

친환경 디젤엔진용 차세대 피에조 인젝터의 구동성능 해석

이진욱* · 강건용** · 민경덕***

Analysis of the Driving Performance in Piezo Injector for Clean Diesel Engine

Jin-Wook Lee+, Kern-Yong Kang++ and Kyoung-Doug Min+++

Abstract : In this study, a prototype piezo-driven injector, as a new method driven by piezoelectric energy, has been designed and fabricated based on the concept of inverse piezo-electric effect to overcome the major drawbacks of conventional solenoid-driven injector with a fixed and slow control of injection rate. The effects of an electric control between the solenoid valve and piezo-ceramic stack for injector needle's driving on the dynamic characteristics were usually investigated. We found that this piezo-electric actuator has the main advantage to drastically reducing the time of injector nozzle opening, as well to exert higher force output levels.

Key words : Piezo injector(피에조인젝터), Solenoid injector(솔레노이드인젝터), Driving performance(구동성능), Multiple injection(다단분사), Diesel engine(디젤엔진)

1. 서론

직접분사식 디젤엔진용 커먼레일 연료분사시스템은 고압 연료에 대하여 분사시간과 분사시기를 제어하는데 있어서 보다 더 많은 자유도를 가진다. 즉 이 시스템은 엔진회전수나 엔진 부하에 관계없이 자유롭게 분사제어를 수행할 수 있는 장점이 있다^[1]. 특히 이를 통해 향상된 디젤연소과정 실현과 질소산화물(NOx)저감이 가능한 다단 분사(multiple injection)의 적용이 가능해짐에 따라 이 시스템과 관련된 핵심기술의 고도화가 요구된다^[2]. 특히, 고반응 인젝터에 대한 고압 연료 분사율 조절 기능이 향상된 커먼레일 연료분사시스템 확립은 매우 중요하다. 왜냐하면 현재 주로 사용중인 솔레노이드 인젝터(solenoid injector)는 고압화된 커먼레일에서 견고하면서도 빠른 응답성을 갖는데에는 한계가 있는 반면에, 솔레노이드 대신에 경량화되고 응답이 빠른 피에조 스택(piezo stack)를 이용하여 인젝터의 작동 반응도를 고속화할 경우, 분사특성 개선뿐만 아니라 향후, 본격적으로 보급될 디젤 후처리시스템(DPF)과의 통합적 제어적 측면(예, 후분사포함 고성능 다단 분사기능)에서 보다 유리하기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 고압 디젤 인젝터 니들의 구동을 제어하는 새로운 메카니즘으로써, 피에조 액추에이터의 작동 개념을 적용한 차세대 디젤분사용 피에조 인젝터(piezo injector)의 구동 성능 특성을 해석하고자, 이론적 해석 및 실험적 연구를 수행하였으며, 또한 기존 커먼레일 연료분사시스템에 적용되는 솔레노이드 인젝터와 상호 비교하였다.

2. 피에조 인젝터의 구동원리

Fig. 1에서 보듯이 피에조 인젝터의 기본적인 작동개념은 피에조 스택(piezo stack)에 일정 전압을 가하면 극과 크기에 따라 피에조 스택의 길이가 변하는 역 압전효과(inverse piezoelectric effect)를 이용한 것이다. 무하중의 단층 피에조 액추에이터(single-layer piezo actuator)의 경우, 피에조 스택의 변위는 다음 식 (1)과 같이 계산되어질 수 있다.

$$\Delta L = S \cdot L_0 \approx \pm E \cdot d_{ij} \cdot L_0 \quad (1)$$

여기서, ΔL 은 피에조 스택의 변위, S 는 변형률, L_0 는 피에조 스택의 원래 길이, E 는 전기장의 세기(V/m) 그리고 d_{ij} 는 피에조 변형률 계수(m/V)이다. 피에조 스택의 변위는 인가되는 전압의 크기에 좌우되는데, 최대 인가 전압의 범위는 피에조 세라믹의 성질 및 단열 재질에 따라 결정되어진다.

그리고 본 연구에 사용된 시제품 피에조 인젝터와 이의 구동을 위해 인가되는 전류 및 전압 파형을 Fig. 2에 나타내었다. 충전과 방전방식으로 전류를 제어하고 있으며, 피에조 스택은 시험용 제어기로부터 구동 전류 신호를 받아 스택 길이가 팽창하거나 수축하게 되어 힘을 발생시키게 된다.

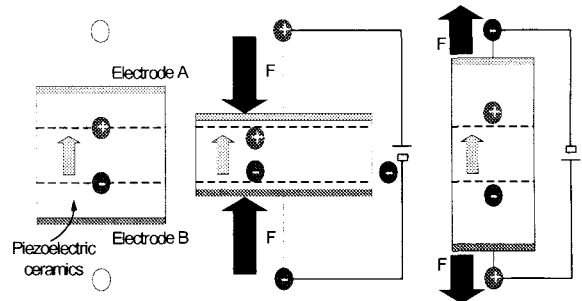


Fig. 1 Schematic of inverse piezoelectric effect concept for piezo injector's driving

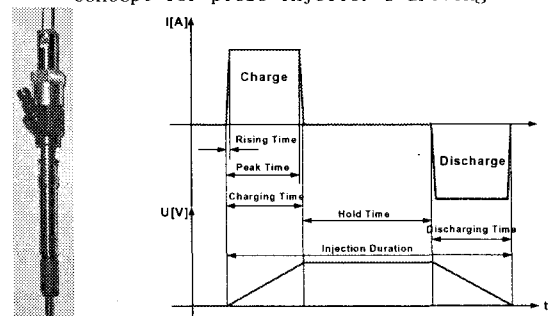


Fig. 2 Photograph of prototype piezo injector and Operating method with electric charge and discharge control

+ 이진욱(한국기계연구원 친환경엔진연구센터), E-mail:immanuel@kimm.re.kr, Tel: 042)868-7386
 ++ 강건용(한국기계연구원 친환경엔진연구센터), E-mail:kykang@kimm.re.kr, Tel: 042)868-7380
 +++ 민경덕(서울대학교 기계항공공학부), E-mail:kadmin@snu.ac.kr, Tel: 02)880-1661

3. 연구방법

3.1 이론적 해석

본 연구에서는 피에조 인젝터의 기본적인 작동 성능 해석을 수치적으로 검증하기 위하여, 신뢰성이 검증된 상용 AMESim (Advanced Modeling Environment for Simulation of Engineering Systems) 코드를 사용하여 수학적 모델을 정립한 후, 동적 구동특성을 해석하였다. 이 해석 방법은 피에조 인젝터 시스템의 설계 초기단계 및 설계과정에서 성능 검증과 향상을 도모할 수 있으며, 또한 설계 및 개발시간을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 따라서 먼저 상용 솔레노이드 인젝터에 대한 유압 해석 모델을 정립하였으며, 이를 바탕으로 피에조 인젝터의 경우, 피에조 액추에이터 구동해석부에 대한 모델링을 수립하여 기존 솔레노이드 인젝터 본체 해석 모델과 조합한 후, 해석을 수행하였다.

3.2 실험적 해석

비정상 디젤 분무 연구에 있어서 필수적인 분사율 측정을 위해서, 본 연구에서는 일정 파이프내에 고압연료를 분사하여 이의 내부 압력변화로부터 분사율을 산출하는 Bosch 튜브법을 적용하였다. 또한 실제적인 거시적 분무 계측을 위해 Fig. 3 과 같은 고압 분무 실험 장치를 구성하였다.

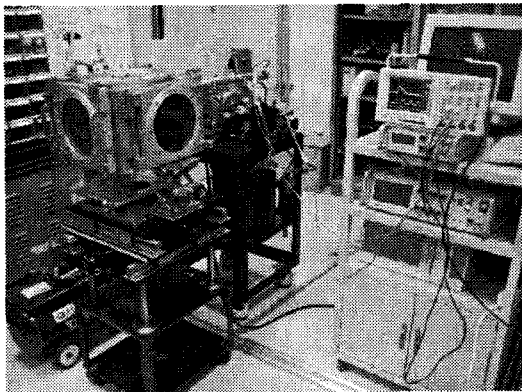


Fig. 3 Experimental apparatus for high pressure spray visualization

4. 결과 및 고찰

Fig. 4는 시제품 피에조 인젝터의 충전시간을 구동 출력전압에 대해서 실험적으로 측정된 결과이다. 출력전압이 높을수록 충전시간은 길어지나, 출력전압을 일정하게 한 경우, 출력전류의 증가시 감소됨을 알 수 있었다. Fig. 5는 피에조 인젝터의 니들거동을 이론적으로 구한 결과인데, 인젝터 니들의 양정이 부가된 전압에 따라 다양하게 제어될 수 있음을 알 수 있었다. Fig. 6은 시제품 피에조 인젝터의 초기 분무거동을 측정된 결과이다. 분사압력별로 정상적인 분무를 형성(hole variation 3% 이내)하며, 인젝터 구동을 위한 입력신호 파형을 고려해 볼 때, 상당히 빠른 응답성을 가짐을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 국내 최초로 설계·제작한 시제품 피에조 인젝터에 대한 구동성능을 이론 및 실험적으로 분석하였다. 피에조 인젝터 니들 거동의 제어 특성 및 이의 초기 분무 생성에 미치는 영향은 매우 지배적인데, 이는 상대적 빠른 응답성에 기인한 것으로 판단이 되며, 추후 이로 인한, 유압거동 및 피에조 인젝터의 노즐 분공내부에서의 캐비테이션 유동에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

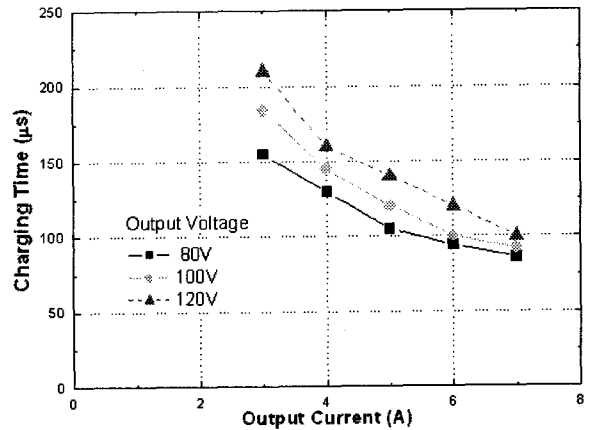


Fig. 4 Variation of charging time in piezo injector

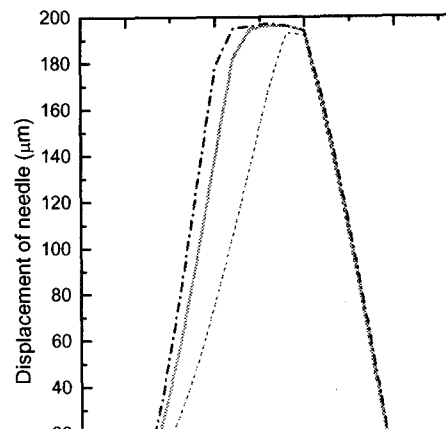


Fig. 5 Effects of needle movement characteristics

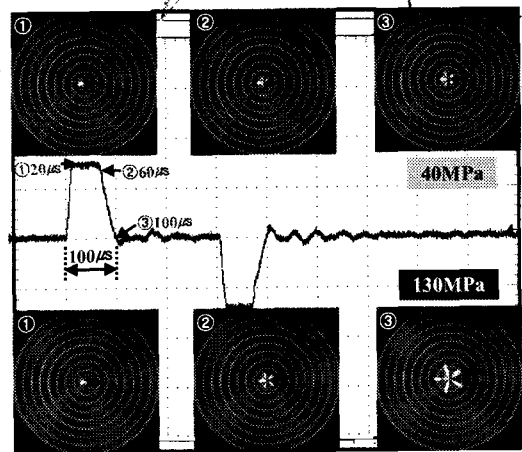


Fig. 6 Macroscopic spray behavior characteristics

참고문헌

- [1] G. W. Boehner and K. Hummel, "Common Rail Injection System for Commercial Diesel Vehicles", SAE Paper No.970345, 1997.
- [2] G.M. Bianchi, P. Pelloni, F. Corcione and F. Luppino, "Numerical analysis of passenger car HSDI diesel engines with 2nd generation of common-rail injection systems: the effect of multiple injections on emissions", SAE Technical Paper 2001-01-1068, 2001.