

# 리튬전지 전용 고속자동 블리스터 포장기 동특성 해석에 관한 연구

정상화\*, 이경형\*

## A Study on the Dynamic Characteristics of Automatic Blister Packaging Machine for Lithium Battery

Sang Hwa Jeong<sup>+</sup>, Kyoung Hyoung Lee<sup>\*</sup>

### Abstract

The blister packaging is applied to many fields in recent years for its merit that it enable consumer to see the products. The most of battery packaging are blister type. However, the lithium battery is dealt with very carefully in packaging because of its explosion. The existing packaging machines for lithium battery are mostly adapted alkaline packaging machine and their capacity is very inferior to other process, either. In this paper, the virtual prototype of the automatic blister packaging system for lithium battery which has new mechanism is developed and its performance is evaluated.

**Key Words :** Automatic Blister Packaging Machine(자동 블리스터포장기), First Blanking Second Inserting(선타공 후삽입), Virtual Prototype(가상 시제품), Dynamic Analysis(동특성 해석), Stress Analysis(응력 해석), Frequency Analysis(주파수 해석)

### 1. 서론

최근 들어 블리스터 포장방식은 제품을 육안으로 확인할 수 있는 장점을 가지고 있어 여러 가지 상품포장에 이용 되고 있다. 특히 농수산물, 식품, 생활용품 및 약품에 이르기 까지 블리스터 포장은 점차 그 응용범위를 넓혀가고 있는 추세이다. 대부분의 건전지의 포장 역시 블리스터방식을 이용하여 포장을 하고 있다. 그런데 카메라 및 각종 휴대용

전자장치에서 널리 사용되고 있는 리튬전지의 경우에는 전지 자체가 가지고 있는 폭발위험성 때문에 블리스터 포장을 할 때 각별한 주의가 필요하다. 그러나 국내를 비롯한 국외에서도 일반 알카라인 전지 포장기계를 구조변경하여 사용하고 있고 리튬전지 특성을 고려한 리튬전지 전용 블리스터 포장기는 개발되지 않고 있다. 또한 블리스터 포장 공정은 포장공정을 제외한 리튬전지 생산공정 및 라벨링공

\* 발표자, 조선대 대학원기계공학과 (yrose757@empal.com)  
주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동 375

+ 조선대학교 기계공학과

정의 분당 생산량에 못 미쳐 생산성이 높은 고속 블리스터 포장시스템의 개발이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 기존의 범용 건전지 블리스터 포장 메커니즘이 안고 있는 폭발위험성 및 저생산성을 극복할 수 있는 새로운 메커니즘의 리튬전지 전용 고속 자동 블리스터 포장 시스템의 가상시제품을 개발하고 가상공학 기법을 도입하여 성능평가를 위한 가상실험을 수행하였다. 개발된 시스템의 메커니즘적 특징은 첫째 리튬전지 폭발위험성을 제거하기 위해 선타공 후전지삽입(First Blanking Second Inserting) 시스템을 도입하였다. 둘째 자재손실을 최소화하기 위해 팔레트이송과 필름이송의 동력을 분리하였다. 셋째 전지자동공급시스템을 개발하여 무인화를 실현하였다. 향상된 메커니즘의 개발 결과로 분당 생산량을 기존 90EA에서 240EA까지 증가시킬 수 있었다.

개발된 블리스터 포장 시스템의 메커니즘 및 성능을 평가하기 위해 실제 구동조건과 동일하게 전체 시스템의 운전특성 및 공정간의 타이밍을 가상 실험하였으며, 새롭게 개발된 중요 공정의 메커니즘 특징을 그래프와 애니메이션을 통해 확인하고 가상실험을 통해 그 성능을 평가하였다. 이러한 가상실험을 통해서 각 공정별 구성부품에 대한 위치, 속도 및 가속도 그리고 힘과 모멘트 성분 등과 같은 동특성을 파악할 수 있었고 또한 이 결과를 토대로 중요 부품들의 유한요소 해석(FEA), 모드해석, 응력해석, 주파수해석을 수행하여 최적 설계 사양을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 개발된 블리스터 포장 시스템의 가상시제품 및 가상실험 결과는 향후 블리스터 포장기 개발과정에서 보다 정확하고 신뢰성 있는 설계 사양들을 제공함으로써 개발 원가 절감에 기여할 수 있으리라 기대된다.

## 2. 블리스터 포장기 가상시제품

기존의 범용 건전지 블리스터 포장 메커니즘이 안고 있는 폭발위험성 및 저생산성을 극복할 수 있는 새로운 메커니즘의 리튬전지 전용 고속 자동 블리스터 포장 시스템을 개발하였다. 개발된 메커니즘의 신뢰성을 파악하고 기본적인 설계 인자들을 결정하기 위하여 가상공간에서 시스템을 개발하고 가상실험을 통하여 전체 공정의 순서 및 속도와 각 공정별 구동 메커니즘을 해석하였다.

### 2.1 전체공정을 위한 가상실험

리튬전지 전용 블리스터 포장기의 전체공정은 크게 히팅 공정, 포밍공정, 블랭킹 공정, 전지공급공정, Card 공급공

정, 열접착공정, 그리고 배출공정으로 이루어진다. 본 연구에서는 위의 공정으로 구성된 블리스터 포장기의 전체 공정을 모델링하였고 20 SPM의 생산능력을 갖도록 가상실험을 수행하였다. 가상실험을 통하여 각 공정의 요구되는 속도와 구동기의 조건 그리고 작업 팔레트의 이송 속도를 결정할 수 있었다. 또한 필름을 이송하는 이송 롤러의 구동 특성 및 구동 속도를 결정하였다.

Fig. 1는 시스템의 동적 상태를 파악하기 위한 가상실험을 하기 위해 블리스터 포장기를 모델링한 것이다.



Fig. 1 Modeling of Blister Packaging System

#### 2.1.1 가상실험 결과

Fig. 2는 각 공정별 지그의 상, 하사점의 위치를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 분당 20개의 팔레트를 배출하기 위한 한 공정의 Cycle은 3초이다. 0-1초까지 각 공정의 지그가 하강하고 1-1.5초 구간에서 각각의 공정들을 수행하고 1.5-2.5초 구간에서 다시 상사점으로 상승하는 운동을 볼 수 있다.

Fig. 3은 각 공정별 지그의 상승속도와 하강속도를 나타낸 것이다. 전지공급공정과 카드공급공정의 속도는 이송거리가 짧기 때문에 다른공정과 상승, 하강속도가 상대적으로 작고, 배출 공정은 상대적 이송거리가 길기 때문에 이송속도가 높게 나타난다. Table 1은 각 공정별 지그의 상, 하사점의 위치를 나타낸 것이다.

Table 1 Jig Position of Each Process(Y-Axis)

Process	Upper End(mm)	Lower End(mm)	Stroke(mm)
Forming	225	125	100
Blanking	225	125	100
Cell Inserting	625	575	50
Card Inserting	625	575	50
Heating	225	125	100
Ejecting	225	125	100

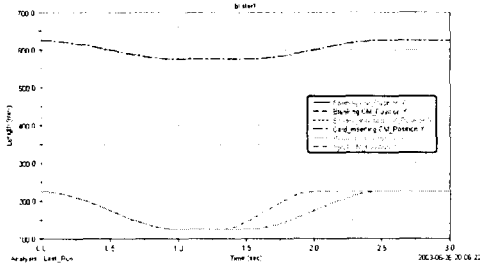


Fig. 2. Jig Position of Each Process

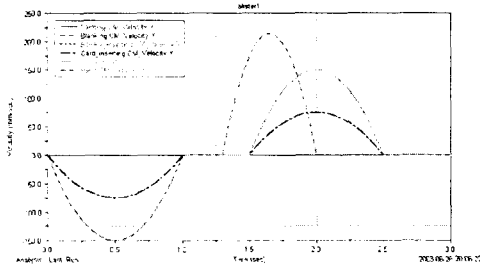


Fig. 3 Jig Velocity of Each Process

### 3. 블리스터 포장기의 유한요소 해석

#### 3.1 응력해석

본 연구에서는 하중을 가장 많이 받는 요소인 블리스터 포장기의 블랭킹 지그, 팔레트를 Working Model 4D를 이용하여 응력해석을 수행하였다. 응력해석의 목적은 요소의 응력분포 및 응력집중을 파악하고 이 데이터를 토대로 최대의 설계 인자를 선택하고자 하는 것이다. 응력해석을 위한 경계조건은 Table 2에 나타내었다. Table 3은 각 구성요소의 최대응력을 나타낸 것이다

Table 2 Boundary Condition for Stress Analysis

Input Condition for FEM	
Material Property	- Material : ANSI C1020 - Elastic Modulus : $2E+11$ N/mm <sup>2</sup> - Poisson's Ratio : 0.29 - Density : $7.85E-6$ Kg/mm <sup>3</sup> - Yield Stress : $3.31E+8$ Pa - Ultimate Stress : $4.48E+8$ Pa
Boundary Condition	- Fixed on the interface of up/down plate - 1000 N on the interface of film
Finite Element	- Mesh Factor : 3% - Mesh Size : 3.46mm - Node : 9281
Solution Type	- Stress and Strain Analysis : Stress, Strain, and Deformation

Table 3 Maximum Stress of Each Part

PART	Max. Stress (Pa)
Forming Jig	$1.43E+5$
Film Cutter	$2.15E+3$
Cutting Base	$2.15E+3$

#### 가) 포밍지그의 응력해석

포밍지그에 작용하는 힘은 열이 가해진 필름을 성형하는 데 사용되는 힘이다. 해석과정 중에 작용된 힘인 1000N이 가해졌을 때의 결과를 보면 Fig. 4와 같은 응력분포를 나타낸다. 이때 최대응력은  $1.43E+5$  Pa임을 알 수 있다. 포밍지그의 항복강도가  $4.48E+8$  Pa임을 감안할 때 파괴가 발생하지 않음을 알 수 있다.

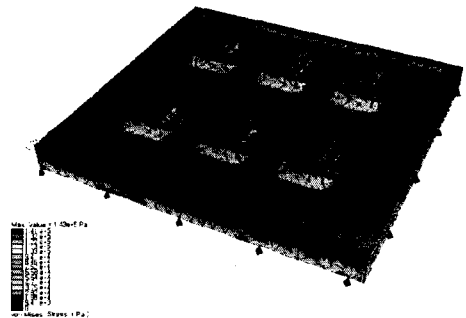


Fig. 4 Stress Analysis of Forming Jig

#### 나) 블랭킹 지그의 응력해석

블랭킹 지그에 작용하는 힘은 필름을 커팅하는 데 사용되는 힘이다. 해석과정 중에 작용된 힘인 1000N이 가해졌을 때의 결과를 보면 Fig. 5와 같은 응력분포를 나타낸다. 이때 최대응력은  $2.15E+3$  Pa임을 알 수 있다. 포밍지그의 항복강도가  $4.48E+8$  Pa임을 감안할 때 파괴가 발생하지 않음을 알 수 있다.

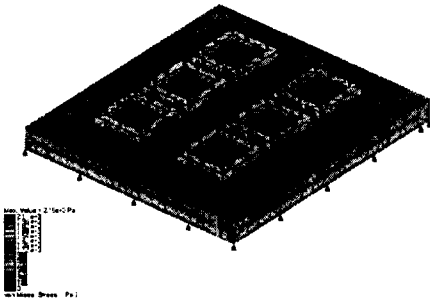


Fig. 5 Stress Analysis of Blanking Jig

다) 팔레트의 응력해석

팔레트에 작용하는 힘은 필름을 커팅할 때 커터의 반발력이다. 해석과정 중에 작용된 힘인 1000N이 가해졌을 때의 결과를 보면 Fig. 6과 같은 응력분포를 나타낸다. 이때 최대 응력은 2.15E+3 Pa임을 알 수 있다. 포밍지그의 항복강도가 4.48E+8 Pa임을 감안할 때 파괴가 발생하지 않음을 알 수 있다.

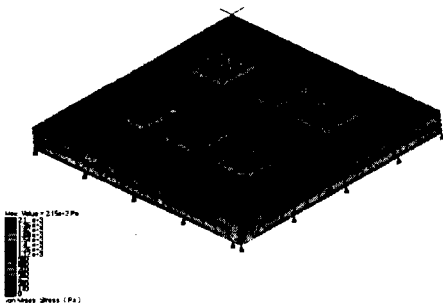


Fig. 6 Stress Analysis of Cutting Base

3.2 진동해석

본 연구에서는 진동에 영향을 받는 요소인 블리스터 포장기의 포밍지그, 블랭킹 지그 및 팔레트의 진동해석을 수행하였다. 각각의 부품들은 Solid Works로 모델링 하였고 경계조건 및 구속조건을 입력하는 전처리 과정은 Cosmos/Designstar에서 수행하였다. 해석은 Cosmos/m을 사용하였다. 진동해석을 하기 위한 경계조건 및 재료의 물성치는 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Boundary Condition for Frequency Analysis

Input Condition for FEM		
Material Property	- Material	: Alloy Steel
	- Elasticity modulus	2.1e+011 N/m <sup>2</sup>
	- Poisson's ratio	0.28 NA
	- Shear modulus	7.9e+010 N/m <sup>2</sup>
	- Tensile strength	7.238256e+008 N/m <sup>2</sup>
	- Yield stress	6.20422e+008 N/m <sup>2</sup>
	- Thermal expansion	1.3e-005 Kelvin
	- Thermal conductivity	50 W/(m.K)
	- Specific heat	460 J/(kg.K)
Boundary Condition	- Fixed on the interface of up/down plate	
	- 10000 N	
Finite Element	- Element Size	21.064 mm
	- Tolerance	1.0532 mm
	- Nodes	13716
	- Elements	6846
Solution Type	- Frequency Analysis.	

가) 포밍지그의 진동해석

포밍지그에 작용되는 힘은 열이 가해진 필름을 성형하는데 사용되는 힘으로 공정별 해석과정에서 나타난 힘인 10000 N/m<sup>2</sup> 을 필름이 접촉되는 접촉면 전체에 입력하였다. 진동 해석 결과는 Table 5에 나타냈는데 제1차 모드가 20236 Hz 에서 일어남을 알 수 있다. Fig. 7에 1차 모드의 진동형태를 나타내었다. 포밍지그의 상하 운동 주기를 20 SPM으로 설정하였으므로 0.333 Hz에서 가장 큰 외부 진동이 발생하므로 외부 진동에대한 공진의 영향을 받지 않는 안정된 시스템임을 알 수 있다.

Table 5 The natural frequency of Forming Jig

Mode No	Frequency(Hz)
1	20236
2	20255
3	20357
4	20528
5	20642
6	20737
7	20764
8	20831
9	20863
10	21421

Forming-Jig-Frequency - Frequency  
 Mode Shape 1 Value \* 20726 Hz Deformation Scale 1 : 0.008766

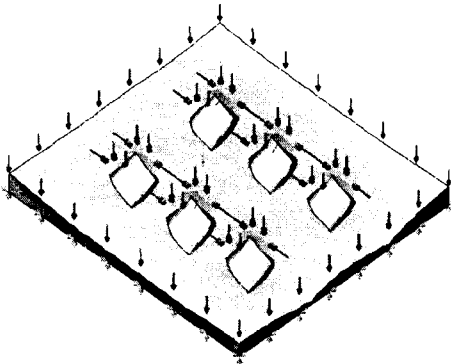


Fig. 7 The 1st mode shape of Forming Jig

Blanking-Blanking-Frequency - Frequency  
 Mode Shape 1 Value \* 18952 Hz Deformation Scale 1 : 0.0174755

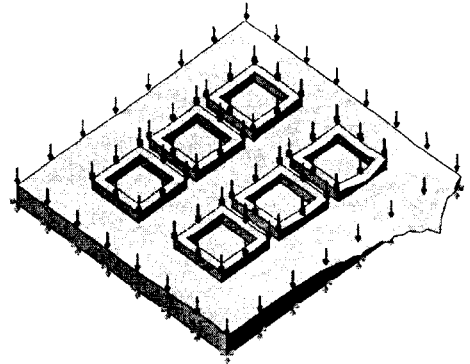


Fig. 8 The 1st mode shape of Blanking Jig

#### 나) 블랭킹 지그의 진동해석

블랭킹 지그에 작용되는 힘은 필름을 절단하는데 사용되는 힘으로 카드 접촉면 전체에 10000 N을 입력하였다. 해석결과는 Table 6에 나타내었는데 제 1차 모드가 18952 Hz에서 일어남을 알 수 있었다. Fig. 8은 블랭킹 지그의 1차 모드를 나타낸 그림이다. 결과로부터 블랭킹 지그의 상하 운동 주기가 0.333 Hz이므로 외부진동의 영향을 받지 않는 안전한 시스템임을 알 수 있다.

Table 6 The natural frequency of Blanking Jig

Mode No	Frequency(Hz)
1	18952
2	19293
3	19502
4	19664
5	19794
6	19803
7	19808
8	20002
9	20052
10	20186

#### 다) 팔레트의 진동해석

팔레트에 작용하는 힘은 필름을 포밍, 커팅 할 때 의 반발력이다. 포밍 및 커팅 지그가 접촉하는 면에 10000 N의 힘들 입력하였다. 진동 해석 결과는 Table 7에 나타내었다. 결과에서 보는 것처럼 1차 모드가 20725 Hz에서 일어남을 알 수 있다. 포밍 및 블랭킹 주기를 20 SPM (0.333 Hz)가 가장 큰 외부 진동원이므로 외부진동의 영향을 받지 않는 안전한 시스템임을 알 수 있다.

Table 7 The natural frequency of Cutting Base

Mode No	Frequency(Hz)
1	20725
2	20798
3	20884
4	21194
5	21430
6	21545
7	21630
8	22138
9	22185
10	22319

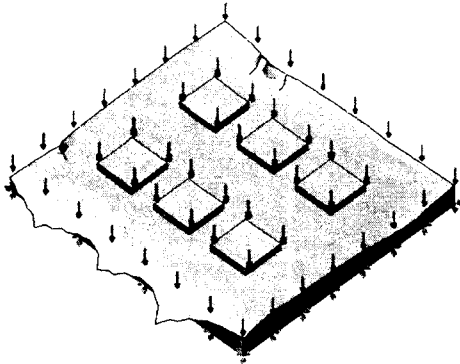


Fig. 9 The 1st mode shape of Cutting Base

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존의 범용 건전지 블리스터 포장 메커니즘이 안고 있는 폭발위험성 및 저생산성을 극복할 수 있는 새로운 메커니즘의 리튬전지 전용 고속 자동 블리스터 포장 시스템의 가상시제품을 개발하였고 가상공학 기법을 도입하여 성능평가를 위한 가상실험을 수행하였다. 또한 가상실험 결과에서 얻은 데이터를 이용하여 주요 부품의 유한요소 해석을 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째 리튬전지 전용 고속 자동 블리스터 포장기의 가상시제품을 개발하고 가상실험을 통하여 각 요소별 동역학적 특성을 파악하였다. 이 결과들은 요소 설계 및 유한요소 해석을 위한 데이터로 사용되었다.

둘째 블리스터 포장기의 주요공정에 대한 안정성 평가 및 최적모델의 사양을 결정하기 위해 Working Model 4D를 이용하여 응력해석을 Cosmos/Designstar와 Cosmos/M을 이용하여 진동해석을 수행하였다. 해석 결과, 포밍지그의 경우 항복강도  $4.48E+8$  Pa에 대하여 최대응력은  $1.43E+5$  Pa로 나타나 피로나 파괴로부터 안정한 것으로 판단되었으며, 진동원의 0.333 Hz에 대해 1차 모드가 20236 Hz로 공진에 대해 안정한 것으로 나타났다. 블랭킹 지그의 경우 항복강도가  $4.48E+8$  Pa에 대하여 최대응력은  $2015E+3$  Pa로 나타나 안정한 것으로 판단되며, 제 1차 모드가 18952 Hz로 나타났다. 팔레트의 경우 항복강도  $4.48E+8$  Pa에 대하여 최대응력이  $2.15E+3$  Pa로 안정하며, 제 1차 모드가 20725 Hz로 나타나 외부 진동의 영향을 받지 않음을 알 수

있었다.

본 연구에서 수행된 가상공학 기법은 시스템 설계 이전에 시스템의 안정성 평가, 성능테스트를 통한 시스템 모델 사양을 최적화시킴으로써 경제적 시간적인 효율을 극대화시킬 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- (1) L. Lindkvist, "ADAMS/View Powertrain Model", 11th European ADAMS USER Conf., 1996, pp 149-161
- (2) A. Marsh, et al "Simulation of the Twist Beam Rear Suspension System Using Flexible Bodies in ADAMS", 11th European ADAMS USER Conf., 1996, pp 119-133
- (3) A. Gugliotta, A. Soma "Comparison of ADAMSTM Rail Results with European Benchmark Data", 11th European ADAMS USER Conf., 1996, pp 237-251
- (4) MSC Inst. of Tech. "Introduction of MSC/PATRAN PAT301" Release 7.5, 1997
- (5) A. S. Eliot, M. H. Richardson, "Virtual Experimental Modal Analysis", ADAMS User Conf., 1998, pp 98-108
- (6) S. Faik, "Modeling of Impact Dynamics : A Literature Survey", 2000 International ADAMS User Conf., 2000, pp 1-11
- (7) (주)아태엔지니어링, "건전지 자동화 세퍼레이터 와인딩 및 삽입시스템 개발" 기술혁신 보고서, 중소기업청, 2001
- (8) S. Grassi, "The simulation of A Labelling Block : The Pallet Cam Synthesis", Int. ADAMS User Conf., 2001, pp 1-6