

## CAD/CAE에서의 파워트레인 교향곡

발췌인 \_ 신기훈 \_ 서울과학기술대학교 기계공학과 \_ shinkh@snut.ac.kr

포드자동차는 최근 파워트레인 설계 속도를 향상 시키기 위해서, AFC(Abaqus for CATIA)와 모델 템플릿을 사용하기 시작하였다. 자동차를 설계, 제작하는 것은 교향곡을 작곡하고 연주하는 것에 비유될 수 있다. CAD 디자이너와 CAE 해석담당자는 한 팀의 작곡가처럼 행동하여, 디자인이라는 “악보”를 창작하기 위해 그들의 독창성, 물리법칙, 엔지니어링 소프트웨어 도구를 활용한다. 그 다음에 파워 트레인, 전기, 배기, 조향 시스템 등의 악기 섹션이 그들의 작곡에 생

명을 불어넣게 되며, 수정작업과 리허설이 뒤따르게 된다. 마지막으로 모든 것이 조화를 이루면, 오케스트라가 완벽한 하모니의 로드 공연을 하게 되며, 그 결과는 마켓에 나오게 된다.

일반적으로 자동차를 설계하는 데는 엄청난 노력이 필요하다. 예로 포드자동차의 북미 엔진개발조직은 100명이 넘는 CAD 디자이너와 CAE 해석담당자를 파워트레인 설계 및 6시그마 (Analytical Design and Six Sigma, 이하 ADSS) 팀에 투입하고 있다. 이 팀은 실린더 블록, 커넥팅 로드, 크랭크 샤프트, 피스톤, 터보차저, 벨트트레인 등의 모든 파워트레인 부품의 설계를 담당하고 있다. 6시그마 정신과 가장 견실한 설계로, 짧은 시간 안에 파워트레인을 설계하는 것은 조직간/조직내 조화, 견실개발 툴, 잘 조율된 프로세스 등을 필요로 하는 도전적인 업무이다.

제품개발 효율의 향상, 작업량 증대 및 100% 정상 정보 호환성을 제공하기 위하여, 포드자동차는 글로벌 프로그램을 개발하였다. 이러한 PLM 노력의 일환으로, 포드는 디지털 혁신 구상을 실현하였는데, 이 구상에는 CAE 및 최적화 모듈과 통합된 인텔리전트 CAD 템플릿의 개발을 담당하는 Digital Vehicle Engineer-

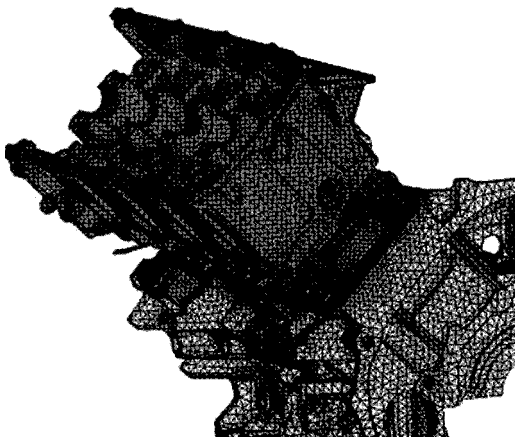


그림 1. 실린더 헤드 덕 리프트(deck lift)해석을 위한 유한요소 모델



ing(DVE) 시스템이 포함된다. 최종 목표는 가상 제품 개발/진증 환경에서의 엔지니어, 디자이너, 해석담당자 간의 상호 협력의 증강이다.

## 1. CAD와 CAE의 통합

약 5년전 포드자동차는 모든 CAD 모델링 툴을 Dassault System의 CATIA로 바꾸는 결정을 내렸다. "CAE 툴을 통합할 수 있는 CATIA의 능력이 ADSS팀에 변화를 주었다." "성과 효율의 향상이 중요하다고 ADSS팀이 인식하게 되었다."고 포드 ADSS 매니저, Jeffrey Bautz는 말한다.

ADSS 팀은 파워트레인 시스템에 대한 통합 CATIA CAD/CAE 솔루션의 잠재적인 편의성을 인식하고 사용한 포드회사의 첫 번째 그룹이다. 그들은 통합 솔루션을 구현하기 위하여 AFC(Abaqus for CATIA)를 선택하였다. AFC는 Abaqus의 FEA 기능을 2개 CATIA 워크벤치(비선형 구조해석, 열해석) 환경에서 구현한 Dassault System의 SIMULIA 솔루션이다.

ADSS 팀은 CATIA 안의 CAD 및 CAE를 통합하기 위하여 AFC를 사용하기 시작하면서, 해석 프로세스의 효율을 급격히 향상시킬 수 있었다. 하나의 인터페이스로 CAE 모델과 CAD 형상정보에 접근할 수 있으며, 다수의 반복작업을 빠르게 진행할 수 있게 되었다. 통합 플랫폼을 사용함으로써, 형상정보와 해석 모델간의 공유가 가능하며, 각 작업간의 시간지연이 없고, 보다 능률화된 작업흐름을 확보할 수 있었다.

## 2. 템플릿 개발

보다 나은 효율을 달성하기 위해, ADSS 팀은 다음으로 CAD 와 CAE 프로세스의 자동화에 초점을 맞추었는데, AFC 환경이 이러한 용도로 충분하다는 것을 인식하였다. ADSS 팀은 프로세스 자동화를 위해 약 2년전 부터 CAD 템플릿의 개발을 시작하였으며, 1년 후에는 CAE 템플릿의 개발에 착수하였다. 이 팀

은 위와 같은 CATIA 내에서 사용할 수 있는 템플릿의 개발로 인하여 제품개발 사이클 시간을 획기적으로 향상시킬 수 있다는 것을 깨달았다.

"우리의 DVE 전략의 한 부분인 CAD/CAE 템플릿 통합은 초기 형상설계 및 해석모델 생성 프로세스를 가속화시킬 수 있다." "이러한 통합작업은 CAE 툴이 디자인 프로세스의 나중에 유효성을 검증하기 보다는, 디자인에 선행하여 이루어지도록 한다"고 PLM 전략 구현 매니저 Sassan Khoubyari는 말한다.

해석결과와 해석담당자의 가정에 좌우되므로, 해석팀은 엄청난 시간을 해석방법론의 개발에 투입한다. 해석방법론의 개발 프로세스는 물리적인 실험 데이터와 해석모델간의 상호관련성을 확보하기 위한 다수의 반복작업을 필요로 한다. 일단 가정의 유효성이 검증되면, 그 값들을 획득하는 것이 중요하다. 이러한 측면에서 템플릿이 모델과 시뮬레이션에 필요한 조건과 변수들을 표준화하는 작업을 담당한다. 그 다음에 이미 증명되고 반복할 수 있는 하나의 해석 과정으로 각각의 엔지니어들을 안내하는 데, 템플릿이 사용된다.

실린더 헤드와 같이 복잡한 모델이 생성되더라도, 여전히 해석전문가들은 무수히 많은 경계조건, 접촉요소, 하중 등을 적용하여야 한다. 경우에 따라서 한 모델에서 250~300가지 정도의 다른 경계조건의 적용이 가능하다. 템플릿을 사용하기 전, 대부분의 작업들이 수작업으로 이루어 졌다. 파워 트레인의 수백개 부품 및 다양한 해석을 위한 반복작업들을 상상해 볼 때, 다양한 설계를 상호점검하는 데 엄청난 시간이 소요되는 것은 당연하다. 이러한 측면에서, 템플릿의 사용은 잠재적으로 수작업에 따른 오류와 프로세스 시간을 획기적으로 줄일 수 있다.

템플릿 개발에 있어, ADSS 팀은 6시그마와 유사한 기법을 사용하여 주요 엔진 부품(실린더 헤드, 블록, 커넥팅 로드, 배기/흡기 매니폴드 등)에 대한 가치흐름지도(value stream map)를 개발하였다. 이러한 가치

흐름지도는 제품개발 사이클의 향상정도에 기반한 템플릿 개발의 우선 순위를 결정하는 데 사용되었다.

제일먼저 ADSS팀은 오일 필터 어댑터 해석을 선택하였다. 오일 필터 어댑터 해석은 비교적 단순하여, 빠른 시간에 완료할 수 있어, 기본적인 템플릿으로 활용될 수 있기 때문이다(그림 2).

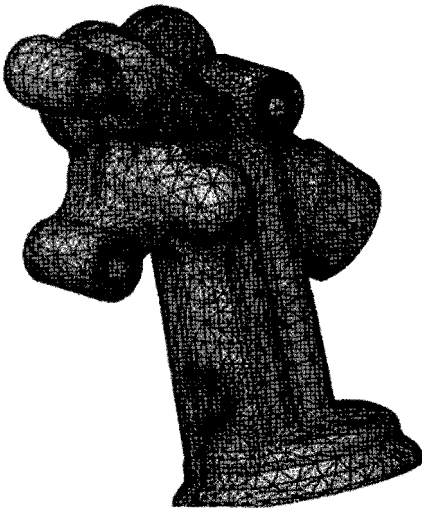


그림 2. 오일 필터 어댑터 noise/vibration/harsh-ness(NVH) 해석 모델

다음으로 ADSS 팀은 훨씬 복잡한 프로젝트로, 실린더 헤드 리프트 덕의 강성해석을 선택하였다. 이것은 복잡한 CAE 템플릿을 CATIA가 처리할 수 있는지를 확인하기 위해서이다. 이 해석 템플릿은 아래와 같은 여러가지 특징을 가지고 있다.

- 1) 51 접촉쌍 및 71 제한조건외 자동셋업
- 2) 스틸 플레이트, 헤드 볼트, 플러그(스파크 플러그, 인젝트 홀) 등 부품의 매개변수 모델 생성
- 3) 헤드 볼트의 탄소성 재료 불성치
- 4) 실린더 압력 적용을 위해 필요한 메쉬 경계 정의를 위한 연소실 곡면의 기하학적 파티션 및 그 롱핑.

5) 밸브 시트의 압입, 실린더 헤드와 스틸 플레이트의 볼트 체결, 각 실린더 헤드에 피크 연소실 압력 적용 등을 포함하는 5단계 해석

앞의 두 해석 템플릿은 모두 매력적인 후보들이다. 왜냐하면, 많은 시행착오를 겪는 초기 개발 단계에서 현재의 생산 프로그램에 포함되어 있기 때문이다.

ADSS 팀은 모든 키 파라미터들을 포함하는 템플릿에 붙어있는 엑셀 스프레드시트를 사용한다. CAD 템플릿은 형상정보를 정의하며, CAE 템플릿은 메쉬, 하중, 경계 조건 등의 시뮬레이션에 필요한 기본 정보를 포함하고 있다. 두 템플릿은 서로 연결되어 있기 때문에, CAE 해석담당자는 쉽게 키 파라미터들을 수정할 수 있으며, 변경 내용은 자동으로 해석 모델과 형상모델을 갱신한다.

또한, 부문간의 긴밀한 협조를 위해, CAD 및 CAE 그룹은 표준화된 하드웨어와 마이크로소프트 비스타 환경의 고사양 PC를 사용하고 있다.

### 3. 효율의 벤치마킹 및 개발시간 단축

2년에 걸친 CAD/CAE 통합을 통해, ADSS 팀은 파워트레인 부품들의 제품 개발 사이클에 많은 향상을 이루었다. 현재 이 팀은 모든 주요 부품에 대한 CAD 템플릿을 보유하고 있다.

CAD 템플릿 개발 매니저인 John Norcut에 의하면, 오일 필터 해석에서 비약적인 발전이 있었다. "CAD에서 CAE, 다시 CAD 부서로의 이관을 없앴으로 해서, 전체 제품 개발 사이클에서 3~4주 정도를 절감할 수 있다"고 그는 말한다.

실린더 헤드 덕 리프트 해석에 있어서, "기존에는 해석전문가가 해석 모델을 셋업하는 데 1~2일 정도가 걸렸지만, 템플릿을 사용하는 현재에는 셋업 시간이 30분 이내로 줄었다"고 CAE 전문가 Alex Tang은 말한다.

다른 부품에 있어서도 비약적인 발전을 이룩하였다.



가존에는 커넥팅 로드와 동역학 해석을 위한 메쉬 생성에 해석전분가는 4~8 시간 정도를 투자하였다. 하지만 템플릿을 사용하는 현재에는 CAD 모델에 오류가 없다면 10분 정도가 소요될 뿐이다. 흡기 매니폴드의 폭발 해석의 경우 메쉬 생성에 3주정도 소요되던 것이 2시간 정도로 줄어 들었다. 커넥팅 로드와 내구 해석의 경우 1.5주 정도 소요되던 메쉬 생성 시간이 불과 몇 분으로 줄어 들었다.

ADSS팀은 추가적으로 SIMULIA의 Isight 최적설계 소프트웨어의 사용을 미래에 계획하고 있다. 이 소프트웨어는 설계 대안 및 최적 성능 변수의 탐색을 자동화 할 수 있는 가시적이고 유연한 프로세스를 제공할 수 있다.

#### 4. 질의 향상

CAE 통합 및 템플릿의 개발 사용은 업무흐름 변화 등의 많은 장기적인 효과를 발휘할 수 있다. CAE 해석담당자 보다는 CAD 디자이너 와 D&R 엔지니어가 많은 단순한 해석을 수행할 수 있게 되어, 해석 담당자들은 높은 수준의 교육 및 전문성을 필요로 하는 고난도 해석 및 새로운 해석방법의 개발 등에 집중할 수

있는 시간을 가질 수 있다. 이러한 업무 균형을 통하여, 설계 검증 효율을 더욱 향상시킬 수 있다. 즉 새로운 해석 방법의 개발을 통하여 하드웨어 테스트 횟수를 줄일 수 있기 때문이다. 하드웨어 테스트 수가 준다는 것은 직접적인 경비 절감을 의미한다.

템플릿의 사용은 현재 포드자동차 전체로 확산되고 있다. 이러한 작업들은 고객들이 원하는 신제품 개발을 가속화하고자 하는 포드 CEO Alan Mulally의 "ONE Ford Plan" 과 일맥상통한다.

파워트레인 솔로로부터 전체 자동차 시스템 교향곡으로, 포드에서의 설계 개선 결과는 현재 이미 진행 중이며, 그 수혜자는 고객들이다. 지난 3년 동안 포드가 생산한 자동차는 그 질에 있어서 신우 업체들과 비교해도 대등하다는 것이 통계적으로 입증되었다. 설계라는 작곡에 CAE가 통합됨으로써, 자동차라는 연주의 하모니가 현재 더욱 달콤해지고 있다.



본 기사는 서울과학기술대학교 신기훈 편집위원이 [www.dskang.com](http://www.dskang.com)의 Analysis/Simulation 부문에서 명퇴되었음(2010년 10월 1일 소식)