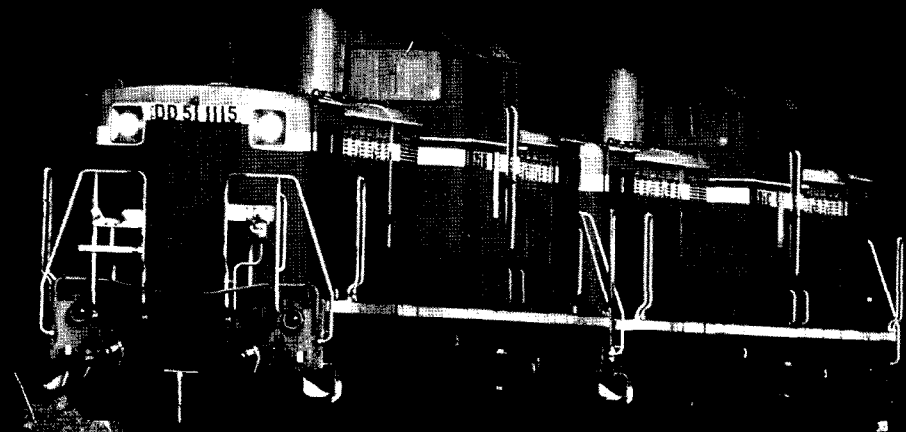


Special

VPD를 이용한 철도차량 설계



| 이승일 |
한국철도대학



1. 철도차량 VPD

1) VPD 개요

오늘날 제조업체는 신속한 시장 출시, 우수한 품질, 저렴한 비용 등 혁신을 요하는 어려운 비즈니스 환경에 놓여있다. 또한 제품 품질에 대한 엄격한 요구사항, 제품에 대한 보증 문제 등 재정적인 위험 부담이 수반된 난제들은 그 어느 때보다도 큰 문제로 대두되고 있다.

일반적으로 설계 단계의 결정에 따라 비용의 70%가 좌우되고, 적절한 결정일 경우라도 제품 출시가 6개월 늦어지면 수익이 33% 감소하게 된다고 한다. 전사적인 자원관리(ERP), 공급망관리(SCM) 및 고객관계관리(CRM)는 모두 제품 개발 프로세스를 개선하기 위해 탄생한 요소이며, 궁극적으로는 제품수명관리(PLM)로 귀결되게 된다. 그러나 치열한 경쟁에서 시장을 선점하고 점점 다품종 소량화 추세를 보이는 시장 환경에서 제품 각각의 품질을 보장하려면 기존의 물리적인 생산방식에 의존하는 벽을 초월해야만 하며, 이를 위해 제조업체는 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 VPD(Virtual Product Development)로 눈을 돌려야 한다.

2) VPD 활용

VPD는 시뮬레이션을 활용한 제품 개발의 새로운 환경을 제공하며 이는 제품 개념 설계 초기에서부터 시작되어 설계를 지원하고, 생산 및 제조를 최적화하며, 서비스 유지관리까지를 일관되게 단기간 내에 검증할 수 있게 지원한다. 제조업체에서는 개발 비용 감소, 물리적인 시제품 감소, 물리적인 공간의 제약을 받지 않고 다수의 제품개발을 동시다발적으로 진행할 수 있으며 대폭 개선된 개발 일정 등 매우 효과적인 혜택을 누리게 된다. VPD는 접근방법에 따라 오늘날 제품 개발에서 아래와 같이 다양하게 적용할 수 있고, 그림. 1은 일반적인 철도차량 VPD 과정을 보여 준다.

- 기존제품 또는 경쟁제품의 특성 도출
- 설계 검증 수행 : 시뮬레이션을 통한 각 구성부품의 최적화 검증
- 전체 제품 성능 이해 : 가상 시제품을 구축하여 전체 제품 성능에 대한 평가

- 테스트와의 통합 : 물리적 시제품 테스트와의 비교로 VPD 신뢰도 검증
- IT 인프라 최적화 : 필요한 소프트웨어와 시뮬레이션 환경 구축

3) VPD 과정

아래의 과정은 철도차량 부품인 Bogie Axle를 대상으로 한 VPD 해석 과정을 보여주고 있다. 전체적인 해석 과정을 설명하면 다음과 같으며, 크게 Virtual Build 영역과 Virtual Test 영역으로 구분 할 수 있다.

- Virtual Build-Step1 : 3D CAD 데이터를 Import하여 Patran 데이터베이스 파일(*.db)을 생성한다.
- Virtual Build-Step2 : 범용 Pre&Post 프로세서인 Patran을 이용하여 FEA(Finite Element Analysis) 모델을 구성하고 구조해석을 위한 파일(*.bdf)을 도출한다. 이 단계에서 구조해석 제품인 Nastran을 이용하여 Bogie Axle 자체의 구조 강조 해석을 수행하여, 강도/강성측면에서 Bogie Axle의 설계 적절성을 판별할 수 있다.
- Virtual Build-Step3 : Nastran의 Normal Mode 해석과 Linear Static 해석을 수행하여 Bogie Axle의 유연체 모델 파일(*.mnf)을 산출한다.
- Virtual Test-Step 1 : 동역학해석 제품인 ADAMS를 이용하여 Bogie Axle을 Flexible Part로 모델링하고, 철도차량 전체 동역학 모델을 구성한다. 이 단계에서 동역학 해석

Concept & Specifications



Virtual Product Model



Components & Subsystems

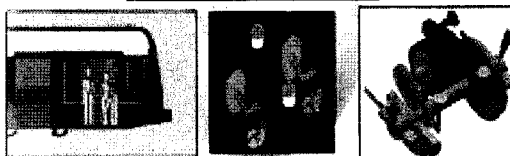


그림 1. 철도차량 VPD 과정

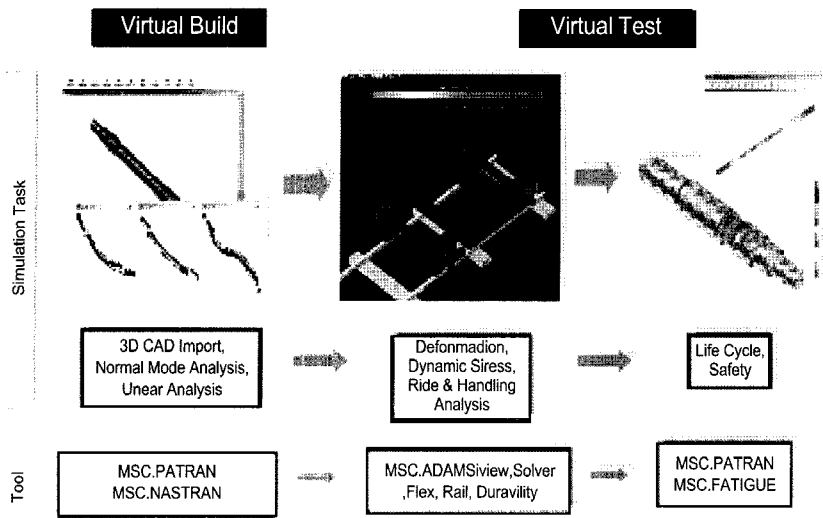


그림 2. Bogie Axle의 VPD 해석과정

을 수행하여, 철도차량의 주행성, 핸들링 특성, Stability 특성을 해석할 수 있고, Bogie Axle의 변형(Deformation)이나 동응역(Dynamic Stress)을 파악할 수 있다.

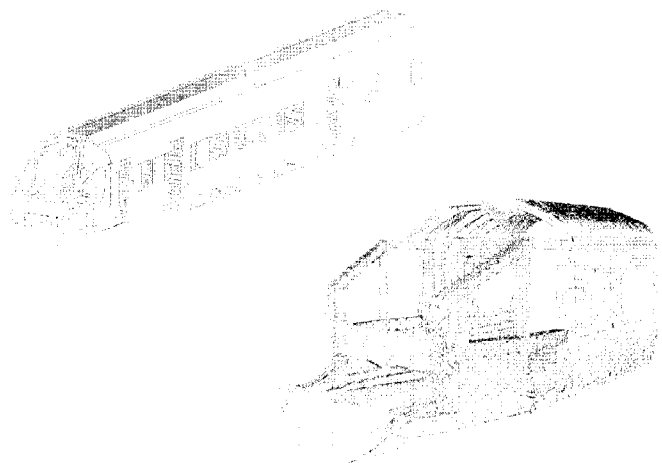
- Virtual Test-Step 2 : Bogie Axle의 내구 해석을 위한 준비 단계로서, ADAMS를 이용하여 Bogie Axle에 인가되는 하중데이터와 변형데이터 파일(*.dac)을 산출한다.
- Virtual Test-Step 3 : 피로해석 제품인 Fatigue를 이용하여, Bogie Axle의 피로/내구 해석을 수행한다. 이 단계에서 Bogie Axle의 취약 부위(Damage Contour)와 피로 수명(Life Cycle)을 예측한다.

4) VPD를 이용한 철도차량 개발 주기 단축

유럽은 철도관련 제조업체의 수가 너무 많기 때문에 지난 5년간 열차 가격이 30~50% 가량 떨어져 이제 구매 중심의 시장이 되었다. Adtranz는 철도 시스템/서비스, PMS (people mover system), 전차/지하철 시스템, 지역/통근 열차, 도시간 고속 열차, 전기/디젤 기관차를 공급하는 글로벌 회사이다. Adtranz는 FEA 시뮬레이션 소프트웨어의 도움으로 최상의 제품을 공급함으로써 장기적인 고객 만족도를 유지하여 경쟁 우위를 고수하고 있다. Adtranz의 CoC(Center of

Competence) 구조역학연구소의 관리자인 Micko Bjuck는 “고객의 요구사항이 늘어났을지라도, 30~50% 가량 가격을 낮추고 50~100%의 개발시간 단축시킴으로 여전히 고객의 요구사항을 충족시키고 있다.” CoC 구조역학 연구소는 개념 단계에서 생산 단계에 이르기까지 차체(B.I.W)의 시뮬레이션을 담당하고 있다. 이 연구소는 설계 주기와 비용을 줄이고 설계 성능을 향상시키는 데 주력하고 있다.

계약을 성사시킬 중요한 요인은 신속한 제품 개발과 저렴한 비용이며, FEA 시뮬레이션 소프트웨어 톨은 이 두 가지 조건을 모두 만족시키는데 커다란 도움이 된다. Bjuck는



“우리는 개발 초기 단계부터 전문가와 생산자를 연계하는 동시공학(concurrent engineering)적으로 일을 해오고 있다. 설계 프로세스의 초기 단계부터 해석을 수행하여 설계 변경작업과 설계 주기 시간을 최소화하였고, 결과적으로 비용을 줄일 수 있다. 우리는 제품의 합리적인 생산을 보증하기 위해 생산자가 모든 프로젝트 과정을 검사하도록 한다.”

5) 주문형 열차

각 고객들마다 열차를 만들 때 각기 다른 요구조건들을 제시하지만, 저렴한 가격으로 제품을 생산하고자 하는 것은 공통적인 요구사항이다. 국제적인 표준이 없기 때문에 국가마다 선로 간격, 건널목 및 플랫폼 높이가 다르고, 따라서 두 고객 이상의 조건을 만족시키는 열차 플랫폼을 개발한다는 것은 매우 어려운 일이다. “우리는 고객이 원하는 열차에 따라 주문 제작한다. 우리는 절대로 열차를 미리 설계하지 않는다. 우리는 자동차 산업과 같은 플랫폼을 만들기 위해 노력하고 있지만, 여러 국가의 다양한 고객 요구사항을 충족시킬 수 있는 플랫폼을 만들려면 여간 어려운 일이 아니다. 차체 개발 및 생산 시에는 승객의 편안함과 충돌 시 승객보호도 고려해야 할 뿐 아니라, 특정 철도 운송 업체의 요구사항에 따라 제작된 열차는 시각적인 외형도 뛰어나야 한다.”

일반적인 프로젝트의 경우 열차가 완성되어 테스트를 거친 후 고객에게 처음 인도될 때까지의 기간이 주문 날짜로부터 30개월이 걸리므로, 설계 및 생산 프로세스를 촉진시켜주는 툴을 만드는 것이 필수적이다. 설계 프로세스의 초기 단계에서 시뮬레이션을 수행하면 결과적으로 설계 변경 사항, 비용 및 설계 주기 시간이 줄어든다. Bjack는 “우선 설계자가 전문가와 협력하여 자체의 고유 CAD 시스템으로 개념 설계를 만든다. 이때, 이미 생산을 염두에 두고 있다. 제품형상물을 CAD에서 FEM software로 가져와서 mesh하고, 경계 조건과 하중을 적용하고, 소재와 특성을

정의한 후 FEA software로 수행한다. 승차감을 측정하기 위해 선형/비선형 응력, 선형/비선형 비틀림 해석, 충돌 해석, 피로 해석 및 Eigen frequency 계산을 비롯한 다양한 해석을 수행한다.”

이후의 설계 주기에서 설계를 변경해야 하는 경우 다른 부품과 하부 구조물도 다시 설계해야 하므로 많은 비용이 소모된다. 설계 프로세스의 초기에 변경 사항을 발견하여 수정하면 설계 변경 사항을 최소화할 수 있다. “우리와 설계자는 서로 긴밀하게 협력하며, 설계자가 제품형상물을 보내 오면 우리는 해석을 수행한다. 일부 하중 사례 중 설계가 충분히 견고하지 못하다고 생각되면 이 설계는 거부된다. 전문가의 임무는 설계자와 협력하여 설계를 수정하고 더 견고하게 만드는 것이다.”

열차의 비용에 큰 영향을 미치는 또 다른 문제는 유지보수이다. 고객은 열차의 보증 기간이 30~40년이 되기를 바란다. 이러한 기대 수명 요구사항이 미치는 영향은 상당히 큰데, 그 이유는 유지보수 비용이 열차 비용에 포함되어야 하기 때문이다. “우리는 제품 수명을 늘리고 고객의 요구사항을 충족시킬 수 있도록 테스트나 시뮬레이션을 통해 위험을 최소화해야 한다. 특히, 모든 용접/점 용접, 볼트 및 대부분 소재의 피로 해석을 수행할 때 주의해야 한다.”

6) 비용 절감

FEA 시뮬레이션 툴을 사용하여 전문가들은 신속하게 해석하고 최적화할 수 있기 때문에, 결과적으로 설계가 더 안전하고 확실해지며, 생산 및 소재 비용이 줄어든다. 차체 제작에 탄소강, 스테인레스강, 알루미늄, 합성 금속, 차체용 혼합 소재를 사용하는 경우 최소한의 소재 절감만으로도 비용에 영향을 미친다. 최적화를 통해 소재 비용이 2~5% 가량 줄었고, 약간의 생산량 증가로 인해 인건비가 2~3% 가량 줄었다. 또한, 용접을 최적화하여 용접을 단순화하고 용접수를 줄일 수 있었다. 