

# 제품자료 분석을 통한 제품설계 실험 실패 요인 분석

도남철†

경상대학교 산업시스템공학부/공학연구원

## Analysis of Failure in Product Design Experiments by using Product Data Analytics

Namchul Do

Department of Industrial and Systems Engineering at Gyeongsang National University, ERI

This study assessed and analysed a result of a product design experiment through Product Data Analytics (PDA), to find reasons for failure of some projects in the experiment. PDA is a computer-based data analysis that uses Product Data Management (PDM) databases as its operational databases. The study examines 20 product design projects in the experiment, which are prepared to follow same product development process by using an identical PDM system. The design result in the PDM database is assessed and analysed by On-Line Analytical Processing (OLAP) and data mining tools in PDA. The assesment and analysis reveals the lateness in creation of 3D CAD models as the main reason of the failure.

**Keywords:** Product Data Analytics (PDA), Product Data Management (PDM), Product Design Performance Evaluation, On-Line Analytical Processing (OLAP), Data Mining

### 1. 서론

제품자료 분석(Product Data Analytics : PDA)이란 설계 데이터베이스에 저장된 제품자료를 평가하고 분석하여 현실의 설계과정(Design Process)을 이해하려는 접근 방법이다. PDA에서 평가란 대상의 특성을 반영하는 특정 자료 값을 검색하고 계산하는 방법이며, 분석은 특성 값을 계산하기 위하여 추가적인 모델을 이용하는 방법이다. PDA는 평가와 분석을 위한 운영 자료(Operational Data)로써 기업에서 광범위하게 사용하고 있는 Product Data Management(PDM) 시스템의 데이터베이스를 사용한다. PDM 시스템은 제품설계 자료와 과정을 일관되게 관리함으로써 제품설계를 효율화하기 위한 대규모 데이터베이스 응용 시스템이다.

학계에서는 제품설계 과정을 이해하고 표현하기 위하여 많은 연구를 진행하였다. 그러나 제품설계 과정은 형태가 없고, 정형화되지 않았으며, 지식 집약적 특성을 가졌으므로 종합적이고 객관적인 모델 구축과 이를 통한 평가와 분석에 많은 어

려움을 겪어왔다(O'Donnell and Duffy, 2005).

PDA는 설계 과정 내부의 인과 관계를 평가하고 분석하는 것이 아니라, 설계에서 생성한 자료 간의 상관관계를 분석하여 특정 설계 과정을 예측하거나 평가한다는 점에서 기존 접근 방법과 구별된다(<Figure 1> 참조).

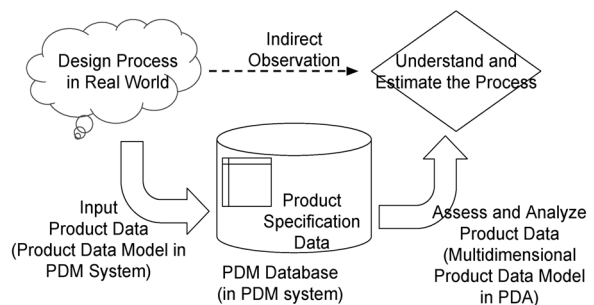


Figure 1. Indirect Observation in Product Data Analytics through PDM databases

† 연락처 : 도남철 교수, 660-701 경남 진주시 진주대로 501 경상대학교 공과대학 산업시스템공학부, Fax : 055-772-1699, E-mail : dnc@gnu.ac.kr

2013년 10월 22일 접수; 2013년 12월 2일 수정본 접수; 2014년 3월 2일 게재 확정.

<Figure 1>에서 보는 바와 같이 PDA는 복잡하고 비정형적인 설계 과정을 직접 이해하고 표현하는 대신 설계에서 생성한 PDM 데이터베이스(PDM Database)의 제품자료를 평가하고 분석하여 설계 과정의 특성을 간접적으로 이해한다. <Figure 1>의 현실 설계 과정(Design Process in Real World)에서 발생한 설계 자료는 PDM 시스템을 통하여 PDM 데이터베이스에 저장된다. 이 때 설계 과정과 자료를 데이터베이스에 표현하기 위하여 제품자료모델(Product Data Model)이 사용된다. PDM 데이터베이스에 저장된 설계 자료는 PDA 방법론에 의하여 평가되고 분석된다. PDA는 평가와 분석을 위해 컴퓨터 기반 분석 기법을 사용하며, 이때 제품자료를 분석자료로 변경하기 위한 모델(<Figure 1>에서는 Multidimensional Product Data Model)이 필요하다. 사용자는 PDA 결과를 통하여 대상 설계 과정을 이해하거나 평가할 수 있으며, 이는 제품설계 자료를 통해 설계 과정을 간접적으로 이해하는 것이다(Indirected Observation).

현재 개념 단계인 PDA 방법론을 체계화하고 사례를 확보하기 위하여, 본 연구는 20개 과제로 이루어진 제품설계 실험에 PDA를 적용하였다. 이를 통해 복수의 평가 지표를 평가 분석하여 제품설계 실험 실패에 관련된 지표와 해당 값을 확인한다.

본 연구를 진행함으로써 다음과 같은 결과를 기대 할 수 있다. 첫째, PDA를 통한 제품개발 평가 및 분석 체계를 보다 구체화할 수 있다. 둘째, PDA 적용 사례를 획득하고 이를 통해 PDA가 유효함을 확인할 수 있다. 셋째, 통제된 제품개발 실험의 실패에 영향을 주는 평가 지표를 확인할 수 있다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장은 설계 과정을 이해하고 표현하려는 연구에 대하여 소개하고 이를 본 연구 방법과 여러 측면에서 비교한다. 제 3장은 PDA에 대하여 소개한다. 제 4장에서는 제품설계 실험의 평가와 분석에 대하여 설명한다. 제 5장에서는 연구 결과를 도출한다.

## 2. 관련 연구

본 연구는 PDA를 적용하여 제품설계 실험을 평가하고, 실패 이유를 확인하기 위한 과정을 다루고 있다. 그러므로 이 절에서는 기존의 제품설계 개발 성능 평가(Product Design/Development Performance Evaluation)와 비교하여 연구의 차이점을 설명한다.

### 2.1 다양한 제품설계 과정 모델

제품설계를 평가하기 위해서는 대상 제품설계 과정에 대한 모델이 필요하다. 그동안 학계에서는 설계 활동과 과정을 표현하기 위한 다양한 모델을 개발하였다. Finger and Dixon(1998)은 제품설계 과정을 표현하는 모델을 기술(Descriptive), 규범(Prescriptive) 그리고 컴퓨터 기반 모델로 분류하여 소개하였다. 기술 모델에는 Protocol 연구 기반 모델, 인지 과학적 모델(Cognitive Model) 그리고 사례 연구를 포함한다. 규범 모델에

는 규범 모델과 공리 설계, 그리고 강건 설계 등을 포함한다. 컴퓨터 기반 모델로는 파라메트릭 모델, 규칙 기반 제품 구성(Product Configuration) 모델, 그리고 기능 모델과 통합된 개념 설계 모델 등을 포함한다. 또한 제품설계 과정에 대한 지식 관리 관점의 모델들도 존재한다.

하지만 서론에서도 언급하였듯이 설계 과정은 정형화되거나 규정화되기 어려우므로 제안된 방법들이 충분히 객관적이고 과학적인 모델을 제공하지 못하고 있다. Dixon(1988)은 자연 과학적 이론처럼 객관적이고 명확한 설계 과정 모델을 개발하는 것이 설계 연구의 궁극적 목표이며, 아직 이 목표에 다다른 모델은 존재하지 않는다고 설명했다. 그는 인지 과학적 모델은 정확히 정의되기 어려운 실험 변수를 많이 사용하고, 규정 모델은 아직 검증 되지 못한 이론에 기반하고 있음을 비판하였다. 반면 컴퓨터를 이용한 모델 연구가 객관적이고 명확한 결과를 생성할 가능성이 있음을 언급하였다.

기존 접근 방법에 비하여 PDA는 설계 과정을 기능은 알지만 작동 원리를 이해할 수 없는 복잡한 장치로 가정하고 이로부터 나오는 입력과 출력 관계로 대상을 간접적으로 예측한다. 그러므로 PDA에서는 대상 설계 과정을 상품기획, 시스템 설계, 상세 설계 그리고 생산 지원을 포함하는 일련의 단순한 제품 개발 단계로 표현하고 있다(Do, 2007; Ulrich and Eppinger, 2000).

### 2.2 설계 연구의 평가

위에서 언급한 다양한 제품설계 과정 모델은 대상을 정확하고 효과적으로 표현하는 목적을 가지고 있지만, 제품개발 과정이나 결과의 품질을 향상 시키는 암시적 목적도 가지고 있다. 그러므로 설계 연구에 대한 평가는 그 결과가 품질 향상을 위한 자동화가 가능 할 정도로 대상을 잘 표현하고 있는 지로 확인할 수 있다(Yoshikawa, 1983). PDA는 간단한 제품개발 모델에 응용 목적에 맞게 정의한 평가 지표와 데이터베이스 분석 방법을 통하여 원하는 분석 정보를 추출한다. 예로 본 연구에서는 제품설계 과정에 대한 상세한 모델 없이, 제품설계 성능 평가를 위하여 지표를 만들고 PDM 데이터베이스를 평가 분석하여 제품설계 과정의 특성을 찾아낸다. 그러므로 설계 과정 자체 보다는 제품개발 과정에 대한 특정 응용에 중심을 두고 있으며, 정보 기술을 이용하여 쉽게 제품설계 실패 방지를 위한 의사 결정을 돕거나 자동화 할 수 있다는 점에서 연구의 의미를 찾을 수 있다.

### 2.3 대상 설계 과정과 평가 지표

제품설계 평가에 대한 또 다른 쟁점은 평가 대상과 기준이다. 평가 대상은 다시 평가 수준(Level)과 범위(Range)로 나누어 볼 수 있다(O'Donnell and Duffy, 2005; Tatikonda, 2007). 평가 수준은 기업의 계층적 조직 구조 중 어느 것을 대상으로 하는지

결정한다. 평가 수준은 사업부 수준에서 단일 제품개발 과제 관리까지 다양한 조직 계층이 될 수 있다. 범위는 제품 수명 주기에서 대상이 되는 부분을 가리키며, 전체 수명 주기에서 단위 설계 단계까지 다양한 부분이 될 수 있다. PDA는 제품 상세 설계를 다루는 PDM 데이터베이스를 기반으로 하므로, 주로 과제 관리 수준과 제품설계 범위를 대상으로 한다. 본 연구도 단일 제품설계 과제를 기본 단위로 평가 및 분석을 진행한다.

평가 지표의 내용은 상황에 따라 달라질 수 있으나 지표의 종류는 결과 평가 지표(Result Measure)와 진행 평가지표(Ongoing Measures)로 나눌 수 있다(Tatikonda, 2007). 결과 평가 지표는 과제가 끝난 후에야 그 결과를 알 수 있는 지표로 시장에서 판매 결과를 얻어야 알 수 있는 설계 제품의 판매량이 대표적 결과 평가 지표이다. 반면 진행 평가 지표는 현재 진행 중인 평가 대상의 상태를 보여주는 지표로써 제 4장에서 다룰 기술 문서 생성 속도가 예가 될 수 있다. 평가 지표의 종류는 평가 범위와 관련이 있으며, 본 연구와 같이 설계 과제 관리 수준의 평가는 진행 평가 지표가 적합하다. 진행 평가 지표에 대한 필요성은 많이 주장 되지만 관련 연구는 부족한 상태이다(Tatikonda, 2007). 본 연구에서는 추후 과제의 비교 기준으로 사용할 것을 고려하여, 진행 평가 지표를 적용하여 각 과제를 평가하였다.

본 연구에서는 기술적인 평가를 위하여 Item, Document, 그리고 Structure 등에 대한 평가지표를 사용하였다. 일반적으로 제품개발 평가에 제품개발의 주요 가치인 품질, 비용 그리고 개발기간에 관련된 직접적인 지표를 사용한 경우가 많다(O'Donnell and Duffy, 2005). Do(2013a)는 품질, 가격 그리고 개발 기간에 관련된 평가지표를 PDA 연구에 적용하였다. 본 연구는 기존 연구의 On-line Analytical Processing(OLAP) 기법에 Data Mining 기법을 추가하였으며, 가상의 제품개발이 아닌 다수의 제품개발과제 실험을 분석하는데 PDA 방법을 적용하였다.

## 2.4 설계 과제 실험

지금까지 설계 과정을 인위적 조건 하에서 조성하여 실험한 예가 몇몇 존재한다. 특히 설계자의 활동을 체계적으로 기록하는 Protocol 연구 방법을 이용하여 분석한 예가 존재한다(O'Donnell and Duffy, 2005). 하지만 이 방법은 개인 설계자를 분석한 경우가 많았으며, 동일한 조건에 대한 다수의 실험을 진행하지 못하였다. 반면에 본 연구의 대상 실험은 동일한 PDM 데이터베이스에서 과정, 시간, 그리고 자료 구조가 통일된 20개 설계 과제를 진행함으로써, 결과의 비교 연구를 보다 체계적으로 진행할 수 있었다.

기존 방법은 설계 과정의 구성 요소와 인과 관계를 표현하는 모델을 작성하고 이를 통하여 설계 과정을 이해하고 예측하는 방식을 따르고 있으므로, 개발된 모델들은 현실적으로 구현하기 어렵거나 응용이 매우 제한적이다. 반면 PDA는 정의하기 힘든 설계 과정의 인과 관계 대신 설계 정보 시스템에서 생성되는 제품자료를 통하여 설계를 평가하고 분석하는 방

법이다. 그러므로 PDA는 기존의 접근 방법에 비하여 설계 과정에 대한 복잡한 모델이 없이도 특정 의사 결정을 위한 효과적인 평가나 분석이 가능하다.

## 3. Product Data Analytics

### 3.1 PDA 기본 개념과 장점

복잡한 제품설계 과정을 설계 활동 중에 생성된 제품자료를 통하여 분석하는 PDA의 기본 개념(<Figure 1> 참조)은 최근에 각광 받고 있는 자료 중심의 분석 방법에 기초한다. 그동안 데이터베이스에 축적된 방대한 운영 자료를 기반으로 고급 경영 의사 결정 지원을 위한 OLAP, Data Warehouse 그리고 Data Mining 등의 데이터베이스 분석 기법이 활발히 적용되었으며(Han and Kamber, 2001), 최근에는 이메일과 Social Network Service(SNS)와 같은 대량의 비정형 자료까지 분석하는 Big Data 개념들이 나타나고 있다. 이들 자료 중심의 분석 방법은 실제 현상의 인과 관계를 이해하기 보다는 컴퓨터화된 대량의 자료와 간단한 연관 관계를 통하여 복잡한 현실에 대한 예측이나 상호 관계를 밝히게 된다. 특히 Big Data의 경우 현실 속의 상호 인과관계를 이해할 필요 없이 방대한 관련 자료의 입력과 출력 관계를 통해 현실을 분석하고 예측한다(Mayer-Schonberger and Cukier, 2013). PDA는 분석 대상인 설계 과정이 복잡하고 PDM 데이터베이스를 통한 제품자료 축적이 방대하므로 자료 중심의 접근 방법이 유리하다. 그러므로 PDA는 제품설계 과정을 평가하고 분석하기 위한 유용한 도구가 될 수 있다.

자료 중심 분석 기법인 PDA는 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째, 복잡한 설계 과정을 분석하지 않고 제품자료의 입력과 출력 간의 상관관계를 통해 제품설계 과정을 효과적으로 평가하고 분석할 수 있다. 둘째, 데이터베이스에 장기간 축적된 방대한 제품설계 자료를 이용함으로써 설계 과정에 대한 신뢰성 높은 분석을 할 수 있다. 셋째, 설계 과정에 대한 자료의 수집, 처리, 분석, 그리고 확산을 모두 전산화된 제품자료를 기반으로 일괄 처리함으로써 정보 시스템 기반의 통합 의사 결정 지원 시스템을 효과적으로 구축할 수 있다.

### 3.2 PDA 적용 방법

PDA의 전체적 구성과 적용 방법은 일반적인 데이터 분석 방법과 유사하나, 평가 지표, 전환 모델, 그리고 분석 모델에 PDM 특성을 고려해야 한다. <Figure 2>는 본 논문에서 사용할 분석 시스템의 구조를 보여주고 있다. 이 구조는(Do, 2013a)에서 제안한 일반적인 아키텍처를 기반으로 분석을 위한 Data Mining 모듈을 추가하였다.

그림의 좌측은 PDM 시스템의 구조로써 PDM 서버와 클라이언트를 사용하여 PDM 데이터베이스에 제품자료를 저장하

고 관리한다. 이 때 설계 과정에 필요한 자료를 데이터베이스에 표현하기 위하여 제품자료모델(Product Data Model)이 적용된다. 그림의 우측 부분은 PDA가 사용하는 요소들로 OLAP와 Data Mining 기술을 사용할 수 있는 구조를 갖추고 있다. OLAP는 주로 다양한 차원(Dimension)을 통하여 자료를 검색하여 평가하는 용도로 많이 사용하며, Data Mining은 다양한 모델을 이용하여 검색된 자료를 분석하는 용도로 사용한다.

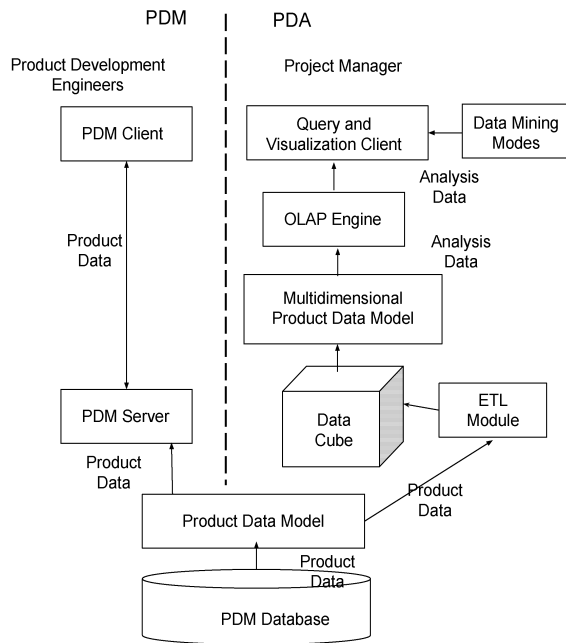


Figure 2. System Architecture for PDA

자료 평가를 위하여 우선 PDM 데이터베이스(운영 데이터베이스)에서 자료를 추출하여 다차원 분석이 가능한 Data Cube를 생성해야 한다. 다차원 분석은 분석 대상이 되는 평가값(예로 판매액, 갯수, 비용 등)을 다양한 차원(예로 위치, 판매자, 시간 등)을 통해 비교 평가하는 분석 작업을 뜻한다. 다차원 분석을 지원하는 Data Cube는 운영 데이터베이스의 자료를 전환하여 분석하고자 하는 다양한 차원으로 검색 가능하도록 만들어진 특별한 데이터베이스이다. Data Cube를 만들기 위해서는 먼저 어떤 차원을 통하여 자료를 분석할 지를 결정하고 이를 표현할 자료구조를 만들어 주어야 한다. 이 자료구조가 다차원 제품자료 모델(Multidimensional Product Data Model)이다.

다차원 제품자료 모델을 통하여 Data Cube의 구조가 결정되면, 이 구조는 일반적으로 PDM 데이터베이스의 제품자료 모델과 차이가 난다. 그러므로 PDM 데이터베이스의 자료를 Data Cube로 옮기기 위하여 Extract, Transform, Load(ETL) 모듈이라는 데이터 변환 모듈을 사용하게 된다. 본 연구에서는 PDM 데이터베이스만을 운영 데이터베이스로 사용하므로 ETL 모듈을 데이터베이스 질의와 관점(View)을 통하여 표현하고 이를 표준 데이터베이스 연결 방법을 사용하여 Data Cube에 연결한다.

Data Cube에 저장된 자료는 OLAP Engine에서 제공하는 다양한 질의와 연산을 통해 검색되고 평가된다. 이때 평가의 기준은 미리 마련된 평가 지표를 통해 제공되며, 각 평가 지표에 대해 다양한 통계적 연산이 적용될 수 있다.

본 연구에서는 단순 자료 분석은 연구자가 그래프 등을 통해 직접 분석 할 수 있게 하였고, 복잡한 자료 분석은 다양한 컴퓨터 모델을 이용하는 Data Mining 기법을 적용할 수 있도록 하였다. Data Mining에 필요한 자료는 OLAP와 일반 데이터베이스 검색을 통하여 준비되며, 이에 Data Mining 모델을 적용하여 다양한 분석이 가능하게 된다. 이와 같이 PDA는 PDM 데이터베이스에 저장된 제품자료에 OLAP와 Data Mining 등 컴퓨터 기반 자료 분석 기법을 적용하여 제품개발 과정을 평가하거나 분석하게 된다.

<Figure 3>은 PDA 구현 순서를 구체적으로 보여주고 있다. 우선 그림의 하단의 PDA Concept을 통하여 PDM 데이터베이스, 자료 분석 방법, 그리고 제품개발 평가 분야 적용이라는 PDA 기본 조건을 고려하게 된다.

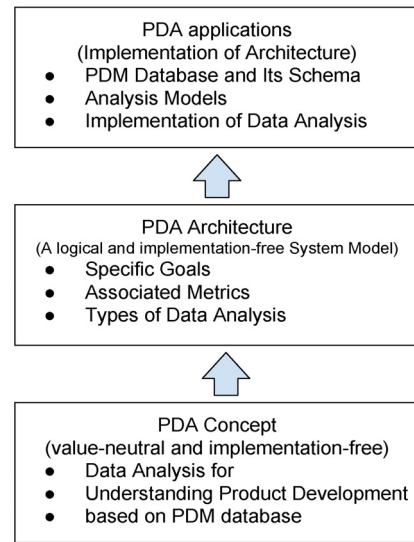


Figure 3. PDA Framework

PDA Concept을 바탕으로 PDA를 통해 구현될 시스템의 모습을 미리 설계하는 PDA Architecture를 구성하게 된다(<Figure 3>의 PDA Architecture). 이 과정에서 특정 응용 목표, 평가 지표 그리고 자료 분석 방법이 정의되게 된다. 본 연구에서는 목표로는 제품설계 실험의 실패 원인 분석, 평가 지표는 <Table 1>의 기술적 지표 그리고 자료 분석 방법은 OLAP와 Data Mining(Naive Bayesian Classifier) 방법을 사용하게 된다. 본 연구의 PDA Architecture는 <Figure 2>에 나타나 있다.

마지막으로 제안된 아키텍처를 구현하는 PDA 응용 단계(<Figure 3>의 PDA Applications)를 거치게 된다. 이 과정에서는 PDM 데이터베이스의 구조와 내용을 사용하게 되며, 구체적인 분석 모델과 분석 방법을 구현하게 된다. 본 연구에서는

PDM 시스템의 데이터베이스와 구조를 확보하였으며, OLAP와 Data Mining을 위한 분석 모델을 상용 자료 분석 도구를 이용하여 구현하였다.

#### 4. 제품설계 실험 평가 및 분석

##### 4.1 제품설계 실험과 평가 방법

제품설계 실험은 (Do, 2013b)에서 소개한 제품개발 설계 교육 과정을 기반으로 진행되었다. 설계 참가자들은 각 5명으로 구성된 20개 팀이 만들어져 약 3개월간 교육을 포함한 제품설계 과정에 참여하였다. 참가한 인원은 직업적 설계 경험이 없는 공학 전공 학부 학생이었으며, 각 참가자의 역할에 따른 협동 작업을 통해 제품설계를 완성하고, 이의 결과로써 완성된 설계의 부품 리스트, 3D CAD 문서, 그리고 제품구조를 정해진 PDM 시스템에 입력하도록 하였다. 실험은 부품 리스트와 제품구조를 기반으로 한 설계 정보의 완성에 관심을 두었으며, 참가자들의 부담을 줄이기 위하여 레고 블록과 레고 블록 전용 3D CAD를 이용하여 제품을 설계하도록 하였다.

설계 과정은 시스템 설계, 상세 설계, 그리고 생산 준비 과정으로 나누어 순차적으로 진행되었으며, 각 설계 과정의 시작 부분에 참가자들에게 필요한 이론과 PDM 시스템 사용 방법을 교육하였다. 참가자들은 시스템 설계 과정에서 2개 이상의 제품 구성(Product Configuration), 상세 설계 과정에서 부품 리스트, 3D CAD 모델, 그리고 제품구조, 생산 준비 과정에서 공정 구조를 생성하여 PDM 시스템에 입력하도록 하였다.

과제 성공은 정해진 기간 안에 실험 참가자들이 자체적으로 정한 제품을 설계하고 완성된 설계의 부품 리스트, 제품구성을 포함한 제품구조 그리고 CAD 모델 정보를 PDM 시스템을 통하여 생성하였는지 여부로 결정되었다.

본 실험에서 사용한 PDM 시스템은 TEE(Team Engineering Environment)로 명명된 자체적으로 개발된 웹 기반 PDM 시스템이다(<http://tee.gnu.ac.kr>). TEE는 부품을 나타내는 아이템(Item), 아이템 간의 제품구조를 표현하는 아이템 구조(Item Structure), 아이템 별 문서를 관리할 수 있는 문서 관리 기능을 제공하며, 생산 공정을 표현하는 활동(Action) 객체도 제품구조에 포함할 수 있다. 또한 기본적인 계정 및 권한 관리 기능을 제공하여 다른 사용자가 만든 부품을 공동 제품구조에 추가하는 협동설계가 가능하다. TEE에서 제공되는 모든 객체는 생성자와 생성 시간 로그 정보가 시스템 수준에서 기록되며, 삭제된 객체에 대한 로그도 저장한다.

본 실험의 기본 평가 단위는 과제(Project)이다. 실험에 사용된 PDM에서 과제 객체는 과제 대상이 되는 제품구조의 최상위 아이템을 하위 아이템으로 포함함으로써 과제의 대상과 범위를 설정한다. 그러므로 본 실험에서 각 과제에 속한 대상 아이템, 문서, 그리고 제품구조는 과제 아이템(Project Item)의 하위 제품구조에 속한 모든 아이템과 해당 아이템에 연결된 기

술 문서, 그리고 제품구조를 구성하는 아이팀 간의 구성 관계이다.

참가한 20개 팀 중 2개 팀이 시간 내에 PDM 내에 요구되는 자료를 완성하지 못하였다. 18개 팀의 일부는 1주일간의 시간 연장을 통하여 모든 작업을 완성하였다. 과제 성공 여부 평가를 위하여 PDM 시스템 내에 제품 구성, 부품 리스트, CAD 문서, 그리고 제품구조가 모두 입력되었는지 확인하였으며, 제품 구성과 제품구조 정의가 일관되고 논리적으로 정의 되었는지 확인하였다. <Figure 4>는 참가 팀 중의 한 팀의 완성된 2개의 제품 구성과 PDM에 저장된 제품구조 일부를 보여주고 있다.



Figure 4. Completed Item Design and Its Product Structure Data in PDM System

##### 4.2 평가 지표

제품설계 실험의 평가와 분석에서 사용된 지표가 <Table 1>에 나타나 있다. 이번 연구는 기술적 분석 방법을 확인하는 것이 중요하므로 대상 객체인 아이템(부품), 기술 문서, 그리고 제품구조 별로 평가 지표를 고려하였다.

첫 번째 Items 분류에는 과제 당 생성 아이템 개수(<Table 1>의 no items), 설계자 수(no designers), 설계자 별 평균 아이템 수(no person), 아이템 생성 속도(velocity), 아이템 생성일 평균(mean)과 표준편차(std dev)가 포함된다. 설계자 수 지표는 객체 생성에 참여한 설계자 수를 뜻한다. 실험에서는 설계자 참여 수를 제한하지는 않았지만, 제품설계와 공정설계 두 분야의 2명 이상 설계자 참여를 권고하였다. 설계자별 평균 아이템

생성 수는 생성 아이템 개수를 설계자 수로 나눈 것이다. 아이템 생성 속도는 아이템 생성 기간 중 아이템 생성 개수를 뜻하며, 아이템 생성 기간은 마지막 아이템 생성 일에서 최초 아이템 생성 일을 빼고 1을 더한 일수이다.

두 번째 Documents 분류도 생성 문서 개수(no document), 설계자별 평균 문서 생성 수, 생성 속도, 생성일 평균과 표준편차 등 Items 분류와 유사한 지표를 가지고 있다. 추가로 아이템 당 평균 문서 수(no per item)는 생성 문서 수를 아이템 수로 나눈 값이다.

세 번째 Structures 분류는 아이템 사이의 제품구조에 관한 지표들이다. 이 분류도 생성 제품구조 수(no structure), 설계자별 평균 제품구조 생성 수, 생성 속도 그리고 생성일 평균과 표준편차 등 아이템과 유사한 지표로 구성되어 있다. Structures 경우 다른 분류와 다르게 각 아이템 당 평균 하위 아이템 수(no sub items)와 평균 공유 횟수(sharing no) 지표를 포함한다. 평균 하위 아이템 수는 하나의 아이템에 평균 몇 개의 하위 아이템을 가지고 있는 지를 표시하며, 평균 공유 횟수는 하나의 아이템이 평균 몇 개의 하위 아이템으로 연결되었는지를 표시한다.

**Table 1.** Key Performance Indicators for Evaluation of Product Design Projects

objects	KPIs	description
Items	no items	no of participating items
	no designers	no of participating designer
	no per person	no of items per designer
	velocity	no items/duration
	mean	mean of create date
	std dev	standard deviation of create date
	documents	no document
no per person		no of documents per designer
velocity		no documents/duration
mean		mean of create date
std dev		standard deviation of create date
no per item		no of documents per item
structures	no structure	no of participating structures
	no per person	no of structures per designer
	velocity	no structures/duration,
	mean	mean of create date
	std dev	standard deviation of create date
	no sharing	no of sharing items per item
	no sub items	no of sub items per item

제안된 평가 지표들은 제품개발 과정(Design Activity)과 제품개발 결과(Product Design)에 관련된 지표로 분류할 수 있다. 예로 Item 당 Document 수는 제품개발 결과 평가 지표로 볼 수 있으며, Velocity는 제품개발 과정에 관한 평가로 볼 수 있다. 현재 제품개발 과정과 결과에 관련된 지표와 두 지표 사이의 관계에 대하여 토의가 되고 있으나, 보다 심도 있는 연구가 필요한 실정이다(O'Donnell and Duffy, 2005). 그러므로 본 연구에서는 두 가지 종류의 평가 지표를 구분 없이 사용하고 있다.

### 4.3 평가 및 분석 결과

#### (1) 실험 결과의 평가

<Table 1>의 평가지표 값을 계산하기 위하여 응용 프로그램과 데이터베이스 질의를 이용하여 관련 자료를 검색하고, 이를 바탕으로 Microsoft Excel(이하 Excel)의 계산표를 통해 지표 값을 계산하였다. 이 방법을 통하여 관리자는 응용 프로그램을 실행하고 PDM 데이터베이스에 연동된 Excel 파일을 열어 자동 계산된 최신 설계 평가지표 값을 얻을 수 있다. <Figure 5>는 Excel 표를 통해 계산된 평가지표 값의 일부를 보여주고 있다.

KPI values for 2013C program

Project	P/F	items								
		no	no person	per person	dur	velocity	mean	mean date	stddev	
oid	succ	item	no pt	item	item d	item vel	item mea	일1	item std	
2886	1	16	2	8	36	0.4444	735349	2013-04-26	7.33	
2894	1	14	2	7	45	0.3111	735344	2013-04-21	15.59	
2916	1	22	2	11	42	0.5238	735341	2013-04-18	14.00	
2928	1	18	2	9	31	0.5806	735354	2013-05-01	12.32	
2991	1	16	2	8	29	0.5517	735355	2013-05-02	11.64	
3059	1	17	1	17	24	0.7083	735358	2013-05-05	10.85	
3162	1	22	2	11	23	0.9565	735353	2013-04-30	6.08	
3165	1	24	2	12	31	0.7742	735356	2013-05-03	10.24	
3193	0	16	2	8	45	0.3556	735360	2013-05-07	17.23	
3194	0	17	2	8.5	47	0.3617	735342	2013-04-19	16.88	
3247	1	18	2	9	24	0.7500	735356	2013-05-03	7.86	
3258	1	12	1	12	23	0.5217	735357	2013-05-04	8.11	
3287	1	15	1	15	36	0.4167	735355	2013-05-02	8.82	
3288	1	14	2	7	26	0.5385	735357	2013-05-04	8.21	
3328	1	24	1	24	1	24.0000	735354	2013-05-01	0.00	
3373	1	13	1	13	33	0.3939	735358	2013-05-05	10.31	
3378	1	40	2	20	20	2.0000	735357	2013-05-04	6.76	
3380	1	18	2	9	27	0.6667	735353	2013-04-30	5.78	
3381	1	22	2	11	24	0.9167	735355	2013-05-02	6.23	
3384	1	20	2	10	28	0.7143	735353	2013-04-30	8.72	
3527	1	21	1	21	1	21.0000	735386	2013-06-02	0.00	

**Figure 5.** Values of Evaluation Measures for Product Development Projects

<Figure 5>의 표에서 Project 속성은 각 과제에의 고유 객체 식별자를 표시하고 있다(첫 번째 과제의 식별자는 2886이다). 다음 속성인 P/F(Pass/Fail)는 과제의 성공 여부를 표시한다(1은 성공 0은 실패). 그림에서 3193과 3194 과제가 실패한 것을 알 수 있다. 다음 속성 값들은 각 과제별 평가 지표 값을 나타내고 있다. 예로 2886과제는 총 16개의 아이템이 생성되었고(items no), 과제 내에서 객체를 생성한 사용자가 2명이며(items no person) 각자 평균 8개의 아이템을 생성하였다(items per person). 또한 최초 아이템 생성에서 마지막 아이템 생성까지는 총 36일이 걸렸으며(items dur), 이는 하루 평균 0.44개씩 아이템을 생성한 것이 된다(items velocity). 아이템 생성 평균 날짜는 2013-04-26이며(items mean date) 생성일의 표준 편차는 7.33일(items std dev)이다. 이외에도 <Table 1>의 Document와 Structure 분류에 속한 다수의 평가 지표 값을 계산하였다.

계산된 지표 값 외에 다양한 질의와 Data Cube를 구현한 Excel Pivot Table을 이용한 다차원 평가 그리고 그래프를 통한 평가를 통하여 과제의 성공 여부와 관련된 다음과 같은 특이 사항을 발견하였다.

1일 동안에 자료를 완성한 2개의 팀이 발견되었다(과제 3328, 3527). 한 팀은 TEE 시스템과 이 실험을 이미 경험한 참여자가 있어 쉽게 자료를 작성하였고, 다른 한 팀은 결과 제출을 위하여 오류가 있던 기존 작업 내용을 지우고 자료를 일괄 재입력하였다. 추후 분석에서 두 과제는 예외로 처리하였다.

생산 준비 단계에서 공정설계 정보를 입력할 때, 기존 설계자와 다른 공정설계자가 참여하도록 추천하였으나, 객체의 생성자가 1인인 과제가 6개 발생하였으며, 위에서 언급한 1일간 완성한 2 과제는 모두 1인이 완성한 과제였다. 반면 실패한 두 과제(3193, 3194)는 모두 2인이 협동 작업을 하였다.

실패한 두 과제(3193, 3194) 모두 아이템과 문서의 Duration 지표가 매우 긴 것으로 나타났다(아이템의 경우 각 45, 47일, 전체 과제 평균 28일). Duration 지표는 속도 지표 계산을 위해 준비된 값으로 최종적으로 생성된 아이템의 생성일에서 최초 생성한 아이템의 생성일을 빼고 1을 더한 수이다. 즉 아이템 생성 기간을 뜻한다.

이와 같은 평가는 평가 지표와 지표를 계산하는 과정에서 나온 수치, OLAP 연산을 통해 발견된 성향을 표시한 것이다. 다음 단계인 분석에서는 평가 결과에 분석 모델을 적용하여 과제의 성공과 지표 간의 객관적인 상관관계를 도출해 보았다.

(2) 실험 결과의 분석

분석을 위하여 Microsoft SQL Server 2005 Analysis Service의 Excel Table Analysis Tool의 주요 영향 요인 분석(Analysis of Key Influences) 도구를 사용하였다(Microsoft, 2013). 이 도구는 Naive Bayesian Classification 알고리즘을 사용하여 특정 속성에 영향을 미치는 속성과 그 정도를 찾아 낼 수 있다. 본 연구에서는 실험 과제의 성공과 실패에 영향을 미친 지표와 그 정도를 분석하는 용도로 이 기법을 사용하였다. <Figure 6>는 <Figure 5>의 평가 지표 값에 적용된 주요 영향 요인 분석 결과이다.

success'에 대한 주요 영향 요인 보고서			
success'의 값에 대한 주요 영향 요인과 그 영향			
열 또는 '유사성'을(를) 기준으로 필터링하면 다양한 열이 'success'에 주는 영향을 확인할 수 있습니다.			
열	값	유사성	상대적 영향
doc_dur	>= 44	0	
item_vel	< 0.416666666666667	0	
item_stdv	>= 13.7844970464	0	
doc_vel	< 0.457142857142857	0	
doc_stdv	>= 14.25285	0	
item_dur	>= 36	0	
item_no	17 - 18	0	
doc_person	< 8.721131368	0	
doc_stdv	8.4349656176 - 14.25285	0	
item_person	< 9.4544060288	0	
item_no	15 - 17	0	
doc_mean	735351.354 - 735354.3714	0	
doc_mean	< 735348.7381	0	
열1	< 2013-04-30	0	
doc_no	< 15	0	
item_mean	< 735352.7	0	

Figure 6. The Result of Analysis of Key Influences for Product Design Experiment

<Figure 6>에 따르면 과제 실패에 가장 영향을 많이 미치는 요소는 문서 생성 기간, 아이템 생성 속도, 아이템 생성일 표준편차 그리고 문서 생성 속도이다. 또한 문서 생성일의 표준편차도 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 문서 생성 기간의 경우 44일 이상으로 긴 경우(실패 과제는 64, 45일, 전체 평균 30일) 실패에 영향을 미치고 있으며, 아이템 생성 속도는 0.41개/일 미만일 경우(실패 과제는 0.35, 0.36개/일, 평균 2.73개/일)에 실패에 영향을 미쳤다. 아이템 생성일의 표준편차가 13.78일 이상일 경우에도 실패에 큰 영향을 미쳤다(실패 과제 17.23, 16.88일, 평균 9.19일). 또한 문서의 생성 속도가 0.45개/일 이하인 경우(실패 과제 0.31, 0.23개/일, 평균 1.08개/일) 실패에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

분석 내용을 확인하기 위하여 실험에 참가한 각 과제별 아이템, 아이템 구조 그리고 문서의 생성을 시계열 그래프로 표시할 수 있는 데이터베이스 응용 프로그램을 사용하였다(<Figure 7> 참조). 응용 프로그램은 각 과제별 아이템, 아이템 구조, 그리고 문서의 생성을 생성 날짜와 날짜별 생성 누적 객체 수, 날짜 간 간격을 계산한 후 이를 그래프로 그려준다.

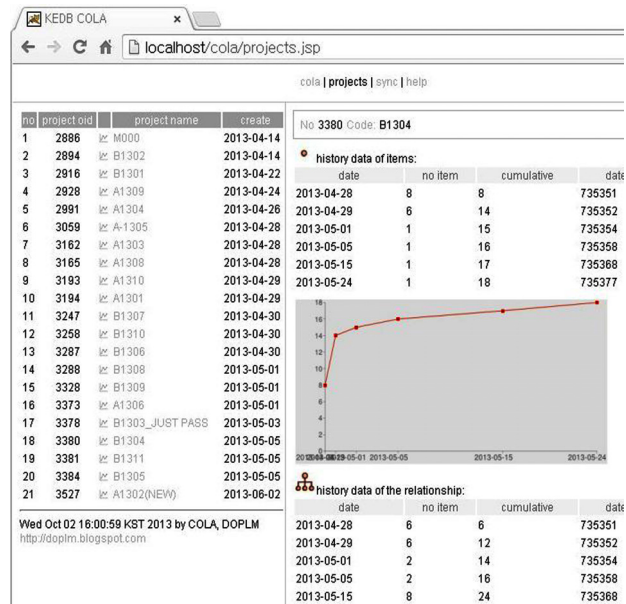


Figure 7. A Web Application for Analysis of Each Participating Project

<Figure 8>은 <Figure 7>의 응용 프로그램에서 각 1개의 성공한 과제(<Figure 8>의 좌측 그래프)와 실패한 과제(<Figure 8>의 우측 그래프)의 아이템(a), 아이템 구조(b) 그리고 문서(c)의 시간(일)에 따른 누적 생성 수를 표시한 그래프를 보여주고 있다. 좌측 성공한 과제의 경우 아이템 26일, 아이템 구조 26일, 그리고 3D CAD 문서 17일간 총 6회에 걸쳐 객체들이 점차적으로 생성된 것을 알 수 있다. 반면 우측 실패한 과제의 경우 아이템 46일, 아이템 구조 63일, 그리고 CAD 문서 63일간 아이템과 아이템 구조는 4회, CAD 문서는 2회에 걸쳐 생성된 것을 알 수 있다.

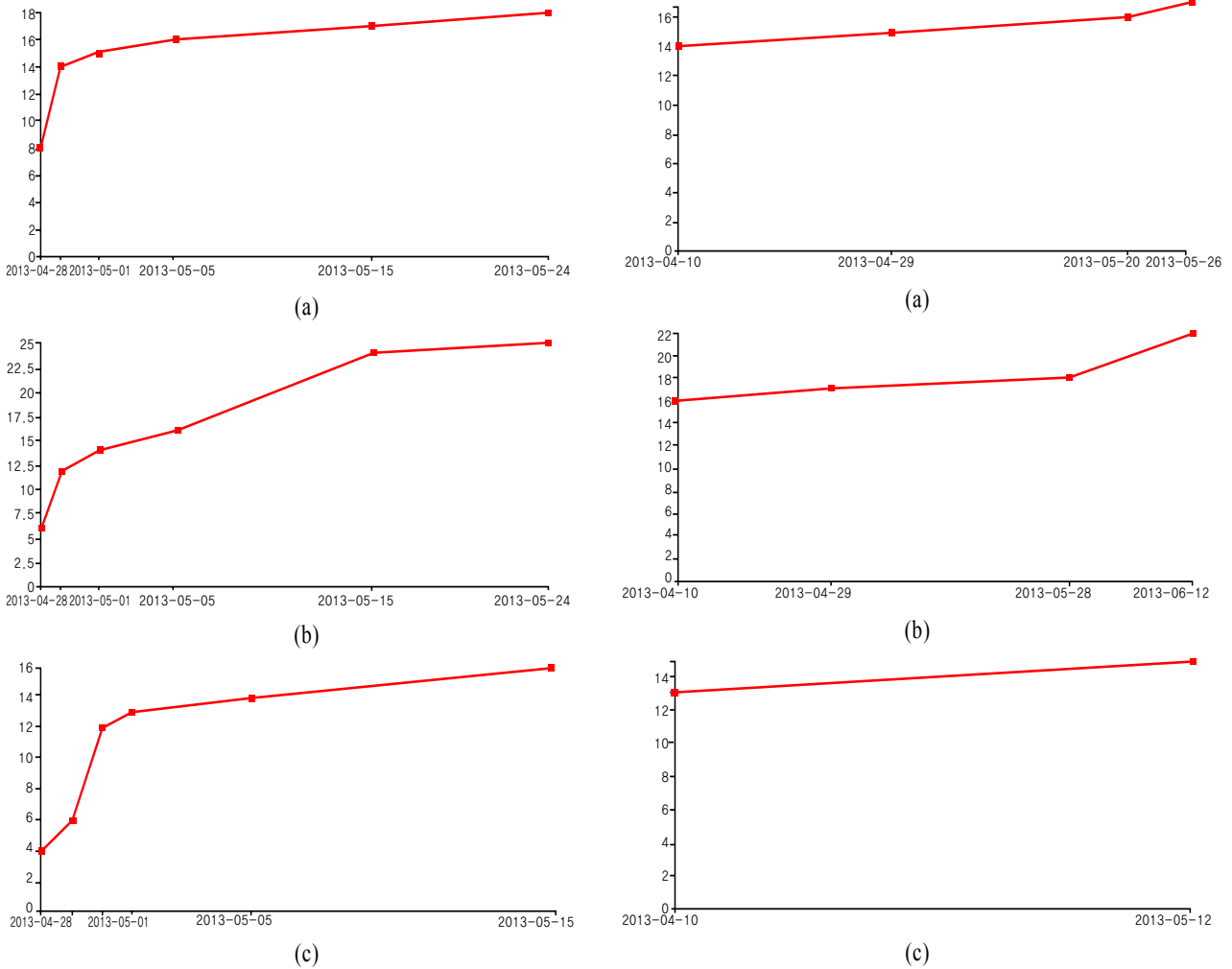


Figure 8. Comparisons between Typical Successful (left) and Failed (right) Projects in Trend of Item (a), Structure (b) and Document (c) Creation

위의 사례와 같이 실패한 과제는 오랜 기간 동안 객체를 적은 횟수에 걸쳐 생성하였으며, 특히 3D CAD 문서 객체의 경우 아이템이나 아이템 구조보다 더 적은 횟수가 생성되었다. 이는 3D CAD 문서 생성이 아이템을 만들거나 아이템 구조를 생성하는 것에 비하여 더 복잡하고 많은 작업이 필요하므로, 이 작업이 늦어지거나 이루어지지 않는 것이 성공과 실패의 가장 큰 영향을 준 것으로 예측된다.

실제 과제를 진행한 참가자를 상담 한 결과 실패한 과제의 구성원들은 과제 종료에 가까운 시점까지 상호 교류가 적었거나, 의견 대립으로 과제 진행이 어려웠으며, 제품구조나 아이 템은 비교적 쉽게 생성할 수 있었으나, CAD 모델을 작성하기 위해서는 설계의 모든 부분이 결정되어야 하므로 과제 종료 시점까지 완성하기 어려웠다고 밝혔다.

위의 분석 결과를 이용하면, 과제의 성공을 위하여 특정 지표 값에 따라 선제적으로 필요한 조치를 취하는 것이 가능하다. 만일 현재 진행 중인 과제의 3D CAD 문서 생성이 다른 과제나 과거 비슷한 과제보다 횟수가 줄어들고 생성 일 사이의 간격이

길어진다면 과제가 실패할 가능성이 높아진다고 볼 수 있다. 그러므로 과제 관리자는 이 지표 값을 통하여 해당 팀의 문제 점을 확인하고 선제적으로 필요한 조치를 취할 수 있다.

### 5. 결론

본 연구는 제품설계 개발 분석을 위한 PDA 방법론을 제한된 환경의 실험을 통하여 적용한 사례를 소개하였다. 본 연구의 결과를 통해서 PDA 개념을 보다 체계화할 수 있었으며, 보다 발전된 적용 방법론을 연구할 수 있을 것으로 기대한다. 동시에 현재의 단순한 제품설계 과정 실험 대상을 앞으로 다양한 방식으로 확대할 수 있을 것이다. 예로 현재 설계변경(Engineering Changes)이 포함된 제품설계 과정에 대한 실험을 준비하고 있다. 아울러 현재의 기술적 지표 외에 제품개발 성공에 직접적인 원인이 되는 비용, 품질 그리고 개발 기간 등을 지표로 포함하는 연구가 필요하다.



추후 연구에서 가장 중요한 확장은 기업의 실제 설계 정보에 PDA를 적용해 보는 것이다. 여러 가지 실험을 통하여 PDA를 체계화하고 분석 과정을 발전시킨다면, 기존의 방대하게 축적된 기업의 설계 정보로부터 다량의 고급 제품개발 관련 지식들을 추출하고 이용할 수 있을 것으로 예측한다.

## 참고문헌

- Dixon, J. R. (1988), On Research Methodology Towards A Scientific Theory of Engineering Design, *Artificial Intelligence for Engineering, Design, Analysis and Manufacturing (AI-EDAM)*, 1(3), 145-157.
- Do, N. (2007), *Introduction to PLM and Its Applications*, Saengreung Press, Seoul Korea.
- Do, N. (2013a), An Information System Architecture for Extracting Key Performance Indicators from PDM Databases, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 39(1), 1-9.
- Do, N. (2013b), Developing an Introductory Training Course to PLM, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 18(1), 28-35.
- Finger, S. and Dixon, R. (1998), A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part I : Descriptive, Prescriptive, and Computer-Based Models of Design Process, *Research in Engineering Design*, 1, 51-67.
- Han, J. and Kamber, M. (2001), *Data Mining Concepts and Techniques*, Morgan Kaufmann.
- Mayer-Schonberger, V. and Cukier, K. (2013), *Big Data : A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*, Eamon Dolan/oughton Mifflin Harcourt.
- Microsoft (2013), Microsoft SQL Server 2005 Analysis Service, <http://microsoft.com/sql>.
- O'Donnell, F. J. and Duffy, A. H. B. (2005), *Design Performance*, Springer-Verlag, London.
- Tatikonda, M. V. (2007), Product Development Performance Measurement, chapter in *The Handbook of New Product Development*, edited by Loch, C. and Kavadias, S., Elsevier Publishers, London, United Kingdom.
- Ulrich, T. K. and Eppinger, D. S. (2000), *Product Design and Development 2nd ed*, McGraw-Hill Higher Education.
- Yoshikawa, H. (1983), Automation of Thinking in Design, *Proc. of Computer Applications in Production and Engineering*, North-Holland, Amsterdam, 405-417.