

SCR 시스템의 요소수 분사량 제어에 관한 연구

이예철, 김하진, 박미경, 고영빈, 김정창, *김창곤
국립한국해양대학교, *신흥정공

ddc5858@g.kmou.ac.kr, hazzi@g.kmou.ac.kr, alrud741107@g.kmou.ac.kr,
go990518@g.kmou.ac.kr, jchkim@kmou.ac.kr, *kck590@atlastech.co.kr

A Study on the Injection Amount Control in the SCR System

Yecheol Lee, Hajin Kim, Migyeong Park, Youngbin Go, Jeongchang Kim, *Chang Gon Kim

Korea Maritime and Ocean University, *Shin Heung Precision Company

요 약

본 논문에서는 디젤 엔진 요소수 분사 제어 시스템에서 분사량 제어를 위한 방법을 제안한다. 요소수 분사량을 제어하기 위해 도징 모듈과 릴레이를 사용하여 시스템을 설계하였고, 분사량을 측정했을 때 On/Off 빈도에 따라 분사량이 달라짐을 확인하였다. 이를 통해 On/Off 동작 시 딜레이가 존재함을 확인하였고, 본 논문에서는 SCR (selective catalytic reduction) 시스템에서 요소수 분사량을 제어하기 위해 동작 딜레이를 보상해주는 알고리즘을 설계하였다.

I. 서론

최근 국민 소득이 지속적으로 증가함에 따라 국민의 자동차 보유대수가 급증하였고, 이로 말미암아 자동차의 배기가스인 질소산화물(NOx), 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC)등이 대기 환경오염의 주범이 되고 있다. 그 중 질소산화물은 화석 연료의 고온 연소에 의해 공기 중의 질소가 산화되어 생성되며, 인체 노출 시 호흡곤란, 흉통, 폐부종 등 다양한 질병을 유발할 수 있다[1]. 이에 국가에서는 대기환경보전법 시행규칙을 통해 자동차의 배출가스 농도기준을 규제하는 등 환경오염에 대한 대응을 강화하고 있다.[2] 자동차 생산 업체에서는 질소 산화물 배출을 저감하고 배기법규를 만족하기 위해 디젤 내연기관의 배기가스 후처리 장치로 선택적 촉매환원(selective catalytic reduction: SCR)을 사용하고 있다. SCR은 배출가스인 질소산화물에 촉매환원제인 요소수를 분사시켜 물과 질소로 환원시키는 장치이다[3]. 배기 시스템에서 요구하는 사항에 따라 요소수 분사 패턴 및 분사 시간을 적절히 제어해야 SCR 장치에서 최대의 효율을 얻을 수 있다. 이에 이전 연구에서 차량용 도징 모듈과 릴레이 모듈을 사용하여 분사 패턴과 분사 시간을 조절할 수 있는 요소수 분사 제어 시스템을 개발하였다[4]. 릴레이 모듈은 입력단에 전압을 인가하면 내부의 솔레노이드가 접합하여 연결된 장치를 동작시킨다. 그러나 릴레이의 솔레노이드가 동작하는데 시간이 걸리는 것을 확인하였고, 이는 도징 모듈의 동작 딜레이로 나타난다. SCR 장치의 적절한 동작을 위해서 딜레이는 보정해주어야 하며, 본 논문에서는 릴레이 모듈의 딜레이를 측정하고 이를 보정해주는 알고리즘을 설계하여 실험을 통해 그 성능을 확인한다.

II. 본론

본 논문에서는 디젤 엔진 요소수 분사 제어 시스템을 개발함에 있어서 요소수 분사 타이밍과 양을 제어하는 방법에 대해 살펴본다. 산업용 아두이노 및 릴레이(relay) 모듈을 사용하여 분사량 제어를 구현하였다. 요소수 분사량은 분사 장치의 온/오프(ON/OFF) 제어를 통해 조절될 수 있으며 제어기의 제어 신호를 통해 분사 장치를 구동하기 위해서 릴레이 소자를 사용한다. 온/오프(ON/OFF) 제어를 통한 분사량 측정 실험 결과는 그림 1 과 같다.

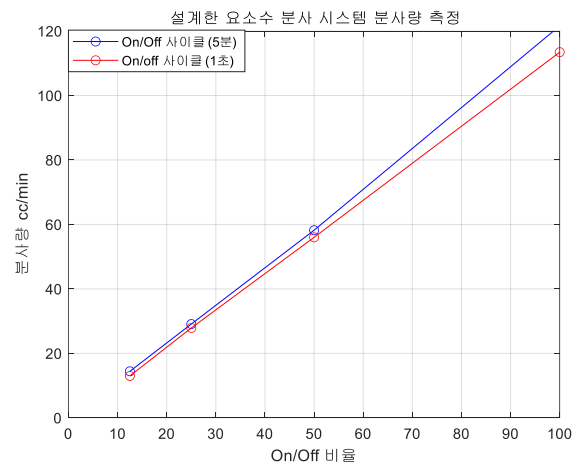


그림 1. 도징 모듈 분사량 측정 결과

각 실험은 두 개의 도징 모듈 (DM)을 사용하여 5분 동안 분사량을 측정하였고, On/Off 한 사이클을 각각 5분, 1초로 설정하여 실험을 수행하였다. 실험결과, On/Off 한 사이클을 1초로 설정한 경우 즉, 온/오프(ON/OFF) 전환 횟수가 더 많은 경우 분사량이 감소함을 확인하였다. 이는 제어기의 온/오프(ON/OFF)

제어에 따라 솔레노이드 방식의 릴레이 소자가 온/오프(ON/OFF) 되기까지의 시간 차이 및 온/오프(ON/OFF) 지속 시간에 오차가 발생할 수 있음을 시사한다.

따라서 이번 실험에서는 이러한 시간 차이를 확인하고 분석하기 위해 제어기에서 출력되는 제어 신호의 온/오프(ON/OFF) 시간 길이와 릴레이 소자의 실제 온/오프(ON/OFF) 시간 길이를 오실로스코프를 사용하여 측정하였다. 시간 차이 측정을 위한 회로의 전압 측정 위치는 그림 2와 같다.

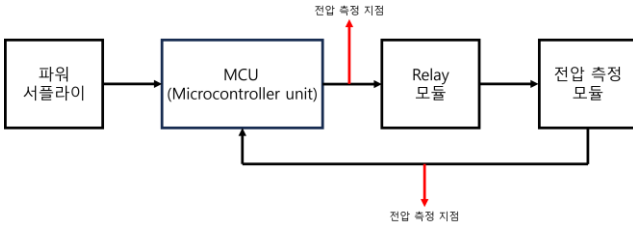


그림 2. 딜레이 측정을 위한 회로도

그림 2에서 MCU (microcontroller unit)로 산업용 아두이노를 사용하였고, MCU 출력과 전압 측정 모듈 출력의 시간 차이는 그림 3과 같다.

Duty rate (1초 기준)	50%	25%	12.5%	6.25%	3.125%	1.5625%
딜레이 타임	Rising	10ms	10ms	10ms	10ms	10ms
	Falling	3.34ms	3.34ms	3.35ms	3.32ms	3.34ms

그림 3. 딜레이 타임 측정 결과

그림 3에서 Duty rate는 제어기의 온/오프(ON/OFF) 비율을 퍼센트 (%)로 환산한 것이다. 제어기의 온/오프(ON/OFF) 타이밍과 릴레이 소자 출력의 온/오프(ON/OFF) 타이밍 사이에 Delay time은 약 10ms 정도로 관찰되었다. 반대로, 제어기의 오프/온(OFF/ON) 타이밍과 릴레이 소자 출력의 오프/온(OFF/ON) 타이밍 사이에 Delay time은 약 3.3ms 정도로 관찰되었다. 따라서, 제어 신호의 ON 지속 시간과 릴레이 소자를 통해 분사 장치에 전달되는 신호의 ON 지속 시간은 약 6.7ms 만큼의 차이가 발생한다는 것을 확인하였다. 제어기의 온/오프 제어에 따라 솔레노이드 방식의 릴레이 소자가 온/오프되기까지 시간 차이가 발생하여 정확한 분사량 제어가 어려워진다. 이러한 Delay time을 보정해주어야 하고 이는 수식 1을 통해 수행된다.

$$\frac{x^2}{x - t_d} : x \quad (1)$$

수식 1은 제어기의 출력 시간을 좌항으로, 릴레이 소자의 출력 시간을 우항으로 구성한 수식이다. 여기서 x 는 원하는 신호 지속 시간, t_d 는 시간오차를 나타낸다. 해당 식은 우항 즉, 릴레이 소자 출력 시간을 x 로 만들어 주기 위한 수식이다. 수식 1을 활용하여 Delay time을 보정하는 3개의 도징 모듈의 순차적 제어 시스템을 구현했고 오실로스코프를 통해 그 성능을 확인하였다.



그림 4. 딜레이 타임 보정 결과

주기를 3초로 설정하고 Duty rate를 50%로 조절하여 3개의 도징 모듈을 순차적으로 제어했다. 실험 결과, 각 도징 모듈의 주기당 ON 시간은 500ms로 측정되었으며, 이 실험 결과를 통해 Delay time 보상이 효과적으로 이루어졌음을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 요소수 분사 시스템을 설계하였고, 입력 신호와 도징 모듈의 동작 사이 딜레이가 존재함을 확인하였다. 실험을 통해 딜레이를 측정하였고, 딜레이는 도징 모듈의 On/Off 비율에 대해 상관없이 일정함을 확인하였다. 요소수 분사량을 제어하기 위해 딜레이를 보상해주는 알고리즘을 설계하였고, 실험 결과를 통해 보상이 잘 되었음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 과제는 교육부와 한국연구재단의 지원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업 (LINC 3.0)의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] 김정호, “질소 산화물의 급성 노출로 인한 폐 손상 1례”, 대한직업환경의학회, 대한산업의학회지, 제 12 권, 제 2 호, pp. 302-309, 2000년. 6월.
- [2] 대기환경보전법 시행규칙 (2023년 11월 20일 환경부령 제 1059호), 공포문 (2023년 11월 13일, 공포번호 1059)
- [3] 박승원, “승용 디젤차량에서 Urea-SCR 시스템의 NOx 저감 특성에 관한 실험적 연구”, 대한기계학회논문집, 제 41 권, 제 4 호, pp. 296-275, 2017년. 4월.
- [4] 이예철, “선박용 배기 시스템을 위한 SCR 장치의 제어에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회 후기학술대회 논문집, 2023년. 10월.