

통합적 CAE 적용을 통한 제품 설계 프로세스 개선 : 세탁기 개발 사례 중심

Improvement of Product Development Process Based on Integrated CAE Application : Case Study on Washing Machine Development

김석관, 김태영, 조용석, 임원길, 장성기 (LG 생산기술원)

Seoggwan Kim, Taeyoung Kim, Yongsuk Cho, Wongil Lim, Sungki Chang

(LG Production Engineering Research Center)

ABSTRACT

Today's product development requires simultaneous satisfaction of low cost, high quality and fast time to market. It is, however, difficult for product designers and engineers to achieve this goal due to too many requirements. This study shows integrated Computer Aided Engineering (CAE) approach can help to achieve such goal. CAE can not only support designers when decision needs to be made during concept design period but also provide evaluation of the designed parts and guidance to the best design of products during detail design period. Furthermore, integration with virtual prototyping concept can reduce number of actual prototyping and consequently reduce product development cost and time considerably. In order to demonstrate its possibility, example of washing machine development using CAE and its results are presented in this study.

Key Words : Product Development Process (제품 개발 과정), Computer Aided Engineering (컴퓨터 응용 공학), Virtual Prototyping (가상 프로토타이핑), Washing Machine (세탁기)

1. 서론

현대의 제품 개발 프로세스에서는 원가 절감, 고품질, 개발기간 단축을 동시에 만족시키는 것이 요구되고 있다. 그 뿐 아니라 소비자의 요구를 만족시켜줄 수 있는 기능들을 포함해야 하면서도 조립, 수리, 재활용, 환경보호 등에 문제가 없도록 설계되어야 하므로 이러한 목표는 제품 개발자들에게 달성하기에 무척 어려운 목표가 아닐 수 없다. 따라서 과거와는 다른 새로운 설계 도구가 필요하다. 1980년대 초까지 Computer Aided Engineering (CAE)는 주로 기초 연구 또는 제품 설계에서 나타난 어려운 문제들을 해결하기 위한 목적으로 주로 사용되어 왔다. 그러나 1980년대 말부터 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어가 급속히 발전함에 따라 여러 연구 기관에서는 CAE를 바탕으로 한

제품 설계를 시도하기 시작하였다[1]. 본 연구에서는 CAE를 활용하여 세탁기를 개발한 사례를 살펴보고 이를 바탕으로 향후 CAE를 활용한 제품 설계를 위한 방향을 제시해 보고자 한다.

2. CAE를 활용한 세탁기 개발

세탁기를 개발하기 위해서는 여러 가지 해석 기술이 소요된다. 동역학, 유체 역학, 구조 강도, 진동 소음, 피로 수명, 사출 성형 등이 그 예이다. 이러한 모든 기술은 각 분야 별로 그 개발이 진행되고 있으나 본 논문에서는 그 중에서도 1995년도 신제품 개발에 활용된 CAE 기술을 중심으로 기술하고자 한다.

2-1. 세탁기 동특성 해석

Pulsator 방식의 세탁기는 크게 5 개의 핵심 부품으로 이루어져 있다. 즉, 세탁기 구동을 위한 모터와 변속을 위한 클러치, 세탁을 위한 Tub, 현가 장치인 Spring-Dumper 그리고 Balancing 을 위한 Balancer 가 그 핵심 부품에 해당한다. 세탁기의 동적인 특성을 정확히 묘사하기 위해서는 이 5 개의 부품에 대한 해석 모델이 구축되어 있어야 한다. 본 연구에서는 범용 동역학 해석 S/W 인 DADS 를 사용하여 세탁기의 동특성 해석을 수행하였다. 각 부품의 모델링시 관성 질량 모멘트는 3D CAD data 와 실험 결과를 비교해 확인하여 사용하였고, Spring-Damper 는 UTM 으로 그 특성 실험을 수행하였으며, 특히 Damper 는 Air Damping 과 Friction Damping 을 나누어서 작동 주파수별로 측정해 사용하였다. 또한 Balancer 는 내부에 밀도가 높은 유체가 충전된 유체 Balancer 를 사용하고 있기 때문에 이것의 동역학적인 모델의 결과가 전체 시스템 해석 결과의 타당성을 좌우하게 된다. Balancer 의 해석은 첫째로, Unbalance 에 대한 Balancing 양을 가정하고 그것을 기준으로 힘의 방정식을 수립하여 해석 S/W 의 User Subroutine 에 적용하거나 둘째로, Balancer 의 Balancing 특성을 충실하게 구현만 해주는 모델을 사용할 수 있으며 셋째로, 완벽한 유체역학적인 모델을 구성하여 DADS 와 동시에 Interactive 한 해석을 수행하는 방법이 있을 수 있다. 본 연구에서는 두번째 방법을 사용했으며 그 모델은 유체를 여러 개의 분산 질량으로 가정하여 Balancer 내부에서 자유로이 유동할 수 있게 하였다. 이때 각 분산 질량의 유동 저항은 Damping 력으로 구현하였으며, 실제 해석 결과를 검토해보면 세탁기 시스템의 고유 진동수 대역에서 Phase Change 가 일어나 Balancing 이 충실히 수행되고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 모델을 기초로 그림 1 과 같이 세탁기 전체 시스템에 대한 모델을 구축하여 동역학적인 해석을 수행하였다. 이때 Inner Tub 의 Orbit Motion 을 그림 2 의 (a)에 나타냈다. 여기서 큰 Orbit 는 Inner Tub 상부를 작은 Orbit 는 하부를 나타내고 있으며, Tub 가 회전을 시작하여 큰 Orbit 를 보이다가 시스템의 고유 진동수 대역에 이르면 Balancer 가 Unbalance 량에 대해 Balancing 을 시작하여 회전 진폭이 감소하고 있고 고속 탈수시에 Tub 의 회전 중심에 대해 수렴되어 회전하고 있음을 보여주고 있다. 특히 Tub 의 Orbit 진폭은 저속 회전에서 상부가 크다가 고속 회전에서는 반대로 하부의 진폭이 큰 결과를 보이고 있으며 이는 실제의 실험 결과와 잘 일치하였다. 세탁기 하부 구동부 부품 중 Balance Weight 는 기능성 부품이 아니며 역할은 단지 Tub 의 주축 Center 에 위치한 Clutch 를

중심으로 Motor 가 한쪽으로 편심되도록 위치해 있으므로 이에 대한 Mass Balancing 만 수행해 주는 것이다. 그러므로 원가 절감을 위해 이러한 부품을 제거했을 경우의 Tub Orbit 특성을 그림 2 의 (b)에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 Balance Weight 제거 후 Tub 상부의 회전 중심과 하부의 회전 중심이 불일치하고 있다. 즉 Tub 가 기울어져서 회전하는 시스템의 불안정한 회전 특성을 보인다. 그러므로 이의 개선을 위해 Spring 의 자유장과 Spring-Damper System 의 부착 위치를 교정하여 해석한 결과를 그림 2 의 (c)에 나타내고 있으며 이상적인 회전 특성을 보이고 있다. 이러한 동역학 해석을 활용하여 각 설계 인자에 대한 민감도 해석을 수행하였으며 시스템의 성능을 위한 최적 설계를 도출할 수 있었고, 신 개발 제품의 경우 제품의 개념 설계 단계에서 제품의 성능을 예측할 수 있었다.

2-2. 동역학 해석과 연계한 구조 해석

세탁기 Out Case 는 세탁 기능 역할을 수행하는 구동부 하중과 세탁, 탈수 회전시 Tub 원심력에 의한 Unbalanced 하중을 4 개의 상단 모서리부에서 Snubber bar 를 통하여 지지해 주는 역할을 수행한다. 특히 Unbalanced 하중하에서 Tub 회전시 진동 특성 및 동적 하중이 Out Case 로 전달되는 것을 최소화 하기 위하여 Air Spring Damper 등을 사용하고 있으므로 구조 해석시 정역학적인 방법을 적용하기에는 너무 많은 Couple 된 요인들이 있다. 본 해석에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 동역학 해석 모델에 2Kgf 편심 하중이 작용하는 간헐 탈수에 의한 Tub 회전 속도를 입력하고 이에 대한 응답을 계산하여 그림 3 과 같이 구조 해석을 위한 하중을 계산하였다. 해석의 정확도를 향상시키기 위하여 조밀하게 생성된 20,000 개 이상의 요소를 해석하기 위해서는 Finite Element Group 을 하나의 Super-element Group 으로 묶는 Substructure 로 모델링하여 해석을 수행하여 Out Case 두께를 결정하였다(그림 4). 또한 전면부 곡면형상에 따른 면 Buckling 의 일종인 Snap Through 현상을 규명하였다.

2-3. 구조 강도 해석

또한 원가 절감을 위하여 Clutch 등 주요 구동부품들을 체결, 연결해주는 Tub Base Plate 를 피로 수명을 고려한 구조 해석을 통하여 그 형상을 변

경하였다. 해석 모델 구성에서는 관성력의 영향을 고려하기 위하여 모터 등을 질점으로 Tub Base Plate에 Coupling 하였으며, Tub Base Plate 내 체결 점간의 상대 변위를 확보하고 경계 조건을 명확히 하기 위하여 Outer Tub의 Base 부분과 Clutch를 모델링 하여 Coupling 하였다.

그 외 Inner Tub, Upper Corner 등 하중이 크게 걸리는 각 부품에 대해서도 구조 해석을 수행하여 그 두께를 최소화하고 형상을 개선하였다

2-4. 구조 및 사출성형 연계 해석

Outer Tub는 Tub Base Plate에 체결된 세탁기 구동부를 지지하고 세탁시 Tub내에 일정한 수위를 유지시켜 주는 역할을 하며 세탁기 운전중 복잡한 하중 조건 하에 있다. 특히, 온수 세탁 및 탈수 중 2가지 재료(Steel과 Plastic)의 열변형에 의한 Sealing 부위 변형으로 인하여 발생하는 누수 문제는 세탁기 수명을 단축시키기도 하며 Plastic Tub 밀면의 복잡한 Rib 구조는 사출 성형시 Cycle Time에 영향을 미치므로 생산성을 저하시키는 요인으로 작용하게 된다. 따라서 세탁기 구동중 하중에 충분히 견디면서도 성형성을 향상시키고, 성형시 Cycle Time을 최소화 하여 Cost 절감 및 생산성을 향상시킬 수 있도록 하는 최적의 Tub 구조를 도출하기 위하여 구조 해석과 열응력 해석을 함께 적용한 Coupled Field 해석, 그리고 사출성형 해석을 연계하여 수행하였다.

2-5. Topology Optimization

지금까지 소개한 내용은 주로 설계된 부품에 대해 해석을 수행하여 그 타당성을 평가하고 개선 방향을 도출한 후 개선안을 내면 다시 해석을 수행하여 효과가 있는지를 검증하는 전통적인 CAE 활용 방법이었다. 그러나 이러한 CAE 적용은 개선안을 도출하는데 있어 설계자나 CAE를 활용하는 사람의 능력에 의존하게 되므로 때로는 한계에 부딪히게 된다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 많은 Design Optimization 방법이 개발되고 있으나 지금까지는 변수를 지정하고 그 변수의 값을 최적화하는 방법이 주를 이루어 왔다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하고 정성적이지만 최적의 형상을 제시하기 위해 개발된 방법론의 하나인 Homogenization Method를 이용한 형상 최적 설계를 시도하였다[2]. 이 방법은 현재 구조 강도, 진동, 내충격 특성을 최적화할 수 있는 형상 제시 방법이 개발되어 있으며, 원하는 특성을 최적화하기 위하여 보강할 부분과 소재를 삭감하여도 될 부분을 그 결과로 제시해

준다. 본 연구에서는 그림 5와 같이 Balancer의 구조 강도 특성을 최적화 할 수 있는 형상을 도출하는데 적용되었다.

3. 향후 방향

본 연구에서는 CAE가 개념 설계 단계에서 부품이 아닌 제품 전체에 대한 해석을 통하여 설계자들의 idea를 평가 해주고 상세 설계 단계에서 원가 절감을 위하여 여러 부품에 대한 형상 및 재원을 결정해 주는데 활용된 사례를 보여주었다. 이에 반해 선진 연구 기관에서는 소위 "Virtual Prototyping"의 개념을 정립하고 이를 구축함으로써 제품 개발에 있어 많은 시간을 요하는 과정인 Prototyping 및 testing 기간을 대폭 절감함과 동시에 설계에서 발생한 오류를 판단하여 빠른 시간 내에 수정할 수 있도록 하고 있다. 이러한 개념이 구체적으로 정립된 것은 1993년도에 미국의 Iowa 대학이 국방성과 공동으로 추진한 군용 차량 개발을 위해 수행하였던 프로젝트의 결과로 나온 Virtual Prototyping Simulation (VPS)라 할 수 있다[1]. 그림 6은 이러한 VPS의 기본 구조를 보여주고 있고 그림 7은 Workspace 구성의 한 예인 내구성 및 신뢰성 평가 Workspace를 보여주고 있다. 그러나 실제 제품 개발에서 CAE는 VPS뿐 아니라 앞에서 보여준 세탁기 사례와 같이 개념 설계와 상세 설계 단계에서도 매우 효과적으로 활용될 수 있다. 또한 3차원 CAD의 활용을 통한 조립성 평가도 설계 오류 방지 및 원가 절감에 크게 기여할 수 있다는 사례가 나오고 있어 이와의 효과적인 접목도 필요한 것으로 판단되고 있다. 그림 8은 CAE와 3차원 CAD를 활용하여 제품 설계를 최적화하고 개발기간을 단축시킬 수 있도록 하는 개념을 세탁기를 대상으로 보여주고 있다. 이를 구체적으로 실현하기 위해서는 1) 세탁기 설계에 필요한 핵심 기술들에 대한 CAE 기술 확보와 2) 효과적 적용을 위한 체계를 정립하기 위해 VPS의 개념을 도입하고 이를 수정 및 보완하는 2가지 연구가 필수적으로 수행되어야 한다고 보여진다.

4. 결론

본 연구는 CAE가 단순히 장기적 연구나 기술 개발을 위해서만이 아니라 실제 제품 개발 단계에 효율적으로 접목되어 활용될 수 있음을 보여주었다. 특히, 각 해석 기술별로 분리되어 적용

특히, 각 해석 기술별로 분리되어 적용되던 것이 통합적으로 적용됨으로써 부품 설계가 아닌 제품 전체에 대한 설계에 활용될 수 있음을 보여 주었다. 이러한 성과는 개념 설계부터 상세 설계에 이르기까지 CAE가 활용될 수 있고 VPS 개념과의 접목 및 지속적 발전을 통하여 현대의 제품 개발 프로세스에서 요구하는 여러 가지 조건을 동시에 만족시킬 수 있는 Virtual Product Development (VPD) 의 개념을 실현하는 기반이 될 것이며 나아가 Concurrent Engineering 을 구축하는데 큰 역할을 하게 될 것이다.

참고 문헌

1. Edward J. Haug and et al., "Virtual Prototyping Simulation for Design of Mechanical Systems," Proceedings of ASME IMECE, pp. 69-77, 1995.
2. K. Suzuki and N. Kikuchi, "A Homogenization Method for Shape and Topology Optimization," Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.93, pp. 291-318, 1991

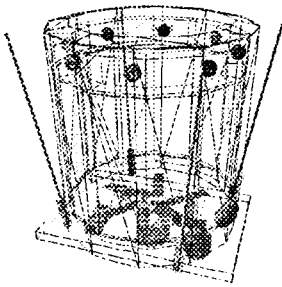


Figure 1. Dynamic Analysis Model for Washing Machine

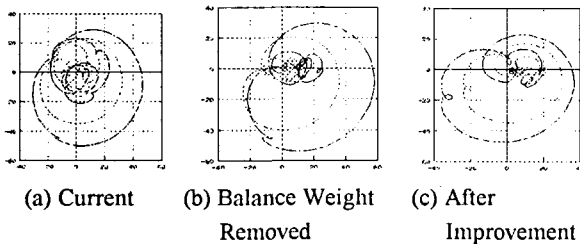


Figure 2. Results of Dynamic Analysis : Inner Tub Motion

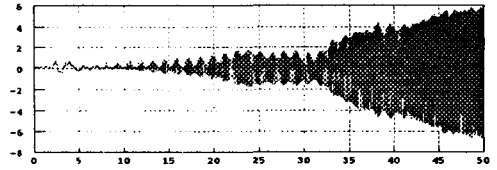


Figure 3. Results of Dynamic Analysis : Force Applied to the Upper Corners

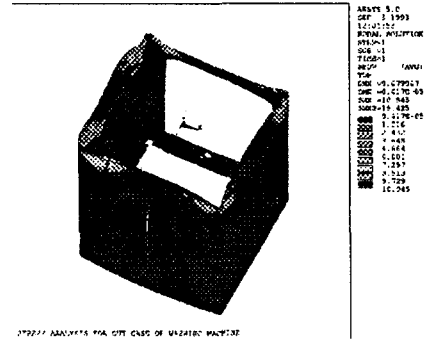


Figure 4. Structural Analysis Results of Out Case Using the Force Calculated by Dynamic Analysis

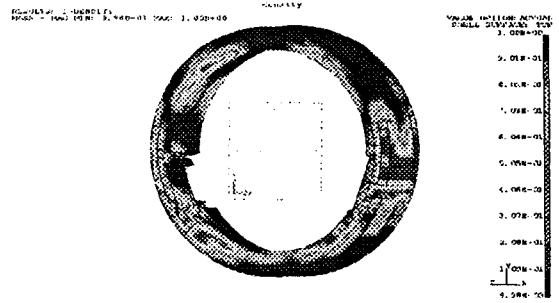


Figure 5. Structural Topology Optimization Analysis Results : Balancer

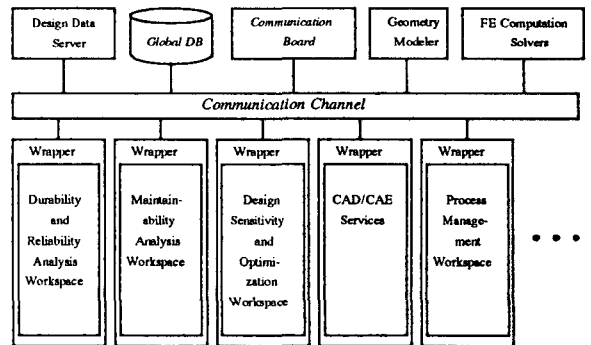


Figure 6. Virtual Prototyping Simulation (U of Iowa's Concept)

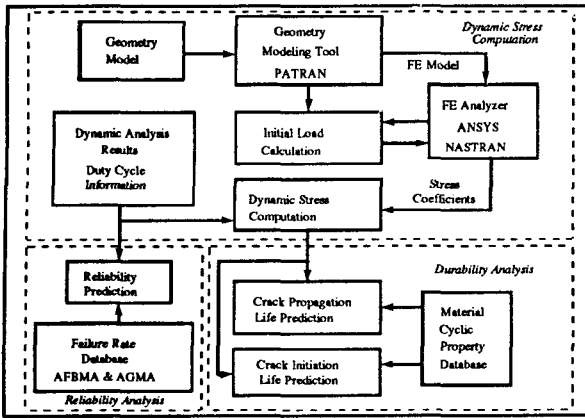


Figure 7. An Example of Workspace : Durability and Reliability Calculation

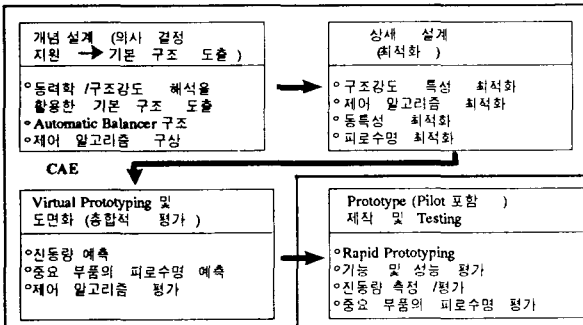


Figure 8. Integrated CAD/CAE Application for Washing Machine Design