperimentProduct(?x) ^ maxPressureValue(?x, ?y) ^ swrlb : greaterThan(?y, 97.96816) → hasQuality(?x, Non-defective)
2	ExperimentProduct(?x) ^ maxPressureValue(?x, ?y) ^ maxMoldTemperature(?x, ?z) ^ swrlb : lessThanOrEqual(?y, 97.96816) ^ swrlb : greaterThan(?z, 69.59974) → hasQuality(?x, Non-defective)
3	ExperimentProduct(?x) ^ maxPressureValue(?x, ?y) ^ maxMoldTemperature(?x, ?z) ^ swrlb : lessThanOrEqual(?y, 97.96816) ^ swrlb : lessThanOrEqual(?z, 69.59974) → hasQuality(?x, ShortShot)

추출된 규칙 3번을 예를 들어 설명하면 실험제품(Experiment Product) 클래스의 어떤 인스턴스 x가 가지는 실시간 공정정보 속성 최대 캐비티 압력값(maxPressureValue)이 97.96816보다 작거나 같고, 최대 금형내부온도 값(maxMoldTemperature)이 69.59974보다 작거나 같으면, 그 인스턴스는 미성형(ShortShot)이라는 품질을 가진다는 규칙이다. <표 8>는 실험에 사용된 일부 제품 인스턴스에 대한 실시간 공정 변수 값과 그 예측 결과를 나타낸다. 품질예측 결과 90개의 테스트 셋 중 89개가 정확히 추론된 98.9%의 예측력을 보였다.

6. 결 론

본 연구에서는 협력업체 간 품질관리를 위한 품질관련 지식의 표현 및 품질 추론을 목적으로 제조 온톨로지를 기반으로 하는 총 다섯 단계로 이루어진 품질예측 프레임워크를 제안하였다. 제안된 프레임워크를 활용한 시스템은 온톨로지 및 규칙의 저장·수정·추가 기능, 센서데이터로부터 실시간 공정정보 추출 및 의사결정나무를 이용한 품질 예측규칙 생성 기능, 실시간 공정정보와 품질예측 규칙 매칭을 통한 품질예측 기능을 수행하도록 개발되었다. 또한 제안된 프레임워크 및 시스템을 사출성형공정이라는 협력업체 간 품질관리가 필요한 대표적인 생산공정에 적용하여 타당성을 검증하였다.

본 연구결과는 온톨로지 활용 측면에서, 협력업체 간 공동 어휘체계 제공으로 인한 협업적 품질 관리, 숙련된 작업자의 지식 체계화(지식의 공유)에 기여할 것으로 기대된다. 또한 품질예측 측면에서, 품질예측을 통한 품질원인 및 해결책의 가시성 확보, 품질예측을 통한 설비 설정 값 재정립, 품질예측을 통한 품질 검사의 작업 신뢰도 향상에 기여할 것으로 기대된다.

향후에는 사출성형에서의 품질문제를 미성형으로만 국한시키지 않고 다양한 품질문제를 예측할 수 있는 추가 실험을 예정하고 있으며, 자동차 제조 현장의 사출성형공정 및 타 공정에 본 연구에서 제안한 프레임워크와 시스템을 적용할 예정이다.

참고문헌

Borgo, S. and Leita, P. (2004), The role of foundational ontologies in manu-

표 8. 실험에 사용된 제품 인스턴스에 대한 실시간공정변수 값과 그 예측결과

InstancelD	injection Pressure	switch Over Point	coolant Temperature	minPressure Value	max Pressure Value	integral Pressure ToMax	integral Pressure ToMin	total Integral Pressure	timeTo Max Pressure	timeTo Min Pressure	cycle Time	maxMold Temperature	Quality (Non-defective-N, Short Shot-S)	Prediction Result (o, x)
1	5	2.5	10	0.954	96.94	346.06	340.11	686.16	3.221	12.795	16.016	26.409	S	o
2	5	2.5	10	0.664	106.26	296.99	305.34	602.33	4	12.617	16.617	26.684	N	o
3	5	2.5	10	0.551	105.43	344.51	273.98	618.50	5.383	12.434	17.817	26.645	N	o
4	5	2.5	10	0.401	96.61	338.32	246.44	584.75	5.566	14.054	19.62	26.605	S	o
5	5	2.5	10	0.396	92.23	317.98	262.62	580.60	3.946	13.872	17.818	26.176	S	o
6	5	2.5	10	0.358	105.79	308.25	361.74	669.99	3.128	14.69	17.818	26.596	N	o
7	5	2.5	10	0.356	102.34	313.19	335.99	649.19	3.31	14.508	17.818	26.987	N	o
8	5	2.5	10	0.412	95.71	305.31	289.64	594.95	3.492	14.325	17.817	26.973	S	o
9	5	2.5	10	0.017	97.50	339.13	292.19	631.32	3.675	14.143	17.818	26.966	S	o
10	5	2.5	10	0.244	94.52	336.59	243.95	580.54	3.857	13.961	17.818	26.575	S	o
11	5	2.5	10	0.210	93.45	278.35	320.93	599.28	4.038	13.779	17.818	26.507	S	o
12	5	2.5	10	0.101	110.66	360.06	311.45	671.51	3.221	14.597	17.818	27.171	N	o
13	4	2	10	1.277	104.53	386.85	216.10	602.95	7.618	17.618	24.738	24.739	N	o

- facturing domain applications, *Lecture Notes in Computer Science*, 3290/2004, 670-688.
- Chen, W. C., Tai, P. H., Wang, M. W., Deng W. J., and Chen, C. T. (2008), A neural network-based approach for dynamic quality prediction in a plastic injection molding process, *Expert Systems with Applications*, 35, 843-849.
- Choi, H. R., Hyun, S. Y., Lim, H. S., and Yoo, D. Y. (2006), Design of Collaborative Production and Supply Planning System based on ebXML, *Information System Review*, 8(1), 1-24.
- Chong, Z. S., Mohzani, M., Chin, J. F., and Yupiter, H. P. (2011), Approach to prediction of laser cutting quality by employing fuzzy expert system, *Expert Systems with Applications*, 38, 7558-7568.
- Gartner (2002), Semantic Web Technologies Take Middleware to Next Level, Gartner.
- Georgoudakis, M., Alexakos, C., Kalogeras, A. P., Gialelis, J., and Koubias S. (2007), Methodology for the efficient distribution a manufacturing ontology to a multiagent system utilizing a relevant Meta-Ontology, Emerging Technologies and Factory Automation, 2007. ETFA. IEEE Conference on, 25th ~28th September, Rion, Greece, 1210-1216 .
- Gruber, T. R. (1993), A translation approach to portable ontology specifications, *Knowledge Acquisition*, 5, 199-220.
- Herre, H., Heller, B., Burek, P., Hoehndorf, R., Loebe, F., and Michalek, H. (2007), General Formal Ontology (GFO) : A Foundational Ontology Integrating Objects and Processes. Part I : Basic Principles. Research Group Ontologies in Medicine (Onto-Med), University of Leipzig.
- Horridge, M., Konublauch, H., Rector, A., and Stevens, R. (2004), A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using The Protege-OWL Plugging and CO-ODE Tool, University of Manchester and Stanford University.
- Huang, H. M. (2008), Ontological Perspectives for Autonomy Performance, Proceeding PerMIS Proceedings of the 8th Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems, 19th~21th August, Gaithersburg, MD, USA, 101-107.
- Kim, T. M. and Shin, H. J. (2007), A Study on the Forward Method of 'Single PPM Quality Innovation' for Special type : Focused on Mold Industry, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 30(4), 85-95.
- Kim, E. K. and Nam, Y. J. (2004), The Comparative Study on the Methodologies of Building Ontology toward Semantic Web, *Korea Institute of Science and Technology Information*, 35(2), 57-85.
- Lee, J. Y. (2006), Implementation Strategy on Ontology-based System for Task Management and Analysis, National Research Foundation of Korea.
- Lee, M. H., Kim, H. S., and Kim, N. H. (2006), Design and Implementation of the Web Service Based Collaborative Production Management System, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 29(3), 78-86.
- Lee, S. C., Kim, C. S., and Lim, J. H. (2007), Solving the ambiguity of an Intention Reasoning using Context-Awareness Architecture based on Ontology, *Korean Society for Internet Information*, 8(5), 99-108.
- Lemaignan, S., Siadat, A., Dantan, J. Y., and Semenenko, A. (2006), MASON : a proposal for an ontology of manufacturing domain, IEEE Workshop on Distributed Intelligent System : Collective Intelligence and Its Application, 15th~16th June, Metz, France, 195-200.
- Lin, H. K. and Harding, J. A. (2007), A manufacturing system engineering ontology model on the semantic web for inter-enterprise collaboration, *Computers in Industry*, 58, 428-437.
- Masolo, C., Borgo, S., Gangemi, A., Guarino, N., Oltramari, A., and Schneider, L. (2003), The WonderWeb Library of Foundational Ontologies, Institute of Cognitive Sciences and Technology.
- Niles, I. and Pease, A. (2001), Towards a Standard Upper Ontology, Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems, 17th~19th October, Maine, USA.
- NIST (1999), An Analysis of Existing Ontological Systems for Applications in Manufacturing and Healthcare, National Institute of Standards and Technology.
- NIST (2009), Manufacturing Interoperability Program, a Synopsis, National Institute of Standards and Technology.
- Noy, N. F. and McGuinness, D. L. (2000), Ontology Development 101 : A Guide to Creating Your First Ontology, Stanford University.
- O'Connor, M., Knublauch, H., Tu, S., and Musen, M. (2004), Writing Rules for the Semantic Web Using SWRL and Jess, Stanford University.
- Park, S. J. and Lee, G. B. (2003), Concept of the Next Generation Manufacturing System and Consideration for its Embodiment in Manufacturing Industries, *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, 20(9), 27-31.
- Postawa, P. and Koszkul, J. (2005), Change in injection moulded parts shrinkage and weight as a function of processing conditions, *Journal of Materials Processing Technology*, 162, 109-115.
- Pouchard, L., Ivezic, N., and Schlenoff, C. I. (2000), Ontology Engineering for Distributed Collaboration in Manufacturing, *Proceedings of the AIS Conference*, 129, 2865-2872.
- Ryu, K., Cho, Y., Choi, H., and Lee, S. (2005), Collaborative Process Modeling for Embodying e-Manufacturing, *IE Interfaces*, 18(3), 221-233.
- Schneider, L. (2003), How to Build a Foundational Ontology : The Object-Centered High-level Reference Ontology OCHRE, University of Leipzig.
- Siegel, N., Goolsbey, K., Kahlert, R., and Matthews, G. (2004), The Cyc System : Notes on Architecture, Cycorp, Inc.
- SMBA (2009), An Annual Report on Korean Small and Medium-sized Business, Small and Medium Business Administration.
- Tsai, K. M., Hsieh, C. Y., and Lo, W. C. (2009), A study of the effects of process parameters for injection molding on surface quality of optical lenses, *Journal of materials processing technology*, 209, 3469-3477.
- Tseng, T. L., Kwon, Y., and Ertekin, Y. M. (2005), Feature-based rule induction in machining operation using rough set theory for quality assurance, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 21, 559-567.
- Vujasinovic, M., Ivezic, N., Kulvatunyou, B., Barkmeyer, E. J., Missikoff, M., Taglino, F., Marjanovic, Z., and Miletic, I. (2008), A Semantic-Mediation Architecture for Interoperable Supply-Chain Applications, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22(6), 549-561.
- W3C (2004), OWL web ontology language overview, World Wide Web Consortium
- W3C (2004), SWRL : a semantic web rule language combining OWL and RuleML, World Wide Web Consortium
- Ye, F. and Ding, X. (2009), Manufacturing Enterprise Business Process Ontology Modeling for Knowledge Integration, Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services, 10th~12th November, Hangzhou, China, 1365-1369.
- Zeaiter, M., Knight, W., and Holland, S. (2010), Multivariate regression modeling for monitoring quality of injection moulding components using cavity sensor technology: Application to the manufacturing of pharmaceutical device components, *Journal of Process Control*, 21(1), 137-150.
- Zhou, J. and Rose, D. (2004), Manufacturing ontology analysis and design: towards excellent manufacturing, Industrial Informatics 2004 2nd IEEE International Conference on, 26th June, Sophia Antipolis, France, 39-45.



이 경 훈

동국대학교 산업시스템공학 학사
현재 : 동국대학교 산업시스템공학과
석사과정
관심분야 : 생산정보시스템,
지능형정보시스템



강 용 신

동국대학교 산업시스템공학 학사
동국대학교 산업시스템공학 석사
동국대학교 산업시스템공학 박사
현재 : 동국대학교 유비쿼터스
물류관리연구센터 박사후 연구원
관심분야 : RFID, SOA, Web Services, BPM



이 용 한

서울대학교 산업공학 학사
KAIST 산업공학 석사
Pennsylvania State University, I&ME 박사
대우자동차 기술연구소 선임연구원
현재 : 동국대학교 산업시스템공학과 부교수
관심분야 : RFID/USN, MAS, ABMS, BPM