

온톨로지 기반 연구개발 평가지표 선정기법

이희정[†]

대구대학교 산업시스템공학과

An Ontological Approach to Select R&D Evaluation Metrics

Heejung Lee[†]

Department of Industrial and Systems Engineering, Daegu University

Performance management is very popular in business area and seems to be an exciting topic. Despite significant research efforts and myriads of performance metrics, performance management today as a rigorous approach is still in an immature state and metrics are often selected based on intuitive and heuristic approach. In a R&D sector, the difficulty to select the proper performance metrics is even more increasing due to the natural characteristics of R&D such as unique or domain-specific problems.

In this paper, we present a way of presenting R&D performance framework using ontology language. Based on this, the specific metrics can be derived by reusing or inheriting the context in the framework. The proposed ontological framework is formalized using *OWL*(Ontology Web Language) and metrics selection rules satisfying the characteristics of R&D are represented in *SWRL*(Semantic Web Rule Language). Actual metrics selection procedure is carried out using *JESS* rule engine, a plug-in to *Protégé*, and illustrated with an example, incorporating a prevalent R&D performance model: *TVP*(Technology Value Pyramid).

Keywords : R&D Performance Management, Metrics Selection, Ontology, *OWL/SWRL*

1. 서론

기업 경쟁력을 확보하기 위해서는 연구개발(R&D: Research and Development) 부문의 투자가 지속적으로 이루어져야 하며, 최근 연구개발 부문의 투자규모도 기업에 부담이 될 정도로 증가함에 따라 연구개발 부문 평가에 대한 필요성이 더욱 제기되고 있다. 그러나 연구개발 부문은 정형화되기 힘든 특성으로 인하여 원인과 결과에 대한 확실한 인과관계를 도출하기가 어려우며, 투자 회수기간도 길기 때문에 그 성과에 대한 평가가 쉽지 않다[2].

과거의 연구개발 부문 평가방법은 연구개발 부문의 특성을 충분히 고려하지 않고 평가목적이나 평가단위에 관계없이 일률적인 지표들을 단순히 적용하는 경우가 많았다. 다행히 최근에는 연구개발 부문의 특성을 반영한 지표들이 정의되거나, 한층 더 발전하여 다차원적인 지표 집합인 이른바 '평가모델' 개념이 도입되고 있다. 예를 들어, 기업 전반의 전략적 평가방법으로 효과를 나타내고 있는 *BSC*(Balanced Scorecard) 모델 및 연구개발 부문의 관리요소를 계층별로 구분한 *TVP*(Technology Value Pyramid) 모델 등이 널리 활용되고 있다.

한편 평가모델에서 제시하는 지표 및 연구개발 부문에

논문접수일 : 2009년 09월 19일 1차수정일 : 2009년 11월 16일 2차수정일 : 2010년 01월 18일 게재확정일 : 2010년 02월 25일

[†] 교신저자 2ssol@daegu.ac.kr

※ 본 연구는 2008년 대구대학교 신입교수 학술연구비에 의해 지원되었음.

적용 가능한 지표들은 무수히 많이 존재하지만, 실제로 조직의 특성을 반영하고 평가목적에 부합하는 지표를 선택하는 방법은 최고관리자 및 평가시스템을 구축하는 전문가의 정성적인 판단에 의해 이루어지는 경우가 대부분이다. 따라서 체계적인 평가모델을 도입 하더라도, 연구개발 부문의 특성 및 평가목적에 맞는 바람직한 지표를 선택하는 문제는 여전히 남아있는 것이다.

본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위하여 조직의 특성에 따라 연구개발 평가목적에 부합되는 지표를 선택하는 방법을 제시하고자한다. 본 논문에서는 지표 선택 방법을 구현하기 위하여 지식처리의 핵심기술로 인정받고 있는 온톨로지(Ontology) 기법을 활용하였다. 즉, 연구개발 부문 및 평가지표에 대한 보편적인 내용을 온톨로지 언어인 OWL(Ontology Web Language)을 기반으로 지식베이스(Knowledge-base)를 정의하고, 온톨로지에 규칙을 표현하는 언어인 SWRL(Semantic Web Rule Language)을 기반으로 평가목적에 부합되는 지표를 선택하는 추론 규칙을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 연구개발 부문 평가목적 및 평가시 고려사항과, 기존의 평가모델 및 지표선택 방법을 기술하였다. 제 3장에서는 본 논문의 제안 방법을 제시하였으며, 제 4장에서는 연구개발 부문의 특성 및 평가모델을 기반으로 온톨로지를 구축하였다. 제 5장에서는 평가목적에 반영한 지표선택 규칙과 지표선정 예제를 기술하였으며, 제 6장에서는 제안된 온톨로지 및 규칙에 대한 시스템 구현 내용을 설명하였고, 제 7장에서는 결론을 제시하였다.

2. 연구개발 부문 평가

2.1 평가목적

연구개발 부문 평가목적은 일반적으로 조직의 동기부여 기능 및 조직 활동에 대한 진단 기능의 두 가지로 구분될 수 있다[2]. 보다 구체적으로 본 논문에서는 ‘기업의 지속적인 수익창출을 위해 기업의 자원을 연구개발 활동에 효과적으로 투입하고 관리하여 최대성과를 달성할 수 있도록 관련 의사결정 정보를 제공하는 것’을 평가목적으로 정의하도록 한다[5, 11, 19, 26].

한편 연구개발 부문의 평가방법은 해당 연구개발 부문의 평가목적에 따라 정의되어야 한다. 평가지표는 그 목적에 따라 적절하게 제공되어야 하며, 평가시 고려사항에 대한 정의도 반드시 선행되어야 한다[2, 3 15, 16]. 본 논문에서는 평가시 고려해야할 대표적인 사항을 1) 연구개발 유형, 2) 연구개발 단계, 3)연구개발 관심계층

의 세 가지로 구분하였다. 물론 평가시 고려사항은 무수히 많으며 문헌에 따라 서로 다르게 제시되고 있으나 본 논문에서는 연구개발 부문을 평가하기 위하여 가장 기본적으로 고려해야할 상위 요소를 다음과 같이 정의하기로 한다.

2.2 평가시 고려사항

2.2.1 연구개발 유형

연구개발 유형은 수행주체, 수행기간, 또는 산출물의 특징에 따라 <표 1>과 같이 다양한 방법으로 정의될 수 있다. Lifer et al.[18]은 연구(Research)와 개발(Development)로 이분화 하여 구분하였다. 한편, Drongelen et al.[7], Hauser[11], Kim et al.[17]은 연구개발 활동의 특징을 보다 세분화 하여 세 가지 형태로 구분하였으며 세분화 기준은 문헌별로 서로 다르다. 또한, Werner et al.[29] 및 Pappas et al.[22]은 연구개발 활동을 더욱 세분화 하여 4개 또는 5개의 형태로 제시하였다.

<표 1> 연구개발 유형에 대한 다양한 정의

연구자	유형 개수	내 용
Leifer et al.(1987)	2	연구, 개발
Drongelen et al.(1997)	3	기본연구, 응용연구, 실험연구
Hauser(1998)	3	연구, 개발, 엔지니어링
Kim et al.(2002)	3	기본, 응용, 상품화
Werner et al.(1997)	4	기본연구, 응용연구, 제품개발, 생산프로세스 R&D
Pappas v(1985)	5	기본연구, 탐색연구, 응용연구, 개발, 제품개선

본 논문에서는 기존 정의된 내용들의 공통요소를 최대한 반영하여 기업의 연구개발 유형을 산출물의 특징에 따라서 ‘기술개발’, ‘부품개발’ 및 ‘제품개발’의 세 가지 유형으로 정의하도록 한다. 예를 들어 에너지를 절감하는 모터기술 개발은 ‘기술개발’에 해당하고, 모터기술을 적용한 냉장고 콤프레셔 개발은 ‘부품개발’에 해당하며, 최종적으로 위 기술과 부품이 적용된 에너지절감용 냉장고 개발은 ‘제품개발’에 해당한다. 각 유형에 대한 내용은 <표 2>와 같다.

또한 연구개발 활동은 대학(원), 정부출원연구소, 기업 개발팀 및 부설연구소 등 수행 주체 및 목적에 따라서 연구개발 활동에 대한 정의 및 범위가 다를 수 있다. 본 논문에서 정의하는 연구개발 활동은 ‘기업의 개발팀 및 부설연구소에서 수행하는 연구개발 활동’으로 그 범위를 제한하도록 한다.

<표 2> 연구개발 유형

유형	내용	수행기간	예시
기술 개발	새로운 사업을 위한 기초 및 응용기술 개발	3년~5년	블루레이 디스크 기술 개발
부품 개발	상품화 적용을 위한 플랫폼 및 공용 부품 개발	1년~3년	핸드폰 SW 플랫폼 개발
제품 개발	시장판매목적의 제품 개발(매출창출)	수개월~1년	북미지역대상 50인치 LCD TV 개발

2.2.2 연구개발 단계

연구개발 단계는 연구개발 유형과 관계없이 1)연구개발 과제를 선정하는 단계, 2)선정된 과제를 진행하는 단계, 3)과제가 완료된 이후 평가하고 피드백 하는 단계로 <표 3>과 같이 구분 가능하다.

<표 3> 연구개발 단계

단계	주요 관심사항	평가 예시
사 전	과제선정 및 자원운영 계획	과제 예상매출 평가
진 행	과제 진행, 종료, 목표재수정 및 자원운영 변경관리	과제 진행현황 점검 평가
결 과	실적평가, 보상 및 차기계획 반영	제품별 매출실적 평가

연구개발 활동의 단계별 평가는 사전평가, 진행평가, 결과평가로 대응이 되며 단계별 평가목적 또한 달라진다. 사전평가는 계획과제의 수익성 및 파급효과 등을 고려하여 제한된 자원으로 수행할 수 있는 최적의 과제를 선정하는 것을 주요 평가목적으로 하며, 이때 활용되는 평가지표는 모두 목표값을 기준으로 산출된다. 진행평가는 목표대비 진행에 대한 중간 점검활동으로, 과제 마일스톤(또는 Stage-Gate[5]) 별로 중간평가를 실시하여, 다음단계로의 진행을 결정하거나, 과제의 목표를 재조정하거나, 시장의 변화 등으로 인한 과제 중단을 위한 의사결정 정보를 제공하는 것을 평가목적으로 하며, 이때 활용되는 평가지표는 목표대비 진행과정을 기준으로 산출된다. 마지막으로 결과평가는 완료된 과제에 대해 최초 또는 수정목표 대비 실적을 점검하여 과제복기(Project Postmortem)를 실시하고, 차기 목표수립을 위해 피드백정보를 제시하는 것을 평가목적으로 한다.

2.2.3 평가 관심계층

연구개발 활동은 연구원들이 과제(Project)를 수행하면서 조직의 목적을 달성하는 과정이므로, 평가결과에 따

<표 4> 평가 관심계층

관심계층	주요 관심사항	평가 예시
경영층	조직단위 최적화, 복수과제 의사결정	착수과제 심의 평가
관리자	단위 과제관리, 기능단위 자원관리	과제 일정준수 평가
실무자	연구개발 실무목표 달성	부품 신뢰성 평가

른 관련된 의사결정 관심계층은 1)연구개발 조직을 전체 총괄하는 경영층, 2) 연구개발 과제관리 전반을 담당하는 관리자, 3) 연구개발 활동을 직접 수행하는 실무자의 3단계로 <표 4>와 같이 구분 가능하다.

한편, 연구개발 평가결과는 연구개발 활동에 참여하는 관심계층별 의사결정에 필요한 정보를 제공하는데 활용이 된다. 경영층은 해당 조직의 자원을 효율적으로 운영하여 최고의 효과를 창출하기 위해 평가결과를 활용할 것이며, 관리자는 과제수행에 필요한 인력 및 보유기술(Skill)을 기반으로 과제의 목표를 효율적이고 효과적으로 달성하기 위해 평가결과를 활용할 것이며, 과제를 수행하는 실무자는 과제별 기능단위 문제해결을 위해 평가결과를 활용할 것이다. 따라서 평가지표는 해당 관심계층이 신속하고 정확하게 의사결정을 할 수 있도록 제시되고 활용되어야 한다.

2.3 평가모델(TVP : Technology Value Pyramid)

미국 IRI(Industrial Research Institute)에서 정의한 TVP 모델[26]은 연구개발 관리요소를 5개의 계층(가치창출, 포트폴리오평가, 부문간연계, 기술자산, 연구개발 실행)으로 구분하고, 기업의 연구개발 전략 및 특성을 반영하여 평가지표를 선정할 수 있도록 ‘메뉴’형식으로 평가지표 후보군을 제시한 연구개발 부분의 대표적인 평가모델이다. 또한, TVP 모델은 연구개발 부문에 특화된 최초의 통합 모델로 인정받고 있으며, 최근 IRI에서는 Cooper[5]의 Stage-Gate 개념을 추가하여 TVP(Technology Value Program) 2.0 모델을 제시하고 있다[5, 27].

TVP 모델의 각 계층은 다음과 같은 내용을 포함한다. ‘가치창출’ 부문은 기업의 수익성과 성장가능성을 평가 하며, ‘포트폴리오평가’ 부문은 조직의 전략과 일치하도록 과제들이 올바르게 선정되고 수행되는 지를 평가하며, ‘부문간연계’ 부문은 조직의 여러 하위기능이 유기적으로 연계되는 지를 평가하고, ‘기술자산’ 부문은 지적재산권 등을 기반으로 기업이 보유하는 기술력의 강

<표 5> TVP Metrics 요약

평가 요소	평가 지표	계층
투자대비효과	신제품비율, 원가절감비율, R&D산출지수, R&D회수지수	V
예상재무효과	예상매출, 예상이익	V, P
경쟁적생산비용	선진사대비생산비용	V, A
제품품질및신뢰성	고객평가지수, 신뢰성평가지수	V, A
총한계이익	총한계이익율	V, A
시장점유율	직접점유율, 간접점유율	V, A
전략부합성	사업단위전략부합, 전략부합범위	P, I, A
기술투자분포	기술투자분포도	P, A
기술활용도	기술활용비중	P, A
승인과제수	승인과제비중	I
시스템운영과제수	시스템운영과제수	R, I
사업부자금조달율	사업부자금조달율	I
기술-제조 이전	기술-제조 이전평가	I, R
CFT 운영수	CFT 운영수	I, R
제품기술성평가	고객평가, 경제성평가, 시장점유율 평가	A, V
경쟁력도달기간	경쟁력도달기간	A, R
기술투자비중	기술투자비중	A
인력평가	내부고객평가, 외부고객평가, 외부인지도평가, 특허수	A, R
개발사이클타임	시장사이클타임, 과제관리사이클타임	A, R
보유기술역량	보유기술역량평가	A
특허평가	유특허수, 가치평가, 유지비용, 발명원가	A, R
지적재산권방어	매출방어효과, 지적재산권수익	A, V
동료평가	외부평가, 내부평가	A, R
고객만족	외부평가, 내부평가	A, R
마일스톤달성율	마일스톤달성율, 산출물달성수준	R
고객접촉시간	평균고객접촉시간	R
산출물보관	산출물보관비율	R
내부프로세스효율	과제평가, 포트폴리오평가	P, R
연구원사기	연구원 사기 평가	R
목표명확성	목표 명확성 평가	R
프로젝트주인의식	과제주인의식수준 평가	R
경영층지원	경영층 지원수준 평가	R
프로젝트챔피언십	프로젝트챔피언 비중	R

주) V: 가치창출(VC: Value Creation), P: 포트폴리오평가(PA: Portfolio Assessment), I: 부문간연계(IWB: Integration With Business), A: 기술자산(AVT: Asset Value of Technology), R: 연구개발 실행(PRD: Practice of R&D process).

점 및 지속성을 평가하며, 마지막으로 ‘연구개발 실행’ 부문은 연구개발 활동의 효율성과 효과성을 평가한다.

한편, TVP 모델은 총 54개의 평가지표를 제공하며 지표들은 각 계층에 독립적으로 속하지 않으며 지표의 특성에 따라 두 개 또는 세 개의 계층에 중복적으로 속하는 구조를 갖는다. 또한 유사한 지표들은 33개의 평가요소에 다시 속하게 된다. TVP 모델에서 제공하는 평가지표는 <표 5>와 같이 요약되어 구성되며, 각 지표에 대한 자세한 정의 및 기술은 Tipping et al.[26]의 내용을 참조할 수 있다.

한편 TVP 모델은 연구개발 부문 평가에 활용될 수 있는 대다수의 평가지표들을 이른바 메뉴의 형식으로 제시하고는 있으나, 지표를 선택하는 구체적인 방법 또는 절차는 언급되어있지 않다. 따라서 본 논문에서는 조직에 특성에 따라 연구개발 평가목적에 부합되는 평가지표를 선택하는 규칙을 제시하되, 선택할 지표의 소스(Source)는 TVP에서 정의한 지표들을 활용하기로 한다.

2.4 평가지표 선정방법

평가지표는 제한된 자원을 배치하고 효율적으로 운영하여 조직의 목표를 효과적으로 달성하기 위하여 활동 동기 및 성과를 측정할 수 있는 도구로써 선택되어야 한다. 적절한 평가지표를 선정하기 위한 방법으로는 정성적 또는 정량적인 접근법이 존재한다. 정성적인 접근법으로는 해당 평가지표를 개선하는 것이 궁극적으로 기업의 장기적인 성장과 연관되어지도록 평가지표를 선정할 수 있는 7가지 가이드라인을 제시한 Hauser et al.[11]의 연구결과가 대표적으로 있으며, 그 외 많은 연구결과는 제품의 품질, 원가, 납기 및 기업의 투자수익률 등을 높이기 위한 정성적인 지표선정 방법을 제시하고 있다[6]. 한편, 문헌 또는 기업현장에서 이미 정의된 수많은 지표들 중에서 적절한 평가지표를 선정하기 위하여 수리모델링을 활용하는 정량적인 방법도 많이 존재한다. 대표적으로 계층적분석과정(AHP: Analytic Hierarchy Process), 네트워크의사결정방법(ANP: Analytic Network Process), 자료 포락분석(DEA: Data Envelopment Analysis) 방법을 통해 평가지표들 간의 가중치를 계산하여 최적의 지표를 선택하는 방법 등이 제시되었다[8, 28, 31].

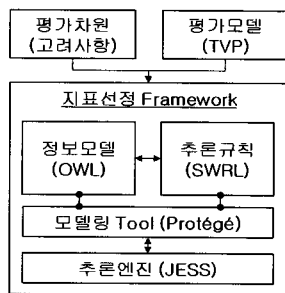
본 논문은 정성적인 방법과 정량적인 방법이 혼용된 접근법을 활용하고자 한다. 즉, 평가지표 정보모델을 생성하고 주어진 규칙에 따라 평가지표를 선정하는 과정은 정량적으로 접근하였으며, 규칙을 선정하기 위한 문헌 및 전문가의 지식을 추출하는 과정은 정성적으로 접근하였다. 또한 본 논문의 제안방법을 정형화하기 위해서는 최근 지식관리방법으로 널리 활용되고 있는 온톨로지 방법을 이용하였다. 평가지표 선정을 위한 기존연구 및 본 논문 간 비교는 <표 6>과 같이 요약된다.

<표 6> 평가지표 선정방법 비교

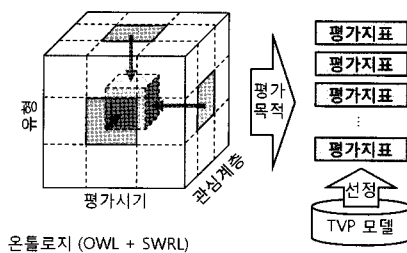
접근법	내용	방법론
정성적	좋은 지표를 선정하는 방법을 선언적으로 나열함	가이드라인
정량적	평가지표들간의 가중치를계산하여 최적의 지표를 선정	수리모델링 (AHP, ANP, DEA)
본 논문	정보모델을 생성하고 규칙을 적용하여 평가지표를 선정	온톨로지 (지식베이스 및 추론)

3. 본 논문 제안방법

본 논문에서는 연구개발 부문의 평가지표를 선정하기 위한 온톨로지 프레임워크를 구축하고자 한다. 이를 위해서 평가시 고려할 사항을 제시하고, 지표선정을 위한 참조 평가모델로써 연구개발 부문의 통합적인 평가모델로 인정받고 있는 TVP 모델을 활용한다. 그리고 지표의 선정 메커니즘을 온톨로지 모델링 툴인 Protégé와 JESS 추론엔진으로 구현하게 된다. 본 논문의 제안방법의 흐름은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 제안 방법



<그림 2> 평가시 고려사항과 평가지표 선정 관계

한편 평가목적에 접합한 지표를 선정하는 과정은 다음과 같다. <그림 2>와 같이 1)유형, 2)평가시기 3)관심

계층을 평가시 고려사항으로 선정하였으며, 이들의 조합이 평가목적에 대응된다. 예를 들어, ‘제품개발(유형)×진행평가(평가시기)×관리자(관심계층)’ 부문의 평가목적은 제품개발을 대상으로 진행평가의 주요관심사항과 관리자의 주요 관심사항의 조합이 평가목적이 된다. 즉, ‘수행중인 제품개발 과제의 진행, 종료, 목표재수정 및 자원운영 변경관리를 위한 평가’이다. 또한, 정의된 평가목적에 따라 온톨로지 기반의 추론이 이루어지고, TVP 모델 구성 지표들 중에서 관련된 지표들이 규칙에 의해 선정된다. 다음 장부터는 지표선정의 프레임워크를 구축하기 위하여 온톨로지, 지표선정 규칙, 구현 및 응용에 대해서 설명하도록 한다.

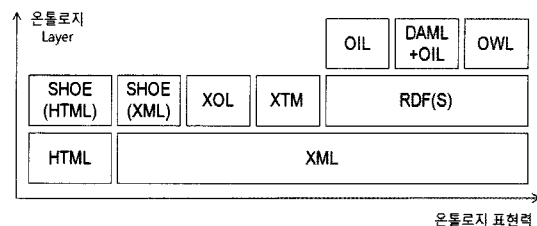
4. 연구개발 평가 온톨로지

4.1 온톨로지 개요

온톨로지는 인간 및 기계간의 의사소통시 특정한 단어가 나타내는 개념의 의미를 이해하는데 사용된다. 온톨로지는 “공유하는 개념화의 형식적이고 명확한 명세 [10]”로 정의될 수 있다.

<그림 3>에서 보는 바와 같이 1996년 최초의 온톨로지 언어인 SHOE(Simple HTML Ontology Extension)가 발표된 이후, 2004년 W3C 권고안이 된 OWL(Ontology Web Language)[25]이 현재까지 표현력이 가장 우수한 온톨로지 언어로 활용되고 있다. OWL은 지원되는 표현력에 따라서 OWL Lite, OWL DL, OWL Full의 세 종류로 나누어진다. 전자에서 후자로 갈수록 표현력은 향상되지만 추론기능에 대한 시스템 지원에 어려움이 있다. 따라서 표현력이 충분하면서도 추론기능이 원활하게 지원되는 OWL DL이 가장 널리 활용되고 있으며, 본 논문에서도 OWL DL을 사용하도록 한다.

한편 OWL DL은 논리 언어학적으로 기술논리(DL: Description Logic)를 기반으로 하는데, 기술논리란 Concept과 Role로 기본적인 개념을 표현하고, 개념들을 논리학의 Boolean 연산자와 각종 제약으로 연결하여 용어적 지식



<그림 3> 온톨로지 언어[1]

을 다루는 지식표현 체계이다.

예를 들어 ‘외국인을 고용하고 5개 이상의 부서가 있으며 생산제품은 모두 TV인 제조 회사’라는 개념을 기술논리로 표현하면 다음과 같다.

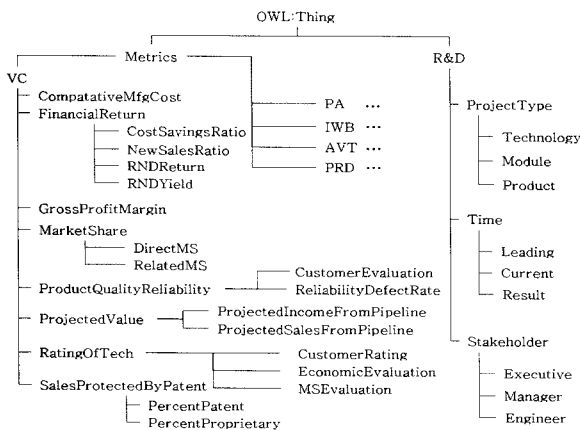
$$Company \cap Manufacturing \cap \exists employ.Foreigner \cap (\geq 5 \text{ hasDepartment}) \cap \forall \text{hasProduct.TV}$$

위 기술논리에서 Company, Manufacturing, Foreigner, TV는 Concept에 해당되며, employ, hasDepartment, hasProduct는 Role에 해당된다. 한편, OWL DL에서는 Concept과 Role 대신 일반적으로 각각 Class 및 Property의 용어를 사용한다.

4.2 Class 정의

평가 온톨로지를 위한 Class는 두 개의 상위 Class들과 여러 개의 하위 Class들로 구성된다. 첫 번째 상위 Class는 TVP 모델을 구성하는 지표들의 집합인 Metrics Class이며, 해당 평가관점에 따라 총 5개(VC, PA, IWB, AVT, PRD)의 하위 Class들을 갖게 되며, 각 평가관점별로도 평가요소에 해당하는 여러 개의 하위 Class들을 갖는다. 두 번째 상위 Class는 평가시 고려사항 집합인 R&D Class이며, 평가시 고려사항에 따라 총 3개(유형(Project-Type), 평가시기(Time), 관심계층(Stakeholder))의 하위 Class들을 갖게 되며, 마찬가지로 각 평가시 고려사항별 특성에 따라 3개씩의 하위 Class들을 갖는다.

<그림 4>는 전체 평가 온톨로지의 Class 구조의 일부를 표현한 것이다. 한편, Class들 간의 상하 관계는 OWL DL에서는 $VC \subseteq Metrics$, $ComparativeMfgCost \subseteq VC$ 와 같이 표현된다. 또한 ProjectedValue의 경우처럼 상위 Class가 두 개 이상인 경우는 $ProjectedValue \subseteq (VC \cup PA)$ 와



<그림 4> Class 계층구조

같이 표현할 수 있다. <그림 4>에서 OWL:Thing은 온톨로지 모델링을 위한 최상위 Class를 의미한다. Metrics의 하위 Class들 중에서 VC를 제외한 나머지 PA, IWB, AVT, PRD의 하위 Class들은 지면상 표현을 생략하였으며, <표 5>를 참조하여 구성이 가능하고, 시스템 구현을 위하여 명칭은 영문표기를 사용하도록 한다.

4.3 Individual 정의

각각의 Class는 개체(Objects)를 나타내는 Individual(또는 Instance)을 생성할 수 있다. 본 논문에서는 실제 측정에 활용되는 지표를 Individual로 정의하고 영어표기일 경우 Class와 구분하기 위하여 이름의 시작을 ‘소문자’로 나타내도록 한다. 또한 Individual들은 Class의 Membership 관계로 표현할 수 있으며, 하위 Class의 Individual은 해당 Class를 포함하는 상위 Class의 Individual로 단순 온톨로지 추론이 가능하다. 예를 들어 costSavingsRatio라는 Individual은 CostSavingsRatio의 Membership 뿐만 아니라, 자연스럽게 상위 Class인 Financial Return, VC, Metrics의 Membership관계도 성립된다.

4.4 Property 정의

Property는 두 개의 Individual들 간의 관계를 표현하며, Individual들 간의 관계를 나타내는 Property와 Individual의 값을 나타내는 Property로 주요 구분된다. 본 논문에서는 Individual들 간의 관계를 나타내는 3개의 Property를 <표 7>과 같이 정의하였으며, Domain에 해당하는 Individual은 각 Property에 의해 Range와의 관계를 형성하게 된다.

<표 7> Property

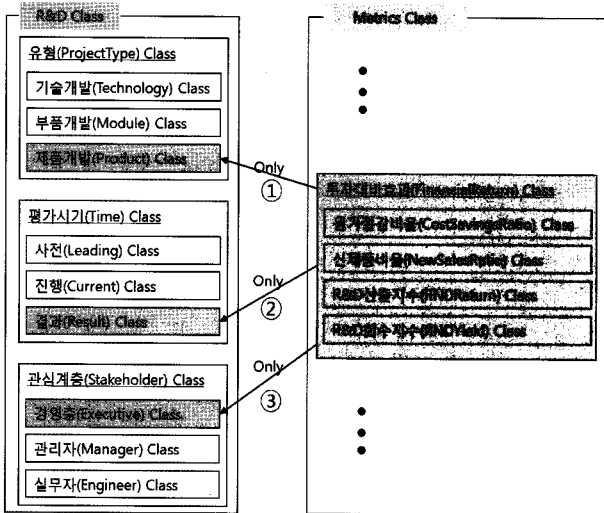
Property	Domain	Range
hasProjectType	Metrics	ProjectType
hasTime		Time
hasStakeholder		Stakeholder

4.5 온톨로지 제한

연구개발 부문의 특성에 따라 평가지표를 선정하기 위하여, 우선 Metrics Class와 R&D Class 간의 관계를 제한(Restriction)할 필요가 있다. ‘제한’이란 <표 7>에서 정의한 3개의 Property를 활용하여 <그림 4>에서 정의한 Class들을 대상으로 해당 Class의 Individual이 취할 수 있는 범위를 새롭게 정의하는 것을 의미한다. OWL은 여러 종류의

제한을 제공하는데 본 논문에서는 대표적인 allValues-From(\forall 또는 Only) 및 someValuesFrom(\exists 또는 Some)의 제한방법을 사용해서 Metrics Class와 R&D Class간의 관계를 제한하였다.

예를들어 Metrics Class의 하위 Class인 ‘투자대비효과(FinancialReturn)’를 제한하면 <그림 5>와 같이 설명 가능하다. 즉, 투자대비효과(FinancialReturn) 및 그 하위 Class인 4개의 평가요소들은 모두 재무실적에 대한 평가요소이므로 1) 연구개발 활동 유형 중 오로지(Only) ‘제품개발(Product)’에 적합하고, 2) 재무성과가 측정 가능해야 하므로 평가시기는 오로지(Only) 결과(Result)평가에 해당되며, 3) 경영층(Executive)이 항상(Only) 고려하는 평가요소이다.



<그림 5> 온톨로지 제한 예제

<그림 5>와 같은 제한 정의는 아래와 같이 OWL DL (혹은 기술논리) 로 표현가능하다.

$$FinancialReturn \subseteq \forall hasProjectType.Product \cap \forall hasTime.Result \cap \forall hasStakeholder.Executive.$$

한편 상위 Class에 대한 제한은 하위 Class에 대한 제한으로 상속된다. 즉, ‘투자대비효과(FinancialReturn)’에 대한 제약은 그 하위 Class인 ‘원가절감비율(CostSavingsRatio)’, ‘신제품비율(NewSalesRatio)’, ‘R&D산출지수(RNDReturn)’, ‘R&D 회수지수(RNDYield)’에 모두 동일하게 적용이 된다. 또한 아래 예제와 같이 Class들 간의 상하위 관계 및 Boolean 연산자를 이용한 확장된 제한도 가능하다. 즉, ‘제품품질 및신뢰성(ProductQualityReliability)’이라는 Class는 ‘연구개발 활동 유형으로는 제품개발(Product)이며 평가시기는 과제

가 진행(Current)중이거나 결과(Result)가 나왔을 때이고 관심계층 중 어느(Some) 계층에 상관없이 고려되는 평가요소이다’라고 아래와 같이 제한할 수 있다.

$$ProductQualityReliability \subseteq \forall hasProjectType.Product \cap \forall hasTime.(Current \cup Result) \cap \exists hasStakeholder.Stakeholder$$

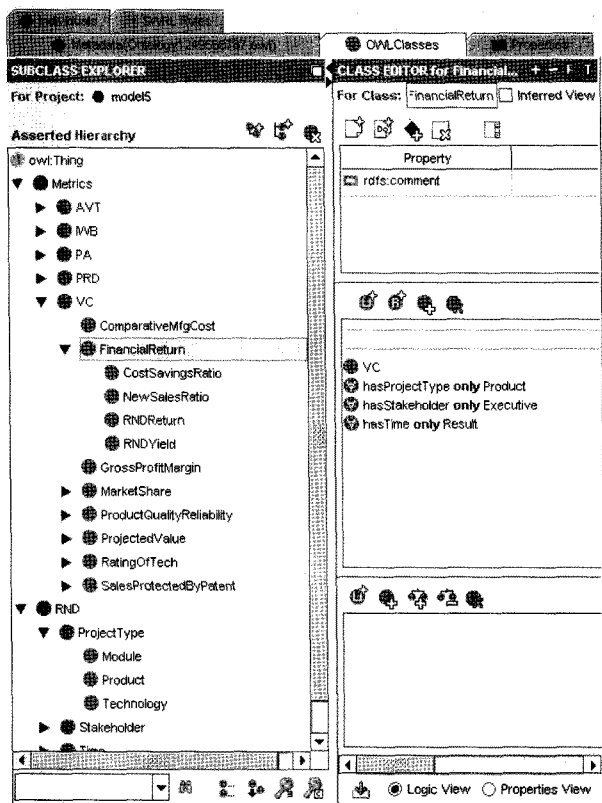
본 논문에서 제시하는 Metrics Class와 R&D Class간의 관계를 제한하는 것은 바로 평가시 고려사항에 따라서 지표를 선정하기 위한 연구개발 부문 평가를 위한 기본 지식베이스(Knowledge-base)를 구축하는 과정이라 할 수 있다. 본 논문에서는 국내 대기업 전자회사의 연구개발 팀 및 관리부서, 경영층을 대상으로 인터뷰 및 설문조사를 실시한 결과를 활용하여 <표 8>과 같은 온톨로지 제

<표 8> 온톨로지 제한

(\forall : universal 제한, \exists : existential 제한)

평가 요소	유 형		평가시기			관심계층			
	기술	모 들	제품	사 전	진 행	결 과	경 영	중 간	실 무
투자대비효과			\forall			\forall	\forall		
예상재무효과	\exists	\exists	\exists	\forall	\forall		\forall		
경쟁적생산비용			\forall	\exists	\exists	\exists	\forall	\forall	
제품품질및신뢰성			\forall		\forall	\forall	\exists	\exists	\exists
총한계이익			\forall			\forall	\forall		
시장점유율			\forall			\forall	\forall	\forall	
전략부합성	\exists	\exists	\exists	\forall	\forall		\forall		
기술투자분포	\forall	\forall		\forall	\forall		\forall		
기술활용도	\forall	\forall		\forall	\forall	\forall	\forall		
승인과제수	\exists	\exists	\exists	\exists	\exists	\exists		\forall	
시스템운영과제수	\exists	\exists	\exists	\exists	\exists	\exists		\forall	\forall
사업부자금조달율	\exists	\exists	\exists	\exists	\exists	\exists		\forall	
기술-제조이전	\forall	\forall				\forall		\forall	\forall
CFT운영수	\exists	\exists	\exists		\forall	\forall		\forall	\forall
제품기술성평가			\forall		\forall	\forall	\exists	\exists	\exists
경쟁력도달기간	\exists	\exists	\exists			\forall	\exists	\exists	\exists
기술투자비중	\forall	\forall		\exists	\exists	\exists	\forall	\forall	
인력평가	\exists	\exists	\exists			\forall	\exists	\exists	\exists
개발사이클타임	\exists	\exists	\exists		\forall	\forall	\exists	\exists	\exists
보유기술역량	\exists	\exists	\exists			\forall	\forall	\forall	
특허평가	\exists	\exists	\exists			\forall	\exists	\exists	\exists
지적재산권방어	\exists	\exists	\exists			\forall	\forall	\forall	
동료평가	\exists	\exists	\exists			\forall	\exists	\exists	\exists
고객만족			\forall			\forall	\exists	\exists	\exists
마일스톤달성율	\exists	\exists	\exists		\forall	\forall		\forall	\forall
고객접촉시간	\exists	\exists	\exists			\forall		\forall	\forall
산출물보관	\exists	\exists	\exists		\forall	\forall		\forall	\forall
내부프로세스효율	\exists	\exists	\exists		\forall	\forall		\forall	\forall
연구원사기	\exists	\exists	\exists		\forall	\forall		\forall	\forall
목표명확성	\exists	\exists	\exists		\forall	\forall		\forall	\forall
프로젝트주인의식	\exists	\exists	\exists		\forall	\forall		\forall	\forall
경영층지원	\exists	\exists	\exists		\forall	\forall		\forall	\forall
프로젝트챔피언십	\exists	\exists	\exists		\forall	\forall		\forall	\forall

한을 제시하도록 한다. 한편 <그림 6>은 본 논문에서 제시한 온톨로지 Class 및 제한 정의를 온톨로지 모델링 툴(Tool)인 Protégé[23]로 구현한 화면의 일부이다.



<그림 6> Protégé 모델링 화면

5. 연구개발 평가지표 선정규칙

5.1 온톨로지 규칙언어

본 논문에서는 <표 8>에서 제시한 제한관계를 규칙으로 표현하기 위하여 온톨로지 규칙 언어인 SWRL(Semantic Web Rule Language)[12]을 사용하도록 한다. SWRL은 OWL과 Rule-ML을 확장한 언어이기 때문에, OWL에서 정의한 Class 및 Property를 활용하여, 온톨로지에 IF-THEN 형식의 규칙을 쉽게 추가할 수 있도록 제안된 언어이다.

예를들어 'TV를 제품으로 생산하는 회사는 TV Maker 이다' 라는 규칙을 SWRL 로 표현하면 다음과 같다.

```

Company (?x)  $\Delta$  hasProduct(?x, ?y)  $\wedge$  TV(?y)
→ TV_Maker (?x)
    
```

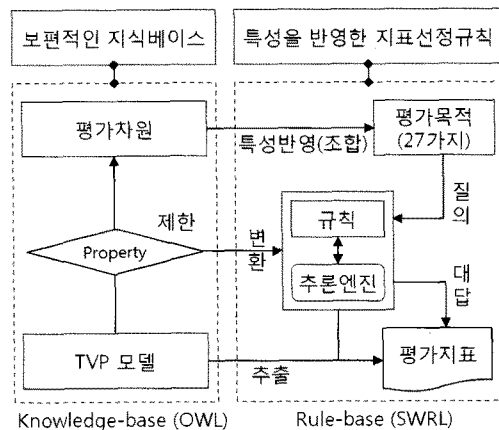
위 규칙에서 사용된 Company, hasProduct, TV, TV_Maker는 모두 OWL에서 정의된 Class 또는 Property 이어야 하며, ?x와 ?y는 변수를 의미한다. 이러한 SWRL을 OWL과 함께 사용하면 온톨로지와 규칙간에 서로 상호 보완적인 추론이 가능해져서, 각각 단독으로 추론 했을 때보다 새로운 사실들을 더 많이 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한 OWL은 공리들을 이용하여 Class에 대한 관계를 표현하고 1차원 적인 관계들에 대해서는 쉽게 추론이 가능하지만 그 이상의 복잡한 추론(Class 간의 복수개의 서로 다른 속성이 연계되는 관계)에 대해서는 OWL 단독으로는 표현이 불가능하며, 이때에는 SWRL 규칙을 이용하면 손쉽게 표현이 가능하다[9].

5.2 지표 선정 규칙

본 논문에서 활용되는 지표선정 규칙은 다음과 같이 연구개발 부문의 평가시 고려사항을 요구사항으로 인식하고 그 특성에 적합한 지표를 제시하는 일종의 함수와 같은 역할을 한다.

- {유형, 평가시기, 관심계층} → {적합한 지표}

보다 자세하게 살펴보면 <그림 7>과 같다. 제 4장에서 구축한 OWL 기반의 보편적인 지식베이스(Knowledge-base)가 존재하고, 평가목적에 따른 특정지식(Domain Specific Knowledge)은 제한관계를 활용하여 규칙(Rule-base)으로 변환이 된다. 이때 평가지표를 선택하는 규칙은 '유형' 3가지, '평가시기' 3가지, '관심계층' 3가지의 조합인 총 27가지(= 3 X 3 X 3) 평가목적별로 최대 존재하게 되며, 각 규칙은 SWRL로 표현이 된다. 예를 들어, '기술개발-사전평가-경영층'를 위한 지표선정 규칙 1은 다음과 같이 SWRL로 표현할 수 있다.



<그림 7> 지표 선정 방법

<p>(규칙 1) 기술개발 - 사전평가 - 경영층</p> <p>(SWRL) Metrics(?m) ∧ Technology(?x) ∧ Leading(?y) ∧ Executive(?z) ∧ hasProjectType(?m, ?x) ∧ hasTime(?m, ?y) ∧ hasStakeholder(?m, ?z) → MetricsOfRule1(?m)</p>
--

위 규칙은 Metrics의 Individual을 변수 ?m으로 표시한 후, ?m중에서 연구개발 활동 유형(hasProductType)이 기술개발(Technology)이고, 평가시기(hasTime)는 사전(Leading)에 이루어지며, 경영층(Executive)이 관심이 있는(hasStakeholder) 지표를 Property에 의해 선택하여 MetricsOfRule Class의 Individual로 생성을 하는 규칙이다. 단, MetricsOfRule Class는 규칙별로 선정된 Metrics를 저장하기 위해 새로 정의한 Class이다.

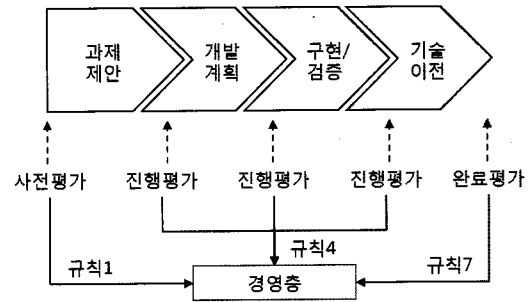
총 27개의 규칙은 평가목적에 따라 아래와 같은 패턴으로 정의할 수 있다.

<p>(규칙) 유형 - 평가시기 - 관심계층</p> <p>(SWRL) Metrics(?m) ∧ SubClassOf_유형(?x) ∧ SubClassOf_평가시기(?y) ∧ SubClassOf_관심계층(?z) ∧ hasProjectType(?m, ?x) ∧ hasTime(?m, ?y) ∧ hasStakeholder(?m, ?z) → MetricsOfRule_No(?m)(SWRL)</p>
--

5.3 지표 선정 예제

본 장에서는 제안된 지표선정 기법이 활용되는 예제를 설명하도록 한다. <그림 8>은 기술개발(유형)에 대해 사전, 진행, 결과평가를 실시하여(평가시기), 경영층(관심계층)에게 평가 단계별 의사결정 정보를 제공해주는 평가활동에 대한 예제이다. 해당 예제는 평가시 고려사항의 조합에 따라 총 3가지 평가목적이 도출되고, 각 목적별로 해당 규칙이 적용된다. 총 27개의 규칙 중 규칙 1(기술개발-사전평가-경영층), 규칙 4(기술개발-진행평가-경영층) 및 규칙7(기술개발-완료평-경영층)이 적용되었으며, 규칙별 추천된 지표는 6개, 9개, 18개 이다. 규칙별로 선정된 지표의 의미를 살펴보면 다음과 같다.

첫째(규칙 1), 기술개발을 시작하기 위한 사전평가지 경영층에게 제공되는 지표들은 TVP 모델의 54개 구성 지표 중 총 6개가 선정되었으며 해당 지표들을 요약하면 다음과 같다. 1) 예상매출(기술개발과제의 예상재무효과), 2) 예상이익(기술개발과제의 예상재무효과), 3) 사업단위전략부합(기술개발 과제목표와 사업 전략과의 일치정도), 4) 전략부합범위(기술개발에 의한 기업전략달성 비중) 5) 기술투자분포도(제품별/사업별 기술투자 비중), 6) 기술투자비중(경쟁사 대비 기술투자금액 비중) 위 지표들을 기준으로 기술개발 활동이 사전에 평가가



<그림 8> 연구개발 활동 및 평가 예제

되며, 경영층은 그 결과를 자원투입 우선순위 의사결정에 활용할 수 있다.

둘째(규칙 4), 기술개발 활동이 진행단계일때 경영층에게 제공되는 지표들은 총 9개가 선정되었으며, 6개는 사전평가 단계와 동일 지표이며, 추가 3개는 다음과 같다. 1) 시장사이클타임(기술이 적용된 제품이 실제 판매될 때 까지 소요되는 예상시간), 2) 과제관리사이클타임(과제수행시간), 3) 기술활용비중(해당 기술이 적용되는 제품의 수).

기술개발 활동에 대한 진행평가는 여러 번 이루어지는데, 일반적으로 개발과제의 중간점검 단계인 마일스톤 시점에 평가가 이루어 진다. 경영층은 평가 결과를 과제 목표 변경 및 자원 재할당을 위한 의사결정에 활용할 수 있다.

셋째(규칙 7), 기술개발 활동이 완료단계일 때 경영층에게 제공되는 지표들은 총 18개가 선정되었으며, 과제관리사이클타임 등 4개는 중간평가 단계와 동일 지표이며, 나머지 14개 지표들은 평가요소 단위로 살펴보면 인력평가, 보유기술역량, 특허평가, 지적재산권방어, 동료평가, 고객만족 등이다. 완료평가는 실적에 대한 평가이므로 보상 및 차기계획에 대한 반영에 활용된다. 또한 주로 목표에 대한 평가인 사전 및 진행평가에 비해 측정의 난이도가 쉽기 때문에 완료평가지표는 상대적으로 그 수가 많아진다.

6. 구현 및 응용

본 논문에서 제시한 온톨로지 및 지표선정 규칙을 구현하기 위해서는 OWL 및 SWRL 기반으로 구축된 모형을 Java 기반의 JESS(Java Expert Shell System)[13]와 같은 규칙 추론엔진으로의 변환이 필요하다. 즉, OWL 기반의 온톨로지는 JESS 언어에서의 사실(Facts)로 변환시키고, SWRL 기반의 지표선정 규칙은 JESS 언어에서의 규칙(Rules)으로 각각 변환이 된다.

이후 JESS 규칙추론엔진에 의해 실제 추론이 실행이 되고 그 결과를 다시 온톨로지로 변환시키는 과정을 따른다. 이러한 과정은 온톨로지 모델링 툴인 Protégé에서 제공하는 JessTab에 의해서 이루어진다.

한편 Protégé에서 제공하는 SWRL 기반의 질의(Query) 언어인 SQWRL(Semantic Query-Enhanced Web Rule Language)를 활용하여, 관계형 데이터베이스에서 질의언어 기반으로 질의하고 답을 얻는 방식으로 SWRL 규칙을 수정할 수도 있다. 예를 들어 규칙 1의 THEN절 부문에 SQWRL의 Built-in 기능인 'sqwrl:select' 함수를 활용하여 아래 규칙 1-a와 같이 변경하고 질의하면, 동일한 지표 선정 결과를 관계형 데이터베이스와 유사하게 간단히 얻을 수도 있다.

(규칙 1-a) 기술개발 - 사전평가 - 경영층
(SWRL) Metrics(?m) ^ Technology(?x) ^ Leading(?y) ^ Executive(?z) ^ hasProjectType(?m, ?x) ^ hasTime(?m, ?y) ^ hasStakeholder(?m, ?z) → sqwrl : select(?m)

또한 선정된 지표를 통해 연구개발 부문의 성과분석을 수행하기 위해서는 선정된 지표가 어떠한 평가관점 및 평가요소의 운영 지표인지를 알 수 있도록 지표들의 계층구조를 표현하는 것이 필요하다.

이를 위해서는 또 다른 Bulit-in 기능인 hasClass와 isDirectClassOf를 도입하여 해당 지표가 속하는 상위 및 차상위 Class를 추가적으로 표현해주는 방법이 필요하다. 아래 규칙 1-b는 규칙 1을 수정하여 지표간의 계층구조를 표현하도록 수정한 내용이며, 이 규칙을 실행하면 해당 지표가 속한 상위 및 차상위 Class의 정보를 제공해줄 수 있다

(규칙 1-b) 기술개발 - 사전평가 - 경영층
(SWRL) Metrics(?m) ^ Technology(?x) ^ Leading(?y) ^ Executive(?z) ^ hasProjectType(?m, ?x) ^ hasTime(?m, ?y) ^ hasStakeholder(?m, ?z) ^ abox : hasClass(?m, ?c) ^ tbox : isDirectSuperClassOf(?d, ?c) ^ tbox : isDirectSuperClassOf(?s, ?d) → sqwrl : select(?m, "DirectSuperClass is," ?d, "SuperClass is," ?s)

7. 결론

본 논문에서는 온톨로지 기법을 활용하여 연구개발 부문의 특성을 반영하는 지표를 선정하는 방법을 제시하였다. 연구개발 부문의 평가모델로 인정받고 있는 TVP 모델과 평가시 고려사항을 기반으로 OWL 온톨로지를 구축하고, 온톨로지의 Class 및 Property를 활용하여 지표를 선정하는 방법을 SWRL 규칙으로 제안하였다. 또한 지표선정 실행과정을 Java 기반의 추론엔진인 JESS와의 인터페이스를 통해 구현하고 지표가 선정되는 사례를 살펴보았다.

한편 본 논문에서 제안한 방법은 평가모델(또는 지표 집합), 평가시 고려사항 및 제한의 정의에 따라 선정되는 지표의 타당성에 영향을 주게 되므로, 본 논문의 방법을 활용하기 위해서는 첫째, 검증된 평가모델을 활용하고, 둘째, 조직의 평가목적에 부합되는 평가시 고려사항을 구성하고, 셋째, 해당 조직의 이해당사자의 의견이 반드시 반영되도록 제한을 정의할 수 있어야 한다.

또한 본 논문에서 제시한 온톨로지 접근방식은 지식의 재사용과 공유를 가능하게 하므로, 다양한 분야에서 평가지표를 선정하는 방법에 활용될 수 있기를 기대할 수 있다.

참고문헌

- [1] 노상규, 박진수; “인터넷 진화의열쇠-온톨로지, 가즈토이”, 2007.
- [2] 이정원; “R&D평가 시스템의 이론적 체계 구축 및 적용방안에 관한 연구”, STEPI(과학기술정책연구원), 2000.
- [3] 이희정, 김승동; “연구개발 성과관리 체계구축-실용적 접근법”, 한국산업경영 시스템학회, 2008년도 추계학술대회 발표논문집, 2008.
- [4] Brown, W. B. and Gobeli, D.; “Observations on the measurement of R&D productivity : a case study,” IEEE Transaction on Engineering Management, 39(4) : 1992.
- [5] Cooper, R. G., Edgett, S. J., and Kleinschmidt, E. J.; Portfolio Management for New Product, 2nd ed. New York : Perseus Publishing, 2002.
- [6] Cooper, R. G., Edgett, S. J., and Kleinschmidt, E. J.; “Benchmarking best NPD practice - Part I, II and III,” Research Technology Management, 47(1) : 2004.
- [7] Drongelen, I. and Cook, A.; “Design principles for development of measurement systems for research and development processes,” R&D Management, 27(4) : 1997.
- [8] Eilat, H., Golany, B., and Shtub, A.; “R&D project evalua-

- tion: An integrated DEA and balanced scorecard approach," *Omega-The International Journal of Management Science* 36, 2008.
- [9] Grosz, B. N., Horrocks, I., Volz, R., and Decker, S.; Description logic programs: Combining logic program with description logic, 20th International WWW Conference, 48-57, ACM, 2003.
- [10] Gruber, T. R.; "A translation approach to portable ontology specification," *International Journal of Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems*, 5(2) : 199-220, 1993.
- [11] Hauser, J. R.; "Research, Development and engineering metrics," *Management Science*, 44(12) : 1998.
- [12] Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Boley, H., and Tabet, S.; "SWRL: a semantic web rule language combining OWL and RuleML," <http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-SWRL-20040521/>, 2004.
- [13] Jess Rule Engine, <http://herzberg.ca.sandia.gov>.
- [14] Kaplan, R. S. and Norton, D. P.; "The balanced scorecard - measures that drive performance," *Harvard Business Review*, 70(1/2) : 1992.
- [15] Kerssens-van Drongelen, I. C. and Bilderbeek, J.; "R&D Performance measurement: more than choosing a set of metrics," *R&D Management*, 29(1) : 1999.
- [16] Kerssens-van Drongelen, I. C., Nixon, B., and Pearson, A.; "Performance measurement in industrial R&D," *International Journal of Management Reviews*, 2(2) : 2000.
- [17] Kim, B. and Oh, H.; "Economic compensation compositions preferred by R&D personnel of different R&D types and intrinsic values," *R&D Management*, 32(1) : 2002.
- [18] Leifer, R. and Triscari, T.; "Research versus development: differences and similarities," *IEEE transactions on Engineering Management*, 34(2) : 1987.
- [19] Meyer, M. H., Tertzakian, P., and Utterback, J. M.; "Metrics for Managing Research and Development in the Context of the Product Family," *Management Science*, 43(1) : 88-111, 1997.
- [20] Meyersdorf, D. and Dori, D.; "System modeling of the R&D domain through the object-process methodology: a practical tool to help R&D satisfy its customers' needs," *R&D Management*, 27(4) : 1997.
- [21] Moser, M. R.; "Measuring performance in R&D settings," *Research Management*, 28(5) : 1985.
- [22] Pappas, R. A. and Remer, D. S.; "Measuring R&D productivity," *Research Management*, 16(3) : 1985.
- [23] PROTEGE, Protege ontology modeling tool, <http://protege.stanford.edu/>, 2007.
- [24] Schainblatt, A. H.; "How companies measure the productivity of engineers and scientists," *Research Management*, 25(3) : 1982.
- [25] Smith, M. K., Welty, C., and McGuinness, D. L.; "OWL Web ontology language guide, W3C recommendation," <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/>, 2004.
- [26] Tipping, J. W., Zeffren, E., and Fusfeld, A. R.; "Assessing the Value of Your Technology," *Research Technology Management*, 38(5) : 1995.
- [27] TVP 2.0, Technology Value Program, Industrial Research Institute, <http://www.iriinc.org/>, 2008.
- [28] Wayne G., B. and Noah, P. B.; "Utilizing the balanced scorecard for R&D performance measurement," *R&D Management*, 34(3) : 2004.
- [29] Werner, B. M. and Souder, W. E.; "Measuring R&D performance-state of the art," *Research-Technology Management*, March-April, 1997.
- [30] Wilson D. K., Mueser, R., and Raelin, J. A.; "New look at performance appraisal for scientists and engineers," *Research-Technology Management*, 37(4) : 1994.
- [31] Yang, C. L., Chuang, S. P., and Huang, R. H.; "Manufacturing evaluation system based on AHP/ANP approach for wafer fabricating industry," *Expert Systems with Applications*, 36 : 2009.