

# DFMA 관련 소프트웨어와 미국 제조산업에 미친 영향

안 정 호

숭실대학교

## 1. 서 론

제품을 생산하는 업체의 입장에서는 제품을 생산하여 최대의 이익을 남기는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위해서는 제품을 생산하기 이전에 생산원가 및 폐기비용에 대한 고려해야 하며 제품설계 단계에서 이들에 대한 정량적인 평가 방법이 필요하다. 설계 단계에서 생산될 제품에 대한 정량적인 평가를 통하여 최상의 제품을 설계할 전반적인 비용의 절감으로 가격경쟁력이 향상되고 경쟁에서 우월한 입장에 설 수 있다. 생산된 제품들은 원가의 70%가 설계단계에서 결정된다는 연구가 있으나 아직도 많은 회사들은 제품이 생산에 들어가기 전에 원가를 알지 못한다. 또한 최근에는 제품생산주기가 짧아지고 있어서 경쟁력을 가지기 위해서는 제품의 빠른 출시가 필요하기 때문에 제품에 대한 데이터 관리를 철저히 할 필요가 있다.

여기서는 제품의 설계 단계에서 제품의 생산 그리고 폐기까지의 비용 및 이익을 정량적으로 평가해 주는 소프트웨어들과 미국에서 제조산업에서 이러한 소프트웨어들의 적용사례에 대하여 살펴보기로 한다. 언급할 내용들은 해당 회사의 인터넷에 공개된 자료를 근거로 작성되었다.

## 2. 관련 소프트웨어

### 2.1. Stand-alone 소프트웨어

BDI 사([www.dfma.com](http://www.dfma.com))는 DFM, DFA, DFE와 DFS라는 설계관련 소프트웨어를 개발하여 판매하고 있다.

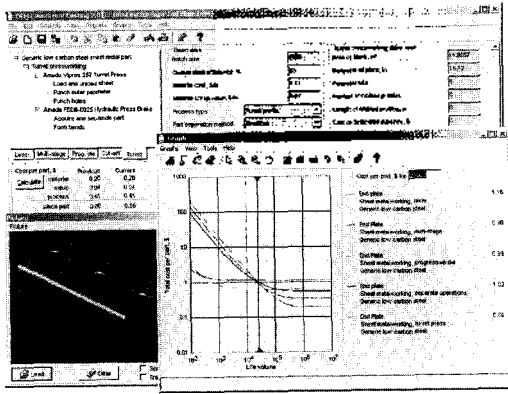
BDI 사의 DFM Concurrent Costing 2.0은 설계자나 납품업체들이 제품의 초기 설계단계에 제품

의 생산에 있어서 원가에 영향을 미치는 주요한 인자들을 분석할 수 있도록 도움을 주어 원가 산출에 다각적인 접근을 할 수 있도록 도와 준다.

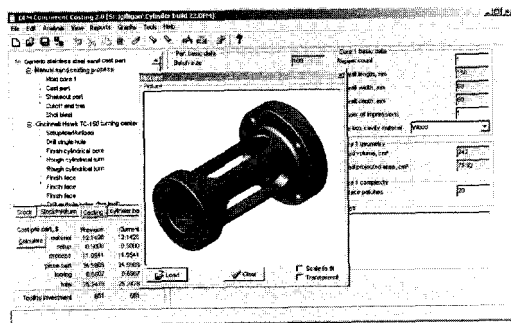
DFM은 설계단계에서 재료와 공정을 선택하는데 도움을 주고 부품 및 제조공정에 대한 원가를 산출해 준다. 설계단계에서 원가 분석을 통하여 원가를 예측함으로써 원가가 가장 적게 드는 형상 가공방법을 선택할 수 있을 뿐만 아니라 가공비용을 최소화할 수 있도록 부품의 형상을 바꿀 수 있다.

OEM 생산업체나 하청업체들이 제품의 설계단계에서 예상원가를 산출하는데 활용할 수 있다. Harley-Davidson에서는 자사에서 제조하는 부품들에 대하여 원가분석 프로그램으로 DFM을 사용하고 있으며, 15개의 납품업체들에게 현재 생산하고 있는 부품들의 원가를 프로그램으로 분석하게 함으로써 추후에 개발될 제품들의 원가를 정확하게 산출할 수 있는 기반을 마련하고 있다. 이 프로그램의 핵심은 납품업체들이 원자재비를 줄이고 부품의 가공성을 향상시키도록 도와 주어서 원가를 낮춤으로써 상호 이익을 취하는데 있다. DFM 소프트웨어는 부품의 원가를 정량적으로 산출해 줌으로써 여러 디자인들 중에 하나를 선택할 수 있는 정량적인 평가기준을 제공한다.

DFM Concurrent Costing은 가공공정을 요하는 제품들의 원가를 절약하는데 도움을 준다. 엔지니어들은 다른 재료와 공정들에 대하여 배울 수 있고 경쟁되는 부품의 설계에 대하여 기계가공과 마무리 작업에 드는 자세한 원가를 산출할 수 있다. 가공 공정으로는 turret pressworking, laser and plasma cutting, sheet metal stamping, machining, structural foam molding, plastic extrusion, injection molding, thermoforming, blow molding, cold and hot die



(a)



(b)

그림 1. DFM Concurrent Costing (a) sheet metal (b) machining

casting, hot forging, powder metal processing, sand casting과 investment casting 등이 있으며 그림 1은 분석 예를 보여준 것이다.

DFM Concurrent Costing 프로그램에서 CAD file을 열면 프로그램은 부품의 치수, 무게, 체적, 곡면의 개수와 기타 필요한 치수들을 찾은 후에 원가 계산을 하게 된다. 사용자는 서로 다른 재료와 가공공정으로 원가를 분석하여 가장 적절하고 저렴하게 부품을 제조할 수 있다. DFM Concurrent Costing은 Pro/ENGINEER, CATIA, Unigraphics, I-DEAS, AutoCad, SolidWorks와 연동하여 사용할 수 있다.

다른 CAD 패키지들에서 생성한 부품의 3차원 형상 데이터는 STL, DXF, OBJ, IGES와 VRML 등의 파일 포맷으로 저장하면 Solid Concepts사의 SolidView/Pro 3-D에서 불러 들여 사용할 수 있다. 이 파일들로부터 부품의 표면적, 체적과 투영

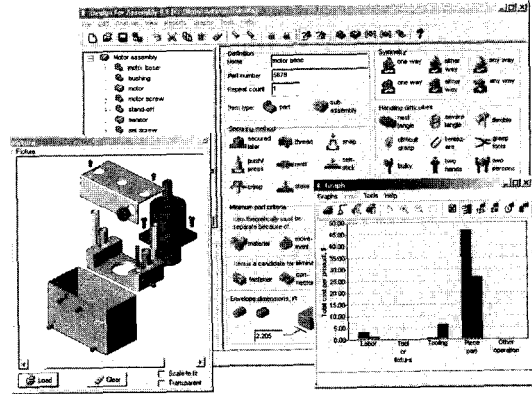


그림 2. DFA 분석 예

면적 등을 계산하여 원가 계산에 사용한다.

DFA는 동시공학에서 핵심적인 소프트웨어로 조립시간과 인건비를 정량화 할 수 있도록 해 주고 제품의 구조를 단순화하도록 도움을 주어서 부품의 원가와 조립비용을 절약할 수 있게 해준다. 소프트웨어에서 제공하는 표준 조립시간외에 사용자가 추가 편집할 수 있는 데이터베이스를 제공하고 있으며, 그림 2는 제품에 대한 분석 결과를 그래프로 보여주고 있다.

세계적으로 환경에 대한 법률이 개정되어 실시됨에 따라 설계시 제품수명이 다했을 때 제품을 폐기하는 것에 대하여 고려한 설계가 필요하다. 제품을 설계할 때 환경과 비용 면에서 효율적인 제품이 되도록 분석해 주는 소프트웨어가 Design for Environment(DFE)이다. DFE는 제품 설계시 제품수명이 다했을 때 제품의 분해를 시뮬레이션하고 분해된 부품의 재활용이나 재사용 및 매립 등에 따른 이익의 환수와 환경에 미치는 영향을 정량적으로 산출해줌으로써 설계 초기에 올바른 결정을 내릴 수 있도록 도와 준다. 제품이 환경에 미치는 영향은 네덜란드의 TNO에서 개발한 가치평가척도인 MET(Material, Energy, Toxicity) 점수에 따라서 평가한다. 그림 3은 DFE 분석 결과에 대하여 MET 점수와 작업시간에 따른 이익 환수를 그래프로 보여 주고 있다.

Design for Service(DFS)는 설계단계에서 설계된 제품에 대해 수리가 용이한 정도를 평가해 주는 것이다. 제품수리가 용이하도록 설계함으로써 보증수리 비용을 줄일 수 있으며, 고객의 만족도를 향

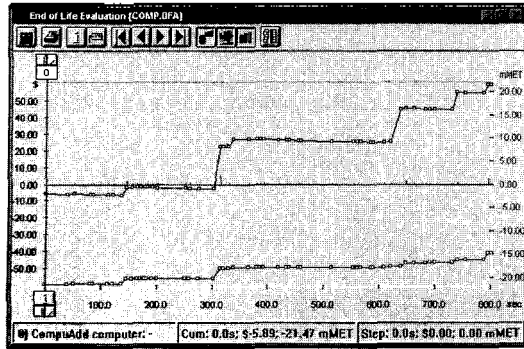


그림 3. DFE 분석 예

상시키고 제품을 오래도록 사용할 수 있어서 보다 환경 친화적인 제품이 되도록 할 수 있다.

Micro Estimating Systems Inc. (www.microest.com)의 Machine Shop Estimating(MSE) 소프트웨어는 Automatic Feature Recognition Estimating이라는 것을 사용하여 특징형상을 추출하여 원가예측을 한다. Automatic Feature Recognition Estimating은 아직까지는 turret punch press에서 sheet metal을 성형하는데 사용하고 있다. 사용자가 선택한 요소에 대해 원, 사각형, 직선이나 복잡한 형상으로 해석되어 원가예측 알고리즘에 형상, 길이, 폭 그리고 특징형상들 사이의 거리 등의 형태로 보내진다.

MSE 소프트웨어는 제조업체를 위한 원가예측 소프트웨어로 기계가공시간과 부품 원가를 제조업체의 고유한 예측 절차에 따라서 산출한다. MSE 소프트웨어는 실제 공작기계의 운전을 에뮬레이션해 주는 78개의 소프트웨어 모듈로 구성되어 있으

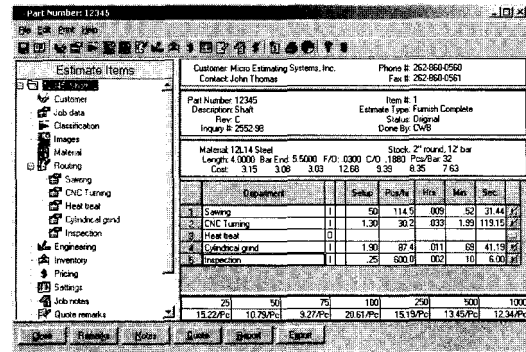


그림 4. Machine Shop Estimating의 분석 화면

며, 예상되는 생산시간을 실제 생산시간의 1% 오차 내에서 예측할 수 있다. 그림 4는 MSE의 부품에 대한 원가 예측 결과를 보여주는 것이다.

Parker Hannifin Gas Turbine Facility라는 제트 엔진의 부품을 제조하는 회사에서 MSE 소프트웨어를 사용하여 제조원가를 낮추기 위하여 서로 다른 제조방법에 대하여 원가를 예측하였다. 그 결과 일부 부품들은 전적으로 CNC 기계에 의하여 제작하는 것 보다는 turret lathe나 drill press에서 가공하는 것이 비용이 더 적게 든다는 것을 알아낼 수 있었다. 경우에 따라서는 원가예측에 대한 결과 데이터를 설계자에게 보내어 가공이 용이한 다른 재료로 바꿀 수 있는지에 대하여 상의할 수도 있다.

## 2.2. 온라인 소프트웨어

온라인에서 원가계산을 할 수 있도록 서비스를 제공하는 업체들로는 bom.com과 Costimator OnLine

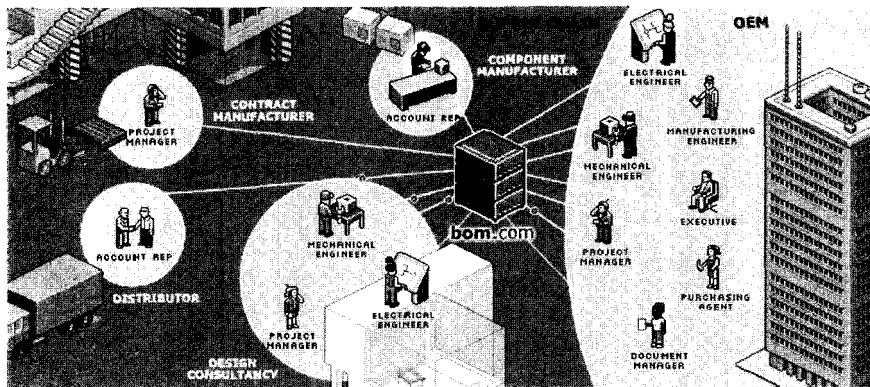
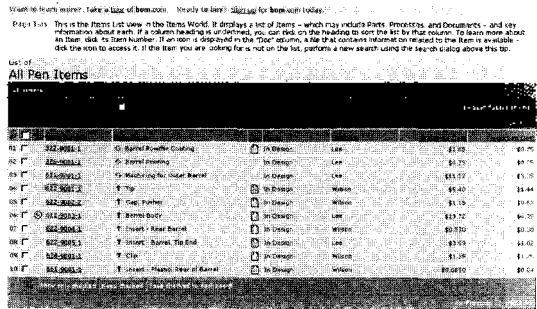
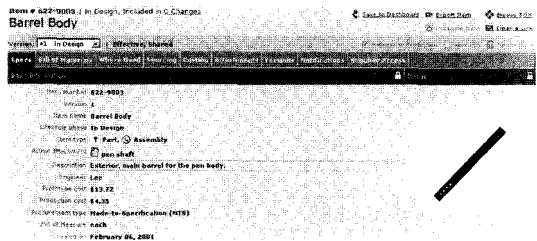


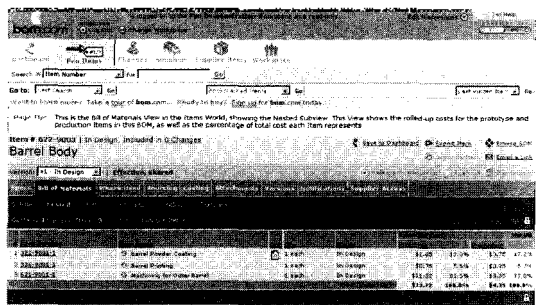
그림 5. 온라인에서 bom.com을 통한 제품 관련자들 사이의 자재명세서 공유



(a) 공정과 부품에 대한 명세서



(b) 몸통에 대한 명세서



(c) 몸통에 대한 자재명세서

그림 6. 펜에 대한 해석

을 들 수 있다.

bom.com(www.bom.com)은 그림 5와 같이 부품 제조업자와 구매자 사이의 협력을 증진시키기를 기대하면서 온라인에서 작업할 수 있는 자재명세서 시스템을 개발하였다. 소프트웨어는 적용형 데이터 베이스를 가지고 있으면서 엔지니어나 매니저가 조립작업에서 부품과 비용 등을 추적할 수 있도록 해준다.

한 제품에서 각 부품들에 대한 자재명세서가 하나로 통합되어 볼 수 있으면, 그 제품에서 가장 비싼 공정이나 부품을 알 수 있으므로 그 공정이나 부품에 대한 원가절감을 꾀할 수 있다. 그림 6은 펜을 제조하기 공정과 부품에 대한 명세서의 예를

Here's how it works.

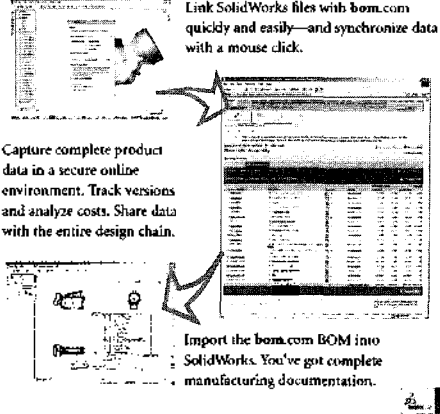


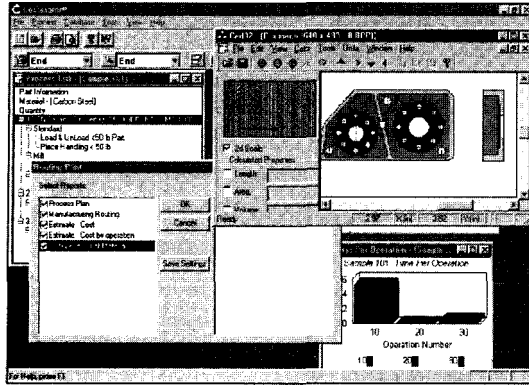
그림 7. SolidWorks와 bom.com의 연동

보여주고 있다.

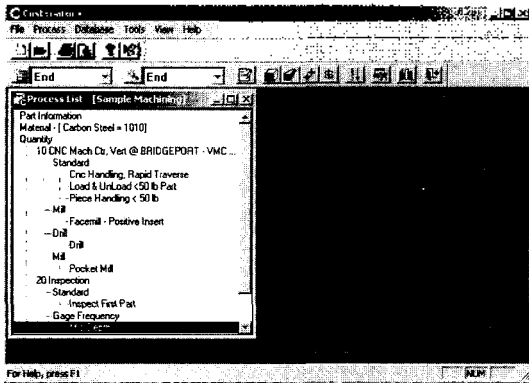
bom.com의 SolidWorks Integration Adapter를 사용하면 SolidWorks 3D CAD의 부품과 조립 파일들과 bom.com에서 자재명세서들과 그림 7에 설명된 것과 같이 연동시킬 수 있다.

MTISystems(www.costimatoronline.com)의 Costimator OnLine은 기계가공부품이나 조립부품의 각 공정에 소요되는 시간을 알려준다. Costimator는 실제자보다는 제조업자를 위한 것으로 부품이 어떤 공정을 거쳐서 생산되는가에 대한 지식이 필요하며 여러 재료와 생산공정들에 대하여 개략적인 단가를 산출하는데 유용하다. 사용자는 재료를 선택하고, 소재의 크기와 공정들에 대하여 상세하게 결정해야 한다. 소프트웨어는 inspection, packaging, shipping 등을 포함한 생산공정을 트리 형태로 보여주며 최종적으로는 각 공정에 대한 원가를 보여줌으로써 높은 원가를 요하는 공정에 주의를 기울여서 좀 더 저가로 부품을 생산할 수 있도록 도와준다. 그림 8은 Costimator의 분석화면과 process list의 한 예이다.

Quickparts.com(www.quickparts.com)은 웹사이트에서 CAD 데이터를 업로드시키면 Rapid Prototype에 대한 견적을 받을 수 있으며 시제품을 제작해 준다. 웹사이트에 로그인 한 후에 STL file을 업로드하고 재료와 수량을 알려주면 견적이나 시제품을 제작해 준다. 가능한 RP 방법으로는 SLA, SLS, FDM과 왁스 패턴이 있다. 회사 데이터베이스에 있는



(a) 분석 화면



(b) Process list

그림 8. Costimator의 화면

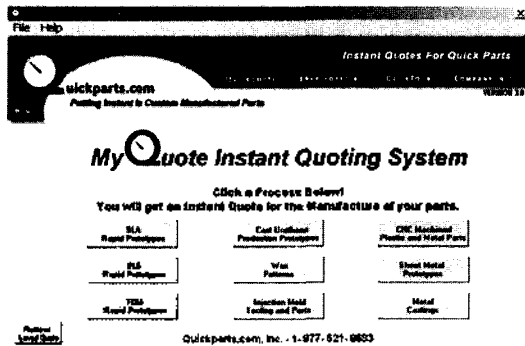


그림 9. Quickparts.com의 MyQuote 화면

알고리즘은 모델의 곡면, 체적과 재료 그리고 기타 생산 파라미터를 이용하여 견적서를 발부하며 그림 9는 MyQuote의 한 화면이다.

사출성형 공정의 원가 예측 프로그램(www.ecs.

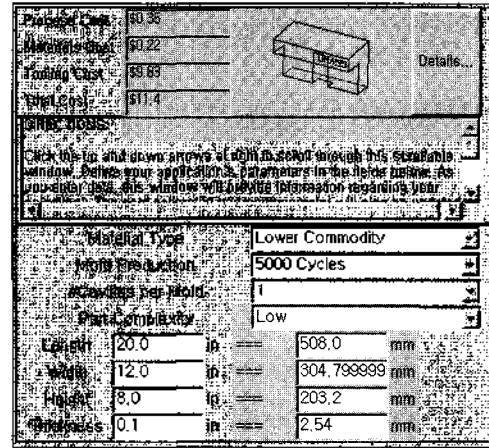


그림 10. David Kamer 교수의 Java applet

umass.edu/mie/faculty/kazmer/imcost/imcost.html)을 Java applet을 이용하여 University of Massachusetts의 David Kamer 교수가 개발하였다. 이 applet은 그림 10과 같이 아주 간단한 것으로 재료, 생산수량, cavity의 개수, 부품의 길이, 폭, 높이, 두께와 더불어 복잡한 정도를 입력하면 공정, 재료 등에 대한 원가를 산출하여 준다.

### 3. 미국 산업계의 DFMA 적용 사례

BDI 사에 따르면 DFMA 소프트웨어가 1990년 이후로 개인 사용자를 제외하면 미국의 800여 기업에서 사용하고 있으며 GM에만 약 1500명의 사용자가 있다. 1980년대 초반에는 Hitachi의 Assembly Evaluation Method(AEM)를 일부 대형 제조업체들이 사용했었다.

연간 매출이 3억 달러가 넘는 500대 제조업체들 중에 DFMA 소프트웨어를 구매한 사회사를 소유하거나 부서를 가지고 있는 곳이 60% 정도이다. 이들이 그림 11과 같이 DFMA 소프트웨어를 구매한 제조업체의 38%를 차지하고 있다.

DFMA 나 동시공학이 부상하게 된 동기는 제조업체들의 원가 절감과 제품을 시장에 내놓기까지의 시간을 단축해야 하는 등 경쟁에 대한 압박 때문이다. 이것은 20년 전에 미국 컴퓨터 장비와 자동차 산업에서 벌어졌던 일이며 최근에는 항공 우주산업 및 방위산업에서 경쟁에 대한 압박이 가해

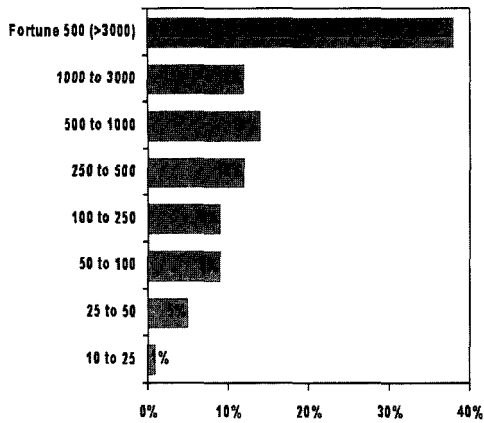


그림 11. DFMA 소프트웨어 구매 회사의 연간 매출 (백만달러 단위)에 따른 분류

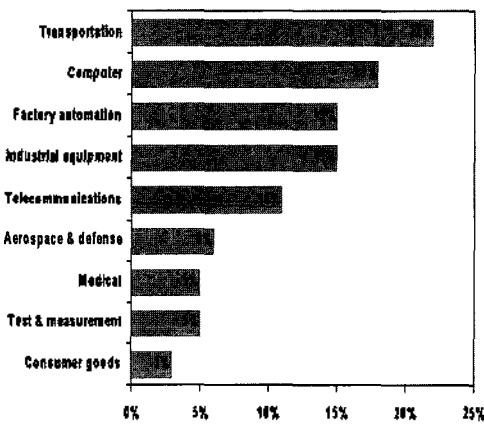


그림 12. 제조산업분야에 따른 DFMA 소프트웨어 구매 분포

지고 있다. DFMA 소프트웨어 라이선스를 구매자의 산업분야별 분포는 그림 12와 같다.

제조업체 공장주들에게 앞으로 2년 동안에 성공하는데 가장 큰 영향을 줄 것이 무엇인가에 대하여 87%가 제 시간에 제품을 인도할 수 있도록 개선하는 것, 81%가 제품생산주기를 단축시키는 것, 그리고 84%가 제품원가를 낮추는 것이라고 답하였다. 흥미로운 것은 제품의 원가를 낮추는 것이 항상 주 관심사가 아니라는 것이다.

56개 북미 회사들에서 DFMA의 적용사례가 1999년 4월까지 117편이 발표되었는데 이들 중의 11개 업체는 연평균 140만 달러를 절약했다는 발표가 있다. 발표된 자료에 대한 부문별 분류는 표 1과

표 1. 56개 회사가 발표한 117개 DFMA 적용 사례 연구결과 (1999년 4월 데이터)

Category	No. of cases	Average Reduction, %
Part count	100	54
Assembly time	65	60
Product cost	31	50
Assembly cost	20	45
Assembly operations	23	53
Separate fasteners	20	60
Labor costs	8	42
Manufacturing cycle	7	63
Weight	11	22
Assembly tools	6	73
Part costs	8	52
Unique parts	8	45
Material cost	4	32
Manufacturing steps	3	45
Number of suppliers	4	51
Assembly defects	3	68
Annual cost savings	11	\$1,417,091

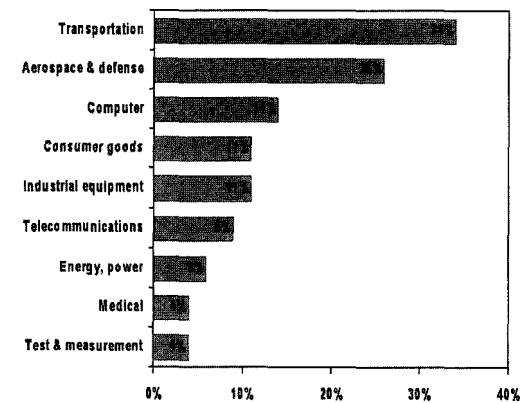


그림 13. 생산제품 유형별 사례연구 발표 분포

같다. 제품유형별 사례연구를 나타낸 그림 13을 살펴보면 지난 15년간 DFMA 사용이 어떤 정도 이루어졌나 알 수 있다. 물론 DFMA의 적용에 대한 성공사례만 있는 것은 아니다. 회사들은 개발한 제품이 시장에 나오기까지는 발표하기를 꺼리는 경향이 있다. 따라서, 발표된 사례들은 DFMA를 적용

하여 성공한 결과들 중에 일부일 것이다. 그러므로 지난 20년 동안 DFMA가 끼친 영향을 정량화 시키는 데는 어려운 점이 있으나 일부 산업체들에 준 영향을 분야별로 살펴보자.

### 3.1. 항공우주산업 및 방위산업

Bombardier Aerospace 사는 Canadair Regional Jet series 200에 사용하는 비행기 엔진 덮개의 설계에서, 부품의 수를 110개에서 86개로, 체결부품의 수를 1090개에서 916개로 그리고 조립시간을 126시간에서 96시간으로 줄였으며 450,000달러의 비용절감효과를 가져 왔다.

Apache Longbow 헬기에서는 sheet metal angle 과 압출성형한 보강재를 리벳으로 체결한 것을 고속 기계가공하여 부품과 체결부품의 수를 74개에서 9개로, 무게는 3 kg에서 2.7 kg으로, 조립시간은 305 시간에서 20시간으로, 제작과 조립에 걸리는 시간을 697시간에서 181시간으로 단축시킬 수 있었다. 따라서 품목당 43,000달러의 비용을 절감할 수 있었으며 새로운 설계로 더 높은 강성과, 안정성, 조립성과 검사 시간을 단축할 수 있었다.

Raytheon Systems Company에서 생산하는 첨단 장거리 정찰시스템은 멀리 떨어진 목표물의 위치를 정확히 알려주는 것으로 레이저 거리 탐색기, GPS, 진보적인 IR 센서, 비디오 카메라와 주야간에 멀리 떨어진 목표물에 대한 정보를 수집하여 보여주는 컴퓨터 시스템으로 구성되어 있다. DFMA 분석을 통하여 부품의 수를 줄이고 조립시간과 비용을 정량화 하였으며, 결함을 줄여 품질을 높일 수 있도록 도와주는 회사내의 Six Sigma process 를 사용하였으며, 이를 통하여 보수나 재작업으로 인한 시간과 비용을 줄여서 2백만 달러에 달하는 비용을 절감하였다.

### 3.2. 자동차 산업

자동차 산업에서는 자동차 생산업체나 부품 제조 업체에까지 원가를 낮추어야 한다는 압력이 가해지고 있다. 부품 제조업체들은 납품가격에 대하여 매년 3%에서 5% 정도의 가격 하향 조정을 요구받고 있다. Magna Interior Systems는 접이식 보조 의자 설계에서 DFA 기법을 금속부품 뿐만 아니라 의자나 팔걸이 커버의 분석에 사용하였다. 픽업트럭

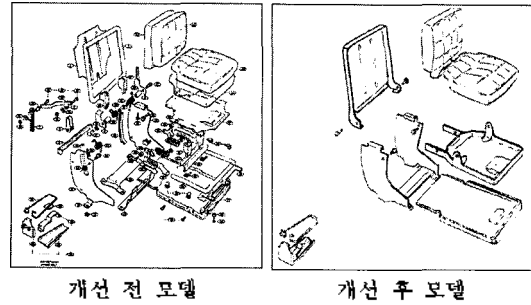


그림 14. 접이식 보조의자.

에 새로 설계된 접이식 보조의자는 부품 수가 105 개에서 19개로, 중간조립품은 5개로, 조립시간은 1445초에서 258초로 줄일 수 있었다. 그림 14에 나타난 개선 전후의 접이식 보조의자를 보면 그 차이점을 명확히 알 수 있다.

### 3.3. 컴퓨터 산업

Dell 컴퓨터에서 데스크탑 컴퓨터의 사시 설계에 DFA와 DFS를 활용한 DFX 기법으로 32%의 조립시간 단축과 44%의 서비스 시간 단축, 50%의 부품 감소 효과를 얻을 수 있었다. 이러한 감소로 작업자 시간당 생산량은 1.67 units에서 3.07 units 로 84%의 증가 효과를 가져왔으며 총괄적으로 약 1500만 달러를 절약할 수 있었다.

### 3.4. 중견 제조업체

The Society of Manufacturing Engineers에 따르면 중견 제조업체(연간 2천만-2억 달러 매출) 고용주들의 92%가 피고용자들의 기량이 설계와 동시 공학에 부적절하다고 생각하는 반면에 피고용자의 62% 만이 개선이 필요하다고 생각하고 있다.

우연히도 고용자나 피고용자 모두 피고용자들이 컴퓨터와 정보산업에 대한 지식을 습득할 필요가 있다는데 동의하고 있다. 디자인 팀의 구성에 대하여 조사한 결과 그림 15와 같이 제조분야 관계자가 있어야 한다는 것이 가장 높은 비율로 나타났다.

### 3.5. 소 제조업체

미국에는 500명 이하의 직원이 있는 제조업체가 약 380,000개 있으며, 이 업체들이 고용한 인원은 1,200만 명 정도로 미국 전체 제조업체 종사자의

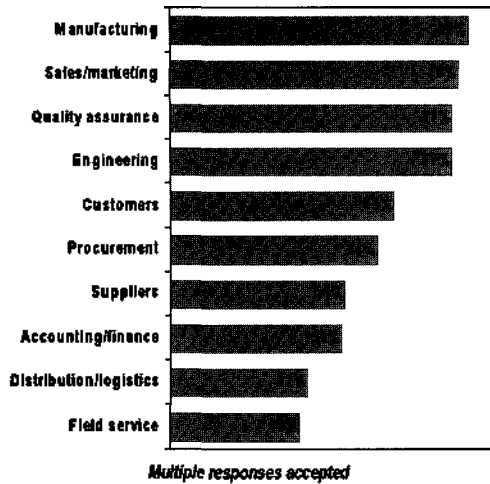


그림 15. 중견 제조업체에서 설계팀의 구성

65%를 차지하고 총 임금은 1,850억 달러 정도이다. 소 제조업체들은 미국 내에서 생산되는 상품의 50% 정도를 생산하고 있으며 많은 업체들이 치열한 경쟁에 살아남기 위해서 경쟁력 향상이 필요하다.

1992년 미 상무부의 Analysis and Educational Tool Project 라고 하는 프로젝트에서 소 제조업체들이 생산하는 제품들에 대한 벤치마크에 DFMA 소프트웨어를 사용하였다. 분석결과 업체의 제조 공정에 개선이 필요하다면, 회사가 필요로 하는 장비와 교육 및 훈련에 도움을 주었다.

소 제조업체들에서 DFMA를 적용할 수 있는가에 대한 시험적인 연구를 수행하기 위하여 8개의 지역 기술센터 대표들에게 다음과 같은 사항들을 테스트 해 보도록 교육시켰다.

1. 제조공정의 효율성을 측정하기 위하여 그 회사에서 생산하는 부품에 대한 필수 비용을 분석하는데 DFMA가 유용한가?
2. 회사에 문제점을 진단하는데 DFMA가 유용한가?
3. DFMA가 회사의 경쟁력을 향상시키기 위한

장비를 획득하도록 도와주는가?

4. 제품의 설계가 궁극적으로 원가에 지대한 영향을 준다는 것을 인식시킬 수 있는가?

이 연구결과 DFMA 프로그램들이 소 제조업체의 문제점들을 해결하는데 상당히 도움이 된다는 것을 알게 되었다. 적절한 제조기계에 대한 데이터 베이스를 보강하면 제조작업에 대해 비교적 정확한 시간과 비용을 예측할 수 있다. 이 연구의 최대 이익은 설계와 제조 공정의 분석에 대한 체계적인 접근 방법을 소 제조업체들에게 소개했다는 것이나 불행히도 행정부가 바뀐 후 이 프로그램은 종료되었다.

1992년 Diecasting Development Council에서 박판이나 사출성형으로 만들어 왔던 부품들에 대하여 다이캐스팅으로 제작할 경우의 원가를 DFMA를 이용하여 무료로 산출해 주는 서비스를 제공해주는 시험적인 연구가 이루어졌다. 이 연구를 돕기 위하여 Diecasting Development Council은 시카고에서 열린 National Design Engineering Show 에서 무료로 다이캐스트로 제작할 때 원가를 산출해 주었다. 이것 역시 실패하였으며 소 제조업체들이 DFMA를 적용하여 이익을 창출하도록 하는데는 아직 문제점이 남아 있다.

#### 4. 맺음말

지금까지 DFMA 관련 소프트웨어와 미국 산업체에서 적용한 예를 살펴보았다. 국내의 제조산업환경이 미국과는 다른 점들이 많지만 제품의 설계단계에서 원가의 70% 정도가 결정된다는 것은 수치에 다소의 차이가 있을지라도 유사할 것으로 생각된다. 국내 제조산업분야에서도 DFMA 관련 소프트웨어들이 가져다 주는 이점을 파악하고 설계된 제품에 대해 우리 환경에 적합하게 정량적으로 평가할 수 있는 방법과 데이터베이스를 구축해 나갈 필요가 있다.

CAE