

특집 : 최근의 전력전자 시뮬레이션 소프트웨어

전력전자 엔지니어들을 위한 Ansoft의 시뮬레이션 툴 소개

한 은 실

(안소프트 코리아 차장)

오늘날, 전 세계의 대체 에너지 분야와 전기 자동차분야에서 보다 효율적인 에너지의 생성과 공급을 위하여 전력전자 엔지니어들의 역할이 매우 중요하게 되었다. 본 원고는, 전력전자 엔지니어들에게 예제들을 중심으로 HEV/EV(Hybrid-Electric Vehicles / Electric Vehicles) 분야에서 사용되는 Ansoft 사의 시뮬레이션 툴들을 소개하는 데에 목적이 있다.

1. 서론

에너지 대란!! 매일 아침 눈을 뜨면, 어제의 유가가 얼마였는지, 올랐는지 떨어졌는지에 모든 사람들의 관심이 집중되고 있다. 더구나 석유를 전량 수입하고 있는 우리나라의 경우는, 과거 IMF 보다 더 살기가 어렵다는 이야기가 나올 정도로 국제 유가의 폭등이 나라 경제에 심각한 위기를 가져오고 있다.

물론, 오래전부터 화석 연료를 대체할 수 있는 에너지 개발에 대한 필요성들을 느끼고 있었지만, 전 세계는 오늘날의 에너지 위기를 극복하기 위하여 보다 값싸고 환경에 영향을 적게 미치는 에너지 개발 및 효과적인 에너지 공급에 관하여 그 어느 때보다 뜨거운 관심을 보이고 있다. 화석 에너지의 의존도가 높은 우리나라에서는 그 어느때보다 에너지 대책이 요구되고 있으며, 특히 HEV/EV 분야에 정부와 기업들이 많은 투자와 지원을 하고 있다.

연료전지, 배터리 뿐 아니라 다양한 모터의 사용과 각종 센서의 증가, 운전자의 편의를 위한 각종 장비 등을 탑재한 HEV/EV 분야는 단순 부품의 개발만으로는 전체 시스템의 성능을 예측할 수 없다. 또한, 부품과 장비들을 보다 작고 가볍게 만들어야 하는 과제까지 엔지니어들에게 주어진다.

2. Co-simulation 의 필요성

여기 가상의 한 자동차 전장 부서를 고려하도록 하자. 오늘 아침 부서장은 전장 시스템 해석을 위하여 어떤 소프트웨어들이 필요한가를 각 부서원에게 조사를 시켰다.

모터의 설계와 해석을 맡고 있는 김대리는 고가의 자동차에 들어가는 100 여가지의 모터들을 설계함에 있어 각 모터의 크기를 줄여하고, 자석과 자성체 재질을 어떤 것으로 할 것이며, 최적의 성능(출력 토크, 효율, 토크 리플 등등)을 도출하기 위한 툴들을 살펴보았다. 이를 위해서는 자기 등가 회로법을 이용하여 빠른 시간내에 초기 모터 치수를 결정하도록 도와주는 툴이 있어야 했다. 또한, 각종 입력 변수에 따른 출력 변화를 빠르게 볼 수 있어야 하며, 더 나아가 최적화 알고리즘을 통하여 최적 설계에 도움을 줄 수 있는 툴이 필요했으며 이 툴은 또한 정확한 모터 해석을 위해서 유한요소법에 기반을 둔 해석 툴과의 연동이 필요하다는 것을 깨달았다.

하지만, 모터는 혼자서 돌지 않는다는 사실을 알고 있는 김대리는 모터 드라이브 회로를 설계하는 이과장과 의논을 하기 시작했다. 자신이 설계한 모터의 전자기적 특성과 이과장의 회로, 제어가 어떻게 하면 데이터를 호환할 것인가에 문제에 직면하게 된다. 이 둘을 연결시켜줄 시뮬레이션이 반드시 필요하다는 것을 깨닫게 된다.

이것을 의논하는 중에 wire harness 와 자동차 cable 을 고민하고 있는 김대리가 한마디를 거둔다. 자동차의 모터들은 ECU 장치의 바로 옆에만 있는 것이 아니라 먼 거리에 떨어져 있는데 여기서 발생하는 각종 노이즈와 전력 손실 등이 모터의 성능에 어떤 영향을 미치는가 하는 문제를 상기시킨 것이다.

뿐만 아니라, 자동차의 각종 전자장치들과 전기기기들이 동시에 동작할 때에 battery 는 충분히 전력을 공급할 수 있는지 그리고 모든 장치들은 제대로 동작되는 지를 분석할 툴이 필요했다.

더구나 모든 전장의 꽃인 전기자동차로 고민을 하다보니, 작아지는 부품들과 고전력이 필요하게 되면서 열문제가 심각하게 대두되고 있었다.

또한, 스마트 키와 같은 무선 장치들과 air bag, ABS, EPS, 네비게이션, 컴퓨터, MP3 등등.. 많은 통신 장비들과 안전을 위한 장비들 그리고 고객들의 안락함을 위한 장비들이 많아지면서 이들 장비간의 오동작의 원인이 되는 상호 간섭과 PI(Power Integrity)/SI(Signal Integrity) 문제들 까지 고민을 해야 한다. 이것은 이제 저주파 영역과 고주파 영역의 해석이 함께 필요해 진다는 사실을 의미했다.

이처럼 자동차 관련하여 김대리와 같은 전력전자 엔지니어 들은 다양한 시뮬레이션이 필요하며 이들을 통합하여 해석할 수 있는 소프트웨어가 필요하다.

3. 자동차에서 사용되는 Ansoft 사의 제품들

자동차 분야는 Fuel Cell, Wire Harness, BusBar, EMI/EMC, 엔진, Drive Cycle, Antenna, Generator, Power Electronics, Package, Inverter, Motor, IPM, PCB 와 같이 매우 다양한 기술들이 집적되어 있다.

그림 1은 자동차 전장분야에서 Ansoft 사의 제품들이 어디에 사용되는 지를 보여준다.

아래에 설명된 내용은 그림 1에서 표시된 Ansoft 제품들의 명칭과 특징 등에 대한 것이다.

3.1 Maxwell 2D/3D

FEM(Finite Element Method, 유한요소법) 을 기반으로 한 전자기장 해석 툴로써 각종 전기 기기 장치의 설계에 사용된다. 자동차 분야에서 모터, Actuator, Sensors, 변압기 등에

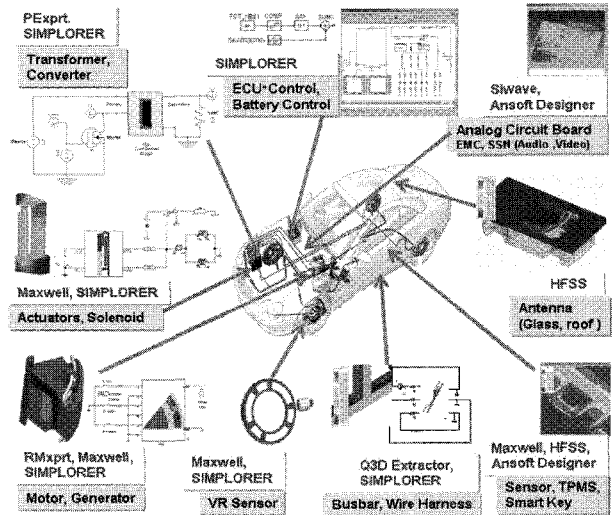


그림 1 자동차 전장에서 사용되는 Ansoft 제품들

주로 사용된다. 정상상태 해석과 과도해석 모두 가능하며, Simplorer 와의 연동해석이 가능하다.

3.2 PExpert

변압기, 컨버터, 인덕터 설계 전용 툴로써 간단한 수치 입력으로 빠른 시간 내에 gap effect, eddy current effect, 각종 loss 등을 고려한 결과를 얻을 수 있다. 특히, 전력 변환 장치 중에서 자성체를 고려해야 하는 경우 아주 유용한 툴이다. Simplorer 와의 연계 해석 뿐만 아니라 PSpice netli 도 생성해 준다.

3.3 RMxpert

자기 등가회로법을 이용한 툴로써 모터 스펙을 수치로 입력하면 빠른 시간내에 모터 특성 결과를 도출한다. Maxwell 모델로 자동 생성되며 Simplorer 와의 연계해석이 가능하다.

3.4 Simplorer

시스템 시뮬레이션 툴로써, 각종 회로 소자와 제어 블록, State machine simulator 를 이용하여 해석이 가능하며, 반도체 소자의 경우 characteristic device 를 간단한 sheet scan 방법으로 생성할 수 있다. 또한, Ansoft 제품 뿐만 아니라 Matlab Simulink, MathCAD, ModelSim 등 다양한 시뮬레이션 툴과의 연계해석이 가능하며, 자동차에서 규격으로 사용되는 VHDL-AMS(Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language - Analog and Mixed Signal) 가 내장되어 있어 Multi-Physics 해석이 가능하다. 그림 2는 HEV/EV 분야에서 Multi-Physics 개념을 보여준다.

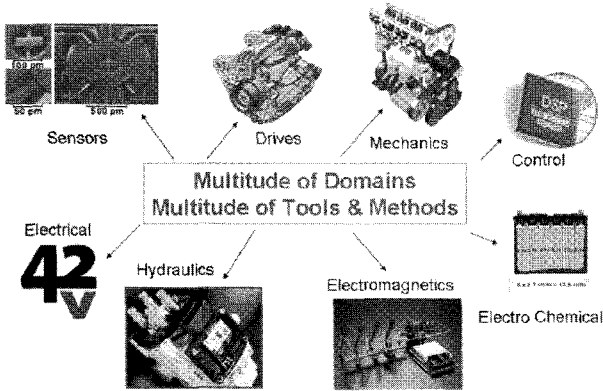


그림 2 Multi-Physics 개념

3.5 Q3D Extractor

Cable, 커넥터, BusBar 등의 RLCG matrix 를 주파수별로 빠르게 해석해 주는 툴로써, Simplorer 와의 연계 해석도 가능하며 HFSS, SPICE 라이브러리로 만들 수 있다.

3.6 HFSS

3D 구조의 고주파 전자장 해석 툴로써 자동차의 전장 부품에 의한 EMI/EMC 해석을 위하여 사용한다. 이 때에 Maxwell 해석 결과 또는 SIwave 해석 결과와의 연동해석도 가능하다.

3.7 SIwave

자동차에 사용되는 각종 PCB 의 full board layout 상에서 SI(Signal Integrity) / PI(Power Integrity) 해석을 통하여 구조적으로 공진이 일어나는 부분을 찾아내고, Ansoft사의 RF circuit 툴인 Nexxim, Designer와의 연동해석과 HFSS 와의 연동해석을 통해 EMI/EMC 해석이 가능하다.

4. HEV/EV 용 Simplorer-based 해석 사례

이 장에서는 Ansoft Simplorer 를 기반으로 설계된 실제 예제들을 통하여 각 모듈에 사용한 툴이 무엇인지, 어떤 목적으로 사용되었는지 등에 대하여 설명한다.

그림 3은 연료 전지를 이용한 traction motor system 해석을 위하여 Multi-Physics 해석이 가능한 Ansoft 사의 Simplorer 를 기반으로 한 다양한 시뮬레이션 툴의 co-simulation 예를 보여준다.

4.1 Battery Modeling

Simplorer 자체에 있는 연료 전지와 battery 라이브러리를 이용하여 제작한다. HEV/EV 에서는 battery 로부터 전력을

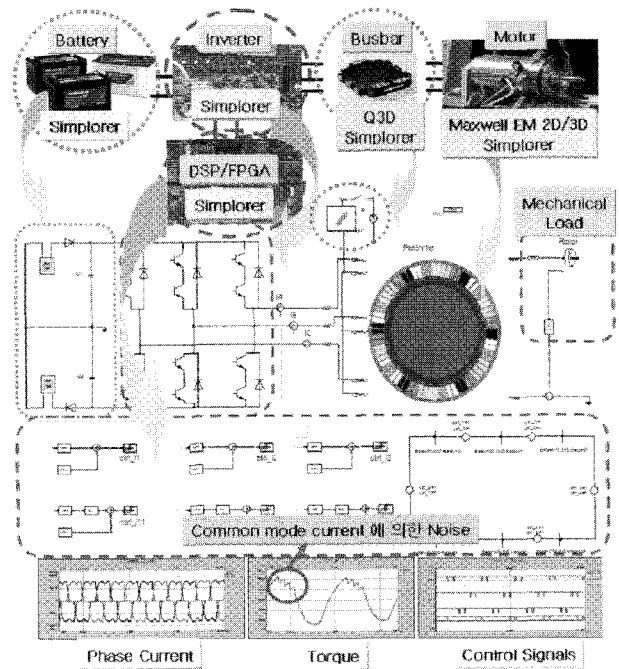


그림 3 Simplorer-based Traction Motor System

공급받기 때문에 모터의 운전과 기계 부하단의 동작과 함께 BMS(Battery Management System) 도 고려해야 한다. 이러한 라이브러리들은 자동차 분야 뿐 아니라 Solar Cell, 풍력 발전기용 터빈 등 대체 에너지관련 라이브러리도 제공하고 있다.

4.2 Inverter Module

Simplorer 를 이용하여 작성한 인버터 모듈로써 3상 모터에 인가되는 3상 전류를 생성하기 위한 인버터 회로이다. 이 예제에서는 단순히 gate 신호를 생성하기 위하여 on/off 기능만을 사용한다. 물론, 스위칭될 때마다 on/off 전압강하가 있는 반도체 소자로써 BJT 를 사용하였다. 하지만, IGBT 같은 대전력 반도체 소자의 경우는 반드시 characteristic device 의 특성까지도 고려한 인버터 설계가 필요하다. 이것 역시 Simplorer 를 사용하여 설계 가능하다. 이 기능이 Simplorer 가 갖고 있는 특징 중 하나로, 스위칭 소자의 종류를 ideal level/System level/Device level 모두 지원하고 있다.

4.3 BusBar

자동차의 경우, 전원 공급단과 구동 모터까지의 거리가 상당히 길기 때문에 전력을 공급하기 위하여 BusBar 나 cable 등이 사용되는데, 이때 RLC 값들이 Noise 의 원인이 되며, 전력 손실을 가져온다. 이것을 모델링 하기 위하여 Ansoft 사의 Q3D Extractor 를 사용한다. 이 툴은 아주 빠른 시간내에

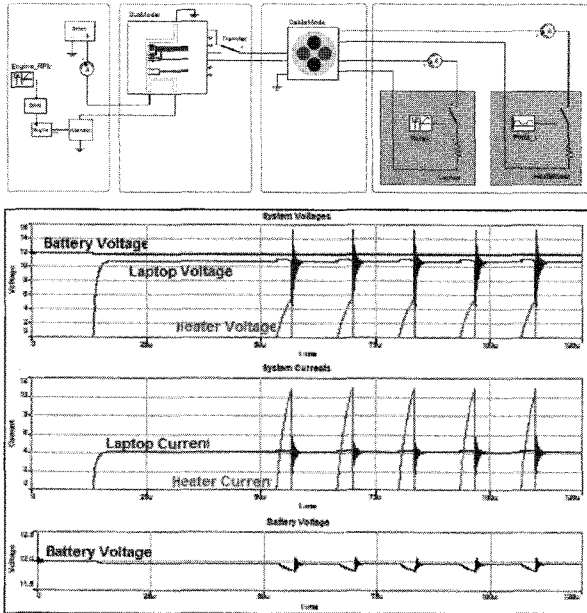


그림 4 Bus & Cable Impedance를 고려한 시스템 성능

2D/3D 구조물의 RLCG matrix 를 주파수별로 추출해주는 기능을 담당한다. 이 예제에서는 Common Mode Current 에 의한 Noise 분석을 위하여 사용되었는데, 결과 파형에서처럼 모터의 Torque 의 왜곡을 초래한다.

4.4 DSP/FPGA

모터의 제어를 위하여 사용되는 DSP 또는 FPGA 의 경우, C/C++, VHDL, Verilog 등의 코드 형태로 많이 사용된다. Simplorer의 특징 중 하나가 이 코드들과의 연계해석이 가능하다는 것이다. 이 예제에서는 제어용 Block Diagram 과 State Machine 을 이용하여 모터의 위치와 속도를 제어하였다.

4.5 Motor

Traction Motor 모델링을 위하여 Maxwell 2D 를 사용하였다. 이뿐 아니라, RMXprt, Maxwell 3D 와도 연계해석이 가능하다.

4.6 Mechanical Load

기계 부하에 관한 라이브러리들도 Simplorer에서 제공한다. 그림 4는 전기 자동차에서 laptop 컴퓨터와 heater 가 동작할 때의 battery 전압의 변화를 해석한 예제이다.

Simplorer를 기반으로 모델링이 되어 있으며, BusBar 와 Cable은 Q3 Extractor로 해석하여 Simplorer의 라이브러리로 생성하였다. Laptop computer와 Heater는 load 파형을

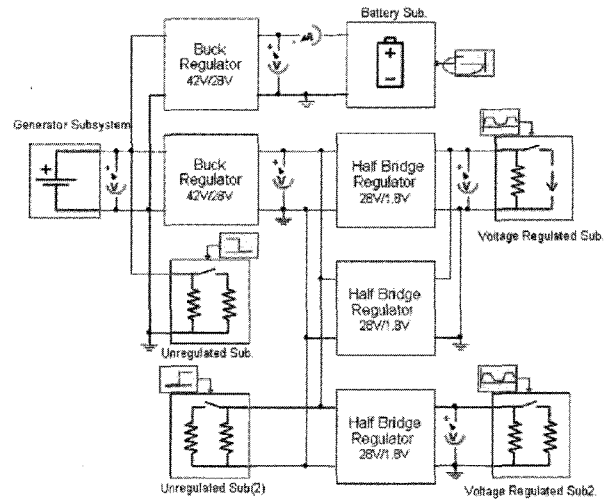


그림 5 Power Conversion Block Diagram

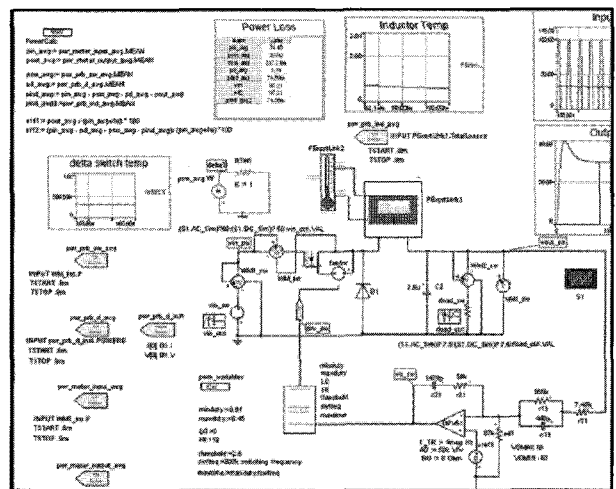


그림 6 Power Conversion Analysis using PEXprt

만들어서 모델링하였다. 배터리, 엔진, alternator 등은 모두 Simplorer에서 제공하는 라이브러리를 이용한 것이다. BusBar와 Cable의 Impedance 를 고려하지 않았을 경우 1 번 그래프에서처럼 battery voltage 가 거의 일정하다. 하지만, 둘의 Impedance를 고려할 경우에는 2번 그래프에서처럼 현저한 전압강하를 보여준다. 이러한 해석을 통하여 운전자가 사용하는 각종 전자장비 시스템이 동작할 때의 battery 전원의 안정성을 미리 예측할 수 있음을 알 수 있다.

그림 5는 자동차에서 사용되는 전력변환장치의 Block Diagram 이다.

그림 6은 PEXprt 와 Simplorer 연계를 통하여 그림 5의 Power Conversion을 해석한 것을 보여준다.

Buck Regulator에 Inductor가 사용되는데, inductor의 코어가 자성체이기 때문에 일반적인 Spice의 등가회로로 해석하는 것은 정확하지 않다. 따라서 PExprt를 이용하여 이 부족한 부분을 해석하여 Simplorer와 연계한 해석 결과를 보여준다. 이때, Inductor에서 발생하는 열 부분도 포함하여 해석하여 전력 손실, 온도와 효율까지 결과를 얻을 수 있다.

5. 결론

HEV/EV에서 전력전자 엔지니어들은 전력변환 장치부터 구동회로, 모터, 기계 부하 등까지 부품에서 시스템 레벨까지의 해석이 요구된다. Ansoft는 여러 시뮬레이션 툴들의 연계 해석을 통하여 이러한 해석이 가능하도록 도와준다. 특히, Simplorer를 기반으로 하여 각종 전기 기기장치들과 에너지 변환 장치들을 결합하여 해석함으로써 엔지니어들은 시간과 돈을 절약할 수 있다. ■

〈 필 자 소 개 〉



한은실(韓恩實)

1965년 7월 21일생. 1988년 숭실대 공과대학 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학). 1995년~1997년 (주)제이슨테크 과장. 1997년~1998년 (주)자인시스템 과장. 1998년~2003년 (주)씨앤아이솔루션 대표.

2005년~현재 안소프트 코리아 차장.