

국내 자동차산업에서 제품데이터품질에 대한 현황 조사

양정삼*, 한순홍**, 박상호***, 장광섭****

Investigation of Product Data Quality in the Korean Automotive Industry

Yang, J. S.*, Han, S. H.**, Park, S. H.*** and Jang, G. S.****

ABSTRACT

Product data quality (PDQ) is a real and significant issue in today's manufacturing environment. In the Korean automotive industry, much of the design work takes place with the support of software tools, such as CAD systems. Although many designers frequently encounter quality problems regarding product data, there is no investigation into the present state of CAD usage and PDQ activities before. The Korean automotive industry is responsible for about 11.1 percent of the total value of manufactured goods in Korea and 7.9 percent of employment in manufacturing. A study performed by the Research Triangle Institute showed that imperfect interoperability imposes at least \$1 billion per year on the members of the U.S. automotive supply chain. The trends toward concurrent engineering and outsourcing have elevated the importance of high-quality product data and efficient product data exchange. This paper shows the results from a survey of PDQ conducted on seven 1st tiers among members of the Korean automotive supply chain.

Key words : CAD model, Interoperability, Product data exchange, Product data quality, Quality criteria

1. 서 론

제조업에서는 제품개발의 정보화를 추진하여 개발 기간과 비용을 줄이기 위해 C3PE(CAD/CAM/CAE/PDM/ERP)를 도입하고 있다. 이로 인해 디지털 제품데이터가 서로 다른 C3PE 시스템 사이에서 빈번하게 교환이 이루어지고 있다. 그러나 서로 다른 C3PE 시스템 사이에서 데이터 교환이 이루어질 경우, 필연적으로 데이터 손실과 CAD 형상의 왜곡이 발생하고 있고, 이를 수정하기 위해 많은 추가 비용과 지연시간(Lead-time)이 발생하고 있다.

제품의 품질에 대한 관점이 과거에는 양산 단계에 맞춰져 있었지만, 최근에는 설계 단계의 제품데이터로 옮겨가고 있다. 개발단계에서 확보된 제품데이터

의 품질은 양산단계의 제품에 직접적인 영향을 주고 제품개발에 투입되는 비용과 시간을 줄일 수 있어 기업의 경쟁력 확보에 중요한 요소가 된다. 이를 위해서, 해외 업체에서는 3차원 제품데이터의 활용과 서로 다른 C3PE 시스템 간에 데이터를 교환하는 과정에서 발생하는 문제에 대한 체계적인 연구가 진행되고 있지만 국내는 현황조차 파악되지 않고 있다. 완성차제조업체(OEM) 또는 제품조립업체(Set Maker)는 이미 10여 년 전부터 3차원 CAD 모델을 활용하고 있지만, 1차/2차 협력업체의 CAD 모델 활용도에 대한 조사는 이루어지지 않고 있다. 특히 완성차제조업체 또는 제품조립업체에서 설계된 CAD 모델이 하위 협력업체로 전달되는 과정에서 발생하는, 제품데이터의 품질 문제에 대한 연구는 없었다. 또한, 최근에는 완성차제조업체 또는 제품조립업체가 협력업체에게 생산된 부품에 대한 납품과 함께 품질이 검증된 CAD 모델을 필수적으로 요구하고 있는 추세에 있다.

제품데이터는 제품에 대한 개념설계부터 생산에 이르기까지 필요한 모든 또는 일부의 제품데이터를 의미한다. 따라서 제품데이터는 CAD 데이터뿐만 아니

*학생회원, (주)부품디비 기술연구소

**중신회원, 한국과학기술원 기계공학과

***중신회원, 충남대학교 기계설계공학과

****(주)부품디비 기술연구소

- 논문투고일: 2005. 02. 21

- 심사완료일: 2005. 05. 13

라 CAM 데이터, CAE 데이터, PDM 데이터 등을 포함한다. 자동차산업에서는 품질을 적용하는 우선 순위로서 CAD 형상과 관련된 데이터(Engineering Design Model)가 중요시 되고 있다. 제품데이터품질(PDQ, Product Data Quality)은 “모든 제품데이터를 필요로 하는 모든 사람들, 하위 CAD 시스템 또는 협력업체에게 시간과 공간에 제약 없이 받고 데이터를 제공할 수 있도록 데이터의 정확성과 타당성을 보증하는 수단”으로 정의한다. 따라서 양질의 데이터는 정확한 데이터를 올바른 사람에게 필요한 시간에 제공하는 것을 의미한다¹⁾.

본 논문에서는 자동차 산업에서의 PDQ의 필요성과 국내의 현황을 소개한다. 또한 완성차제조업체와 완성차제조업체의 1차 협력업체에서 제공받은 132개의 양산 모델을 대상으로 품질을 검증한 결과를 소개한다. 마지막으로 향후 국내 자동차산업에서 PDQ 향상을 위한 방향을 결론에서 제안한다.

2. 제품데이터의 필요성

자동차산업에서 제품데이터의 품질 향상에 대한 요구는 제품데이터의 공유에 따른 측면, 데이터의 재사용에 따른 측면, 그리고 공학설계변경(Engineering changes)에 따른 지연시간의 단축 측면에서 접근할 수 있다.

2.1 제품데이터의 공유

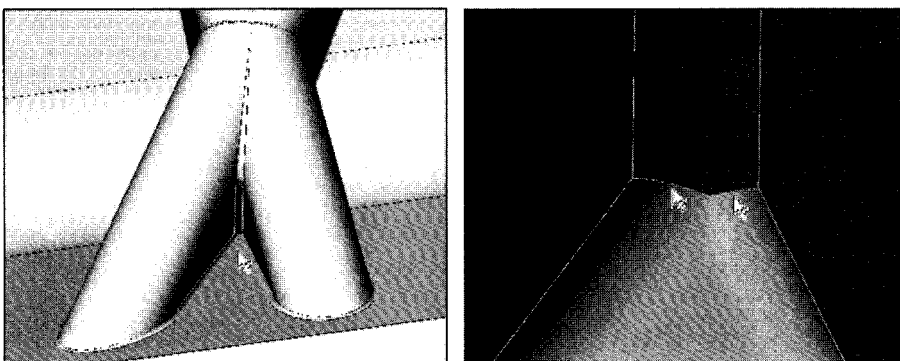
전통적으로 제품데이터의 생산과 관리의 주체가 됐던 완성차제조업체의 역할이 축소되고 1차, 2차 협력업체로 넘어가는 추세에 있다. 이에 따라, 완성차의 60~80%가 협력업체에 의해 제품데이터와 함께 구성

품(component)과 부품(part)이 외부조달(outsourcing) 되고, 완성차제조업체는 C3PE를 이용한 기업 통합 시스템 (Integrated enterprise system)을 구축하는 방향으로 전개되고 있다. 분산환경에서 제품설계와 생산, 공급망(Supply chain), 그리고 무재고 제조(Lean manufacturing) 방식의 도입으로 인해 제조산업 정보화(e-Manufacturing)가 급격히 진행되고 있고 이에 따라 품질이 확보된 제품데이터의 교환이 중요시 되고 있다.

미국 내 하나의 완성차제조업체 내부의 설계부서 상호간에 그리고 공급망에서 완성차제조업체와 협력업체 상호간에 이루어지는 데이터 교환은 1년 평균 453,000건에 이르고 있고, PDQ로 인한 문제를 해결하기 위해 미국자동차산업에서는 1년에 약 10억 달러의 비용을 투입하고 있다²⁾.

신차 개발 프로세스에서 발견되는 제품데이터 오류의 대부분은 시작품 제작단계와 같이 개발 프로세스가 상당 부분 진행된 생산공정에서 발견되고, 이때는 오류의 확산이 이루어진 이후가 되기 때문에 오류의 원인을 찾고 수정한 결과를 피드백(Feedback) 하는데 많은 시간이 소비 된다.

Fig. 1은 설계과정에서 발생된 문제가 가공과정에서 발견된 예를 보여 준다. 화살표로 표시된 부분에 G1 discontinuity 오류가 발생하였다. G1 discontinuity는 두 개의 곡면 패치 사이에 불연속 접선이 발생하는 것을 의미 한다. 아래쪽 2개의 Face가 위쪽 Face와 만나는 부분에서 109°, 128°의 경계선(Hard line)이 발생하였다. 이와 같은 경계선으로 인해 NC 가공 시 Cutter location을 찾기 어렵고, 과삭과 미삭이 발생할 수 있다. 또한 데이터 변환 시 경계선으로 인해 Facc 손실이 발생할 수 있다.



Source: DaimlerChrysler

Fig. 1. Example of low-quality CAD model: G1 discontinuity.

국내 현업에서 오류를 수정하는 책임은 대부분 데이터 전달받은 후속공정이나 협력업체에 전가되고 있다. 협력업체에서는 오류를 직접 수정하기 보다는 전달받은 모델에서 와이어프레임만을 추출해서 읽은 후 다시 모델링(Re-mastering)하는 소극적인 방법을 사용하고 있다.

2.2 제품데이터의 재활용

Porter^[4]는 향후 치열한 시장 경쟁에서 살아남기 위해서 두 가지 방향을 제시하였다. 첫 번째는 새로운 제품을 빠른 속도로 개발(Rapid new product development)하는 것이고, 두 번째는 기업 운용의 극대화(Operational excellence)를 이루는 것이다. 특히 제품 개발 속도와 주기를 강조하여, 종래에 중요시했던 제품 개발에 투입되는 비용을 절감하기 보다는, 경쟁사보다 빠른 속도로 새로운 제품을 시장에 출시하는 것이 중요하다고 강조하였다. 개발 주기를 단축하기 위해서는 이전 제품 개발에서 사용했던 모델을 재사용하는 비율이 증가되어야 하고(Create once, use many), 기업의 경쟁력 제고를 위해서는 기존 제품모델의 재사용 비율을 높여야 한다.

완성차의 플랫폼은 개발 비용의 50%를 점유하고 있기 때문에, 완성차제조업체에서는 동일한 플랫폼에 더 많은 차량을 생산하고 설계해서 비용을 줄이려고 노력하고 있다. 예를 들어 Chevrolet Lumina, Chevrolet Monte Carlo, Pontiac Grand Prix, Buick Regal, 그리고 Buick Century는 모두 같은 플랫폼을 공유한다. 현대기아자동차는 NF 소나타와 옵티마, 그리고 현재 개발 중인 JM(소형 SUV)에 대해 동일한 플랫폼을 공유하고 있다. Ford는 기존의 플랫폼으로 새로운 모델을 개발했을 때, 개발과 엔지니어링 비용을 15~20퍼센트까지 절감한 것으로 평가한다^[5].

이를 위해서, 제품데이터의 품질이 확보된 기존 플랫폼을 새로운 모델에 사용함으로써 비용 절감의 효과를 기대할 수 있다. 플랫폼뿐만 아니라 공통 부품에 대한 재사용 비율을 높이기 위해서, 제품모델의 품질이 확보된 기존모델의 활용을 늘려야 한다.

2.3 공학설계변경에 따른 지연시간의 단축

양질의 디지털 데이터는 기업의 중요한 자산이 되고 있다. 그러나 CAD 모델의 오류와 같은 품질 문제로 인해 많은 인력과 시간 그리고 비용이 투입되는 뿐만 아니라, 치명적인 문제로 인해 생성된 데이터를 재사용하지 못하는 경우도 발생하고 있다. 기업의 경영자뿐만 아니라 대부분이 사람들은 제품의 품질에 대

한 개념을 생산 단계에 맞춰져 있고, 생산단계에서 발생하는 제품의 품질 문제가 설계 단계에서 발생하고 있음을 인식하지 못하고 있다.

일본자동차산업에서는 약 250,000건의 오류 수정을 위해 약 71억 엔의 비용과 1건당 1.5일의 지연시간의 손실(Loss of lead time)을 초래하고 있다^[6]. Walker는 제품설계과정에서 발생하는 ECO(Engineering Change Order, 설계변경요구)의 약 45%가 모델의 오류와 모호성으로 인해 발생한다고 하였다^[7]. 오류가 포함된 디지털 모델이 각각의 설계부서 상호간에 또는 상위 CAD 시스템에서 하위 시스템으로 전달될 경우, 오류를 수정하기 위해서 최초설계의 20~70%의 일량(man/hour)이 재 투입된다.

설계단계에서 품질이 확보되지 않은 제품데이터의 오류는, 대부분 가공단계와 같은 후속공정에서 발생됨에 따라, 설계변경을 위한 Feedback에 많은 시간 소비되고 설계변경에 따른 버전관리에도 추가 비용이 소요된다.

3. PDQ 활동

3.1 해외 PDQ 활동

다임러크라이슬러는 1년에 20만 건 이상의 CAD 모델의 교환과 10만 건의 CAD 모델이 생성 및 변경되고 있다. 이중 약 1만여 개의 CAD 모델이 오류로 인해 수정되고, 이에 따라 1년에 500,000 추가비용이 소요되고 있다. 이를 해결하기 위해 2000년부터 Data Quality(DQ) 프로젝트를 진행하였다. DQ 프로젝트는 상업용 PDQ 툴인 TransCAT의 Q-Checker를 이용하여, Process analysis, Tool benchmarking & selection, Process integration, CATIA V5 migration, Coordination의 5개 세부과제로 진행되어 다임러크라이슬러 그룹의 전 사업체에서 신차개발에 적용되고 있다. CAD 모델이 생성된 이후에 품질을 검증하는 방법에서, 최근에는 설계자가 형상을 모델링 하는 과정에 실시간으로 설계자의 오류 작업을 검증하는 프로젝트를 TransCAT, Dassault Systemes, IBM과 공동으로 진행하고 있다.

닛산자동차는 일본 Elysium과 공동으로 2003년부터 닛산자동차의 범용 CAD 시스템인 IDEAS 내에 PDQ 인증시스템(The PDQ Nissan Package certification)을 개발하였다. PDQ 인증시스템은 2004년부터 일본, 미국, 유럽 지역의 닛산기술연구소 상호간에 데이터 교환에 적용되고 있다.

그 밖에 Kawasaki Heavy Industries(Aerospace 사

업부)는 2003년부터 PDQ를 도입하였고, Fuji Heavy Industries 의 Subaru 자동차와 Mitsubishi 자동차는 2004년부터 PDQ를 적용하고 있다. 또한 Honda 자동차(Tochigi Laboratory), Porsche, Ferrari, GM, Ford 등에서도 PDQ를 2001년부터 도입하였다.

미국자동차협회(ALAG)는 제품데이터의 품질과 재사용을 향상시키기 위해, 1998년부터 Vehicle Product Data Quality Work Group(VPDQ)을 만들어 추진 중에 있다. VPDQ는 ALAG document D-12 Defining Product Data Quality와 D-15 Product Data Quality: Guidelines for the Global Automotive Industry 문서를 개발하여, 미국 내에서 자동차 부품의 공급망 관리에 적용하고 있다.

일본자동차협회(JAMA)는 자동차산업에서의 정보화 사업의 일환으로 2001년부터 "JAMA Working on CAD Data Quality Pilot"를 진행하여 JAMA PDQ 가이드라인 V3과, 상용 CAD 시스템의 적용사례를 문서화 하였다. 최근에는 자동차산업에서 CAD 모델 품질 식용의 확산과, CAD 모델의 장기간 보존을 위한 과제가 진행 중에 있다.

3.2 국내 PDQ 활동

국내는 개별 완성차 업체를 중심으로 PDQ 활동이 진행되었다. 대우자동차는 1998년 CATIA V4 환경에서 곡면의 품질을 정량적인 데이터를 바탕으로 오류를 해석하는 "곡면의 오류 검증 및 품질 징량화 S/W 개발"을 수행하여 설계단계에서 가공 단계로 넘어가는 곡면에 대한 품질을 검증하였다. 현대기아자동차는 2001년부터 상용 CAD 모델 오류 검증 툴인 Q-Checker를 이용해서 "3D 모델 품질 확보시스템(MQA: Model Quality Assurance) 구축"을 진행하였고, 최근에는 신차개발과 부품의 외부 조달에 있어서 모델의 품질 검증을 필수 요건으로 포함하였다.

전자상거래 표준화 통합포럼(ECIF)에서 2001년에 "자동차 산업에서 제품 데이터 품질에 대한 적용 지침"을 개발하여 표준분건으로 배포하였다.

3.3 SASIG PDQ 활동

1994년 세계 완성차 생산 국가의 자동차협회로 구성된 SASIG(Strategic Automotive product data Standards Industry Group)은 STEP(ISO 10303) AP214(자동차 전용 프로토콜)의 개발과 업계 적용을 진행하였고, AP214에 대한 국제 규격(ISO)이 완료된 이후에는 PDQ에 대한 공동 연구가 진행 중에 있다. SASIG 조직에 참여하고 있는 국가별 협회는 다음과

같다⁸⁾.

- Automotive Industry Action Group (U.S.)
- Groupement pour l'Amélioration des Liaisons dans l'Industrie Automobile (France)
- Japan Automotive Manufacturers Association (Japan)
- ODETTE Sweden
- Verband der Automobilindustrie (Germany)
- Federal Chamber of Automotive Industries (FCAI)

PDQ 가이드라인 개발은 독일자동차협회에 의해 제안되어 매년 4회에 걸쳐 정례미팅을 통해 개선되고 있다. 2001년 국제규격의 SASIG PDQ Document V1이 릴리즈 되었고, 2004년 5월에는 ISO TC184/SC4 회의(영국 Bath)에서 Version 2가 소개 되었다. 또한 국제표준화를 위한 문서화가 진행 중에 있다(ISO TC184/SC4N1469)⁹⁾.

한국자동차공업협회(KAMA)는 Guest로서 참석하고 있다. 최근에는 한국자동차공업협회와 중국자동차공업협회(CAAM), 이탈리아자동차협회(ACI), 멕시코자동차공업협회(AMIA)가 가입을 준비 중에 있다. 2005년 SASIG 회의가 중국에서 준비되고 있다.

4. CAD 모델 품질 조사

4.1 개요

완성차제조업체와 CAD 데이터 교환을 하는 7개의 1차 협력업체를 대상으로 CAD 모델의 품질을 검증하기 위해 방문조사를 하였다. 이들 업체는 10년 이상 제품개발에 CAD 시스템을 활용해 왔으며 완성차제조업체의 신차 개발 프로세스에 직접적으로 참여하고 있다.

품질 검증을 위해 제공 받은 데이터는 양산단계 또는 개발단계에 있는 CATIA V4.x 데이터들로서 완성도가 높은 수준의 데이터를 활용하였다. Fig. 2에서

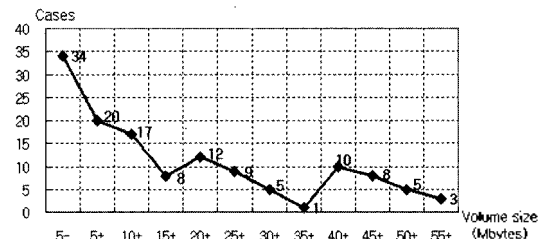


Fig. 2. Number and volume size of CAD models used for investigation.

보는 바와 같이, 품질 검증을 위해 제공 받은 데이터는 132개로서 39개의 Solid 모델과 93개의 Surface 모델로 구성되었다.

검증 모델 선정 기준은 다음과 같다.

- 현재 양산 단계 또는 개발 단계에 있는 모델.
- CAE, CAM과 같은 후속공정에 데이터를 전달해야 하는 모델.

- 검증 대상 모델을 설계한 엔지니어가 검증 결과에 대한 분석에 참여할 수 있을 것.

품질 검증을 위해 사용된 PDQ 툴은 TransCAT의 Q-Checker V1.9.2와 TranscendData(ITT)의 CADI/Q를 사용하였다. PDQ 품질 항목은 국내 완성차 4개사의 CAD 관련 실무자들로부터 요청 받은 45개의 항목을 Table 1에서 보는 바와 같이 일본자동차협회의 기준치

Table 1. Error criteria and reference values

	Criterion	Measurement	Description	Value
Curve	Embedded curves	G-CU-EM	Whether there is a curve completely embedded within another curve within the designated accuracy.	0.01
	Small curve radius	G-CU-CR	Minimum radius of curvature along curve.	0.01
	Tiny curve segments	G-CU-TI	Length of curve or segment.	0.01
	Short edges	G-ED-TI	Length of edge or curve arc.	0.01
	Self-intersecting curves	G-CU-IS	Whether a curve intersects itself within the designated accuracy.	0.01
	High-degree curves	G-CU-ID	Degree of polynomial curve.	6
	Non-tangent segments	G-CU-NT	Angle between segment tangent vectors at common bound.	0.1
	Closed edge	G-ED-CL	Whether edge endpoints are coincident.	0.2
Surface	Embedded surfaces	G-SU-EM	Whether there is a surface completely embedded within another surface within the designated accuracy.	0.01
	Narrow surfaces/patches	G-SU-NA	Maximum distance between patch boundaries in a parametric direction.	0.01
	Relative narrow surface patches	G-SU-RN	Ratio of the linear patch sizes of two adjacent patches in all possible parametric direction combinations.	0.1
	Degenerate surfaces	G-SU-DC	Length of degenerate surface or patch boundary, with this length below the given accuracy.	0.01
	Degenerate surface corners	G-SU-DP	Angle between tangents of geometrically adjacent surface boundaries at a surface corner.	5
	Small surface radius	G-SU-CR	Minimum radius of curvature, in any direction, on surface.	0.1
	Self-intersecting surfaces	G-SU-IS	Whether or not the surface or patch intersects itself within the designated accuracy.	0.01
	Unused surface patches	G-SU-UN	Count of unused patches.	5
	Folded surfaces	G-SU-FO	Maximum angle between pairs of normal vectors in either parametric direction in a patch.	90
	High-degree surfaces	G-SU-HD	Degree of polynomial surface.	6
	Tiny surfaces / patches	G-SU-TI	Area of surface or patch.	0.01
	Shared surfaces	G-SU-MU	Count of the number of faces that use this surface.	2
	Non-tangent patches	G-SU-NT	Maximum angle between patch normals evaluated at adjacent points along coincident boundaries	0.1
Edge_Loop	Self-Intersecting loops	G-I.O-IS	Whether one or more intersection points exist in the loop within the designated accuracy.	0.01
	Sharp edge angle	G-I.O-SA	Angle between edge tangent vectors at common vertex.	0.1
	Large vertex-edge gap	G-I.O-LG	Distance between edge endpoints at common vertex.	0.01
	Non-tangent edges	G-LO-NT	Angle between edge tangent vectors at common vertex.	0.1
Face	Overlapping faces	G-FA-EM	Whether there is a face completely embedded within another face within the designated accuracy.	0.01
	Narrow faces	G-FA-NA	Maximum width of face in narrow direction.	0.01
	Closed faces	G-FA-CL	Whether a face is open or closed topologically and not geometrically.	Closed

Table 1. Error criteria and reference values (Cont.)

	Criterion	Measurement	Description	Value
Face (Cont.)	Narrow region	G-FA-RN	Width between the two closest points in a loop or between two loops in the same face as well as the length of the narrow region.	0.01
	Intersecting loops	G-FA-IS	Whether one or more intersection points exist between two loops in the same face within the designated accuracy.	0.01
	Large vertex-surface gap	G-FA-VG	Maximum distance between vertex point and its associated edge endpoint or face that it trims.	0.01
	Large edge-surface gap	G-FA-EG	Maximum distance between each point on edge and corresponding location on the surface.	0.01
	Tiny faces	G-FA-TI	Surface area of tiny face, compared to the given accuracy.	0.1
Shell	Open shells	G-SH-FR	Whether edge is used by two faces.	Used by one face
	Non-tangent faces	G-SH-NT	Maximum angle between surface normals evaluated at pairs of nearest points on each face along common edge	0.1
	Over-used vertex	G-SH-OU	Count of edges using the vertex.	4
	Sharp face angle	G-SH-SA	Maximum angle between pairs of face normal vectors along common boundary.	0.1
	Large face gap: G0 discontinuity	G-SH-LG	Maximum distance between pairs of nearest points on each face along common edge.	0.01
	Non-manifold shell	G-SH-NM	Whether edge is used by more than two faces.	Used by one face
	Self-intersecting shells	G-SH-IS	Whether any faces of the shell intersect at locations other than the edges within the given measurement accuracy.	0.01
Solid	Embedded solids	G-SO-EM	Whether one solid completely contains the other.	0.01
	Intersecting shells	G-SO-IS	Whether any faces of different shells intersect at locations other than the edges.	0.1
	Solid voids	G-SO-VO	Whether solid has only one exterior shell.	Has one shell
	Multi-volume bodies	G-SO-MU	Whether solid has only one distinct volume.	Has one volume
	Tiny bodies	G-SO-TI	Volume of the solid.	0.1

를 바탕으로 검증 하였다. 45개의 품질 검증 항목에 대한 정의는 KAMA PDQ Guideline을 참고하였다^[10].

4.2 품질 검증 결과

4.2.1 Edge/Curve에 대한 검증 결과

Fig. 3(a)는 Edge/Curve 품질 항목에 대한 검증 결과로서, 265,389개의 오류가 발생하였다. 중복된 Curve/Edge에 의한 오류(G-CU-EM)가 41%, 미소 반경을 가지는 Edge/Curve가 30%, 그리고 미소 세그먼트를 가지는 Curve가 15%를 차지하였다. G-CU-EM 오류는 동일한 엘리먼트에 의한 중복 곡선으로 인해 모델의 Volume size를 증가시키고, 설계 과정에서 설계자의 실수(c.g. 의도하지 않는 엘리먼트 선택)를 초래 할 수 있다. 또한 연속적인 곡선의 흐름을 자동으로 인식하기 힘들기 때문에 NC, FEM 과정에서 문제를 발생 한다. 따라서 모델링 과정에서 중복된 요소에

대한 제거 작업이 필요하다.

4.2.2 Surface에 대한 검증 결과

Fig. 3(b)는 13개의 Surface 품질 검증 항목에서 350,932개의 오류가 발생하였다. 중복된 Surface에 의한 오류(G-SU-EM)가 56%, 7차 이상의 높은 차수를 사용한 Surface(G-SU-HI)가 21%를 차지하였다. G-SU-EM은 중첩된 곡면(Embedded surfaces) 오류로서, 곡면 B가 A와 C의 곡면 위에 올려진 현상으로 모델 Volume size의 증가 원인이 된다. 또한 CAE, CAM 해석 과정에서 시간이 많이 걸린다. 중첩된 곡면에 대한 수정 과정에서 Surface 위에 정의된 Face가 소실되지 않도록 주의해야 한다.

4.2.3 Edge-Loop에 대한 검증 결과

Fig. 3(c)는 4개의 Edge-Loop 항목을 검증한 결과

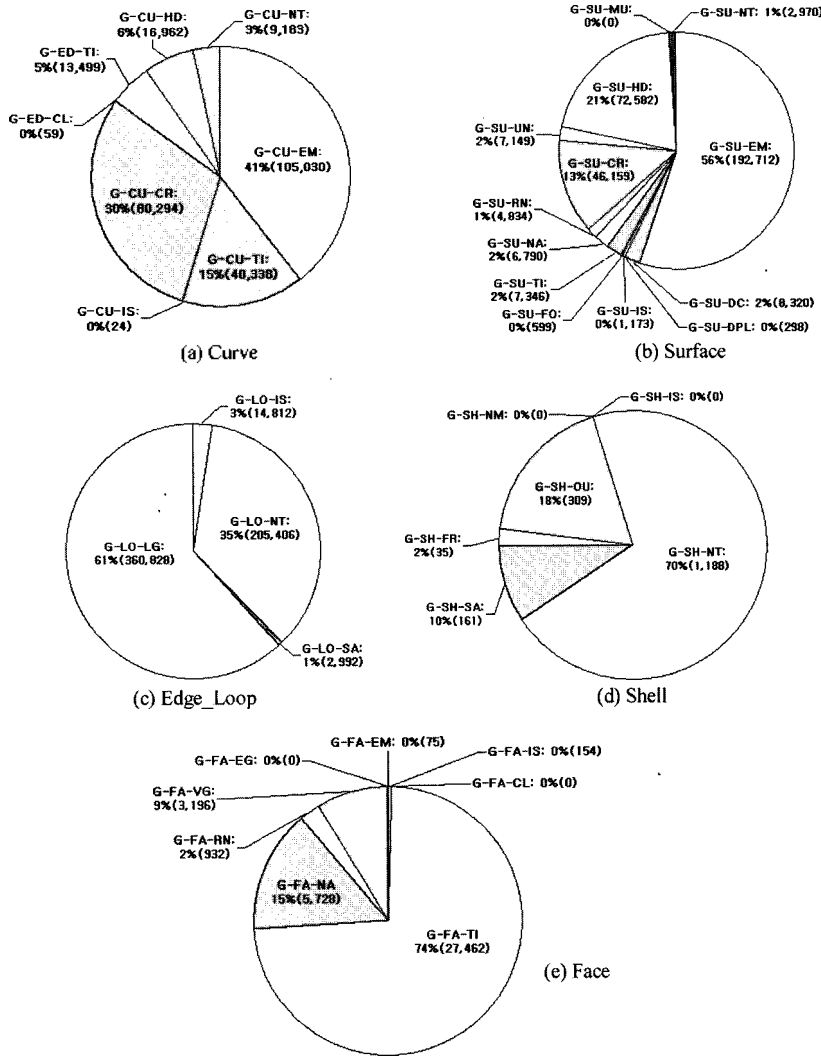


Fig. 3. Evaluation result of CAD model quality.

로서 584,038개의 오류가 발생하였다. 가장 많은 오류 항목은 Vertex와 Edge 사이의 Gap이 0.01 이상 발생한 G-LO-LG로서 61%를 차지한다. 다음으로는 G0 Discontinuity를 발생한 G-LO-NT로서 35%를 차지한다. G-LO-LG는 Self-intersecting curves(G-CU-IS)의 개념과 비슷하다. 다만, G-CU-IS는 각각의 Curve 세그먼트에 대한 Self-Intersection 여부를 파악하지만, G-LO-LG는 다수의 Curve/Edge로 연결된 Loop에서의 Self-Intersection의 오류를 파악하는 것이 다르다.

4.2.4 Shell에 대한 검증 결과

Fig. 3(d)는 6개의 검증 항목으로 구성된 Shell은 1,384개의 오류가 발생하였다. 가장 많은 오류 항목은

미소 면적을 가지고 있는 G-SH-NT로서 70%를 차지하였다. G-SH-NT는 경계 Edge를 기준으로 양쪽 Face 부분에서 G0-discontinuity 오류(Face가 꺾인 형상)가 발생된다. 일반적으로 G0-discontinuity는 모델의 품질에 많은 영향을 준다. 수정을 하기 위해서는, Basic surface의 Continuity가 유지되는지 확인 후 Face를 재 생성한다.

4.2.5 Face에 대한 검증 결과

Fig. 3(e)는 8개의 검증 항목으로 구성된 Face품질 항목으로 37,547개의 오류가 발생하였다. 가장 많은 오류 항목은 미소 면적을 가지고 있는 G-FA-TI로서 74%를 차지하였다. 그밖에 Narrow face가 15%,

Large vertex-surface gap이 9%를 차지하였다. 미소 Face는 시스템 공차가 서로 다른 CAD 시스템 사이에 데이터 교환이 이루어질 경우 Degenerate 요소와 같은 오류를 발생할 수 있고, 미소 Face가 소실되어 Gap을 발생할 수 있다. 또한 모델의 Volume size를 증가시켜 시스템 리소스를 많이 차지하는 단점이 있다. 미소 Face는 인접 Face와 병합(merge)하거나 Basic surface를 변경해서 미소 Face 생성을 방지한다.

4.2.6 Solid에 대한 검증 결과

Embedded bodies(G-SO-EM), Solid voids(G-SO-VO), Tiny bodies(G-SO-TI), Intersecting shells(G-SO-IS), Multi-volume bodies(G-SO-MU)을 적용하였지만 실제로 검증된 오류 항목은 G-SO-EM이 658개, G-SO-VO는 6개의 오류가 발견되었다. 다른 항목들에 비해 Body 항목들이 적은 수로 발견된 것은, 132개의 검증 모델 가운데 42개의 CAD 모델 만이 두 개 이상의 Body로 이루어져 있기 때문이다. 또한 대상 모델이 Solid 관점에서는 현업에서 완성도가 높은 CAD 모델이었기 때문이다. Embedded bodies는 모델의 Volume size를 증가시키는 원인이 되고, 가공 단계에서 추가적인 모델 수정을 필요하다.

4.3 품질 검증의 사례

Fig. 4는 Solid 모델링을 기반으로 생성된 Fuel tank 형상으로서, 2343개의 Vertex, 2609개의 Edge, 1137개의 Surface, 1137개의 Face, 13개의 Body로

구성된 7.2Mbytes의 CATIA V4.x 파일이다. 이 형상을 제공한 업체는, 양산 단계에 있는 모델이기 때문에 현재 특별한 문제는 없지만, 금형을 가공할 당시에 Cutting location을 잡는 과정에서 형상의 일부를 현장에서 수정하였다. 그러나 수정된 형상은 설계부서에 Feedback되지 않은 상태이다.

45개의 오류 항목을 적용한 결과 4982개의 오류가 발견되었다. Fig. 4(a)는 화살표로 표시된 두 개의 미사용 Surface가 발견되었고, Fig. 4(b)는 화살표로 표시된 부분에서 Degeneracy 오류가 발견되었다. Fig. 4(c)는 Unused surface, Fig. 4(d)는 화살표로 표시된 부분에서 Sharp edge angle 오류가 발생하였다. Fig. 4(e)는 10×5 degree를 갖는 고차의 Surface를 사용하였고, Fig. 4(f)는 두 개의 화살표로 표시된 Surface가 G1 discontinuity를 보여준다. 상세한 오류 내역은 Table 2에서 보여준다.

금형 가공 조건을 고려하여, Fuel tank를 생성한 설계자와 함께 발견된 오류를 수정하였다. CAM에서 Tool path와 Cutting location을 생성하는데 중요한 Surface를 중심으로 오류를 수정하였고, 수정에 기술적인 어려움이 있는 Non-tangent edges, Large vertex-edge gap, Embedded surfaces는 제한적인 범위 내에서 일부 수정 하였다. 수정 후의 파일 크기는 5.8 Mbytes로서 약 20% 줄어 들었다.

4.4 조사결과와 분석

본 논문에서 CATIA 모델과 STEP 모델에 대한 품질 검증을 위해 Q-Checker와 CAD/Q를 이용하였다.

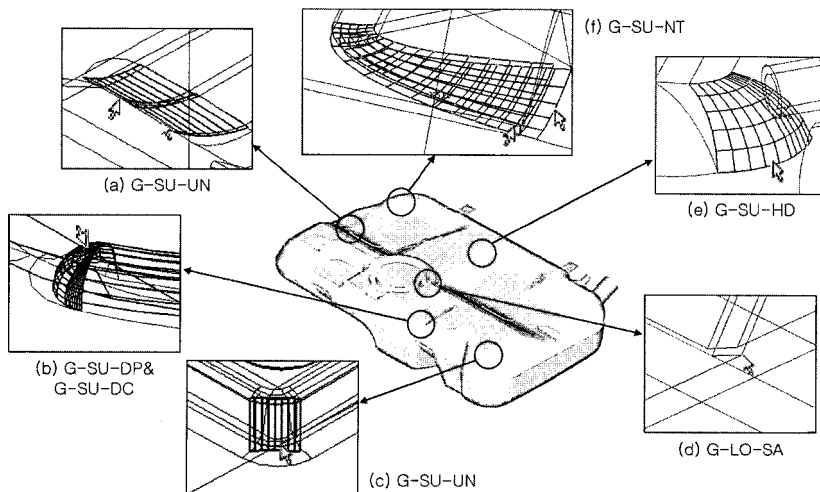


Fig. 4. Example of quality evaluation: a fuel tank.

Table 2. Quality evaluation result of a fuel tank: before and after quality improvement

Criteria	Number of errors		Criteria	Number of errors	
	before	after		before	after
Embedded curves(G-CU-EM)	179	21	Small curve radius(G-CU-CR)	165	34
Tiny curve segments(G-CU-TI)	14	0	Short edges(G-ED-TI)	6	0
High-degree curves(G-CU-HD)	46	9	Non-tangent segments(G-CU-NT)	52	11
Embedded surfaces(G-SU-EM)	1033	923	Narrow surfaces/patches(G-SU-NA)	4	0
Degenerate surfaces(G-SU-DC)	62	14	Relative narrow surface patches(G-SU-RN)	9	0
Degenerate surface corners (G-SU-DP)	3	0	Small surface radius(G-SU-CR)	128	7
Tiny surfaces/patches(G-SU-TI)	4	0	Unused surface patches(G-SU-UN)	30	8
Non-tangent patches(G-SU-NT)	24	0	High-degree surfaces(G-SU-HD)	387	84
Self-Intersecting loops(G-LO-IS)	9	0	Sharp edge angle(G-LO-SA)	4	0
Non-tangent edges(G-LO-NT)	1120	995	Large vertex-edge gap(G-LO-LG)	1669	1441
Narrow faces(G-FA-NA)	2	0	Tiny faces(G-FA-TI)	13	0
Non-tangent faces (G-SH-NT)	13	0	Overlapping bodies(G-SO-EM)	6	6

품질 검증을 위해 사용되는 PDQ 틀은, 형상정보에 대한 수학적 해석을 통해 오류의 위치를 파악한다. 대부분의 상용 PDQ 틀은 동일한 기준치를 적용했을 경우에 같은 오류 위치가 검증된다. 따라서, 틀의 선택보다는 Table 1과 같은 기준치를 설정하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 엄격한 규정치를 권고하고 있는 일본자동차공업협회의 데이터를 국내 완성차제조업체에서 추천 받아 조사가 진행되었다.

양산 모델에 적용되는 CAD 모델을 대상으로 조사가 진행되었지만, 대부분의 모델에서 오류가 발생하였다. 특히, Surface와 Face 관련 오류는 생산공정에 지연요인으로 발생된다. 또한, 조사에서 가장 많은 빈도로 발생된 중복 요소와 미소 요소는, 필요 이상의 Volume size를 증가시켜 선행공정과 후속공정 사이의 일관성 있는 데이터 교환에 장애요소로 작용된다.

5. 결 론

국내 자동차산업의 공급망은 이미 세계화가 되었고, 신차개발에 있어서도 다국적 기업이 참여하는 방향으로 전개되고 있다. 국내 부품업체에서 외국계 지분을 보유 중인 업체는 207개가 되었고, 완성차제조업체의 신차개발에서 종속적으로 관계가 유지되는 관행에서 벗어나 객관적이고 투명한 책임과 역할을 요구 받고 있다. 이로 인해 부품업체에서 전달받은 제품에 대한 객관적인 품질 검증의 필요성이 완성차제조업체와 부품업체에서 제기되고 있다.

본 논문은 PDQ 도입의 필요성과 국내외 자동차산업에서 PDQ 현황을 소개하였다. 또한 현업에서 활용

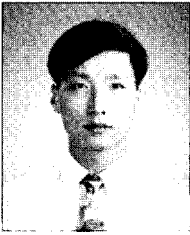
중인 양산 모델을 대상으로 45개의 품질 항목에 대한 검증을 하였다. 검증을 위해 사용된 기준 값은 일본자동차공업협회(JAMA)에서 제시된 기준을 바탕으로 진행하였다. 특히, 중복 요소, 미소 Face 등과 같이 모델 Volume size을 증가하는 요인이 많이 발견되었다.

미국자동차협회에서는 향후 3년 이내에 ISO 9000과 유사한 품질 규정인 PDQ 9000에 대한 도입을 추진 중에 있다¹¹⁾. 이에 따라 국내 자동차산업에서도 PDQ에 대한 준비와 활성화가 필요하다. 또한 6 Sigma 관점에서 제품데이터의 품질을 확보하는 방향에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Tasscy, G, "Interoperability Cost Analysis of the U.S. Automotive Supply Chain - Final Report", RTI Project Number 7007-03, Research Triangle Institute, 1999.
2. Korea National Statistical Office: Statistical Database, Summary of Gross Regional Domestic Product, 2004.
3. Automotive Industry Action Group, SASIG Product Data Quality Guidelines for the Global Automotive Industry- Issue: 2.0, 2004.
4. Porter, M., You Only Compete in Two Dimensions, Harvard Business Review, March, 2001.
5. "Platforms are Fewer, but More Flexible". Automotive News Europe (<http://europe.autonews.com/>), Vol. 2, No. 26, December 22, 1997.
6. Japan Automobile Manufacturers Association, PDQ (Product Data Quality: 모델 데이터 품질), JAMA (<http://www.jama.or.jp>), 2003.

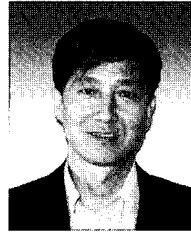
7. Walker, D., "Introduction of TOPGUN XI", 2001 COE Conference, Anaheim, CA, April 4, 2001.
8. Strategic Automotive Product Data Standards Industry Group, <http://www.sasig.com>
9. ISO TC184-SC4: SC4 N-DOCS, http://www.tc184-sc4.org/SC4_Open/SC4_and_Working_Groups/SC4_N-DOCS/1250-1499/maindisp.cfm?bk=7480
10. Yang, J., "KAMA PDQ Guideline", KAMA Technical Report, Korea Automobile Manufacturers Association, 2004.
11. Phelps, T., "Product Data Quality: A Key to Rapid Product Development", Industrial Technology Institute (<http://www.erim.org/cec/pdq/pdq.htm>).



양 정 삼

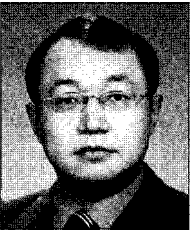
2004년 한국과학기술원 기계공학과 박사
 1997년~2000년 고등기술연구원 주임연구원
 2001년~현재 (주)부품디비 연구개발팀장
 2002년 Clausthal University of Technology (Germany) 방문연구원
 2005년~현재 University of Wisconsin-Madison, Postdoctoral Associate

관심분야: Product data quality (PDQ), Product data exchange (PDE), Product data management (PDM), Geometric modeling, Virtual manufacturing



한 순 홍

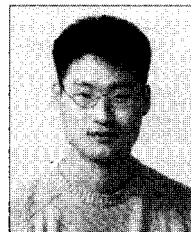
한국과학기술원 기계공학과 교수이며, 웹서널인 International Journal of CAD/CAM(www.ijcc.org)의 편집장으로 활동하고 있다. 2003년까지 STEP센터(www.kstep.or.kr)의 회장과 전자거래학회(www.calsec.or.kr)의 회장을 맡았으며, 관심분야는 STEP, 가상현실 응용, 지능형 CAD이다. 연락처는 shhan@kaist.ac.kr, 홈페이지 <http://icad.kaist.ac.kr>, 미국 미시건 대학에서 1990년 박사학위



박 상 호

1988 서울대학교 기계설계학과 학사
 1990 서울대학교 CAD 석사
 1995 서울대학교 CAD 박사
 1995년~1998년 한국전자통신연구원 선임연구원
 1998년~현재 충남대학교 기계설계공학과 부교수

관심분야: Computer-Aided Design/Manufacturing, Geometric Modeling, Virtual Reality



장 광 섭

2003년 충남대학교 기계공학과 학사
 2002년~현재 (주)부품디비 기술연구소 선임연구원