

## 적합한 Epoxy 선정을 위한 EMC 모듈의 유한요소해석

이준성<sup>1\*</sup>, 홍희록<sup>2</sup>, 조계현<sup>2</sup>, 박동근<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>경기대학교 기계시스템공학과, <sup>2</sup>경기대학교 대학원 기계공학과

### Finite Element Analysis of an EMC Module for Selecting Epoxy

Joon-Seong Lee<sup>1\*</sup>, Hee-Rok, Hong<sup>2</sup>, Gye-Hyeon Jo<sup>2</sup>, Dong-Keun Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mechanical System Engineering, Kyonggi University

<sup>2</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Kyonggi University

**요약** 스마트폰 배터리 사용시간이 짧아지는 문제의 해결방안으로 PMP(Protection Module Package)를 제안한다. PMP란 보호회로가 하나의 반도체로 구성하는 것을 의미한다. 이번 연구에서는 유한요소 해석을 통하여 EMC 모듈의 적합한 Epoxy 재질을 선정하기 위한 기반연구를 수행하였다. 먼저 굽힘강도 해석을 통하여 외부 힘에 대한 응력을 비교하였다. 다음 열해석에서, 계산한 발열량을 사용하여 EMC 모듈의 내부 부품의 온도 변화를 비교한다. 마지막으로, 충전률은 EMC 모듈 내의 용융된 에폭시를 주입하여 비교하였다.

**Abstract** The use of the PMP (Protection Module Package) was proposed as a solution for the shorter battery lifetime. The PMP means that a protection circuit consists of a semiconductor single. In this study, basic research was carried out to select a suitable epoxy material of the EMC module through finite element analysis. First, the stress on the external force was compared by the flexural strength analysis. In the following thermal analysis, the temperature change of the EMC module and the internal part was compared using the calculated heating value. Finally, the filling ratio was compared with the injection of the melting epoxy in the EMC module.

**Key Words** : EMC Module, Flexural Strength, Filling Ratio, Finite Element Analysis

### 1. 서론

스마트폰 기기는 사람들의 편의성을 위해 소형화 되는 반면 기능은 증가하는 추세에 있어 용량 및 출력 밀도 또한 증가되고 있는 추세이다. 그래서 배터리 사용시간이 짧아지는 문제가 계속 발생하고 있다[1]. 그에 따라 내부 저항을 증가시키는 요인인 반도체와 PCB 기판 사이의 납땜 저항, 인쇄회로기판 패턴을 통해 발생하는 패턴 저항 등을 최소화하려고 한다. 그 방법으로 보호회로 전체를 하나의 반도체 형태로 구성하는 PMP(Protection Module Package)를 제안한다[2]. 기존 패키지에서는 구리 재질의 리드프레임을 사용하였지만 구리의 경우 배터

리 팩 제조 공정에서 PTC와 연결이 불가하다는 단점이 있어 새로운 재질을 사용하게 되었다. 또한, 일반 PCB의 경우 니켈도금 후 금도금을 진행하게 되는데, PMP의 경우엔 기본이 되는 리드프레임이 니켈의 재질로 되어 있어 니켈 도금을 생략할 수 있다는 장점이 있다. 특히 PMP는 PCM 대비하여 IR을 대폭 감소할 수 있으며 PCB에서 발생하는 패턴에 의한 저항을 감소시킬 수 있다. 따라서 이번 연구에서는 PMP를 만들기 앞서 EMC 모듈의 Epoxy 재질을 선정하는 기반연구를 수행하고, 지속적으로 중량절감[3] 및 수명예측[4]관련 연구를 수행하고자 한다.

생산업체에서 선정된 Epoxy A, B, C 재질들에 대해 3

본 연구는 2013년도 소재부품기술개발(투자자연계형)사업(과제번호:10046552)지원에 의하여 수행되었음.

\*Corresponding Author : Joon-Seong Lee(Kyonggi Univ.)

Tel: +82-31-249-9813 email: jslee1@kyonggi.ac.kr

Received September 25, 2014

Revised (1st October 17, 2014, 2nd October 29, 2014)

Accepted November 6, 2014

가지 해석을 통해 비교하여 평가하고자 한다.

먼저 굽힘강도 해석을 통하여 외부에서 가해지는 힘에 대하여 허용하중을 비교한다. 두 번째는 열해석을 통하여 전류 인가시 발열량을 계산하여 외부온도 변화에 EMC 모듈의 변화를 관찰하여 비교한다. 마지막으로 mold flow의 유동해석을 통하여 충진율을 비교한다. 3가지 해석의 결과를 비교하여 적합한 재질을 선정하고자 한다.

## 2. EMC 모듈

본 연구에서 적용한 EMC 모듈 구조는 Fig. 1과 같다. 모듈 안에는 MOSFET, P-IC, 와이어로 구성되어 있다.



[Fig. 1] Structure of EMC module

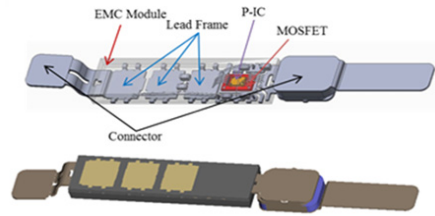
또한, EMC 모듈의 치수는 가로, 세로, 높이 각각 12mm, 3mm, 1mm로 구성되어 있다. 이차전지를 사용하는 이동기기 제품에 안전성을 높이기 위해서 보호회로를 사용하고 있다. 보호회로를 사용하지 않고 노출 시켰을 때 전기적, 물리적, 응력에 대한 피해가 커진다. 그래서 보호회로의 역할이 중요하다. 이 보호회로를 기존의 PCM(Protection Circuit Module)에서 부품들을 따로 결합시켰던 것과는 다르다. 본 연구에서 제안한 PMP(Protection Module Package) 부분은 FET + P-IC + Component 부분을 한 덩이로 만들었다. 이렇게 함으로써 보호회로의 내부임피던스를 저감하고, 체적을 줄여 용량을 극대화하고, 반도체 형태의 외관을 가져 외부 영향에 강인하게 만들고자 한다.

## 3. EMC 모듈의 강도해석

### 3.1 구조해석 모델링 및 재료물성치

Fig. 2는 EMC 모듈을 모델링한 것으로 해석 시, 모듈의 구조를 단순화시켜 구리선과 은선을 제외하고 해석을 진행하였다. 굽힘강도를 평가할 때 EMC모듈에 가해지는

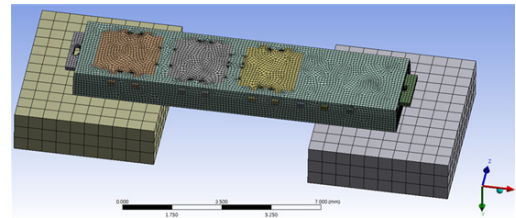
응력을 잘 보기 위해서 지지대 부분을 만들어 EMC 모듈에 결합하였다.



[Fig. 2] Assembly configuration of model

해석을 위한 요소구성은 Fig. 3과 같이 육면체 요소를 사용하였으며, 지지대 부분은 해석에 영향을 미치지 않으므로 사이즈를 크게 하여 시간을 단축하였다. 요소의 절점(nodes)과 요소(elements)의 수는 각각 286,509개와 83,010개로 구성되어 있다.

Table 1은 Epoxy A, B, C와 리드 프레임에 대한 구조해석용 물성치이다. 탄성계수와 굽힘 계수의 차이가 크지 않아서 굽힘 계수를 사용하였다.



[Fig. 3] Finite element model for flexural strength analysis

[Table 1] Epoxy molding and lead frame property

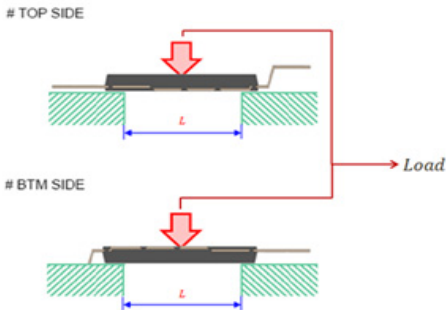
Type	Density [g/cc]	Flexural of Modulus [MPa]	Poisson' Ratio
Epoxy A	2.01	3110	0.30
Epoxy B	1.98	2124	0.28
Epoxy C	1.92	1680	0.29
Lead Frame	8.88	207000	0.31

Table 1은 Epoxy A, B, C와 리드 프레임에 대한 구조해석용 물성치이다. 탄성계수와 굽힘 계수의 차이가 크지 않아서 굽힘 계수를 사용하였다.

### 3.2 강도해석의 경계조건

지지대와 EMC모듈의 접촉되는 부분은 Frictional로 접촉 정의를 주고 마찰계수를 0.3으로 주었다. 지지대의

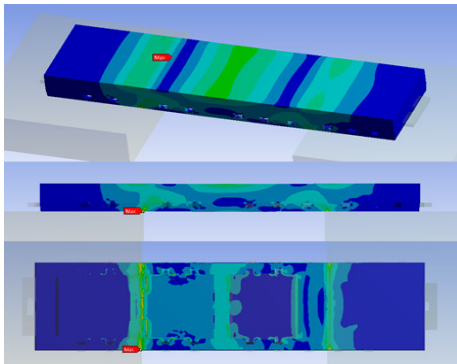
재질은 steel로 가정을 하였다. 또한 지지대의 바닥부분을 고정을 시키고 하중은 EMC 모듈의 가운데 부분으로 가하였다.



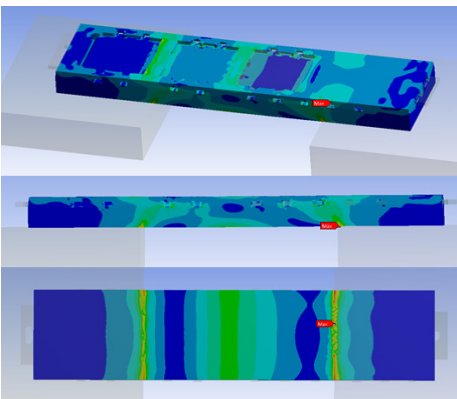
[Fig. 4] Boundary condition of flexural strength analysis

### 3.3 강도해석 결과

EMC 모듈의 윗부분(top side)와 아랫부분(bottom side)에 대한 각각의 상당응력의 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 또한, 지지하는 간격별 허용하중값에 대한 결과를 각각 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다.



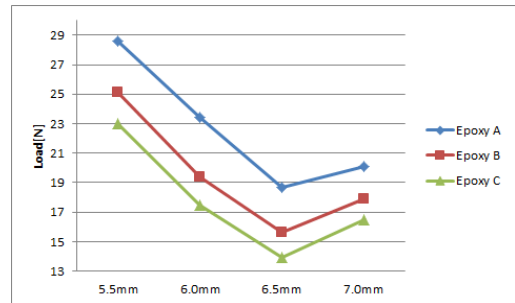
[Fig. 5] Equivalent stress of top side



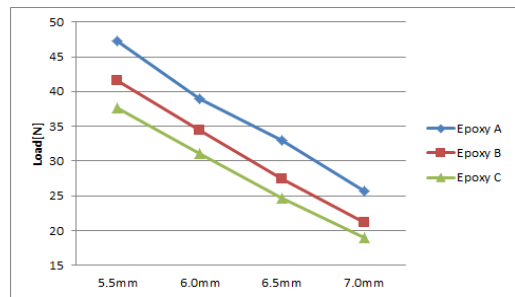
[Fig. 6] Equivalent stress of bottom side

굽힘강도 해석은 각 Epoxy 재질이 굽힘강도를 넘지 않는 범위에서 최대허용하중을 비교했다.

Top side와 Bottom side에서 Epoxy A가 제일 높게 나왔다. 그 다음으로 Epoxy B, Epoxy C 순이었다. 그래프에서 보듯이 Top side 보다는 Bottom side에서 버틸 수 있는 하중의 큰 것으로 나왔다. 그리고 Top side에서 6.5mm보다 7.0mm에서 하중이 크게 나왔다.



[Fig. 7] Allowable load of top side at EMC module



[Fig. 8] Allowable load of bottom side at EMC module

## 4. EMC 모듈의 열해석

전류 인가시 발열량을 직접 계산하여 리드 프레임에 열을 가했다. 해석 방식은 Steady-state thermal로 진행하였으며 해석할 모델을 단순화 시켜 EMC 모듈과 리드 프레임만 가지고 해석을 수행하였다. 해석과정에서 전류가 흐르면 리드 프레임의 저항에 의해 전압강하가 일어나고 전기에너지의 손실이 발생되는데 손실된 전기에너지는 열로 변환되며 이것을 Joule 발열량 또는  $I^2R$  발열량이라고 부르며 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = I^2 R = Q \quad (1)$$

여기서 P는 전력(W), I는 전류(A), R은 저항(Ω)이다. 또한 리드 프레임의 저항은 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

여기서 ρ는 리드 프레임의 고유저항(mm Ω), L은 길이(mm), A는 면적(mm<sup>2</sup>)이다.

#### 4.1 열해석 조건

전류가 들어가는 lead frame에 전류 3A, 4A, 5A, 6A에 해당하는 발열량을 계산하여 직접 열로 가하였다. Convection을 자연대류 조건으로 5 W/m<sup>2</sup>을 EMC 모듈 외부 면에 주고, EMC 모듈과 내부 부품의 온도변화를 관찰한다. 이때의 주변온도를 -40℃, -20℃, 0℃, 25℃, 40℃, 60℃로 온도를 변경하였다.

리드 프레임의 고유저항은 7.811x10<sup>-5</sup> mmΩ, 길이는 2mm이고, 면적은 4.25 mm<sup>2</sup>이므로 리드 프레임의 저항은 3.6758x10<sup>-5</sup> 옴이며 식 (1)을 통해 Joule 발열량 1.47x10<sup>-4</sup> W가 발생한다. 따라서, 리드 프레임의 단위 체적당 발생하는 열량 Q'는 식 (3)에 의해 계산할 수 있다.

$$Q' = \frac{Q}{V} \quad (3)$$

여기서 Q는 Joule 발열량이고, V는 리드 프레임의 체적이다.

Table 2는 전류 인가 시 리드 프레임에 발생하는 발열량을 계산한 값이다.

[Table 2] Heat value per unit area generated in the lead frame

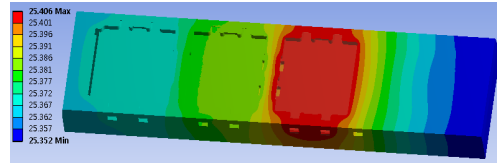
I[A]	Q' [W/mm <sup>3</sup> ]
3	4.32 × 10 <sup>-4</sup>
4	7.683 × 10 <sup>-4</sup>
5	1.2 × 10 <sup>-3</sup>
6	1.729 × 10 <sup>-3</sup>

#### 4.2 열해석 결과

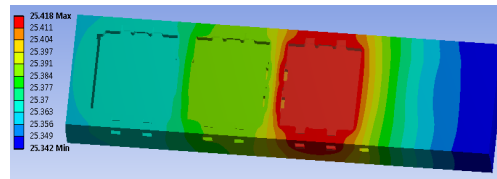
EMC 모듈의 재질에 따른 결과는 Fig. 9 ~ Fig. 11과 같다.

유한요소해석을 통해 재료에 따른 온도 차이가 크게 0.017℃ 밖에 차이가 나지 않아 3개의 재료에 따른 차이를 찾아볼 수 없었다. 혹시나 해서 D type(density: 1.9

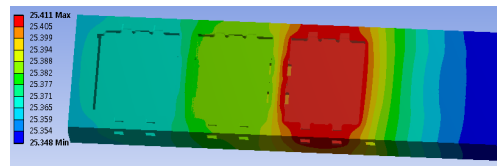
g/cc강성: 1,421 MPa)에 대한 해석을 해 보았으나 마찬가지로 온도차이는 찾아볼 수 없었다.



[Fig. 9] Temperature distribution of type A



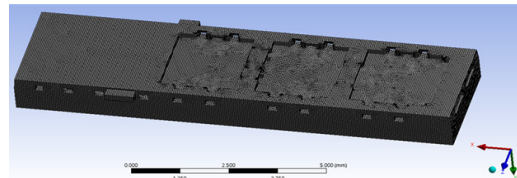
[Fig. 10] Temperature distribution of type B



[Fig. 11] Temperature distribution of type C

### 5. EMC 모듈의 충진율 해석

용융된 Epoxy를 주입하였을 때 충진율을 분석하기 위해서 Epoxy 모델링 부분만 떼어서 해석하였다. Fig. 12는 충진율 해석을 위한 유한요소모델로서 모델링의 절점과 요소 수는 각각 326,214개와 329,849개로 구성하였다.

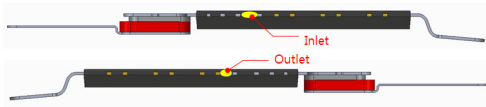


[Fig. 12] Mesh model for filling rate analysis

#### 5.1 재료물성치 및 경계조건

Mold flow의 성형성을 보기 위하여 용융된 Epoxy가 금형내로 유입될 때 일정 시간 뒤의 EMC 모듈의 충진율을 해석하고자 하였다. Fig. 13은 inlet과 outlet부의 위치를 각각 나타낸 것이며 각각의 에폭시 타입에 대한 점성

은 Table 3에 나타내었다.



[Fig. 13] Location of inlet and outlet

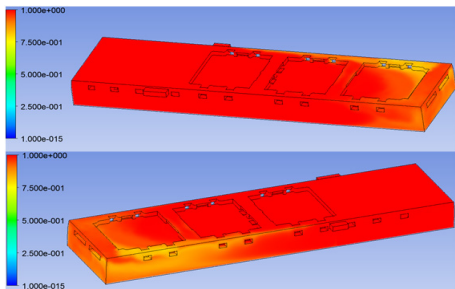
사출성형에서 용융된 Epoxy의 온도는 175℃이다. 사출시간을 10초로 주었을 때 inlet에 가해지는 압력은 50[kg/cm<sup>2</sup>]을 주었고, outlet 부분은 1기압을 설정하였다.

[Table 3] Lowest viscosity of Epoxy

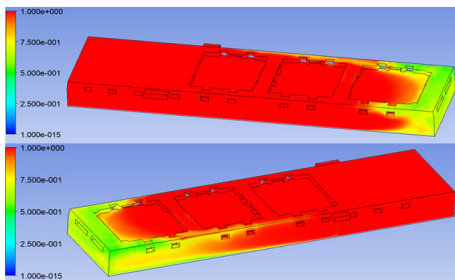
	Epoxy A	Epoxy B	Epoxy C
Viscosity	4.7	2.1	8.8

### 5.2 충진을 해석 결과

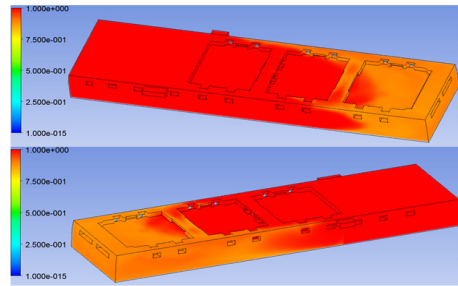
EMC 모듈의 재질에 따른 해석 결과를 Fig. 14 ~ Fig. 16에 나타내었다. 또한, 수치로 비교해 보기 위해 Table 4에 재질별로 결과를 비교해 표시하였다. 그림에서 보여 주고 있는 수치는 몰드성형재료의 충진율을 나타낸 것이다. 해석 결과 그림에서와 같이 0에서 1까지의 범위에 1에 가까울수록 딱 차이는 상태를 보여준다. Volume Fraction 즉, 충진율을 확인해본 결과 Epoxy A가 제일 높았고, 그 다음 C재료, B재료 순이었다.



[Fig. 14] Filling ratio of epoxy A



[Fig. 15] Filling ratio of epoxy B



[Fig. 16] Filling ratio of epoxy C

[Table 4] Comparison of the filling ratio

	Epoxy A	Epoxy B	Epoxy C
Filling ratio[%]	98.8	97.29	97.52

### 6. 결론

본 연구에서는 반도체 외부 영향을 최소화 하기 위한 보호회로 전체를 하나의 반도체 형태로 구성하는 PMP를 개발하기에 앞서 EMC 모듈의 적합한 에폭시 재료를 선정하기 위한 해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 굽힘강도 해석에서는 Epoxy의 허용응력의 크기는 A > B > C 순이었다. Top side 보다는 Bottom side에서 더 많은 힘을 버티는 것을 볼 수 있었다. 지지대 사이의 거리가 멀어질수록 대체적으로 버티는 힘이 약하였다.
- 2) 열해석에서는 Epoxy 재질 별 온도차이가 거의 없었다. EMC 모듈과 내부 부품의 온도 변화도 거의 없었고, 주변 온도의 영향을 많이 받았다.
- 3) 유동해석에서는 충진율이 높은 Epoxy는 A > C > B 순이었다. Epoxy의 점성이 낮을 때보다는 높을 때 좀 더 충진율이 높게 나왔다.

이상과 같은 기반연구를 통해 3종류의 해석 결과 Epoxy A, B, C 중에서 A가 가장 적합한 것으로 판단된다.

### References

- [1] G. H. Jo, J. S. Lee, H. R. Hong, D. K. Park, "Strength Evaluation According to The Type of Material EMC Modules Through a Finite Element Analysis",

Proceedings of KSPE 2014 Spring Conference, KSPE, pp. 721-722, 2014.

- [2] H. R. Hong, J. S. Lee, G. H. Jo, D. K. Park, "Analysis on Temperature Change according to Current Injection of EMC Module", Proceedings of KSPE 2014 Spring Conference, KSPE, pp. 161-162, 2014
- [3] Kim, J. S., "Study on Preform Design for Reducing Weight of PET Packaging Bottle", J. of the KAIS, Vol. 11, No. 1, pp. 1-6, 2010.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.1.001>
- [4] J. B. Park, B. G. Kim, S. H. Song and D. S. Rho, "Development of State of Charge and Life Cycle Evaluation Algorithm for Secondary Battery", J. of the KAIS, Vol. 14, No. 1, pp. 369-377, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.1.369>

**이 준 성(Joon-Seong Lee)**

[정회원]



- 1988년 2월 : 성균관대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 9월 : 동경대학교 (공학박사)
- 1988년 7월 ~ 1991년 7월 : 육군사관학교 교수부 기계공학과 교수
- 1996년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 기계시스템공학과 교수

<관심분야>

최적설계, 구조물 안전성 평가, Neural Network

**홍 희 록(Hee-Rock Hong)**

[준회원]



- 2013년 2월 : 경기대학교 기계시스템공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 대학원 기계공학과 석사과정

<관심분야>

구조물해석, 피로/파괴, CAD

**조 계 현(Gye-Hyeon Jo)**

[준회원]



- 2014년 2월 : 경기대학교 기계시스템공학과 졸업 (공학사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 대학원 기계공학과 (석사과정)

<관심분야>

유한요소해석, 구조물 안전성 평가

**박 동 근(Dong-Keun Park)**

[정회원]



- 2005년 2월 : 경기대학교 기계시스템공학과 (공학사)
- 2009년 2월 : 경기대학교 건설·산업대학원 (공학석사)
- 2014년 2월 : 경기대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)

<관심분야>

CNC터닝센터, 공작기계, 생산자동화, CAD