

유한요소해석을 이용한 마이크로 분사 노즐 특성 평가

임동욱¹ · 최두선¹ · 김태민¹ · 박정래¹ · 박규백¹ · 함휘찬² · 김지훈[†]

인하대학교 기계공학과^{1,†}
서울대학교 기계항공공학부²

Evaluation of micro jet nozzle using finite elements method

Dong-Wook Lim¹ · Doo-Sun Choi¹ · Tae-min Kim¹ · Jung-Rae Park¹ · Kyu-Bag Park¹ ·
Hwi Chan-Ham² · Ji-Hun Kim[†]

Department of Mechanical Engineering, Inha University^{1,†}

Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University²

(Received September 19, 2020 / Revised September 24, 2020 / Accepted September 30, 2020)

Abstract: In the drug delivery system industry, the technology with even split injection becomes important for maximizing efficiency and minimizing the side effects. In conventional drug delivery system, infection can occur due to pain and splashing. Also, various applications are impossible due to disposable use, and it is the reason to avoid to use this system because of the complexity of the driving method. Therefore, in this study, a painless drug delivery device is developed for non-pain with electrical insulation breakdown method. Finite elements analysis was used to evaluate the ejection characteristics of drugs according to the shape of the micro ejection nozzle. The effect of the number of holes in the micro nozzle, the length of the nozzle and the inner shape of the nozzle on the drug discharge characteristics were analyzed.

Key Words: FEM(Finite Elements Method), Micro jet nozzle, Drug Delivery System, Shock wave

1. 서 론

최근 약물 전달 시스템 산업에서 기존 의약품의 부작용을 최소화하고, 효능을 극대화하기 위한 약물 분할 주입 기술까지 고려한 약물 전달 시스템에 대한 중요성이 증가하고 있다¹⁾. 기존의 약물 전달 시스템은 사용 시 약물 투여 깊이 및 투여량 조절이 불가능하고, 구동 방법의 복잡성으로 인해 사용 기피 현상이 발생하고 있으며, 1회용의 제약으로 인해 다양한 응용이 불가능하다. 기존의 약물 전달 방식은 스프링, 가스, 공기압 등의 방식이 적용된 시스템으로 개발되었으나²⁾, 고통이 수반되거나 되튀김 현상으로 인해 상호 감염의 위험이 존재하기 때문에 속도와 횡수 조절을 통해 통증을 최소화 및 되튀김 현상을 방지하고 있다³⁻⁵⁾. 이로 인해 간단하

게 자동으로 작동되며, 약물 투여 깊이 및 투여량 조절을 위한 시스템의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 액체 내에서 절연 파괴 현상을 이용하여 충격파를 발생하는 방식으로 전극에 전압을 흘려 전극 사이의 갭에 스파크가 발생하여 버블이 터지는 충격파에 의해 약물이 분할 주입되는 방식을 적용하였다⁶⁾.

무바늘 및 무통증 방식의 Needle-free 약물 분할 주입 및 전달 방법으로, 다음 Fig. 1과 같이 전기적 절연파괴 방식의 외부 구동력 소스와 약물 챔버 및 분사 노즐로 이루어진 인젝터로 구성된다. 챔버 내부에서 전기적 절연파괴 방식으로 발생한 충격파에 의해 압력이 발생하고, 이로 인해 약물이 마이크로 분사 노즐을 통해 매우 높은 압력으로 분사된다. 이때 약물이 분사되는 형상과 속도는 실제 약물의 투입 깊이 및 투입량이 결정되기 때문에 매우 중요한 요인이다. 따라서 본 연구에서는 최적의 약물 분사

1,† 교신저자: 인하대학교 기계공학과
E-mail: 22191319@inha.edu

형상 및 속도를 도출하기 위하여 유한요소해석 (Finite Elements Methods, FEM)을 바탕으로 다양한 형상의 노즐에 대하여 연구하였다.

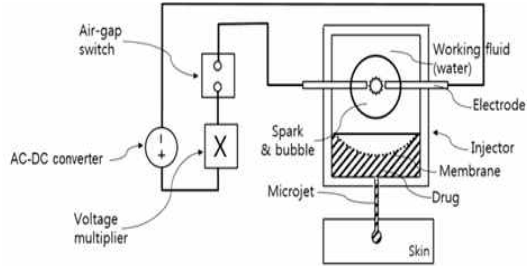


Fig. 1 Principle of needle-free with dielectric breakdown

2. 유한요소해석

2.1. 마이크로 노즐 개수에 따른 약물 속도 분석

유한요소해석을 진행하기 위하여 Workbench 19.1(ANSYS Inc., USA) 유한요소해석 프로그램을 이용하여 수행하였다. 마이크로 분사 노즐의 홀 개수에 따라 유체의 분사 속도 및 균일성의 변화를 분석하기 위하여 노즐의 개수와 형상을 5가지로 선정하여 3D 모델링을 수행하였다.

노즐의 개수는 1, 4, 9개 3가지 선정하여 축대칭으로 위치하도록 설계하였다. 노즐의 개수에 따라 약물이 전달되는 속도를 분석하기 위하여 유동 해석을 진행하였다. 유동 해석 진행 시 노즐의 상부에서 10MPa의 압력으로 약물이 투입되며, 노즐을 통해 약물이 분사되도록 경계조건을 설정하였다.

1 Hole의 노즐에서 분사되는 액체의 최고 유속은 265m/s로 전체 형상 중 가장 빠르게 분석되었다. 반면 노즐의 개수가 증가할수록 속도가 약간 감소되는 것으로 나타났으며, 이는 노즐의 개수가 증가하면서 유체가 나가려는 면적이 증가하여 속도가 감소한 것으로 판단된다. 또한 각 조건의 노즐에서 유체의 속도가 고르게 분포한 것을 알 수 있다.

2.2. 마이크로 노즐 길이에 따른 약물 침투 깊이 분석

마이크로 노즐의 형상 중 테이퍼 부분의 길이가 약물 분사에 미치는 영향을 분석하기 위하여 3D 형상을 설계하였다. 이를 이용하여 약물을 10번 침투

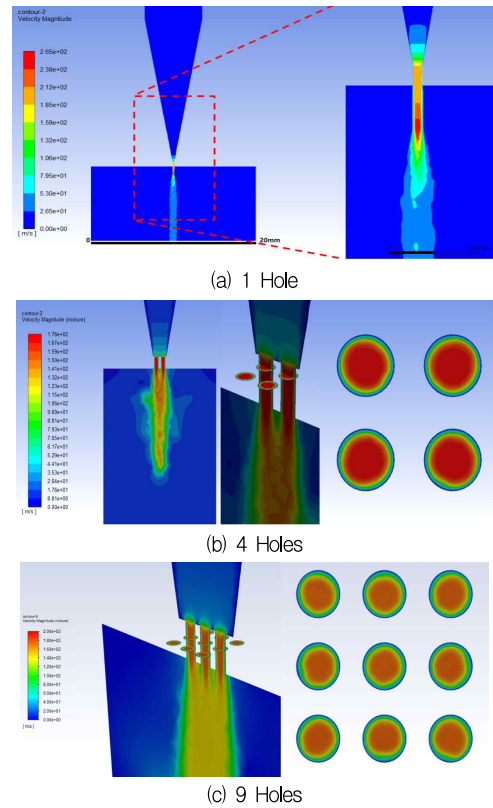


Fig. 2 Velocity of liquid according to the number of micro nozzle

하였을 때 약물의 주입 깊이와 형태를 분석하기 위하여 다음과 같이 경계조건과 펄스 형태의 압력 조건을 설정하였다. 또한 마이크로 분사 노즐 내부의 벽면 부분에 surface tension의 효과를 부여하기 위하여 mesh에 inflation을 설정하였다.

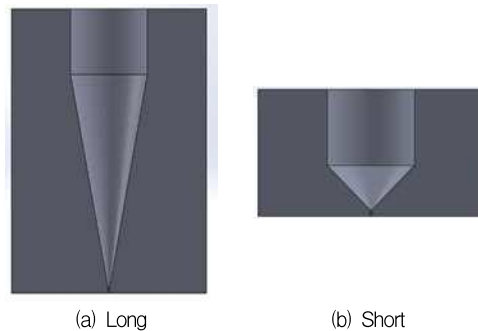


Fig. 3 3D model for analysis of velocity according to the length of micro nozzle

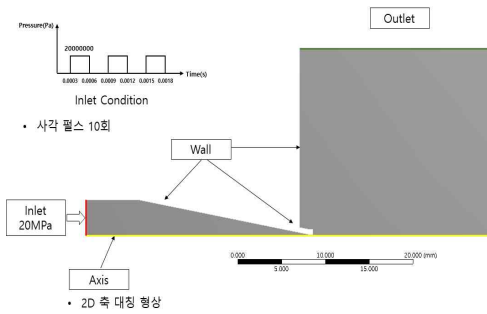


Fig. 4 Boundary condition and pulse for pressure

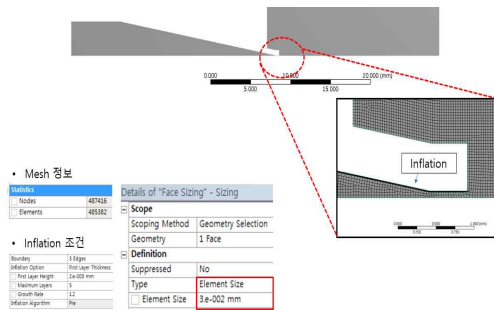


Fig. 5 Mesh condition for surface tension between liquid and nozzle

해석을 진행한 결과 Fig. 6과 같이 긴 노즐의 경우 shot이 반복될수록 약물의 유속이 점차 증가하여 5번째 shot에서 약 200m/s에 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 반면 Fig. 7과 같이 짧은 노즐의 경우 3번째 shot에서 약물의 속도가 약 200m/s에 도달한 것을 확인하였다. 이는 노즐 내부 벽면의 표면 장력이 약물의 유속을 감소시키는 역할을 한다. 짧은 노즐 보다 상대적으로 많은 표면 장력의 영향을 받는 긴 노즐에서 유속의 감소가 더 큰 것으로 판단된다. 반면 침투 깊이는 두 가지 노즐에서 모두 약 2mm로 동일하게 나타나지만, 긴 노즐을 통해 약물이 분사될 경우 유동이 더욱 집중되어 분사되는 것을 확인할 수 있다.

2.3. 마이크로 노즐의 벽면 형상에 따른 약물 침투 속도 분석

마이크로 분사 노즐의 벽면의 길이에 따라 표면 장력이 유체에 작용하는 길이가 증가하여 유체의 흐름이 변화하는 것을 앞선 해석을 통해 확인하였다. 따라서 마이크로 분사 노즐의 벽면 형상에 따라 서로 약물의 분사 형태가 변화될 것으로 예측하여,

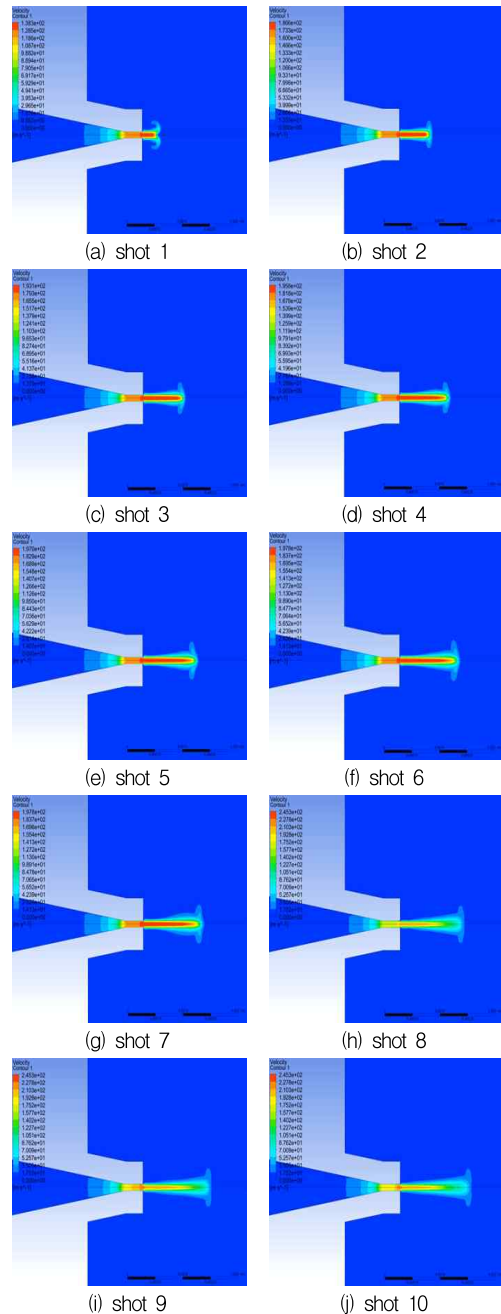


Fig. 6 Velocity of jetted liquid through long nozzle

벽면 형상에 따른 분사 특성을 유한요소해석을 이용하여 분석하였다. Fig. 8은 서로 다른 형상을 가진 노즐에 대한 유한요소해석을 수행하기 위하여 3D 모델을 수행한 것이다. A 노즐의 경우 노즐의

상부부터 하부까지 매끄러운 형상을 가지지만, B 노즐의 경우 상부에서 각진 형상을 가진다.

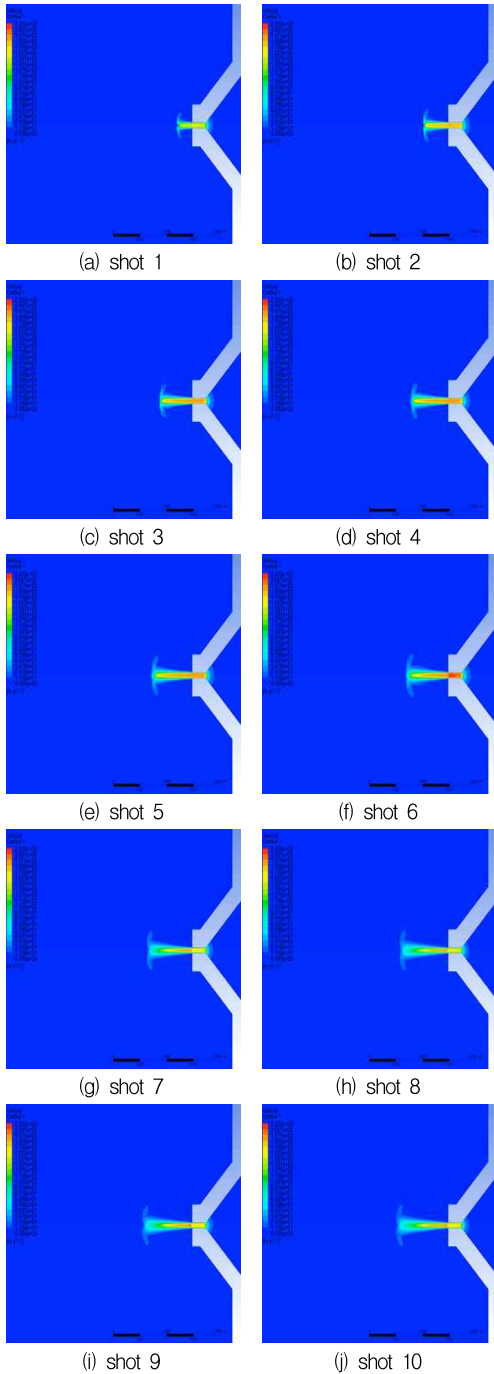


Fig. 7 Velocity of jetted liquid through short nozzle

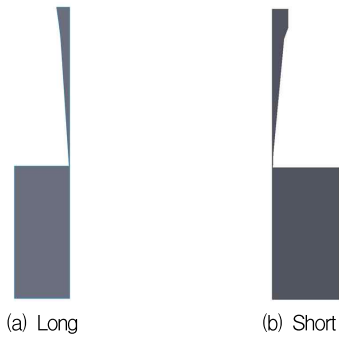


Fig. 8 3D model for analysis of velocity according to the shape of micro nozzle

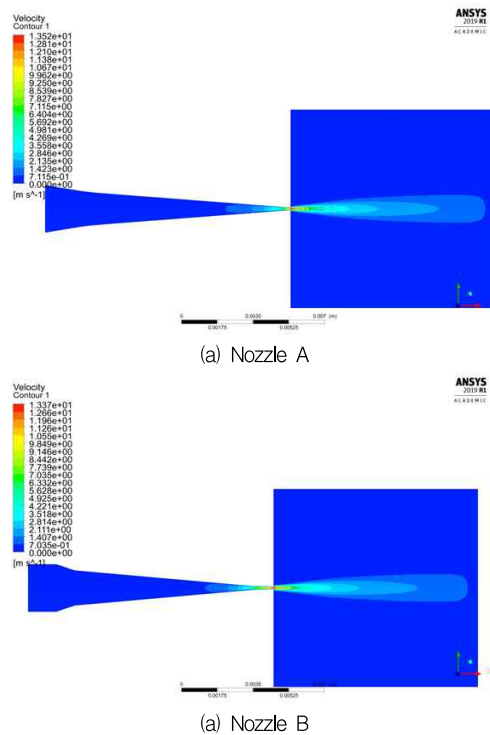


Fig. 9 Velocity of jetted liquid through each nozzle

Fig. 9와 10은 각 노즐에 대하여 유한요소해석 후 약물의 속도와 압력에 대하여 분석한 결과이다. 두 노즐의 속도와 압력의 크기 및 분포를 비교해본 결과 큰 차이가 나타나지 않는 것으로 판단된다. 이는 앞서 노즐의 hole 개수의 해석과 비교하여 노즐 상부의 형상이 약물의 유동에 큰 영향을 주지 않다는 것을 알 수 있다. 따라서 약물의 유동은 노즐의 상부 형상보다는 하부의 hole 크기 및 개수, 길이 등에 큰 영향을 받는다 할 수 있다.

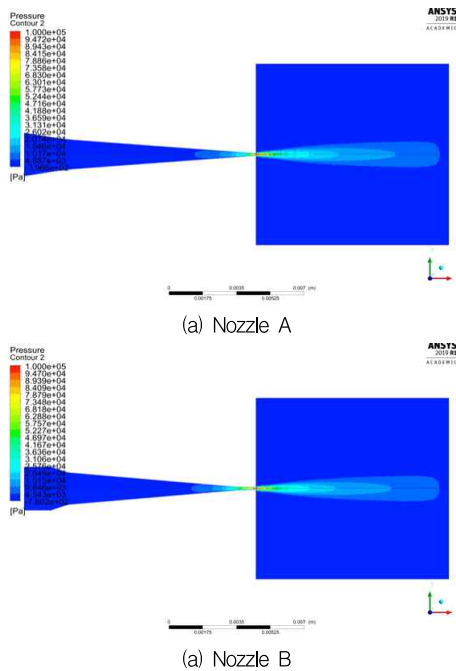


Fig. 10 Pressure of jetted liquid through each nozzle

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 노즐의 hole 개수와 길이, 형상에 따라서 약물의 유동과 침투 깊이 등에 관한 내용에 대하여 분석하였다. 이를 위하여 유한요소해석을 이용하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 1 Hole의 노즐에서 분사되는 액체의 최고 유속은 265m/s로 전체 형상 중 가장 빠르게 분석되었으며 마이크로 노즐의 hole 개수가 증가할수록 약물의 유속은 감소되었다.
- 2) 마이크로 노즐의 길이가 증가할수록 내부 벽과 약물 간의 표면 장력으로 인해 저항이 증가하여 유속이 감소하였다.
- 3) 마이크로 노즐의 상부 형상은 약물의 유속 및 집중도에 큰 영향을 미치지 않는다.

위 결과들을 바탕으로 약물 주입을 위한 마이크로 분사 노즐의 상부 형상은 토출 시 큰 영향을 미치지 않으며, 하부의 hole 개수 및 길이가 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. 따라서 피부 등에 적절한 깊이로 침투를 위해서는 노즐 형상에 대한 최적 설계가 필요한 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 2020년도 중소벤처기업부의 창업성장 기술개발사업 지원에 의한 연구임.[S2766145]

참고문헌

- 1) J. E. Lee, “Drug Delivery Systems-associated with Pediatric Endocrinology”, Annals of Pediatric Endocrinology & Metabolism, Vol. 16 No. 1, pp. 7-12, 2011.
- 2) Jin HE, Kim JH, Paik IY, “Transdermal drug delivery system”, Journal of Korean Industrial Engineering Chemistry, Vol. 16, No. 1, pp. 15-20, 2005.
- 3) Nir, Y., Paz, A., Sabo, E. and Potasman, I., “Fear of Injections in Young Adults: prevalence and associations”, The American Society of Tropical Medicine and Hygiene, Vol. 68, No. 3, pp. 341-344, 2003.
- 4) Kermodé, M., “Unsafe Injections in Low-Income Country Health Settings: Need for Injection Safety Promotion to Prevent the Spread of Blood- Borne Viruses”, Health Promotion International, Vol. 19, No. 1, pp. 95-103, 2004.
- 5) Mitragotri, S., 2004, “Current Status and Future Potential of Transdermal Drug Delivery”, Nat .Rev. Drug Discov. Vol. 3, pp. 125-124, 2004.
- 6) Menezes, V., Kumar, S. and Takayama, K., 2009, “Shock Wave Driven Liquid Microjets for Drug Delivery”, Journal of Applied Physics, Vol. 106, 086102.

저자 소개

임 동 욱(Dong-Wook Lim)

[학생회원]



- 2019년 2월: 인하대학교 기계공학과 (석사)
- 2019년 3월~현재: 인하대학교 기계공학과 (박사과정)

< 관심분야 >
금형 및 성형 해석

최 두 선(Doo-Sun Choi)



- 2012년 4월~현재: (주)서현리모텍 대표
- 2016년 3월~현재: 인하대학교 기계공학과 (박사과정)

< 관심분야 >
단조 및 금형

박 규 백(Kyu-Bag Park)



- 2003년 8월: 인하대학교 기계공학과(석사)
- 2003년 8월~현재: 한국기계전기전자시험연구원 책임연구원
- 2019년 3월~현재: 인하대학교 기계공학과 (박사과정)

< 관심분야 >
사출성형 및 금형, 측정 및 가공

김 태 민(Tae-Min Kim)

[정회원]



- 2017년 3월~현재: 인하대학교 기계공학과 (박사과정)
- 2019년 3월~현재: 유한대학교 기계설계과, 겸임교수

< 관심분야 >
단조성형 및 금형, 기계 구조해석

함 휘 찬(Hwi-Chan Ham)



- 2018년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (석사)
- 2018년 3월~현재 : 서울대학교 기계항공공학부 (박사과정)

< 관심분야 >
절연과피 및 충격과, 마이크로젯

박 정 래(Jung-Rae Park)



- 1995년 1월~2000년 12월: 아남인스트루먼트 대리
- 2000년 1월~2017년 9월: 이오테크닉스 부장
- 2017년 10월~현재: 애니모선택연구소장
- 2019년 3월~현재: 인하대학교 기계공학과 (박사과정)

< 관심분야 >
사출성형 및 금형, 유동해석, 레이저 가공

김 지 훈(Ji-Hun Kim)

[학생회원]



- 2018년 3월~현재: 인하대학교 기계공학과 (통합과정)

< 관심분야 >
금형 및 성형 해석