

# 3D CAD 모델의 품질 측정을 위한 오류 발생 특징 별 시그마 수준 분석

유효선<sup>1\*</sup> · 양정삼<sup>2</sup> · 박재일<sup>2</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 대학원 산업공학과 / <sup>2</sup>아주대학교 산업정보시스템공학부

## Calculating a Sigma Level for Quality Measurement of 3D CAD Models from Their Error Occurrence Characteristics

Hyosun You<sup>1</sup> · Jeongsam Yang<sup>2</sup> · Jaecil Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Ajou University

<sup>2</sup>Division of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University

As more individuals and organizations participate in the complex design process of manufacturing industry, collaborative product development and management of the global supply chain have become more popular. Although the product quality concerns once focused on the manufacturing process, they are now directed at earlier stages of the design cycle where the engineering product is created as a 3D CAD model. In this paper, we describe the current state of product data quality activities in the manufacturing industry and the yardstick to measure 3D CAD data quality. Moreover we introduce a quality assurance method through the result of statistical analysis of 3D CAD models and suggest a six sigma level of CAD data quality by analyzing 76 samples provided from three Korean automotive companies.

**Keyword:** sigma level, CAD model quality, quality assurance, statistical analysis

### 1. 서론

시장의 변화에 유연하게 대응하기 위해서 많은 기업들은 제품 개발 프로세스의 병렬화를 시스템적으로 지원하는 동시공학 개념을 확장하여, 제품개발에 참여하는 구성원들을 협업 공학 체계 내에서 효과적으로 운용하고 이들이 상용하는 C3PE(CAD, CAE, CAM, PDM, ERP) 시스템을 체계적으로 통합하는 가상 협업 기업 환경(Virtual collaborative enterprising environment)을 구축하고 있다. 가상 협업 기업 환경을 인체에 비유한다면 C3PE 시스템들은 인체의 주요 장기에 해당되고, 이들 C3PE 시스템들 사이에 건강한 혈액처럼 품질이 확보된 제품데이터를 공급하

는 것은 기업이 시장에서 그들의 경쟁력을 확보하는 중요한 수단이 된다.

미국 내 하나의 완성차 제조업체 내부에서 제품 개발에 참여하는 설계부서들 상호간의 데이터 교환과 완성차 제조업체와 협력업체 사이의 생산 공급망에서 이루어지는 데이터 교환은 1년 평균 453,000건에 이르고 있고, 데이터 교환하는 과정에서 발생하는 설계데이터의 품질 문제를 해결하기 위해서 미국 자동차산업에서는 1년에 약 10억 달러의 비용을 투입하고 있다(Brunnermeier and Martin, 1999). 신차 개발 프로세스에서 발견되는 설계데이터 오류의 대부분은 개발 프로세스가 상당 부분 진행된 생산 공정에서 발견되고, 이때는 오류의 확산이 이루어

이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-331-D00701).

\*연락처 : 양정삼 교수, 443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 산업정보시스템공학부,

Fax : 031-219-1610, E-mail : jyang@ajou.ac.kr

투고일(2010년 07월 27일), 심사일(1차 : 2010년 08월 18일, 2차 : 2010년 09월 08일), 게재확정일(2010년 09월 17일).

어진 이후가 되기 때문에 오류의 원인을 찾고 수정한 결과를 피드백(Feedback) 하는데 많은 리드타임(Lead time)이 발생되고 추가 비용이 소요 된다.

제품개발 초기단계에서 품질이 확보된 설계데이터는 후속 공정의 업무 효율과 양산 제품의 품질에 직접적인 영향을 주기 때문에 많은 기업에서는 데이터의 품질 향상을 위해 적극적인 활동을 전개하고 있다. 그러나 이들 활동의 대부분은 상업용 품질 검사 툴에 의존하여 3D CAD 모델 상의 오류 위치를 파악하는 소극적인 수준에 머무르고 있으며, 파악된 오류를 해결하는 책임은 데이터를 전달받은 후속공정의 엔지니어 또는 협력업체에 전가되고 있다. 이에 따라 기업 또는 기업 내의 특정 제품개발 부서에서 생성된 설계 데이터의 품질 수준을 정량적으로 파악할 수 있는 통계적인 분석 방법에 대한 연구가 필요하게 되었다. Finn(1999)은 6시그마 관점에서 CAD 데이터에 대한 품질을 측정하였지만, 측정 대상은 CAD 형상이 아닌 비형상 데이터만을 통계적으로 분석한 결과를 제시하였다. 이는 형상을 구성하는 위상 및 기하요소에 대한 오류 상관관계의 특징을 파악하지 못하였기 때문이다. 한편 Yang *et al.*(2005)은 한국자동차공업협회와 공동으로 7개의 제조업체의 CAD 데이터에 대한 품질을 분석하였다. 그러나 이 분석 결과는 형상에 포함된 주요 오류의 발생 빈도를 조사하는 수준에 머무르고 있다.

본 논문에서는 3D 디지털 모델로 정의된 기하학적 형상 데이터의 품질을 시그마 품질 수준에 따라 정량적으로 평가하는 방법을 제시하고 품질 검증 과정에서 나온 데이터를 이용하여 CAD 데이터에서 발생하는 오류의 특징을 통계적으로 분석했다. 이를 위해서 SASIG PDQ(Product Data Quality) 가이드라인에서 제시하는 기하형상 관련 64개의 오류 항목들로부터 중요도가 높은 15개의 항목을 선정하고, 국내 자동차 관련 제조업체에서 양산에 사용하고 있는 76개의 CAD 모델을 대상으로 품질 검증을 실시하였다. 품질 검증을 통해 얻어진 데이터를 이용하여 시그마 품질 수준을 평가 할 수 있는 방법을 제시하고, CAD 데이터에서 발생하는 오류의 특징을 도출해 내기 위하여 통계적 분석을 실시하였다.

## 2. 제품데이터 품질 향상을 위한 활동

### 2.1 기업의 품질 개선 활동

전통적으로 제품데이터의 생산과 관리의 주체가 됐던 완성차 제조업체의 역할이 축소되고, 제품개발의 주요 업무가 1차, 2차 협력업체로 넘어가는 추세에 있다. 이로 인해 공간적으로 분산된 제품 개발 환경에서 제품개발에 참여하는 다수의 구성원들 사이에 효과적인 협업 업무를 수행하기 위해서 품질이 확보된 제품데이터에 대한 요구가 증대되고 있다. Daimler 자동차는 1년에 20만 건 이상의 CAD 모델의 교환과 10만 건의

CAD 모델이 생성 또는 변경되고 있다. 이중 약 1만여 개의 CAD 모델에 품질 문제가 발생되고, 이를 수정하기 위해 1년에 € 500,000 추가비용이 소요되고 있다(Yang *et al.*, 2006). CAD 모델의 품질을 개선하기 위해서 Daimler 자동차는 Data Quality (DQ) 프로젝트를 수행하고 있다. DQ 프로젝트는 상업용 품질 검사 툴인 TransCAT의 Q-Checker를 이용하여 Process analysis, Tool benchmarking and selection, Process integration, CATIA V5 migration, Coordination의 5개 영역에 대한 품질 개선 활동을 진행하고 있으며, DQ 프로젝트 결과물은 Daimler 그룹의 전 사업체에서 신차개발에 적용되고 있다. 최근에는 CAD 모델이 생성된 이후에 품질을 검증하는 기존 방법을 개선한 사전 품질 개선 프로그램을 TransCAT, Dassault Systemes, IBM과 공동으로 개발하고 있다. 이 프로그램은 설계자가 3D 형상을 구축하는 과정에서 설계자의 모델링 작업 오류에 따른 품질 오류 발생 원인을 실시간으로 검증하여 저급한 품질의 형상 요소를 생성하는 것을 사전에 방지하는 기능을 포함하고 있다.

Nissan 자동차는 Elysium과 공동으로 PDQ 인증시스템(PDQ Nissan Package Certification)을 구축하여 Nissan 자동차의 범용 CAD 시스템인 I-DEAS 내에 포함시켰다(Yang *et al.*, 2006). 이 PDQ 인증시스템은 2004년부터 일본, 미국, 유럽 지역에 위치한 Nissan 기술연구소들 상호간에 데이터 교환 시 적용되고 있다. 또한 Kawasaki 중공업 우주항공 사업부는 2003년부터 PDQ를 도입하였고, Fuji 중공업의 Subaru 자동차와 Mitsubishi 자동차는 2004년부터 자체 PDQ 시스템을 구축하여 제품데이터 품질 검증에 적용하고 있다.

현대기아자동차는 상업용 CAD 모델 오류 검증 툴인 Q-Checker를 이용해서 3D 모델 품질 확보시스템(MQA : Model Quality Assurance)을 구축하였다(Yang *et al.*, 2006). 최근에는 CAD 시스템에서 생성된 제품데이터에 대한 도면의 승인 및 배포 프로세스를 지원하는 ECIMS(Engineering CAD Information Management System)와 MQA 시스템을 통합하여 CAD 형상의 품질을 자동으로 검증한 후 결과를 설계자에게 실시간으로 통보해 준다. 또한 협력업체와 제품개발 관련 정보를 주고받을 수 있는 웹 기반의 비정규도면 전달시스템에 MQA 모듈을 포함하여 협력업체에서 생성된 CAD 모델을 ECIMS에 전달하는 과정에서 모델 품질을 검증하고 결과를 협력업체와 현대기아자동차의 담당자에게 전달한다.

### 2.2 국제 표준화 활동

세계 5개국의 자동차공업회 소속의 협회들(AIAG, VDA, Galia, JAMA, Odette Sweden, Australia's Federal Chamber of Automotive Industries, Japan Automobile Parts Industry)로 구성된 SASIG은 자동차 산업의 공급망 상에서 교환되는 제품데이터의 품질 향상을 위한 표준화 활동을 전개하고 있다. 특히 SASIG 구성원들에 의해 2005년 개발된 SASIG PDQ 가이드라인 V2.1(SASIG, 2005)은 제품데이터의 품질 규격과 관련된 주요 오류 항목을 정의

하였고, 이들 오류를 식별할 수 있는 SASIG Criteria Code 체계를 제안하였다. 2006년 9월에 ISO TC184/SC4의 PAS(Publicly Available Specification : 일반 공개 사양서) 26183이 부여된 후 국제표준화가 진행 중인 SASIG PDQ 가이드라인은 형상데이터, 도면데이터, CAE 데이터, 비형상 데이터, 관리 데이터 등을 대상으로 품질검증 항목을 정의하고, 수요자와 공급자 사이에 제품데이터를 교환하는 과정에서의 품질 스탬핑(Quality stamping)에 대한 내용을 포함하고 있다. 최근에는 일본의 표준화 조직인 ISO/TC184/SC4 Japan National Committee(JNC)에서 주도하여 SASIG PDQ 가이드라인의 내용 가운데 3차원 형상 데이터의 품질에 초점을 맞춘 표준규격을 제안하였고, 2008년 10월 국제표준(ISO 10303 Part 59 Quality of Product Shape Data)으로 승인받았다(ISO, 2008).

한편 ISO TC184/SC4/WG13의 Industrial Data Quality(IDQ)는 항공기, 자동차, 선박 등의 수송기기를 중심으로 한 기계 산업뿐만 아니라, 건축 토목, 전기 전자, 플랜트 등을 포함하여 다양한 산업군별 데이터를 대상으로 품질 규격인 ISO 8000을 개발하고 있다. 업무 프로세스에 관계된 품질관련 요구 사항을 정의한 ISO 9000에 비해, ISO 8000은 각종 산업군별 제품 데이터 품질 규격에 관계된 기술항목을 ISO 8000 시리즈의 세부 규격에 포함하고 있다. 현재 ISO TC184/SC4/WG13은 미국 ECCMA(Electronic Commerce Code Management Association)를 중심으로 진행되고 있는 카탈로그 데이터 품질 규격(ISO 8000-100)에 대한 개발을 진행하고 있지만, 산업 데이터의 핵심은 설계 제조 데이터를 포함한 제품데이터의 품질에 관한 규격이기 때문에 이를 개발하기 위한 적극적인 활동을 전개하고 있다. 이에 따라 SASIG과 SC4 JNC가 비형상 제에 대한 제품데이터 품질규격을 포함하여 ISO 10303 Part 59와 SASIG PDQ 가이드라인 V2.1의 내용을 확장한 SASIG PDQ 가이드라인 V3을 2012년까지 공동으로 개발하고, 이를 ISO TC184/SC4/WG13 IDQ의 ISO 8000 Part 200 시리즈로 제안하는 것을 준비하고 있다.

유럽과 미국의 항공우주산업 관련 기업과 IT 기업이 참여하는 LOTAR(Long Term Archiving) 프로젝트에서는 항공우주산업에서 요구되는 디지털 제품데이터에 대한 장기 보존과 활용을 위한 국제표준을 개발하고 있다(Lubell *et al.*, 2008). 2011년까지 진행되는 이 과제 목적은 3D 형상데이터와 제품 구조 정보를 제품이 운용되는 전주기 동안에 사용 가능한 형태로 유지, 접근, 보관하기 위한 방법과 프로세스 그리고 이에 관계되는 데이터 모델을 구축하는 것이다. LOTAR에서 표준화된 프로세스 모델을 개발하기 위해 OAIS(Open Archival Information System)를 참조 모델로 사용하였고, 중립데이터 타입을 정의하기 위해 ISO 10303 STEP AP 203과 AP 214를 적용하였다. 최근에는 항공우주 디지털 정보의 상호운용성을 위한 표준을 개발하기 위해서 LOTAR Part 110(CAD Mechanical 3D Explicit Geometry Information) 시범 프로젝트를 진행하고 있고, 이 시범 프로젝트를 통해 Long Term Archiving을 지원하기 위한 기하 품질(Geometry Quality)에 대한 7개의 필수 룰(Mandatory Rules)과 6개의 선택 룰

(Optional Rules)을 추출하였다. 또한 다수의 CAD 시스템 사이에 정확한 경계표현 형상(Exact Boundary Representation Shape)을 STEP AP214 또는 AP203 데이터로 교환하는 과정에서 요구되는 품질 요소에 대한 통계적 상관관계를 연구하고 있다.

### 3. 시그마 수준을 적용한 CAD 데이터의 품질 측정 방법

#### 3.1 CAD 모델 품질의 척도

많은 전문가들은 CAD 데이터를 포함하여 디지털 제품데이터의 품질을 측정하는 척도를 다양한 관점에서 접근하였다. 개념적인 관점에서 제품데이터 품질을 정의한 Phelps(1999)는 제품데이터를 필요로 하는 모든 사람들에게 적시에 제공할 수 있도록 제품데이터의 정확성과 타당성을 보장하는 척도를 제품데이터품질로 정의하였다. 또한 기호학적(Semiotic)인 관점에서 접근한 Shanks and Corbitt(1999)는 데이터의 구조적 측면에서의 구문론적(Syntactic) 레벨, 데이터의 의미적 측면에서의 시멘틱(Semantic) 레벨, 데이터의 사용성 측면에서의 실용적(Pragmatic) 레벨, 그리고 데이터에 관심 있는 구성원들 사이의 공유된 이해를 의미하는 사회적 레벨 등의 4개의 레벨로서 제품데이터 품질을 정의하였다.

본 논문에서 정의하는 CAD 데이터의 품질은 정확성(Accuracy), 완전성(Completeness), 연속성(Consistency), 그리고 적시성(Timeliness)을 포함하는 요소들로 정의될 수 있으며, 제품개발 프로세스 상에서 데이터를 전달하는 과정 동안에 무결점 검증(Integral verification)과 유효성 확인(Validation check)을 통해 품질을 평가할 수 있다. 동일한 CAD 시스템 환경을 공유하는 공학설계 부서들 간의 내부 프로세스에서 이루어지는 무결점 검증은 3D 기하 형상이 공학설계 요구사항을 충족할 만큼 정확히 모델링 되었는지 평가하는 것이다. 따라서 무결점 검증을 통해 발견되는 품질 오류의 대부분은 내부의 설계 지침서를 따르지 않은 미숙련된 설계자의 모델링 오류로 인해 발생되며 품질 검사 틀을 사용해서 쉽게 확인할 수 있다.

외부 제품개발 프로세스 상에서 데이터를 교환하는 과정에서 품질을 평가하는 유효성 확인은 클라이언트가 전달받은 데이터를 그들이 가지고 있는 시스템(Downstream application)을 통해 완전한 결과물을 얻을 수 있는지를 평가하는 것이다. 즉, 전달하는 데이터가 클라이언트의 요구사항에 부합하는지 판단하는 것으로서, 상대적인 요인이 많이 작용하기 때문에 품질 요소를 정규화하기 어렵다. 이와 같은 상호운용성 문제를 해결하기 위해서 대부분의 기업에서는 데이터 교환을 위한 공식적인 절차서를 구축하고 있고, 데이터를 전달하는 설계부서와 전달받는 설계부서 사이에 대상 데이터에 대한 허용공차에 대한 합의와 같은 통합조정(Integrated reconciliation) 체계와 이를 지원하는 의사결정 프로토콜을 지속적으로 개선하고 있다.

최근에 진행되고 있는 LOTAR Part 110 시범 프로젝트에서는 500여 개의 STEP 데이터에 대한 상호운용성을 평가하여 유효성 확인에 필요한 룰을 구축하고 있다(Lubell *et al.*, 2008).

결국, 양질의 CAD 모델의 척도는 무결점 검증을 통해 정확한 데이터를 생성하고 이를 필요로 하는 클라이언트들의 사용 목적에 맞게 유효성 확인을 수행한 후 적시에 제공함을 의미하는 것이다. 이를 위해서 제품데이터 품질을 개선하기 위해서는 품질 수준을 측정할 수 있는 방법이 제시되어야 하고, 설계변경에 따른 데이터의 수정이 일어났을 경우 품질 개선이 이루어졌는지를 평가하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 <Table 1>에서 보는 바와 같이 SASIG PDQ 가이드라인에서 정의한 CAD 모델의 형상 관점에서의 64개 품질 검증 항목을 무결점 검증을 위한 완전성(Integrity)과 연결성(Connectivity), 그리고 유효성 확인을 위한 복잡성(Complexity)과 연속성(Continuity)의 4개의 영역으로 구분하였다.

완전성 영역은 CAD 모델 내부에 설계자의 의도와 관계없는 왜곡된 모호한 특징요소가 포함된 경우로서, CAD 모델의 교환 과정에서 활용할 수 없는 오류 항목들을 포함한다. 특히 자기 교차 곡선(G-CU-IS)과 미소 페이스(G-FA-TI)와 같은 형상 오류 요소는 CAD 시스템을 통해 모델 내에 표현할 수 있지만, 형상 표현의 목적이 되는 후속공정의 디지털 툴에서는 전혀 수용할 수 없어 현실적으로 존재 할 수 없는 오류 형상에 해당된다. 이와 같은 모호한 형상요소는 대부분 미숙련된 설계자에 의해 복잡한 형상을 강제로 모델링 하는 과정에서 발생되며, 시각

적으로 쉽게 찾아 낼 수 없기 때문에 오류 검사와 수정에 많은 시간이 소비된다. 이를 해결하기 위해서 설계자는 최종 형상을 후속공정에 전달하기 전에 모델링 하는 과정에서 기하형상에 대한 주기적인 무결점 검증을 통해 오류를 수정하는 것이 필요하다.

CAD 모델을 정의하는 위상요소와 기하요소의 불완전한 연결 관계로 인해 발생하는 연결성 영역의 품질 오류는 과사용 정점(G-SH-OU)과 같이 비다양체의 위상구조를 포함한 형상과 중첩된 곡선(G-CU-EM)과 같이 두 개의 인접된 기하 엘리먼트가 서로 중첩된 형상에서 발견된다. 이들의 오류는 하나의 Body 속성으로 구속되지 않기 때문에 형상가공 자체가 불가능할 뿐만 아니라 비다양체를 지원하지 않는 시스템에서는 형상을 읽어 들이는 과정에서 치명적인 문제를 야기할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해서는 무결점 검증을 통해 불필요한 형상 요소를 제거하거나 형상을 단순화하는 전처리 과정이 필요하다.

복잡성 영역의 품질 오류는 비록 정확한 CAD 모델을 생성하였지만, 이 모델 내에 필요 이상의 복잡성 요인이 포함되어 데이터 사용의 일관성을 저해하는 문제를 야기한다. 복잡성 요인에 해당되는 품질 오류 항목은 정규형식(Canonical form)으로 표현된 페이스(G-FA-AN), 고차의 곡면(G-SU-HD)이 해당되며, 이와 같은 복잡성 요인을 수용하지 않는 후속 공정의 디지털 툴에서는 형상의 붕괴 또는 데이터 손실이 발생될 수 있다.

인접 엘리먼트 사이의 연속성 문제는 선형 연속(C0 Continuity), 접선연속(G1 Continuity), 곡률의 연속성(G2 Continuity)이 있으며

Table 1. Quality Criteria Descriptions for Geometric Entities

Domain	Model Quality Criteria Identification	SASIG Criteria Code	Feature
Curve	Large segment gap(G0 discontinuity)	G-CU-LG	Continuity
	Non-tangent segments(G1 discontinuity)	G-CU-NT	Continuity
	Non-smooth segments(G2 discontinuity)	G-CU-NS	Continuity
	High-degree curve	G-CU-HD	Complexity
	Indistinct curve knots	G-CU-IK	Integrity
	Self-intersecting curve	G-CU-IS	Integrity
	Fragmented curve	G-CU-FG	Complexity
	Embedded curves	G-CU-EM	Connectivity
	Curve with a small radius of curvature	G-CU-CR	Integrity
	Tiny curve or segment	G-CU-TI	Integrity
	Wavy planar curve	G-CU-WV	Complexity
	Inappropriate degree linear curve	G-CU-ID	Complexity
Surface	Large patch gap(G0 discontinuity)	G-SU-LG	Continuity
	Non-tangent patches(G1 discontinuity)	G-SU-NT	Continuity
	Non-smooth patches(G2 discontinuity)	G-SU-NS	Continuity
	Degenerate surface boundary	G-SU-DC	Integrity
	Degenerate surface corner	G-SU-DP	Integrity
	High-degree surface	G-SU-HD	Complexity
	Indistinct surface knots	G-SU-IK	Integrity

Surface	Self-intersecting surface	G-SU-IS	Integrity
	Fragmented surface	G-SU-FG	Complexity
	Narrow surface or patch	G-SU-NA	Integrity
	Relatively narrow neighbouring patches	G-SU-RN	Integrity
	Tiny surface or patch	G-SU-TI	Integrity
	Embedded surfaces	G-SU-EM	Connectivity
	Surface with a small radius of curvature	G-SU-CR	Integrity
	Unused patches	G-SU-UN	Unused
	Wavy surface	G-SU-WV	Complexity
	Multi-face surface	G-SU-MU	Complexity
	Folded surface	G-SU-FO	Integrity
	Inappropriate degree planar surface	G-SU-ID	Complexity
Edge	Analytical edge	G-ED-AN	Complexity
	Closed edge	G-ED-CL	Integrity
	Inconsistent edge on curve	G-ED-IT	Complexity
	Fragmented edge	G-ED-FG	Integrity
	Tiny edge	G-ED-TI	Integrity
Edge-Loop	Large edge gap(G0 discontinuity)	G-LO-LG	Sloppiness
	Inconsistent edge in loop	G-LO-IT	Complexity
	Self-intersecting loop	G-LO-IS	Integrity
	Sharp edge angle	G-LO-SA	Continuity
Face	Large edge face gap	G-FA-EG	Sloppiness
	Large vertex gap	G-FA-VG	Sloppiness
	Analytical face	G-FA-AN	Complexity
	Closed face	G-FA-CL	Integrity
	Inconsistent face on surface	G-FA-IT	Complexity
	Intersecting loops	G-FA-IS	Integrity
	Narrow face	G-FA-NA	Integrity
	Narrow region	G-FA-RN	Integrity
	Tiny face	G-FA-TI	Integrity
	Embedded faces	G-FA-EM	Connectivity
Shell	Large face gap(G0 discontinuity)	G-SH-LG	Continuity
	Non-tangent faces(G1 discontinuity)	G-SH-NT	Continuity
	Non-smooth faces(G2 discontinuity)	G-SH-NS	Continuity
	Free edge	G-SH-FR	Connectivity
	Inconsistent face in shell	G-SH-IT	Complexity
	Self-intersecting shell	G-SH-IS	Integrity
	Over-used edge	G-SH-NM	Connectivity
	Over-used vertex	G-SH-OU	Connectivity
	Sharp face angle	G-SH-SA	Continuity
Solid	Intersecting shells	G-SO-IS	Integrity
	Multi-volume solid	G-SO-MU	Integrity
	Embedded solids	G-SO-EM	Connectivity
	Tiny solid	G-SO-TI	Integrity
	Solid void	G-SO-VO	Integrity

페이스 사이에 날카로운 각도(G-SH-SA)도 해당된다. 연속성 문제는 의장설계 측면에서 심미적 수준이 낮은 스타일 형상이 될 수 있으며, 공학설계 측면에서는 오프셋 형상을 유도하는 과정에서 미세한 틈새가 발생될 수 있다. 또한 CAE 해석 시 메시 생성과 페이스의 트림작업이 어려워 질 수 있고, 가공 시 파삭이나 미삭이 발생될 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 전달하는 시스템과 전달 받는 시스템 사이의 공차 조건에 대한 합의와 구성원들의 통합조정 과정이 선행되어야 한다.

### 3.2 품질 검증 항목의 선정

빈번하게 변경되는 설계 데이터를 공유해야 하는 가상 협업 기업 환경에서 제품개발에 참여하는 구성원들의 업무를 효과적으로 수행하기 위해서는 설계 변경과 수정되는 설계 데이터에 대한 지속적인 품질관리가 선행되어야 한다. 이에 본 논문에서는 물리적 제품이 아닌 설계단계에서 생성된 3D CAD 모델을 대상으로 주어진 경계값(Threshold value, TV) 내에서의 품질 검증을 실시하였다. 이를 바탕으로 시그마 수준을 CAD 데이터에 적용하는 방안을 제시하고 통계적 분석을 수행하였다.

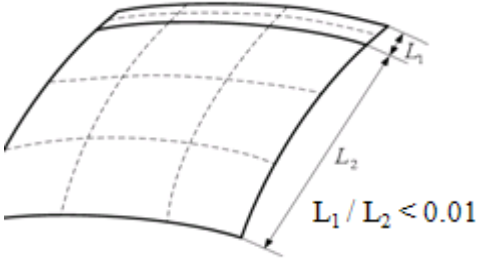
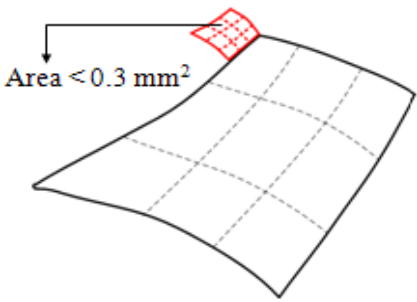
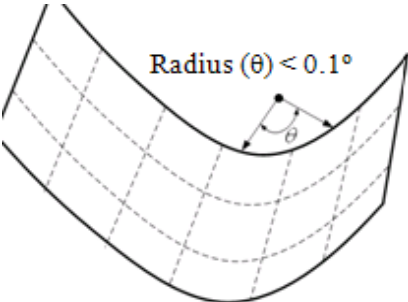
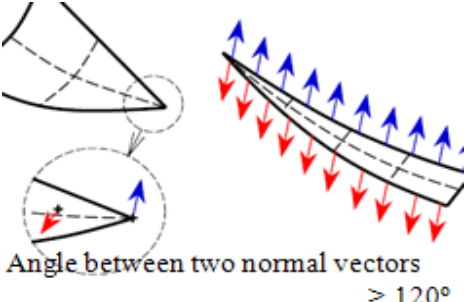
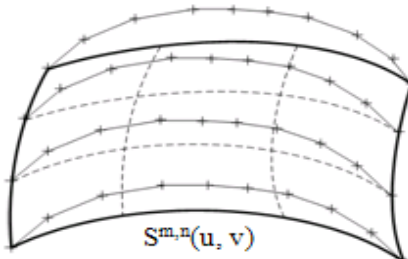
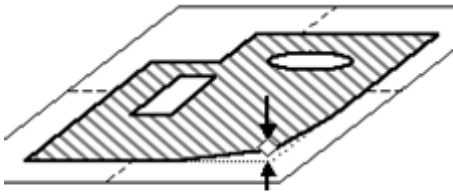
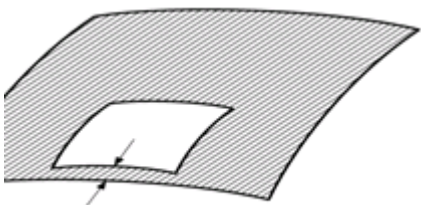
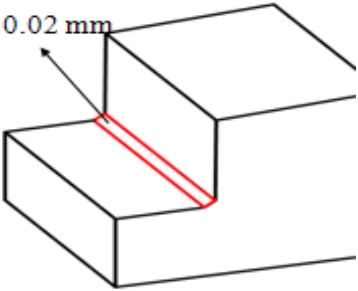
CAD 모델의 품질 검증에 따른 통계적인 분석을 위해서 SASIG PDQ 가이드라인에서 규정한 64개의 형상정보 관련 오류 검증 항목 가운데 <Table 2>에서 보는 바와 같이 중요도가 높은 15개 항목과 이들에 대한 경계값을 선정하였다. 선정된 15개의 항목과 경계값은 CAD 모델의 품질 개선 활동을 진행하고 있는

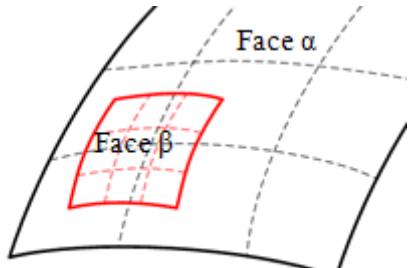
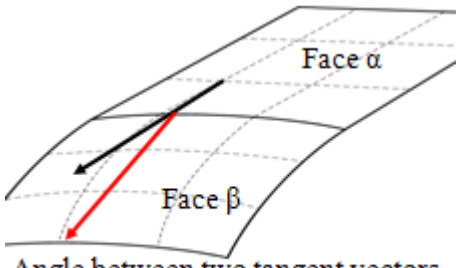
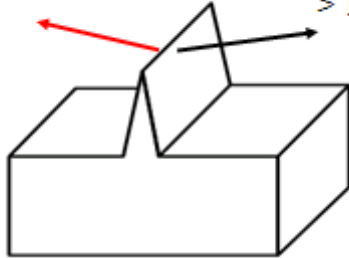
한국의 3개 자동차 관련 기업에 근무하는 6년 이상 경력의 설계 전문가 7명으로부터 제시된 의견을 바탕으로 선정되었다. 이들의 주된 설계업무는 공학모델을 설계하여 가공 및 해석 가능한 모델로 발전시키는 것으로서, 완성된 모델은 금형제작과 구조해석과 같은 후속공정에 전달된다. 선정된 15개 오류 검증 항목에 대한 경계값은 이들이 소속된 부서에서 요구하는 권고치에 비해 강화된 것으로서 설계자들은 이 경계값들이 향후 3D CAD 모델의 품질 수준을 높이기 위한 목표 값이란 인식에 공감하고 있다. 한편 솔리드 모델링 기반의 설계가 진행되는 일부 동력전달 계통 설계 부서를 제외하고 대부분의 현업 설계부서는 곡면 기반의 Skin 데이터만을 처리한 CAD 모델을 생성하기 때문에 솔리드 영역의 품질 검증 항목은 제외하였다. 또한 최근의 범용 CAD 시스템에서는 발생하지 않거나 설계업무에 있어서 중요도가 낮은 오류 항목들은 제외하였다.

오류항목에 대해 오류 발생의 심각성에 따른 가중치(Error weight, EW)를 0(Correct), 1(Warning), 2(Defective), 3(Faulty), 4(Error), 5(Critical Error)로 구분하여 정의하였다. ‘Warning’과 ‘Defective’에 해당되는 오류 항목들은 설계업무에 있어서 묵시적으로 허용하고 도면 출도를 인정하는 반면에 ‘Faulty,’ ‘Error,’ 그리고 ‘Critical Error’는 반드시 명시적으로 해결한 결과를 CAD 모델에 반영해야 한다. 본 논문에서 선정된 15개의 항목들은 Error 이상의 가중치를 가지고 있고, 비록 품질 검사 툴의 도움을 부분적으로 받을 수 있지만 수정하기 이전에 해당 오류의 위치와 내용을 파악하는데 많은 시간이 소요되는 항목들이다.

Table 2. Fifteen Criteria and Their Threshold Values for Quality Evaluation

Criteria	Non-tangent segments (G-CU-NT)	Self-intersecting curve (G-CU-IS)
Illustration		
TV	1.0 degree	0.01 mm
EW	Critical Error (5)	Critical Error (5)
Criteria	Tiny curve or segment (G-CU-TI)	Non-tangent patches (G-SU-NT)
Illustration		
TV	0.1 mm	1.0 degree
EW	Error (4)	Critical Error (5)

<p>Criteria</p> <p>Illustration</p> <p>TV</p> <p>EW</p>	<p>Relatively narrow neighbouring patches (G-SU-RN)</p>  <p><math>L_1 / L_2 &lt; 0.01</math></p> <p>0.01 Critical Error (5)</p>	<p>Tiny surface or patch (G-SU-TI)</p>  <p>Area &lt; 0.3 mm<sup>2</sup></p> <p>0.3 mm<sup>2</sup> Error (4)</p>
<p>Criteria</p> <p>Illustration</p> <p>TV</p> <p>EW</p>	<p>Surface with a small radius of curvature (G-SU-CR)</p>  <p>Radius (<math>\theta</math>) &lt; 0.1°</p> <p>0.1 degree Error (4)</p>	<p>Folded surface (G-SU-FO)</p>  <p>Angle between two normal vectors &gt; 120°</p> <p>120 degree Critical Error (5)</p>
<p>Criteria</p> <p>Illustration</p> <p>TV</p> <p>EW</p>	<p>High-degree surface (G-SU-HD)</p>  <p><math>S^{m,n}(u, v)</math> where <math>m, n &gt; 9</math></p> <p>9th degree Error (4)</p>	<p>Large edge face gap (G-FA-EG)</p>  <p>Gap between an edge and a face &gt; 0.02 mm</p> <p>0.02 mm Critical Error (5)</p>
<p>Criteria</p> <p>Illustration</p> <p>TV</p> <p>EW</p>	<p>Intersecting loops (G-FA-IS)</p>  <p>Proximity &lt; 0.01 mm</p> <p>0.01 mm Critical Error (5)</p>	<p>Narrow face (G-FA-NA)</p>  <p>Width &lt; 0.02 mm</p> <p>0.02 mm Error (4)</p>

<p>Criteria</p> <p>Illustration</p> <p>TV</p> <p>EW</p>	<p>Embedded faces (G-FA-EM)</p>  <p>Gap between two faces &lt;math&gt;&lt; 0.02 \text{ mm}&lt;/math&gt;</p> <p>0.02 mm Critical Error (5)</p>	<p>Non-tangent faces (G-SH-NT)</p>  <p>Angle between two tangent vectors &lt;math&gt;&gt; 1^\circ&lt;/math&gt;</p> <p>1.0 degree Error (4)</p>
<p>Criteria</p> <p>Illustration</p> <p>TV</p> <p>EW</p>	<p>Sharp face angle (G-SH-SA)</p>  <p>Angle between two normal vectors &lt;math&gt;&gt; 178^\circ&lt;/math&gt;</p> <p>Angle &gt;178 deg (또는 2 deg) Error (4)</p>	<p style="background-color: #cccccc;"> </p>

3.3 CAD 데이터에 시그마 수준 적용

<Figure 1>은 축 하우징(Shaft housing) 모델 내에 폭이 좁은 페이스(G-FA-NA) 오류가 발생되어 양산품에 불량 발생된 예를 보여준다. 이와 같은 오류가 양산 단계에서 문제되지 않기 위해서는 설계 단계에서부터 양산단계에 이르기까지 제품 개발 전 영역에 걸쳐 데이터의 품질 관리가 필요하다. 하지만 아

직까지 수치적으로 CAD 모델 데이터의 품질 수준을 측정할 수 있는 방법이 없어 장기간에 걸쳐 정확한 품질 관리를 행하기 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 시그마 수준을 적용하여 CAD 데이터의 품질 수준을 수치적으로 나타낼 수 있는 방법을 안하였다. 이를 위해 제 3.2절에서 선정된 15개의 오류 검증 항목을 기준으로 CAD 모델 데이터의 품질 검증을 실시하였으며, 검증 결과 데이터를 이

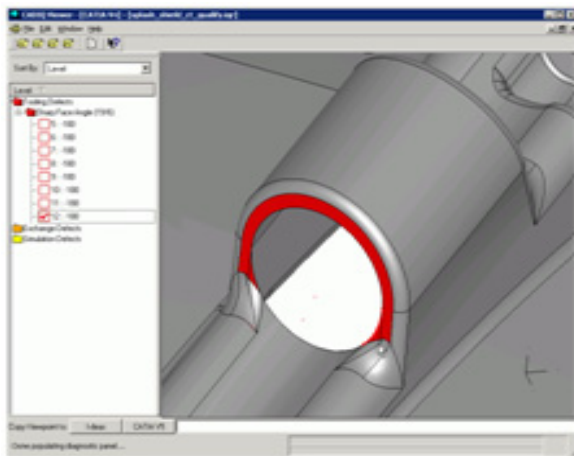


Figure 1. Example of a Geometric Quality Problem with Narrow Face(Left : CAD Model, Right : Real part)



용하여 시그마 수준을 적용하였다. 품질 검증에 사용된 대상 CAD 모델은 자동차산업 관련 3개 업체로부터 제공받은 76개의 CATIA 형상 데이터로, 이들 형상 데이터는 2006년과 2008년 사이에 생성되어 현재 양산에 적용되고 있는 현업 데이터이다. CAD 모델의 품질을 검증하기 위해 TransCAT 사의 Q-Checker를 사용하였고, 15개의 오류 항목과 이들에 대한 경계값을 Q-Checker의 구성파일(qcprofile)에 설정하였다. 이들 15개 오류 항목들은 각각의 독립변수로 설정하여, 특정 형상 요소에서 발생한 하나의 오류가 다른 오류 항목에 영향을 주어 오류가 복합적으로 발생하지 않음을 가정하였다.

CAD 모델의 품질 검증을 통해 얻어진 결과를 보면 <Figure 2>와 같다. 곡선 영역에서 발생한 오류의 빈도는 G-CU-TI가 95%로서 대부분을 차지하고 있으며, 곡면 영역에서는 G-SU-HD와 G-SU-TI가 90%를 차지하고 있다. 또한 페이스 영역에서는 G-FA-EG가 62%, G-FA-EM이 37%를 차지하고 있고, 셸(Shell) 영역에서는 G-SH-SA가 85%를 G-SH-NT가 15%를 차지하고 있다.

수치적으로 CAD 데이터의 품질 수준을 나타내기 위하여 가장 보편적인 품질 척도로 이용되고 있는 시그마 수준을 도입

하였다. 시그마 수준은 품질의 척도를 나타내는 통계적인 측정단위로 제조 제품의 품질을 측정하는데 주로 사용된다. CAD 데이터의 품질 수준을 시그마 수준으로 나타내기 위해 앞서 선행된 품질 검증 결과 데이터를 사용하였다. CAD 데이터의 품질 검증 결과를 통해 얻어진 데이터는 계수형 데이터로 하나의 모델에 포함된 전체 형상 요소에서 오류를 일으킨 부분의 수를 확인하는 결합형 데이터(Defect Data)이다. 또한 CAD 데이터는 단위당 기회수인 형상 요소가 각각의 데이터마다 다르고, 그 숫자가 굉장히 크다는 특징을 가지고 있다. 그러므로 시그마 수준을 산출하기 위한 기본 수식으로 단위 당 결합률인 DPU(Defects Per Unit)보다는 기회 당 발견된 결합수인 DPO(Defect Per Opportunities)를 사용하여야 한다. DPO를 바탕으로 수율(Yield)을 계산 한 후 정규분포 값을 이용하면 시그마 수준을 산출할 수 있다. DPO의 계산 수식은 식 (1)과 같다.

$$DPO = \frac{\text{number of defects}}{\text{number of defects} \times \text{number of defects opportunities per unit}} \quad (1)$$

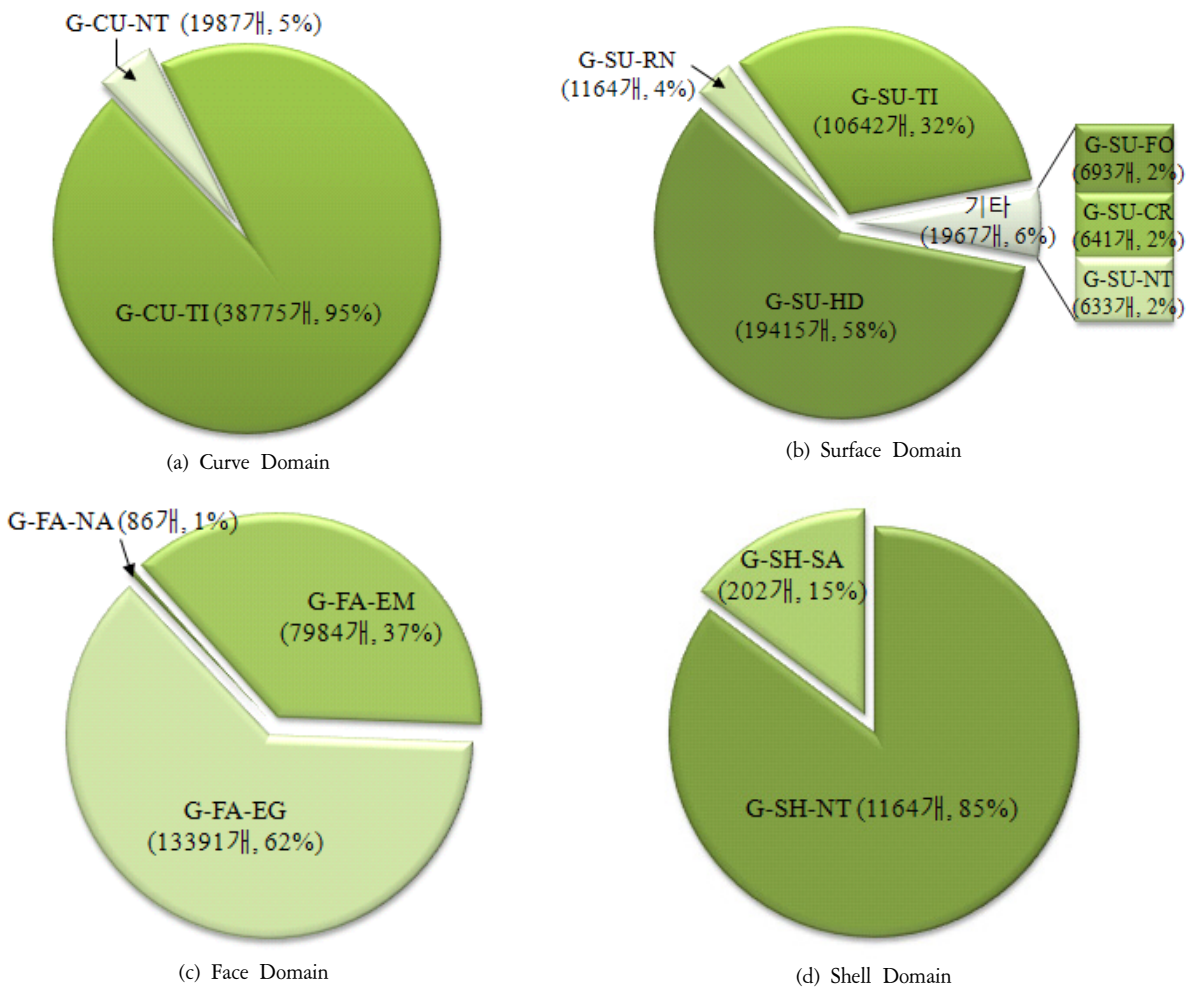


Figure 2. Result of Quality Evaluation on 3D CAD Models

비 물리적 산물인 기하형상 데이터를 DPO 수식에 적용하기 위해서는 수식에서 요구하는 요인들을 따로 정의할 필요가 있다. DPO에서 CAD 모델의 결함 발생 기회 수는 모델의 기하학적 요소인 곡선과 곡면 그리고 위상학적 요소인 페이스와 셸 영역들을 나타내며, 결함 수는 이들 형상 요소에서 발생된 오류의 개수로 정의한다. 도출된 DPO를 통해 수율을 얻어 낼 수 있다. DPO는 불량률을 의미하므로 양품률을 나타내는 수율은 1-DPO를 이용하여 간단히 그 값을 얻을 수 있다. 최종적인 시그마 수준은 얻어진 수율을 정규분포에 적용하여 산출해 낼 수 있다.

<Table 3>은 품질 검증 결과에서 확인된 오류의 개수를 식 (1)에 적용하여 시그마 수준을 산출한 결과이다. DPO를 통해 계산된 Z 값은 장기시그마 수준( $Z_{lt}$ )을 이야기 하므로 단기 시그마 수준( $Z_{st}$ )을 얻어내기 위해 1.5시그마를 보정하여 두 가지 모두 <Table 3>에 표기하였다. 곡선 영역에서는 2.9, 곡면 영역에서는 2.37, 페이스 영역에서는 2.65, 그리고 셸 영역에서는 1.57을 나타내고 있다. 품질 검증에 적용된 76개의 CAD 모델의 종합적인 품질은 2.71시그마 수준으로서, 비록 셸 영역에서는 높은 오류 발생률을 보이고 있지만 1개의 형상 모델에서 셸이 차지하는 비율이 다른 영역들에 비해 현저히 낮기 때문에 전체 시그마 수준인 2.71시그마에는 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다. 물리적인 양산제품이 아닌 디지털 데이터의 특수성을 고려하더라도 가상 협업 기업 환경을 지원하기 위해서는 현실적인 6시그마 수준으로 인정받는 4.5시그마에 도달하지 못하더라도 이에 준하는 4시그마 수준까지는 CAD 모델의 품질 수준을 높이는 품질 개선 활동이 필요하다(Harry, 1998). 특히 데이터에 대한 시그마 수준이 상대적으로 낮은 곡면 영역은 후속설계과정에서 형상 구축에 중요한 요소로서 고려되기 때문에 곡면 영역에 대한 집중적인 품질 개선 활동이 진행되어야 할 것이다.

Table 3. Analysis Result of Sigma Levels by Geometry Type

Domain	DPO	Yield	Sigma level (Z <sub>lt</sub> )	Sigma level (Z <sub>st</sub> )
Curve	0.08	0.92	1.4	2.90
Surface	0.19	0.81	0.87	2.37
Face	0.12	0.88	1.15	2.65
Shell	0.47	0.53	0.07	1.57
Total	0.11	0.89	1.21	2.71

### 3.4 오류의 통계적인 특징 분석

CAD 모델 데이터의 품질 관리 수준을 향상시키기 위해서는 CAD 모델 내에서 발생하는 오류의 특징을 고려하여야 한다. 이를 위해 품질 검증 과정에서 산출된 데이터를 바탕으로 통계적 방법을 이용하여 발생된 오류의 특징을 분석하였다.

품질 검증에 사용된 76개의 CAD 모델은 파일의 크기와 기하

또는 위상 요소의 구성 내용이 서로 다른 단품으로 독립적인 데이터이기 때문에 데이터에 발생된 오류의 특징을 도출해 내기 위해서는 데이터들을 비교할 수 있는 하나의 기준 지표가 필요하다. 만약 형상을 구성하는 기하 요소와 위상 요소의 개수를 비교 기준으로 삼게 되면 각각의 CAD 모델 마다 개수의 편차가 상대적으로 크게 발생한다. 따라서 점(Point), 곡선, 곡면, 에지(Edge), 페이스, 루프(Loop), 셸과 같은 기하형상 모델 내의 요소들의 개수 또는 CAD 모델의 파일 크기를 기준으로 비교하는 것 보다는 형상 모델의 복잡성을 의미하는 데이터의 복잡도를 기준으로 동일 선상에서 비교하는 것이 더 정확한 분석 결과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 Valentane *et al.*(2006)에 의해 수행된 STL 데이터에 대한 형상 복잡성을 평가한 방법을 적용하여 CAD 모델 내에 포함된 기반 기하 곡면(Base geometry surface)이 차지하는 데이터 크기에 따라 데이터의 복잡도를 정의하였다. 즉, 형상이 복잡할수록 기반 기하 곡면에 포함된 정보량이 많아지게 되므로 하나의 기반 기하 곡면이 갖는 용량(Data volume)이 클수록 복잡한 데이터가 된다. 식 (2)는 본 논문에서 정의된 데이터의 복잡도를 산출하기 위한 수식을 보여준다.

$$\text{Complexity} = \frac{\text{data volume}}{\text{number of surface}} \quad (2)$$

위의 수식에 따라 76개의 CAD 모델에 대해 복잡도를 산출한 후, 복잡도가 높은 순으로 정렬하여 샘플 번호(Sample index number)를 부여하였다. 따라서 샘플 번호가 높을수록 복잡도가 높은 샘플로서 1번 샘플 번호가 복잡도가 가장 낮고 76번 샘플 번호가 복잡도가 가장 높다.

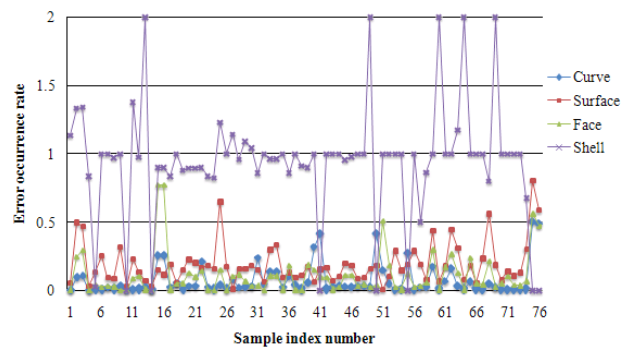


Figure 3. Rate of Error Occurrences for Geometry Types

<Figure 3>은 복잡도에 따른 CAD 모델의 각 영역별 오류 발생률을 보여준다. 특이사항은 셸의 오류 발생률이 1.0을 넘어서는 것인데, 이는 하나의 셸에 다수의 오류가 중첩되어 발생하는 경우가 빈번함 의미한다. <Figure 3>을 보면 복잡도가 높은 샘플일수록 많은 오류가 발생되며 Curve와 Surface, Face 중 어느 하나의 형상 영역에서 오류가 발생될 경우 다른 형상 영역에서 함께 오류가 발생되는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상들

이 선형적 관계성을 가지고 있는지 도출해내기 위하여 식 (3)에서 보는 바와 같이 상관관계에 대한 분석을 실시하였다.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

- i : Sample index number
- x : 상관분석을 행하는 표본집단 x
- y : 상관분석을 행하는 표본집단 y
- $\bar{x}$  : 표본집단 x의 평균
- $\bar{y}$  : 표본집단 y의 평균

데이터의 복잡도와 각각의 형상 영역에서 보이는 오류 발생률 간의 상관관계를 분석하기 위하여 식 (3)에서 보는 바와 같이 피어슨 상관 계수(Pearson Correlation Coefficient, r)를 적용하였다. 상관 분석이란 두 변수의 선형관계(Linear relationship)를 힘과 방향을 이용하여 표현하는 분석 방법으로 두 표본집단의 변수들을 일대일로 매칭시켜 전체적인 관계를 비교하고 이들 간의 선형성을 도출한다. 데이터의 복잡도와 각 형상 영역의 오류 발생률을 분석하기 위해 표본집단 x는 데이터의 복잡도를, 표본집단 y는 곡선, 곡면, 페이스의 오류 발생률로 정의하였다. 분석 툴은 Minitab Inc.의 Minitab V14를 이용하였다. 분석 결과 쉘을 제외한 나머지 형상 영역 P-Value가 0.05보다 낮아 유의수준 0.05에서 유의한 것으로 나타났다. P-Value는 귀무가설을 기각할 수 있는 최소의 유의수준 값으로 쉘의 경우 유의수준 0.05보다 큰 P-Value를 갖게 되므로 유의하지 못하다. 그러므로 쉘의 오류 발생률과 CAD 모델의 복잡도는 관계가 있다고 볼 수 없다. 각 형상 영역과 데이터의 복잡도간에 상관 계수의 값은 <Table 5>와 같다. 상관 계수가 0.3미만일 경우 낮은 양의 상관관계를 가지며 0.3~0.6사이에 위치할 경우 중도적인 양의 상관관계를 갖는다. 또한 0.6~0.8일 경우 높은 양의 상관관계를, 0.8이상일 경우 매우 강한 양의 상관관계를 갖는다. 분석 결과를 보면, 곡선, 곡면, 페이스는 데이터의 복잡도와 중도적인 양의 상관관계를 갖고 있는 것을 알 수 있다. 양의 상관관계는 서로 비례하는 관계로, 중도적인 양의 상관관계를 갖는 것을 미루어 보아 복잡성이 증가할수록 형상영역에서 발생하는 오류 발생률이 점진적으로 증가함을 알 수 있다.

Table 5. Correlation Coefficient between Data Complexity and Error Occurrence Rate

	Data Complexity	
	Correlation Coefficient	P-Value
Curve	0.479	0.000
Surface	0.489	0.000
Face	0.329	0.004
Shell	0.114	0.344

Table 6. Correlation Coefficient between Geometry Types for the Error Occurrence rate

		Curve	Surface	Face
Surface	Correlation coefficient	0.395	-	-
	P-Value	0.000	-	-
Face	Correlation coefficient	0.601	0.398	-
	P-Value	0.000	0.000	-
Shell	Correlation coefficient	-0.035	0.078	-0.023
	P-Value	0.771	0.519	0.850

한편 CAD 모델의 특정 형상 영역에서 발생한 오류가 다른 형상 영역에도 영향을 끼치는지 확인하기 위하여, <Table 6>에서 보는 바와 같이 형상 영역 간 오류 발생률에 대한 상관관계를 분석하였다. 식 (3)의 피어슨 상관계수를 적용하였으며 표본집단 x와 y는 곡선과 곡면, 곡선과 페이스, 곡면과 페이스로 정의하여 각각 비교 분석하였다. 곡선, 곡면, 페이스 영역들에서 발생한 오류 발생률의 상호간에 유의수준 0.05에서 중도적인 양의 상관관계를 갖고 있음을 분석 결과에서 알 수 있으며, 쉘의 경우 P-Value가 유의수준 0.05보다 높게 나와 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 곡선, 곡면, 페이스의 경우 한 부분에서 발생된 오류가 CAD 모델 내의 다른 기하요소들에 직접적인 영향을 끼치며 오류의 확산을 야기할 수 있음을 알 수 있다. 복잡성과 형상영역과의 상관관계와 형상영역 간의 상관관계에 있어서 쉘이 유의하지 않은 결과가 나온 것은 데이터 내에서 발생한 전체 오류 개수 중 쉘에서 발생한 오류가 차지하는 비율이 1% 이하이며 하나의 샘플 모델에서의 표본의 수가 너무 적은 쉘의 특이성 때문에 그 관계성을 명확히 정의하지 못하기 때문이다.

Table 7. Hypotheses to Test the Distribution of Sigma Level

귀무가설	대립가설
H1 <sub>0</sub> : A사와 C사의 시그마 수준은 차이가 없다.	H1 <sub>A</sub> : A사가 C사 보다 시그마 수준이 낮다.
H2 <sub>0</sub> : B사와 C사의 시그마 수준은 차이가 없다.	H2 <sub>A</sub> : B사가 C사 보다 시그마 수준이 낮다.
H3 <sub>0</sub> : B사와 A사의 시그마 수준은 차이가 없다.	H3 <sub>A</sub> : B사가 A사 보다 시그마 수준이 낮다.

CAD 모델 샘플을 제공한 3개 업체의 시그마 수준을 비교하기 위하여 <Table 7>에서 보는 바와 같이 귀무가설(Null Hypothesis)과 대립가설(Alternative Hypothesis)을 세우고 검정을 수행하였다. <Table 8>은 모집단의 평균 비교를 위하여 ‘2표본 T검정 방법’을 이용하여 수행된 검정 결과를 보여준다. 유의수준 0.05에서 C 기업의 시그마 수준이 가장 높고 B 기업의 시그마 수준이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 결과적으로 C 기업의 경우 오류 발생률이 낮고 안전한 면모를 보이고 있는 반면에,

B 기업과 A 기업은 오류 발생률이 높고 그 편차가 크게 발생함을 나타낸다.

Table 8. Evaluation Result of Sigma Level among Three Companies

귀무가설	대립가설	업체	평균	표준편차	T-Value	P-Value
H1 <sub>0</sub>	H1 <sub>A</sub>	A	2.823	0.508	-4.86	0
		C	3.222	0.121		
H2 <sub>0</sub>	H2 <sub>A</sub>	B	2.420	0.421	-6.69	0
		C	3.222	0.121		
H3 <sub>0</sub>	H3 <sub>A</sub>	B	2.420	0.421	-2.88	0.004
		A	2.823	0.508		

데이터의 품질에 대한 시그마 수준이 기업에 따라 상이하게 나타난 것은 기업마다 서로 다른 품질 관리 기준을 통해 데이터를 관리하고 있다는 것을 나타낸다. 현재 우리나라에서는 CAD 데이터의 품질을 유지시켜줄 공통적인 제어장치가 부족하다. 따라서 각 기업 별로 서로 다른 기준과 방법을 통해 데이터의 품질 관리를 개별적으로 실시하기 때문에 품질 규격의 편차가 심한 CAD 모델이 생성되는 것이다. 이를 개선하기 위해서는 산업군별 CAD 모델의 품질에 대한 관리와 제어를 능동적으로 실현 할 수 있는 정규화 된 모델링 가이드라인 개발과 품질 인증 시스템의 구축이 필요하다.

#### 4. 결론

Porter(2001)는 향후 치열한 시장 경쟁에서 살아남기 위해서 새로운 제품을 빠른 속도로 개발하고 기업 운영의 효율을 극대화하는 것이 중요함을 강조하였다. 이로 인해 종래에 중요시되던 제품 개발 비용의 절감 보다는 제품 개발 속도와 주기가 강조 시 되고 있다. 개발 주기를 단축하기 위해서는 이전 제품 개발에서 사용했던 디지털 모델을 재사용하는 비율이 높아져야 하지만, 설계자의 경험적 지식에 의존하여 생성되는 디지털 모델을 정량적으로 분석하는 것은 어려운 일이다.

본 논문에서는 비 물리적 산물인 3D CAD 모델 데이터의 품질을 수치적으로 측정하기 위하여 가장 보편적인 품질 척도인 시그마 수준을 CAD 모델 데이터에 처음으로 도입하였다. 이를 위해 선별한 기준과 주어진 경계값을 바탕으로 품질 검증을 실시하였고, 품질 검증 결과 데이터를 CAD 모델 데이터의 특징에 맞추어 시그마 수준에 적용하여 CAD 데이터의 품질 척도를 마련하였다. 또한 이 과정에서 얻어진 데이터를 바탕으로

CAD 모델 데이터 내에서 발생하는 오류의 특징을 통계적으로 분석하였다. 이를 위해 품질 검증 결과 데이터를 바탕으로 상관분석과 2표본 T검정을 실시하였다. 그 결과로 복잡도가 높을수록 오류 발생률이 높은 것과 예지, 곡면, 페이스에서 발생하는 오류들이 중도적인 양의 상관관계를 갖는다는 것을 확인하였다. 본 논문에서 다룬 CAD 데이터의 품질 척도와 발생 오류의 특징은 장기간에 걸쳐 CAD 데이터의 품질을 효율적으로 관리하기 위해 고려해야 할 가장 기초적이지만 그동안 간과했던 부분들로 이를 정규화 함으로써 CAD 데이터의 품질을 관리하는데 많은 기여를 할 것이라 기대한다.

향후 연구 방향은 FMEA(Failure Mode and Effects Analysis) 방법을 도입하여 CAD 모델 오류의 발생 형태, 영향, 원인의 상관관계를 프로세스 관점에서 정량적으로 관리하고 모델 내의 오류 영향을 제거 또는 감소하기 위한 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

- Brunnermeier, S. and Martin, S. (1999), Interoperability Cost Analysis of the US Automotive Supply Chain, National Institute of Standards and Technology, Planning Report #99-1, Gaithersburg, USA, [www.nist.gov/director/program/report99-1.pdf](http://www.nist.gov/director/program/report99-1.pdf)
- Finn, G. A. (1999), Six Sigma in the Engineering Design Process, Technical Report, Prescient Technologies Inc., MA, USA.
- Harry, M. J. (1998), A Breakthrough Strategy for Profitability, *Quality Progress*, 31(5), 60-64.
- ISO 10303-59 (2008), Product Data Representation and Exchange-Part 59 : Integrated Generic Resource-Quality of Product Shape Data.
- Lubell, J., Mani, M., Subrahmanian, E., and Rachuri, S. (2008), Long Term Sustainment Workshop Report, NIST, USA.
- Phelps, T. (1999), Extending Quality Concepts to Product Data, *AIAG Actionline*, 19(7), 38-42.
- Porter, M. (2001), You only compete in two dimensions, Harvard Business Review March.
- SASIG (2005), Product Data Quality Guidelines for the Global Automotive Industry, ISO TC184/SC4 N1944, 2(1).
- Shanks, G. and Corbitt, B. (1999), Understanding Data Quality : Social and Cultural Aspects, Proc. 10th Australasian Conference on Information Systems, 785-797.
- Valenta, B., Brijli, T., Drstvensek, I., and Balic, J. (2006), Evaluation of Shape Complexity based on STL Data, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 17(1-2), 293-296.
- Yang, J., Han, S., Park, S., and Jang, J. (2005), Investigation of Product Data Quality in the Korean Automotive Industry, *Transaction of CAD/CAM Engineers*, 10(4), 274-283.
- Yang, J., Han, S., Kang, H., and Kim, J. (2006), Product Data Quality Assurance for E-manufacturing in the Automotive Industry, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19(2), 136-147.

**유효선**

아주대학교 산업정보시스템공학부 학사

현재 : 아주대학교 대학원 산업공학과  
재학중

관심분야 : CAD Data Quality, Virtual  
Manufacturing

**양정삼**

충남대학교 기계공학과 학사

KAIST 기계공학과 석사

KAIST 기계공학과 박사

현재 : 아주대학교 산업정보시스템공학부  
부교수

관심분야 : PLM, Product Data Exchange (PDE),  
Geometric modeling, Virtual  
Manufacturing

**박재일**

포항공과대학교 학사

포항공과대학교 석사

PENNSYLVANIA STATE UNIV. 박사

현재 : 아주대학교 산업공학과 부교수

관심분야 : Product Family and Product Platform  
Design, Engineering Economy and  
Cost Analysis, Design for Six Sigma