

## Stick Type Ignition Coil Jacket PBT의 접촉응력해석

김 양 술<sup>\*1)</sup> · 김 남 수<sup>2)</sup> · 이 종 석<sup>2)</sup>

홍익대학교 기계정보공학과<sup>1)</sup> · 홍익대학교 대학원 기계정보공학과<sup>2)</sup>

## Contact Stress Analysis of Stick Type Ignition Coil Jacket PBT

Yangsul Kim <sup>\*1)</sup> · Namsu Kim<sup>2)</sup> · Jongseok Lee<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechano-Informatics & Design Engineering, Hongik University, Chungnam 339-701, Korea

<sup>2)</sup>Graduate School of Mechano-Informatics & Design Engineering, Hongik University, Chungnam 339-701, Korea

(Received 25 August 2004 / Accepted 9 November 2004)

**Abstract** : Stick type ignition coil(called a Cigar coil) is a kind of transformer for an automobile modulaized of distributor and electric cable. A material of Cigar coil is PBT GF30% resin. This is an excellent engineering plastic with both mechanical and electrical properties. When we insert an HV terminal into the PBT GF30% resin jacket, it breaks the jacket, because the HV terminal is bigger than the jacket. It is a fatal on durability of a part. In this study, We used ANSYS FEM tool in order to stress analysis by contact. In order to automatically estimate possible maximum diameter of an HV terminal, we used an APDL. In the contact part, we considered the relation of the HV terminal's diameter with the amount of stress that occurred. This relation is able to be applied, in part, to the dimensions of the part design.

**Key words** : Stick type ignition coil(막대형 점화코일), Transformer(변압기), PBT GF30%(유리섬유강화(30%) 폴리부틸렌테레프탈레이트), Resin(수지), HV terminal(고전압 단자)

### Nomenclature

PBT : polybutylene terephalate  
PET : polythylene terephalate  
HV Terminal : high voltage terminal

### Subscripts

E : moduls of elasticity(GPa)  
ν : poisson's ratio  
μ : coefficient of friction

### 1. 서론

최근 생산되는 차량들은 에너지 효율을 높이기 위한 성능개선이 지속되어 왔다. 엔진의 성능개선과 병행하여 개발되는 것이 전기계통 부품들이다. 기존 차량의 전기계통 부품에는 점화 코일, 디스트리뷰터, 점화플러그와 케이블로 구성되어 있어 분배기에서 실린더 헤드에 장착되어 있는 점화 플러그에 전류를 공급하고 있다.

위의 단점을 개선하기 위하여 개발된 것이 Stick type ignition coil(Cigar coil이라고도 함)이다. Stick type ignition coil은 기존의 점화플러그와는 달리 디스트리뷰터, 스파크 플러그 케이블이 필요 없고 ECU와 직접 연결되는 제품이다.

Stick type ignition coil은 ECU로부터 직접 전류를

\*To whom correspondence should be addressed.  
yskim\_119@hotmail.com

입력받아 모듈화되어 있는 점화코일내의 1·2차 코일에 의해 10,000V 이상의 고전압의 전류를 생성하여 점화플러그에 공급한다. Stick type ignition coil은 모듈화 되어 있어 전기에너지의 손실이 없어 연소효율이 높고 엔진의 소형 경량화를 꾀할 수 있는 제품이다.

점화코일에서 10,000V 이상의 고전압이 발생하고 고온의 엔진으로부터 열을 받기 때문에 점화코일 자켓의 재질은 우수한 전기 절연성과 내열성을 구비한 수지가 사용되어야 한다. 이러한 조건에 적합한 수지로는 범용엔지니어링 플라스틱의 일종인 열가소성 수지의 PBT(Poly buthylene Telephthalate) GF30% 수지가 있다. PBT GF30% 수지는 기계적 성질과 전기 절연성이 우수하고, PBT수지의 강화 GRADE는 강도, 강성이 높다. 탄성률은 각종 엔지니어링 플라스틱 중에 상당히 양호한 값을 갖고 있으며 내열성도 우수하여 하중 휨 온도가 높고, 고온 고 하중에서도 우수한 내크리프성을 나타낸다. 전기절연성은 열가소성 플라스틱 중 가장 높은 값을 나타낸다. 일반적인 PBT 수지는 마찰계수가 작아 낮은 온도에서 성형이 용이한 특성을 갖고 있다.

실제 점화코일의 조립시 점화코일의 자켓 홀에 HV 단자를 압입하는데, 점화코일 자켓 홀의 벽면과 과도한 접촉면압이 발생하게 되면 접촉면압의 크기에 비례하여 접촉응력이 발생한다.

이때 발생한 접촉응력이 PBT의 인장강도보다 크게 발생하게 되면 크랙이 발생할 가능성이 있다. 1·2차 코일을 거쳐 발생한 고전압의 전류는 자켓에 발생한 크랙을 통해 누설전류가 발생할 수 있고, 점화성능을 저하시키고 심각한 경우 엔진을 정지시킬 수 있는 문제점이 있다.

본 연구에서는 ANSYS와 APDL 프로그램 언어를 사용하여 압입시 자켓 홀과 HV 단자 사이 벽면에 발생하는 접촉응력과 자켓의 HV 단자의 최대허용 직경을 계산하고, 점화코일 자켓의 구조적 안전성을 검토하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 시편의 압입 시점과 SEM사진

본 연구를 수행하기 위하여 다음과 같이 시편을

제작하였다. 자켓의 내경은 6.85mm이고, HV 단자의 직경은 6.95mm이다. 점화코일 자켓에 HV 단자를 압입시, 상온에서 압입이 이루어진다.

시편은 상온에서 HV 단자를 점화코일 자켓의 홀에 접촉한 상태에서 3.3mm만큼 이동시켜 압입을 하였다. 압입 후 충분한 시간이 흐른 뒤 HV 단자를 제거하여 SEM 촬영(Fig. 1~Fig. 5)을 하였다. SEM 촬영을 위해 시편의 표면에 금속(Au)으로 증착시킨 후 촬영하였다. HV 단자를 제거한 후 SEM 촬영결과 압입으로 인해 크랙이 발생한 것을 알 수 있었다. 크랙은 대부분 축직각방향으로 발생하였고(Fig. 1~Fig. 2), Fig. 3~Fig. 5에서 유리섬유의 배열방향이 크랙의 발생과 성장방향에 밀접한 관련이 있는 것으

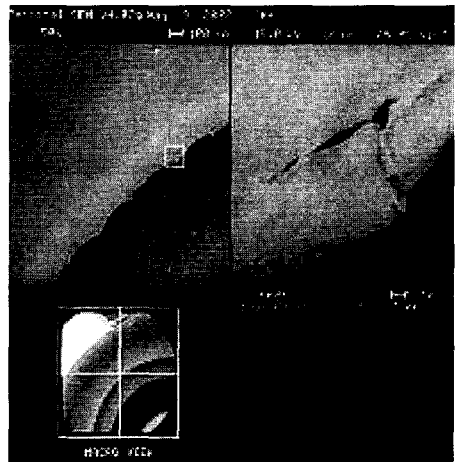


Fig. 1 SEM photograph of crack(600X)

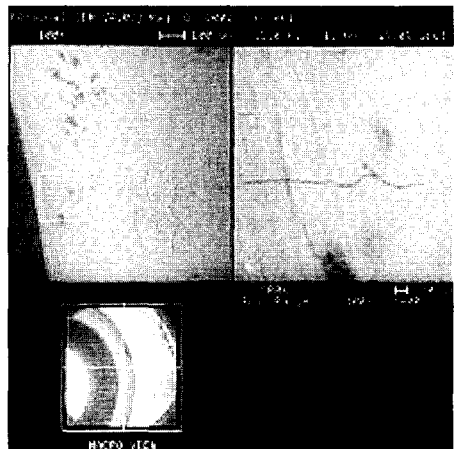


Fig. 2 SEM photograph of crack(500X)

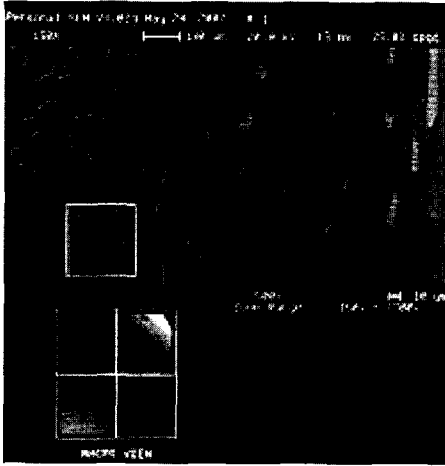


Fig. 3 SEM photograph of crack(500X)

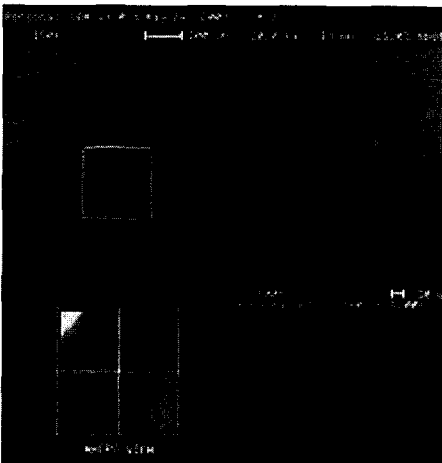


Fig. 4 SEM photograph of crack(500X)

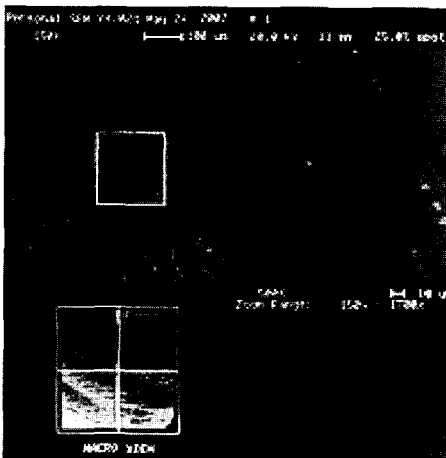


Fig. 5 SEM photograph of crack(500X)

로 판단된다.

크랙의 발생 방향에 영향을 주는 것으로 판단되는 유리섬유의 배열은 사출조건에 의해서 영향을 받게 되므로, 본 연구에서는 PBT와 유리섬유 사이는 기포가 없는 것으로 가정하고 해석을 수행하였다.

## 2.2 시편의 압입 시점과 SEM사진

Stick type ignition coil과 HV 단자는 Fig. 6에서와 같이 단면 형상이 축대칭 회전체 형상이므로 2차원 모델(Fig. 7)로 단순화하여 모델링 하였다.

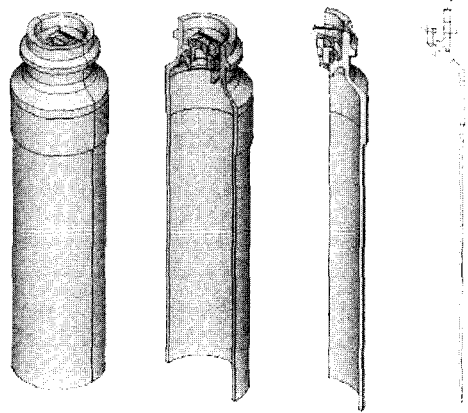


Fig. 6 Geometry shapes of HV terminal and stick type ignition coil

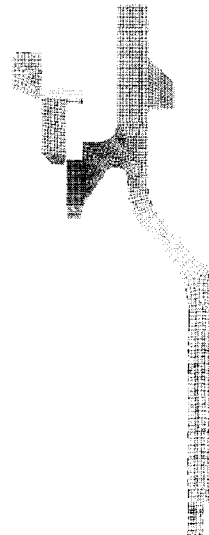


Fig. 7 FEM modeling of HV terminal and PBT jacket

ANSYS로 해석을 수행하기 위해 점화코일 자켓과 HV 단자를 위한 요소로는 PLANE 182로 하였고, 두 부품간의 접촉 요소로는 CONTACT 172와 TARGET 169를 사용하였다.

PBT 자켓과 HV 단자의 물성값은 Table 1과 같다.

Table 1 Material properties of ignition coil jacket and HV terminal

	PBT GF30%	HV terminal
Young's modulus E(GPa)	10.5	97
Poisson's ratio $\nu$	0.38	0.32
Coefficient of friction $\mu$	0.27	0.25

경계 조건으로는 접촉시의 참조온도가 23℃로 하였고, 점화코일 자켓은 고정되어 있는 것으로하여 밑 부분을 ux, uy 모두 0으로 구속을 하였다. HV 단자가 이동하여 접촉이 일어나게 하기 위하여 HV 단자를 -uy 방향으로 3.3mm 이동시켜 강제 접촉이 이루어지도록 하였다.

### 2.3 해석 방법

접촉 비선형 문제를 풀기위해 ANSYS를 사용하였다. ANSYS에서 유한요소모델과 경계조건을 생성할 수 있도록 입력 파일을 작성하였다. 입력 파일에서 APDL 명령을 이용해 초기 HV 단자의 직경을 6.95mm부터 6.85mm까지 0.01mm간격으로 직경을 감소시키도록 프로그래밍 하였다.

이때 해석 수행 완료 후 최대 상당응력을 추출하여 변수로 저장하고, 이 변수에 저장된 값을 PBT GF30%수지가 갖고 있는 최대인장강도 값과 비교하여 작은 경우 변수에 저장된 값이 최대인장강도 값의 범위 이내라면 같거나 커질 때까지 자동으로 치수를 변경하면서 반복적으로 해석을 수행하게 하였다.

### 2.4 해석 결과 및 분석

접촉해석을 수행한 결과 Fig. 9, Fig. 11, Fig. 13, Fig. 15에서와 같이 압입이 초기에 HV 단자의 경사면을 따라 PBT 자켓의 내경이 확장되면서 접촉응력

이 최대가 됨을 알 수 있다. 최대응력이 발생한 이후 압입이 진행되면서 응력 값들은 작아지고 일정한 값을 나타내는 경향이 있다.

아래 그림에서 나타나는 최대응력발생 부분이 SEM 사진에서 크랙이 관측되었던 부분과 잘 일치하고있다.

압입시 신뢰할 수 있는 HV 단자의 외경을 계산하기 위하여 APDL을 이용하였다. FEM 모델의 치수를 변경하여 반복계산을 수행한 결과 점화코일 자켓과 HV 단자의 직경은 Fig. 8과 같은 관계가 있음을 알 수 있다. 검토한 결과 Fig. 8에 나타나는 바와 같이 PBT GF30%수지의 최대인장강도는 145MPa인데 반해 직경이 6.9mm보다 커지면서 접촉면에 발생하는 최대접촉응력이 145MPa보다 급격하게 커지는 것을 알 수 있다.

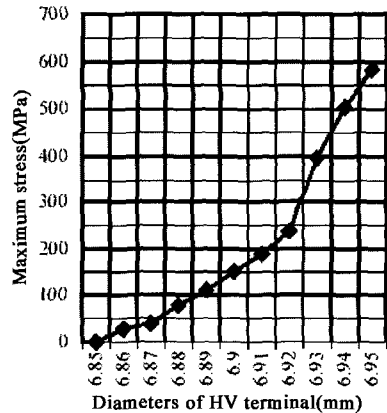


Fig. 8 Relation with HV terminal diameters and Max. stress



Fig. 9 Maximum von-mises stress at force fitting(Diameter of HV terminal = 6.95mm)



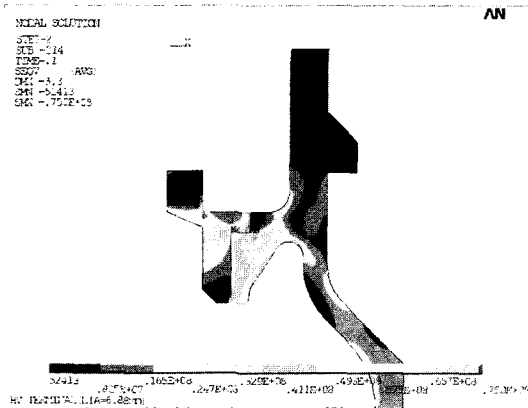


Fig. 16 Maximum von-mises stress at force fitting(Diameter of HV terminal = 6.88mm)

Fig. 9와 Fig. 10은 HV 단자의 외경이 6.95mm이고 HV 단자를  $u_y$  방향으로 -3.3mm 이동시켰을 때 최대 접촉응력의 발생과 압입 종료 시의 상당응력을 나타낸 그림이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 HV 단자 접촉부의 외경을 6.95mm ~6.85mm까지 0.01mm 간격으로 변경시켜 접촉응력 해석을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) ANSYS를 이용하여 접촉응력 해석을 수행한 결과 PBT 자켓의 입구부분에서 최대 접촉면압과 접촉응력이 발생하는 것을 알 수 있었다.
- 2) HV 단자의 직경이 6.89mm보다 크게 되면 PBT가 갖고 있는 최대전단응력 값인 145MPa보다 더 큰 접촉응력이 발생하여 접촉부위에 크랙이 발생할 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서 수행한 해석은 접촉에 의해 발생한 접촉응력에만 한정되었다. 실제 제품은 실린더 헤

드에 장착되기 때문에 엔진으로부터 발생한 열을 직 · 간접적으로 받게 된다. 이때 점화 코일 자켓과 HV 단자는 각각 열에 대한 물성이 다르기 때문에 엔진으로부터 발생한 열에 의한 열응력을 고려하기 위해 열-구조 연성해석이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

### 후 기

이 논문은 2003년 홍익대학교 학술연구 조성비에 의해서 연구되었음.

### References

- 1) S. B. Im, "Sensitivity Analysis and Optimal Design for Frictional Contact Problems," KAIST, pp.7-21, 1992.
- 2) K. N. Lee, Plastic Handbook, pp.407-417, BAWOO AGENCY, 1997.
- 3) TAESUNG S&A Inc. FAE., Selected Problem for ANSYS Users, TAESUNG S&A Inc., pp.245-251, 2002.
- 4) W. C. Park, S. C. Huh, J. W. Jung, H. W. Lee and M. W. Boo, "A Study on Fatigue Crack Behavior of Metal Matrix Composites for Automobile Engine," Transactions of KSAE, Vol.11, No.5, pp.140-146, 2003.
- 5) M. S. Han, "Numerical Simulation of Fatigue Growth of Multiple Surface Crack under Fatigue Load," Transactions of KSAE, Vol.10, No.6, pp.133-141, 2002.
- 6) K. T. Lee, D. H. Shin and J. H. Lee, "A Study of Fiber Content Effect on the Fracture Behavior of Glass/Polypropylene Composites," Transactions of KSAE, Vol.9, No.5, pp.173-178, 2001.