

# 전기수술기 블레이드 최적 구조 연구

허준호, 강준규, 장호원, 장진혁, 이은수  
한양대학교 ERICA 전자공학부

## Optimal Blade Structure Design for Electric surgical Instruments

Junho Heo, Jungyu Kang, Howon Jang, Jinheok Jang and Eunsoo Lee  
Hanyang University ERICA, Electrical Engineering

### ABSTRACT

본 논문에서는 전기수술기 블레이드를 통한 인체 조직 절개 시 발생할 수 있는 조직 열 손상 (Thermal damage), 조직 들러붙음(Sticky), 절개 부위에서 발생하는 연기 (Smoke)로 3가지 성능지표를 고려한 블레이드 구조를 제안하였다. 전기수술기 블레이드의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 블레이드 전기장 분포를 3개의 블레이드 모델별로 FEM 시뮬레이션 분석하였고, 이를 실험과 비교하였다. 최종적으로 열 손상, 조직 들러붙음, 연기를 최소화할 수 있는 최적 구조를 도출하였으며, 해당 구조의 열 손상 최소화를 위한 전기장 발생이 균등하게 분포할 수 있는 최적 파라미터를 도출하였다.

### 1. 서 론

전기 수술기는 전 세계적으로 현대 의료 분야에서 널리 사용되는 중요한 수술 도구로, 조직 절개 (Cutting) 및 응고 (Coagulation) 등의 수술 절차에서 쓰이는 블레이드의 역할은 매우 중요하다. 그러나 기존 전기수술기에는 블레이드 사용으로 인해 발생하는 조직 열 손상 (Thermal damage), 조직 들러붙음(Sticky), 절개 부위에서 발생하는 연기 (Smoke)로 3가지 대표적인 단점이 있다. 본 논문에서는 위 3가지 문제를 해결하고자 기존 블레이드 구조와 차별화된 블레이드 구조를 제시하고, 열 손상 또는 절개 용이(Fine-cut)과 관련된 해당 블레이드 구조를 구성하는 인선부 두께 ( $d_a$ ), 아노다이징 두께( $d_b$ ), 테프론 두께( $d_c$ )에 대한 최적 조합을 제시하였다.

### 2. 전기 수술기 블레이드 구조 분석

#### 2.1 블레이드 성능지표 분석

기존 연구 결과에 따르면, 전기 수술기의 블레이드 표면에 Teflon, Glass, Nanostructured coating 등의 절연 물질 코팅하여 사용할 경우 블레이드의 들러붙음을 해결할 수 있다 [1]~[3]. 특히 조직 절개시 블레이드에 조직이 들러붙을 경우 블레이드의 Electric field (=E-Field)로 인해 가열이 되고 결국 조직이 타게 되어 연기가 나게 된다. 즉, 조직의 들러붙음과 연기는 서로 상관관계가 있다고 볼 수 있으며, 이는 블레이드의 표면 형상과 절연물질 코팅 처리를 통해 상당히 개선할 수 있다 [1]~[3]. 결국 블레이드의 코팅 구조와 코팅 물질, 그리고 블레이드의 전도부가 조직에 맞게 되는 인선부 처리가 블레이드 성능에 크게 영향을 미치며, 해당 파라미터들의 최적 두께를 선정하는 것이 중요하다. 블레이드 성능 분석시 중요한 요소는 블레이드에서 생성되는 E-Field이며 이는 절개성능과 블레이드와 닿는 조직의 온도를 결정하는 중요한 요소이다. 본 논문에서는 현재 상용화된 대표적인 3개의 블레이드 구조를 모

델링하고 블레이드에 형성된 electric field 분포를 분석하여 그 결과 특성을 분석하고자 한다.

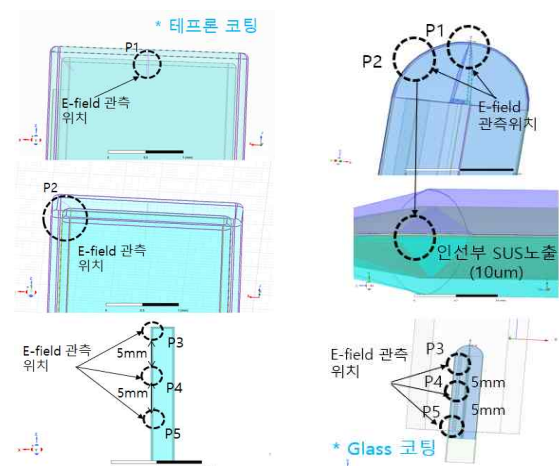


그림 1 Covidien (좌) 및 Photon (우) Blades 모델링 및 E-field 측정위치  
Fig. 1 3D modeling of Covidien (left) and Photon (right) blades for E-field evaluation

기존 전기수술기 제품인 Covidien 블레이드는 그림 1과 같이 E-Field가 인가되는 알루미늄에 단순 Teflon 코팅을 한 구조를 적용하였다. 하지만, 블레이드에 저전압을 인가하여 조직 절개시 열 손상이 적으나 고전압 인가시 Teflon 코팅부가 녹게 되고 결국 전도 인선부가 노출되어 조직 들러붙음 및 연기가 발생하는 단점이 있다. 단순 Teflon 코팅 대비 코팅성능이 우수한 Glass 코팅을 이용한 구조를 적용한 Photon 블레이드 제품을 그림 1와 같이 미국 Stryker사에서 출시한 바 있다. Photon 블레이드는 전체적으로 Glass 코팅이 되어 있으며, 중앙 커팅부분 10um SUS 인선부가 노출되어 있다는 특징이 있다. 그림 1에 제시된 Covidien 블레이드와 Photon 블레이드를 3D 유한요소 기법 (Finite-element-method, FEM)을 통해 모델링하고 이에 대한 E-Field 결과를 그림 2에 나타내었다. Photon 블레이드의 경우, Glass 코팅 중 인선부인 10um에만 전기장이 집중되어 있으며, 해당 전기장을 통해 조직을 절개함을 알 수 있다. 그러나 SUS 인선부로 인해 10um에 조직 일부가 들러붙어 연기가 발생할 수 있다. Covidien의 경우 전체적으로 균등하게 코팅된 Teflon으로 인해 Photon 블레이드 대비 상대적으로 균등한 전기장을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 앞서 언급한 것과 같이 Covidien의 경우 얇은 Teflon 코팅을 적용할 경우 작은 E-Field로 절개할 수 있으나 높은 E-Field 인가시 코팅이 벗겨질 수 있는 단점이 있다.

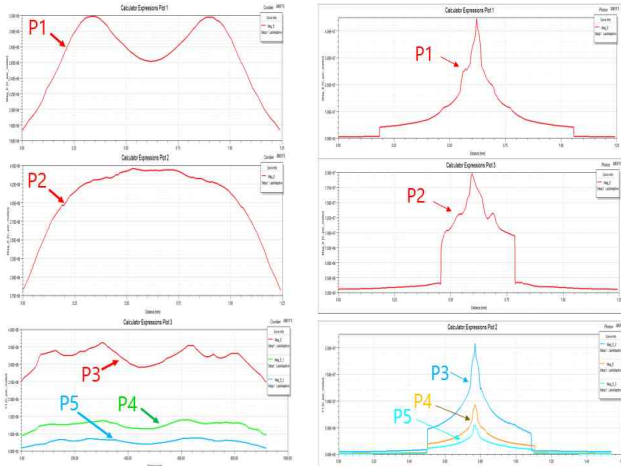


그림 2 Covidien (좌) 및 Photon 블레이드(우)의 전기장 특성 결과  
Fig. 2 E-field Characteristics for Covidien (left) and Photon (right) Blades

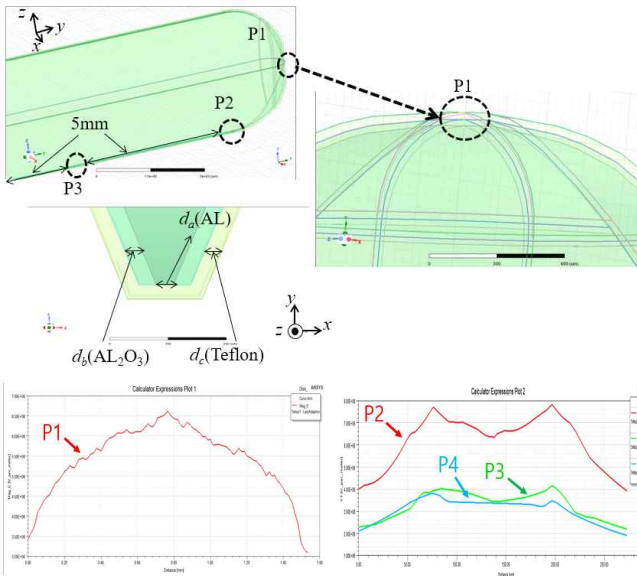


그림 3 Duo blade의 형상(상) 및 각 위치별 전기장 특성(하)  
Fig. 3 The shape of Duo Blade and its electric field evaluation

## 2.2 제안하는 블레이드 구조 및 실험을 통한 검증

상기 언급한 두 개의 블레이드의 단점을 해결하고자, 그림 3과 같이 제안하는 Duo 블레이드의 전도부는 알루미늄으로 선정하되 인선부에 대한 절연을 확보하고자 알루미늄 표면에 산화막을 형성하는 아노다이징 처리를 한 것이 특징이다. 조직 커팅에 맞게 되는 부분을 다시 커팅 후 전체적으로 Teflon 코팅하였으며, 이에 대한 자세한 도면을 그림3과 같이 각각 인선부 두께 ( $d_a$ ), 아노다이징 두께( $d_b$ ), 테프론 두께( $d_c$ )로 표시하였다. 해당 구조를 이용한 FEM 시뮬레이션 결과를 그림3에 나타내었으며, 4개의 E-Field 측정부위별로 상대적으로 균등하게 분포됨을 알 수 있다. 상기 언급한 3개의 전기수술기 블레이드에 대한 등심(Pork) 커팅 결과를 그림 4에 나타내었다. 기존 Covidien과 Photon 블레이드의 경우 10~20W에서 잘 커팅되는 것을 확인할 수 있으나, 더 깊은 조직 커팅을 위해 20W 이상의 전력 인가시 조직이 손상되고 연기가 많이 발생함을 확인할 수 있었다. 반면 그림 3의 블레이드 모델에 기반한 Duo블레이드의 경우 10W 뿐만 아니라 50W에서도 fine-cut이 됨과 동시에 상대적으로 Thermal damage가 더 적은 것을 확인할 수 있다.

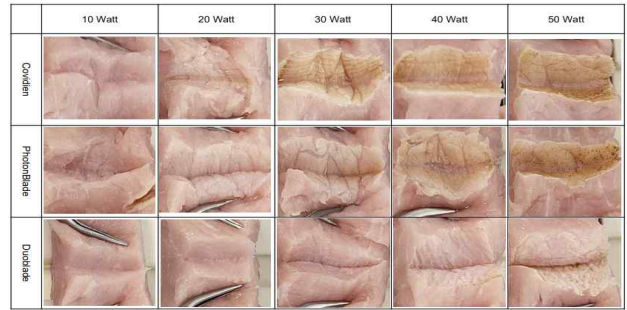


그림 4 Covidien/PhotonBlade/DuoBlade를 사용한 등심 절단의 예  
Fig. 4 Pork cutting results by three different blades

| $d_a$ | $d_b$ | $d_c$ | 편 차  |      |      |      |      |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
|       |       |       | P1   | P2   | P3   | P4   | Avg  |
| 25    | 30    | 40    | 27.1 | 41.1 | 15.0 | 11.5 | 23.7 |
| 30    | 25    | 40    | 25.5 | 39.6 | 17.5 | 13.0 | 23.9 |
| 30    | 30    | 30    | 28.5 | 49.7 | 17.2 | 14.5 | 27.5 |
| 35    | 30    | 30    | 28.1 | 51.7 | 18.1 | 14.2 | 28.0 |
| 40    | 25    | 30    | 29.3 | 52.0 | 21.4 | 15.0 | 29.4 |
| 40    | 30    | 40    | 26.1 | 42.3 | 18.5 | 12.6 | 24.9 |
| 40    | 35    | 20    | 33.1 | 74.5 | 26.4 | 20.1 | 38.5 |
| 40    | 40    | 15    | 37.1 | 96.6 | 51.2 | 21.8 | 51.7 |
| 40    | 40    | 40    | 27.8 | 45.9 | 16.1 | 13.2 | 25.8 |
| 60    | 25    | 40    | 25.7 | 43.4 | 18.4 | 16.3 | 26.0 |

표 1 DuoBlade의  $d_a/d_b/d_c$ 에 따른 전기장 편차 평균 결과  
Table 1 Electric Field deviation w.r.t.  $d_a/d_b/d_c$  for DuoBlade

앞서 설명한 E-Field 전기장 균등 분포를 위해  $d_a/d_b/d_c$ 를 조절하여 각 포인트별 E-Field 편차 결과를 표1에 요약하였다. 각 크기 및 비율별로 포인트별 전기장 편차가 다른 것을 알 수 있으며, 최종적으로  $d_a/d_b/d_c = 30\mu\text{m}/25\mu\text{m}/40\mu\text{m}$ 가 가장 우수한 전기장 편차를 갖는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 전기수술기에 사용되는 세 종류의 블레이드의 3D FEM 모델링을 통한 전기장 특성을 비교하였고 이를 실험을 통해 성능을 확인하였다. 블레이드의 특성을 결정하는 조직 열 손상 (Thermal damage), 조직 들러붙음(Stick), 절개 부위에서 발생하는 연기 (Smoke)를 최소화하기 위해서는 절연 및 인선부 노출에 대한 최적의 블레이드 구조가 필요하며, 각 부위별 최적의 비율이 존재함을 전기장 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다. 추후 머신러닝을 적용한 최적  $d_a/d_b/d_c$ 을 도출할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Liang Zheng et al., "Effect of high-frequency electric field on the tissue sticking of minimally invasive electrosurgical devices," *Royal Society Open Science*, vol. 5, no. 7, pp. 1-12, July 2018.
- [2] Caiying Zhou et al., "Adhesion Behavior of Textured Electrosurgical Electrode in an Electric Cutting Process," *Coatings*, vol. 10, no. 6, pp. 1-13, June 2020.
- [3] Keng-Liang Ou et al., "Biomedical nanostructured coating for minimally invasive surgery devices applications: characterization, cell cytotoxicity evaluation and an animal study in rat," *Surg Endosc* vol. 28, no. 7, pp. 2174-2188, July 2014.