

## 건전지 세퍼레이터 와인딩 및 삽입시스템의 Virtual Prototype 개발

정상화(조선대학교 교수), 차경래, 신병수\*, 나운철(조선대학교 대학원)

### Development of Virtual Prototype for Separator Winding and Inserting Machine of Battery Assembly Line

S. H. Jeong(Chosun Univ.), K. R. Cha, B. S. Shin\*, Y. C. Na(Graduate School, Chosun Univ.)

#### ABSTRACT

Most of battery industries are growing explosively as a core strategy industry for the development of the semi-conductor, the LCD, and the mobile communication device. Dynamic characteristic analysis consists of dynamic behavior analysis and finite element analysis and is necessary for effective design of machines. In the dynamic behavior analysis, the displacement, velocity, applied force and angular velocity of each components are simulated according to each part. In the FEA, stress analysis, mode analysis, and frequency analysis are performed for each part. The results of these simulations are used for the design specification investigation and compensation for optimal design of cell manufacturing line. Virtual Engineering of the separator inserting machine on the automatic cell assembly line systems are modeled and simulated. 3D motion behavior is visualized under real-operating condition on the computer window. Virtual Prototype make it possible to save time by identifying design problems early in development, cut cost by reducing making hardware prototype, and improve quality by quickly optimizing full-system performance. As the first step of CAE which integrates design, dynamic modeling using ADAMS and FEM analysis using NASTRAN are developed.

**Key Words :** Separator(세퍼레이터), Virtual Prototype(가상시제품), Finite Element Analysis(유한요소해석), Virtual Engineering(가상공학), Frequency Analysis(주파수해석), Computer Aided Engineering(CAE), Automatic Cell Assembly Line(건전지 자동화 조립라인), Real-Operating Condition(작동조건)

#### 1. 서론

건전지의 내부에서 음극(-)과 양극(+)을 분리하여 주는 세퍼레이터를 회전하는 공정과 삽입하는 공정까지의 메커니즘(Mechanism)을 시뮬레이션 하였다. 일반적으로 가장 적합한 시스템 설계를 위해서는 시스템의 동특성 해석을 통한 기본적인 구동시스템의 설계 사양을 설정하는 과정이 기본적으로 필요하다. 동적 모델링을 하기 위해서 수학적인 모델링 방법이 사용되는데, 본 논문에서는 건전지 자동화 조립라인의 동특성 해석을 수행하기 위해 조립라인에 대해서 ADAMS(Automated Dynamic Analysis of Mechanical System)를 이용한 시뮬레이션 수행과 NASTRAN을 이용하여 각 파트에 대한 유한요소해석(FEA), 모드해석, 응력해석, 주파수해석을 수행하였다.

ADAMS는 복잡한 기계적인 시스템을 하드웨어적

인 시제품으로 만들지 않고 시뮬레이션 함으로써 동적인 거동을 컴퓨터 화면에서 가시화하여 가상시제품(Virtual Prototype)을 만들기 위한 프로그램으로 자동차공학, 항공공학 및 일반적인 기계공학분야에서 널리 사용되어지고 있다. 가상시제품이란 실제적인 시제품(Physical Prototype)을 제작하기 이전에 설계된 시스템을 모델링하고 실제와 같은 경계조건에서 시뮬레이션을 수행하여 3차원적인 시스템의 동적 거동을 컴퓨터 화면상에서 가시화 하는 것을 말한다. 가상 시제품을 완성함으로써 시스템 개발의 초기단계에서 설계상의 문제를 발견하여 개발시간을 단축할 수 있고, 하드웨어적인 시제품을 만들지 않음으로써 비용을 절감할 수 있다. 또한 여러 가지 설계 사양을 변화시켜 시스템 성능을 쉽게 테스트 할 수 있으므로 제품의 질을 향상시킬 수 있다<sup>(2)(3)</sup>. 가상시제품을 개발하기 위해서 첫 번째는 동적 모델링과 가상시제품을 연계하고 기존에 나와

있는 여러 설계 프로그램과 연계하고, 설계가 끝난 다음에 MSC/NASTRAN과 같은 FEA(Finite Element Analysis) 프로그램을 이용하여 Fig. 1에서 보는 것과 같이 일련의 CAE(Computer Aided Engineering)을 실현할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 건전지 자동화 조립라인의 핵심공정인 세퍼레이터 와인딩 및 삽입을 복합적으로 수행할 수 있는 무인 건전지 자동화 조립라인의 시스템을 가상공학 기법을 이용한 시뮬레이션을 통하여 조립라인의 동특성 해석을 수행하고자 한다.

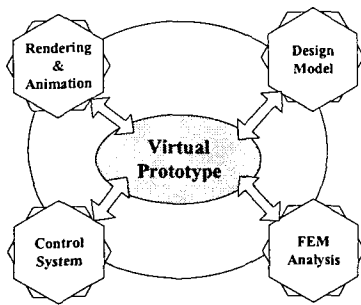


Fig. 1 Virtual Engineering by Computer Aided Engineering

## 2. 건전지 조립라인의 설계 및 시뮬레이션'

### 2.1 조립라인의 설계

시뮬레이션을 위한 모델링을 수행하기 위해서 전체적인 건전지 세퍼레이터 와인딩 및 삽입부를 Fig. 2과 같이 설계하였다.

Fig. 2은 세퍼레이터 자동 와인딩 및 삽입부의 정면도이고, Table 1은 시스템 각부의 명칭을 나타낸다.

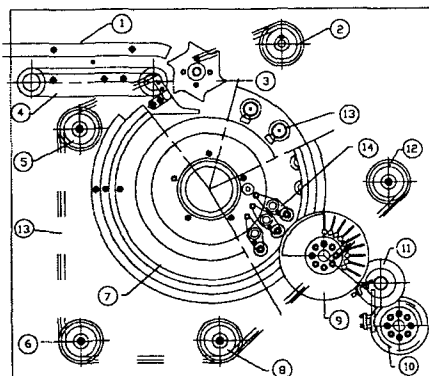


Fig. 2 Top View of Separator Winding & Inserting Machine

Table 1. Name of Each Part of Separator Winding and Inserting M/C

No.	NAME	No.	NAME
1	Cell Inlet Guide	8	Belt Pulley
2	Spindle Driving Motor	9	Vacuum Drum
3	Cell Inlet Disk	10	Separator Supply Wheel
4	Power Belt of Cell Supply	11	Separator Cutting Wheel
5	Belt Pulley	12	Belt Pulley
6	Belt Pulley	13	Separator Inserting Part
7	Heating Board	14	Separator Winding Part

## 2.2 ADAMS를 이용한 시뮬레이션

### 2.2.1 모델링 과정

전체적인 건전지 자동화 조립라인의 동적 거동 및 동적 특성을 분석하기 위하여 ADAMS를 이용하여 모델링하고 시뮬레이션 하여 동적인 상태량을 얻을 수 있다<sup>(4)</sup>. 운동학적 모델링을 하고 건전지 자동화 조립라인 시스템의 동적 거동을 컴퓨터 화면에서 가시화하여 가상시제품을 개발할 수 있다. 모델링은 세퍼레이터 와인딩 및 삽입부를 분리하여 모델링하고 시뮬레이션 하였다. 이를 통하여 각 파트의 동적인 상태량을 파악할 수 있었다. 따라서 이러한 과정을 통하여 시스템이 실제조건에서의 시스템 반응을 알 수 있었다. 본 연구에서 ADAMS를 이용한 모델링 과정은 Fig.3와 같다.

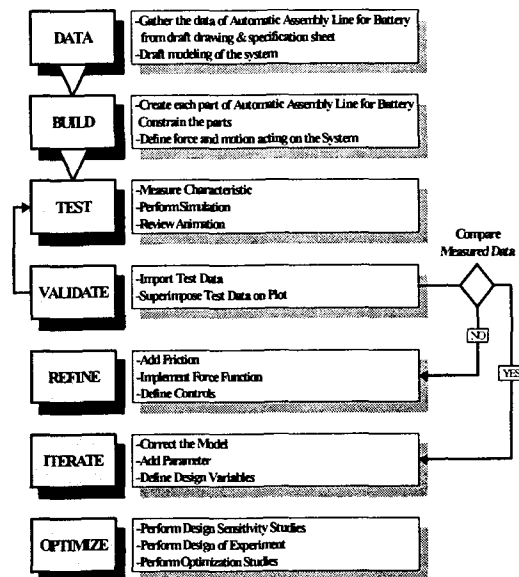


Fig. 3 Design Process of Using ADAMS

Fig. 4은 건전지 세퍼레이터 와인딩 및 삽입부를 시뮬레이션 하기위해 설계인자를 이용하여 모델링 한 결과이다. 시뮬레이션 결과 각부의 최적 회전수를 표 2와 같이 얻었다. Fig. 5는 건전지 세퍼레이터 와인딩 및 삽입부에서 가장 중요한 부분인 세퍼레이터 핀과 셀가이드부와의 각속도 관계를 나타낸다.

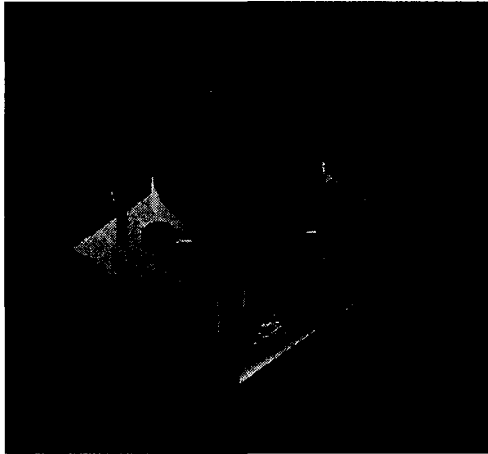


Fig. 4 Isometric View of Separator Winding and Inserting M/C

Table 2 Results of Simulation in Main-Turret

Main Spindle	Separator Winding	Separator Inlet	Cell Inlet Bracket	Cell Guide Bracket
12.5 rpm	100 rpm	50 rpm	12.5 rpm	9.5rpm

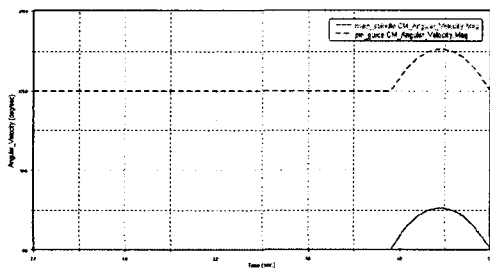


Fig. 5 Angular Velocity Relation of Separator Inserting Pin and Cell Guide

### 3. 건전지 세퍼레이터 와인딩 및 삽입부의 유한요소 해석

본 연구에서는 건전지 세퍼레이터 와인딩 및 삽입 시스템의 주요부인 스피들(Spindle)부와 캠홀더(Cam Holder)부를 MSC/PATRAN을 이용하여 설계하고 유

한요소해석을 수행하고, NASTRAN을 이용하여 주파수 해석을 통한 진동특성 해석, 최대응력, 최대변형량 해석을 수행하였다<sup>(1)</sup>. Fig. 6은 유한요소해석에 있어서 설계, 전처리 공정인 모델링, NASTRAN 해석, 해석을 가시화 하는 후처리 공정, 해석후의 분석을 통한 모델의 수정을 통하여 다시 위의 공정을 하는 유한요소해석의 공정의 전체 개략도 이다.

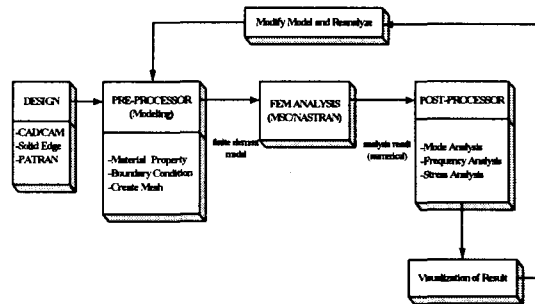


Fig. 6 Process of Finite Element Analysis

### 3.1 스피들과 캠홀더부에 대한 유한요소 해석

아래 표 3는 스피들부와 캠홀더부에 대해서 해석을 수행하기 위한 경계치조건들을 나타낸다. Fig. 7(a)는 스피들부의 유한요소해석 결과를 나타내고 7(b)는 스피들이 1차모드 141.64Hz에서 공진주파수가 발생함을 알 수 있다. Fig. 8(a)는 캠홀더부의 유한요소해석 결과를 나타내고, 8(b)는 1차모드 2.6509Hz에서 공진주파수가 발생함을 알 수 있다.

Table 3 Boundary Conditions and Material Property of Each Part

Input Conditions of Spindle Part		
	Spindle	Cam Holder
<b>Finite Element</b>		
Node ID	2488ea	6688ea
Element ID	8253ea	27307ea
<b>Load/BCs (Damping Ratio : 3%)</b>	-Translation(Up & Down) -50N on Follower -100 ~ 2000Hz at node 2014 at interval 20Hz	-Rotation & Displacement Fixed -15 N on the Max. deformation -0~500Hz at node 41 at interval 20Hz
<b>Material Property</b>		
Elastic Modules	21000 N/mm <sup>2</sup>	
Poisson's Ratio	0.3	
Density	7.85e <sup>-6</sup> kg/mm <sup>3</sup>	
<b>Solution Type</b>	- Normal Modes Analysis - Number of Desired Roots : 10 EA - Frequency Response Analysis	

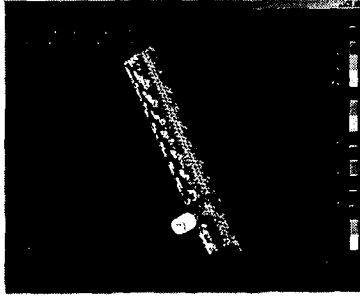


Fig. 7(a) Stress of Magnitude at the 1st Mode of Spindle Part

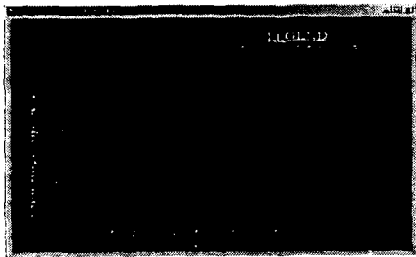


Fig. 7(b) Displacement of Magnitude versus Frequency at Node 2014 of Spindle

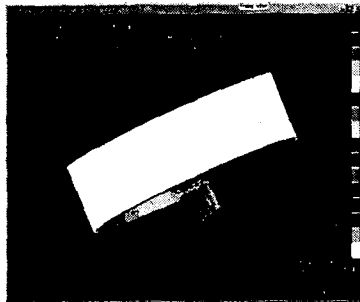


Fig. 8(a) Stress of Magnitude at the 1st Mode of Cam Holder Part

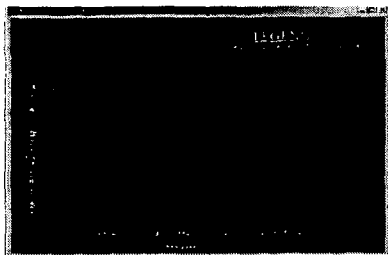


Fig. 8(b) Displacement of Magnitude versus Frequency at Node 41 of Cam Holder

#### 4. 결론

본 연구에서는 가상공학 기법을 이용한 건전지 자동차 조립라인을 동역학적 특성을 알아보기 위해서 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 건전지 자동차 조립라인의 각 파트에 대한 안정성 평가 및 최적모델의 사양을 결정하기 위해 MSC/PATRAN과 NASTRAN을 이용한 유한요소해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 건전지 자동차 조립라인의 가장 중요한 세퍼레이터 삽입 타이밍을 결정짓는 세퍼레이터 와인딩 및 삽입부에서는 메인터릿의 외주에서 스피들에 의해 메인캠의 가이드를 따라 이동하는 세퍼레이터가 감긴 세퍼레이터 삽입핀이 셀공급 브래킷을 통하여 이동되어지는 셀에 정확히 삽입되어 압착이 될 수 있도록 메인터릿과 셀공급·배출 브래킷 사이의 기어비를 4:1로 하고, 메인터릿의 회전수를 12.5rpm과 셀공급·배출 브래킷의 회전수를 12.5rpm으로 설정하였다. 둘째, 세퍼레이터 와인딩부의 스피들에서 유한요소해석 결과 스피들의 메인부분과 메인캠의 가이드를 따라서 운동하는 팔로우워 부분(노드점 608)에서 최대변형이 2.56mm로 발생하였다. 따라서 스피들과 팔로우워 연결부분을 설계 시 10mm에서 안정성을 위해 15mm로 수정 설계하였다. 셋째, 시뮬레이션 결과 메인디스크와 셀공급·배출 브래킷의 각속도, 세퍼레이터 삽입핀과 셀과의 각속도가 거의 일치함을 확인하였다. 넷째, 외부 진동에 의한 시스템의 안정성을 평가하기 위해 수행했던 유한요소해석을 각 파트별로 수행한 결과, 세퍼레이터 와인딩 및 삽입부의 스피들의 고유진동수 1.667Hz에 대해 1차 모드에서 141.64Hz, 캠홀더부 고유진동수 0.2083Hz에 대해 1차 모드에서 2.6509Hz로 시스템이 외부 진동에 대해서 안정함을 알 수 있었다. 팔로워, 본 연구에서는 가상공학 기법을 이용하여 시스템 설계 이전에 시스템의 안정성 평가, 성능테스트를 통한 시스템 모델 사양을 최적화 시킴으로써 경제적 시간적인 효율을 극대화시킬 수 있다고 사료된다.

#### 참고문헌

1. (주)아태엔지니어링. "건전지 자동차 세퍼레이터 와인딩 및 삽입시스템개발" 기술혁신 최종 보고서. 중소기업청, pp. 2-3
2. Lars Lindkvist. "ADAMS/View Powertrain Model", 11th European ADAMS User's Conf., 1996.
3. A. Arenz, W. Borchert, E. Schnieder. "Simulation of a goliath transfer robot combining the software tools ADAMS and MATLAB", 11th European ADAMS Users' Conf., 1996.
4. Andrew S. Eliot, Mark H. Richardson. "Virtual Experimental Modal Analysis (VEMA)", ADAMS Users' Conference, 1998.