

## 승용차 요소수 도징 시스템을 활용한 요소수의 암모니아 변환 Conversion of Urea Water Solution to Ammonia Using Dosing System for Passenger Car

임정빈\* · 리창창\* · 정석호\* †

Jeong-Bin Lim\*, Chang-Chang Li\* and Suk-Ho Jung\* †

(Received 02 February 2026, Revision received 24 February 2026, Accepted 24 February 2026)

**초록 :** 선박에 사용되는 SCR의 요소수 도징 시스템을 이용하여 연소실의 압축 열에 의해 암모니아를 생성시켜 연료로 사용하고자 하는 연구가 시도되었지만, 큰 분사각으로 흡기 포트를 통해 요소수 분무가 연소실로 유입되기 어려운 결과를 얻었다. 이를 극복하기 위해 자동차의 SCR에 상용으로 사용되고 있는 요소수 인젝터를 사용하여 흡기 포트에서 보다 작은 분사각으로 도입하는 실험을 실시하였다. 분사펌프의 공급 전압에 따라 분사되는 요소수 질량을 측정하여 900 rpm에서 140CAD의 기간 동안 13 V에서 1회 분사 시 30.2396 mg이 분사되는 것을 확인하였다. 흡기포트에서 0, 500, 1,000, 1,500 mm 떨어진 곳에서 분사한 결과, 계측된 암모니아 농도는 각각 8.8, 6.5, 2.8, 1.5 ppm이었다. 매우 소량의 암모니아 전환량으로 나타났고, 분사된 대부분의 요소수가 흡기 포트에 퇴적되어 있어 연소실에 직접 분사하는 방식이 가장 적절함을 확인할 수 있었다.

**키워드 :** 요소수, 암모니아, 도징 시스템, 전환량, 디젤엔진

**Abstract :** The prior study was conducted to use the urea water solution dosing system of the SCR used in ships to generate ammonia using the compression heat of the combustion chamber and use it as fuel. However, the large injection angle made it difficult for the urea water solution spray to enter the combustion chamber through the intake port. To overcome this, an experiment was conducted to introduce the urea solution at a smaller injection angle from the intake port using a urea solution injector commercially used in the SCR of automobiles. The mass of urea solution injected according to the supply voltage of the injection pump was measured, and it was confirmed that 30.2396 mg was injected per injection at 13 V for a period of 140 CAD at 900 rpm. The measured ammonia concentrations were 8.8, 6.5, 2.8, and 1.5 ppm when injected at distances of 0, 500, 1,000, and 1,500 mm from the intake port, respectively. This indicated a very small amount of ammonia conversion, and most of the injected urea water was deposited in the intake port. It was confirmed that direct injection into the combustion chamber should be the most appropriate method.

**Key Words :** Urea Water Solution, Ammonia, Dosing System, Conversion Amount, Diesel Engine

\* † 정석호(<https://orcid.org/0000-0002-6268-5864>) : 교수, 국립부경대학교 기계시스템공학전공

E-mail : [sukhojung@pknu.ac.kr](mailto:sukhojung@pknu.ac.kr), Tel : 051-629-6198

\* 임정빈(<https://orcid.org/0000-0001-7448-478X>), 리창창(<https://orcid.org/0000-0002-4245-8509>) : 대학원생, 국립부경대학교 기계시스템공학과

\* † Suk-Ho Jung(<https://orcid.org/0000-0002-6268-5864>) : Professor, Major of Mechanical System Engineering, Pukyong National University.

E-mail : [sukhojung@pknu.ac.kr](mailto:sukhojung@pknu.ac.kr), Tel : 051-629-6198

\* Jeong-Bin Lim(<https://orcid.org/0000-0001-7448-478X>), Chang-Chang Li(<https://orcid.org/0000-0002-4245-8509>) : Graduate student, Department of Mechanical System Engineering, Pukyong National University.

## 1. 서 론

1992년 유엔기후변화협약은 차별화된 책임에 따라 각자의 능력에 맞게 온실가스를 감축하는 협약으로 시작되었고, 지구의 평균기온 상승을 산업화 이전 대비 2°C 아래로 막고, 1.5°C 이상 상승하는 것을 제한하는 방안을 2015년 파리협정에서 제시하였다. 이를 계기로 점차적으로 온실가스의 주범이 되는 이산화탄소의 배출을 억제하는 정책이 강화되어 가고 있다. 이에 디젤엔진에서는 수소<sup>1,2)</sup>와 암모니아<sup>3)</sup>와 같은 무탄소 연료에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 암모니아의 경우 독성과 착화성이 나빠서 디젤엔진에 바로 적용하기 어려운 단점<sup>4)</sup>을 가지고 있다.

디젤엔진은 고압에서 자착화에 의한 연소를 하기 때문에 연소 온도가 2,000°C를 넘긴다. 이로 인해 다량의 질소산화물(NOx)가 발생되어 이를 저감하기 위해 선택적 환원 촉매(SCR)을 사용하고 있다. SCR에서 질소산화물을 저감하는 원리는 암모니아와 NOx를 반응시켜 질소와 수증기로 환원시키는 것이다. 이때 암모니아의 공급원으로 요소수(UWS)를 사용하고 있다. 암모니아를 직접 사용하기에는 안전 문제가 있기 때문에 고온에서 암모니아로 전환이 용이한 요소를 안전하게 수용액 형태로 저장하여 사용하고 있다. 고온에서는 안전한 암모니아의 공급원이라는 점으로부터 압축 시 연소실 내의 고온이라면 충분히 암모니아가 생성될 수 있다고 보고 요소수를 연료로서 활용하는 것<sup>5)</sup>을 시도하였다.

앞선 연구에서는 선박용 SCR에 사용되고 있는 대용량의 UWS 도징 시스템을 이용하여 단기통 모터링 엔진에 시도하였다. 그 결과, Fig. 1에 나타낸 것처럼 많은 양의 UWS가 흡기 포트와 연소실에 퇴적되고 원하는 만큼의 암모니아로 변화되지 않는 것을 확인하였다. 이 원인으로는 요소수 인젝터의 분무각이 90도로 비산되는 방식이기 때문에 포트 벽면에 요소수가 뿌려질 수밖에 없는 구조를 들 수 있다. 따라서 이번 연구에서는 자동차의 SCR에 상용으로 사용되고 있는 요소수 인젝터를 사용하여 분사 각도를 줄인 경우에 얼마나



(a) Intake port



(b) Piston crown

Fig. 1 Appearance of UWS deposited in the intake port and cylinder head

암모니아가 발생할지 실험적으로 밝히는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험 장치 및 방법

시판하는 자동차의 요소수 분사 펌프와 인젝터를 이용하여 실험장치를 설치하였다. 실험 장치 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 모터링이 가능한 3기통 디젤 엔진의 1번 실린더에 압축 행정애 요소

수를 분사하여 압축 열에 의해 요소수의 암모니아 변환량을 측정할 수 있도록 설정하였다. 선행 연구에서 사용한 모터링이 가능한 디젤 엔진을 사용하였고, 요소수 분사 장치만 다른 것으로 설치하였다. 요소수 분사 장치인 인젝터와 펌프의 사양, 그리고 암모니아 검출기의 사양을 Table 1에 나타낸다.

인젝터의 작동압력은 0.45 MPa에서 0.85 MPa이고, 최대 분사량은 0.556 g/s, 분사각은 23° 이내이다. 펌프의 최대 유량은 1.083 g/s이며, 작동압력은 0.6 MPa로 작동 전압에 따라 유량의 조절이 가능하게 되어 있다. 마지막으로 암모니아 계측기는 100 ppm까지 계측이 가능하며, 정도는 0.1 ppm이다. Fig. 3과 Fig. 4에 요소수 인젝터와 펌프의 실물을 나타내었다.

먼저 적절한 요소수의 분사량을 확인하기 위해 요소수 펌프의 작동 전압에 따른 요소수 분사량을 측정하였다. 작동전압을 11 V, 13 V, 15 V로 설정하였고, 요소수의 분사기간은 900 rpm에서

140CAD(Crank Angle Degree)의 기간(시간으로 약 25.9 ms)으로 설정하여 총 100번의 분사량을 각각 10회씩 전자저울로 측정하여 평균값을 취득하였다. 분사기간은 흡기 행정 중에 최대한 안정적으로 들어갈 수 있을 것으로 예상되는 140CAD를 선택하였다. 그리고 모터링 엔진에 요소수를 분사하여 암모니아로 변화되는 양을 측정하는 실험을 진행하였다.

Fig. 5에는 요소수를 흡기 밸브가 열리는 타이밍에 맞추어 분사하기 위한 절차도를 나타낸다. 먼저 압축행정의 TDC에 트리거 신호를 받으면 338CAD에서 분사가 될 수 있도록 지연시간을 두었다. 이는 900 rpm의 엔진 속도에서 흡기 포트부터 흡기밸브의 시트까지 도달하는 공기의 속도를 추정하여 약 22CAD가 걸리기 때문에 배기행정의 TDC에 요소수가 공기와 함께 도달할 수 있도록 하기 위해 설정한 값이다. 인젝터로부터 분무된

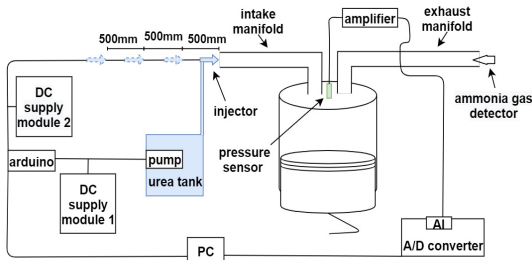


Fig. 2 Schematic diagram of experiment



Fig. 3 Picture of UWS injector

Table 1 Specification of instruments

Item	Spec	Scale
Injector	Dosing quantity	Max. 0.556 g/s
	Operating pressure	0.45~0.85 MPa
	Spray angle	10~23°
Pump	Max. flowrate	1.083 g/s
	Operating pressure	0.6±0.05 MPa
	Operating voltage	8~16 V
NH <sub>3</sub> Gas detector	Range	0~100 ppm
	Resolution	0.1 ppm



Fig. 4 Picture of UWS pump

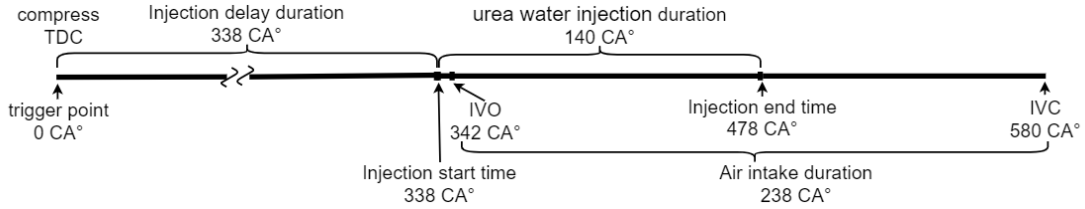


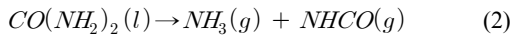
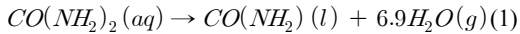
Fig. 5 Procedure for injection timing of UWS and intake valve timing

요소수가 포트로부터 거리에 따라 공기와의 혼합에 따른 암모니아 전환량에 영향을 미칠지에 대한 확인을 하기 위해서 Fig. 2에 나타난 것처럼 흡기 포트로부터 0, 500, 1,000, 1,500 mm가 떨어진 곳에서 실험을 하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 도징 펌프 공급 전압에 따른 분사량

Fig. 6에 요소수 도징 펌프에 공급되는 전압에 따른 분사량을 실험한 결과를 나타낸다. 2~6 m의 표준 편차를 나타내기 때문에 정도가 높은 평균값을 보인 것으로 확인된다. 그리고 평균값을 통해 예측하면 공급전압에 따라 선형적으로 분사량이 증가하는 것은 아니고 로그함수의 형태로 증가하는 것으로 판단된다. 그래서 적절하게 많은 양을 공급할 수 있는 13 V에서 실험을 하는 것으로 결정하였고, 이를 바탕으로 1사이클당 분사되는 요소수의 분사량을 기준으로 이론적인 100% 전환 암모니아를 식 (1)~(3)을 통해 계산하였다.<sup>5)</sup>



식에 따르면, 요소수 1몰은 2몰의 암모니아로 전환된다. 1사이클당 분사된 요소수 질량이 30.2396 mg이고, 이전 실험에서 측정된 흡기 질량은 502.191 mg이다. 분사된 요소수가 완전 분해가 된다는 가정하에 암모니아의 농도를 계산하기 위

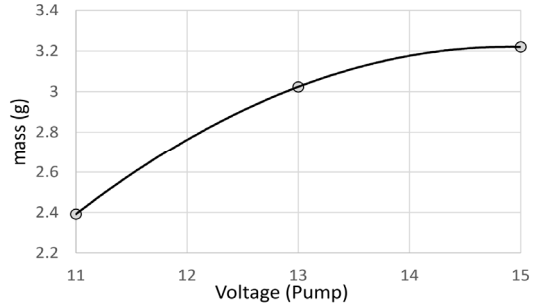


Fig. 6 Mean flow mass of UWS according to the supplying voltage for dosing pump

해서 각 물질의 물질량(g/mol)은 수소 1, 탄소 12, 질소 14, 산소 16, 공기 29와 같이 간단하게 하였다. 요소수의 농도는 32.5 wt.%로 계산한 결과, 배기가스 라인에서 측정되어야 할 암모니아 농도는 17,445 ppm이다.

#### 3.2 인젝터와 흡기 포트 거리에 따른 영향

Fig. 7에 흡기 포트 앞에서 요소수를 분사한 실험의 사진을 나타내었다. 분무각도가 크지 않아 충분히 흡기 포트의 벽면에 부딪히지 않고 분무가 연소실에 도달할 수 있을 것으로 예상하였다.



Fig. 7 Pictures of injection test according to position of injector

그리고 500 mm 이상의 거리에서는 칼대기를 이용하여 분무된 요소수가 외부로 날아가지 않도록 하였다.

Fig. 8에 흡기 포트에서 요소수를 분사하였을 때와 분사하지 않았을 때의 연소실 내 압력 변화를 나타내었다. 검은색 선은 요소수를 분사하지 않았을 때를 나타내고, 빨간색 선은 요소수를 분사하였을 경우를 나타낸다. 큰 차이는 없지만 요소수를 분사하였을 경우가 압축압력과 팽창압력이 낮아지는 경향을 나타낸다. 이는 공기만의 경우에 비해 비열이 높은 요소수의 영향으로 사료된다.

Fig. 9에는 요소수 인젝터의 위치를 흡기포트로부터 0 mm, 500 mm, 1,000 mm, 1,500 mm 떨어진 곳에서 분사하였을 경우, 배기가스 라인에서 계속한 암모니아 농도를 나타낸다. 암모니아 농도는 각각 8.8, 6.5, 2.8, 1.5 ppm이 계속되었다. 흡기포트에서 거리가 멀어짐에 따라 선형적으로 감소하는 형태를 나타내고 있다. 이는 흡기 포트로부터의 거리에 따라 연소실 내로 들어가는 요소수의 양이 적어진다는 것을 입증하는 것으로 사료된다. 그러나 측정된 농도가 이론적인 계산에 비해 매우 저조하기 때문에 흡기 포트에서 요소수를 분사하는 것은 선행 연구 결과와 동일하게 좋은 방법은 아닌 것으로 사료된다.

Fig. 10에는 인젝터의 위치에 따른 요소수 분사 후의 포트 모습을 나타낸 것이다. 500 mm까지는

일부 요소가 퇴적된 모습을 볼 수 있으나, 1,000 mm 이후에는 거의 없는 것을 알 수 있다. 이를 통해 요소수가 연소실로 들어간 양이 매우 적은 것을 유추할 수 있었다. 따라서 연소실에서 요소가 암모니아를 생성할 수 있는지에 대한 실험을 진행하기 위해서는 연소실 내에 직접 분사하는 방식으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

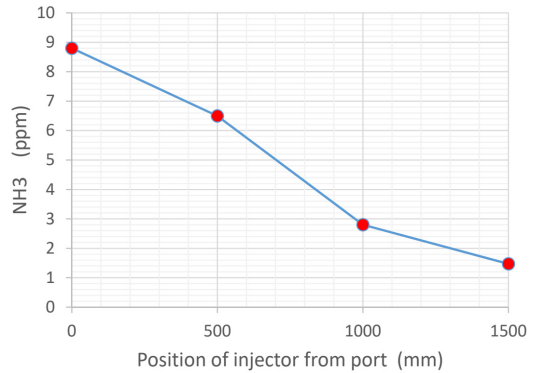


Fig. 9 Ammonia concentrations on exhaust gas pipe according to distance of injector to intake port

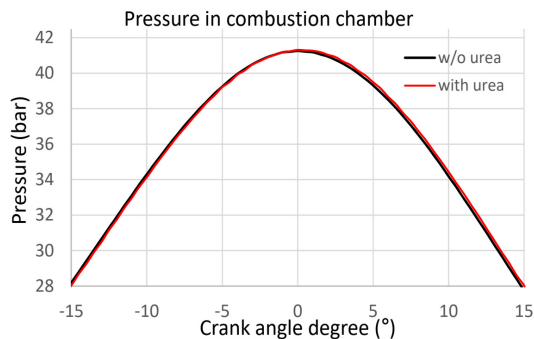
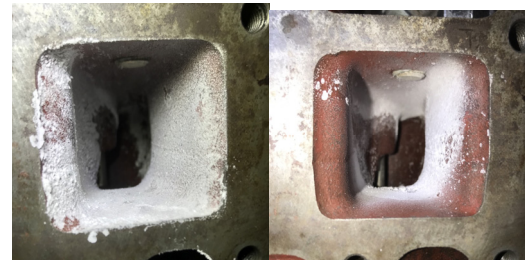


Fig. 8 Measured pressure in combustion chamber with and without urea



(a) 1,500 mm

(b) 1,000 mm



(c) 500 mm

(d) 0 mm

Fig. 10 Trace of urea deposited at intake port

## 4. 결 론

차량에 상용으로 사용되는 요소수 도징 시스템을 이용하여 900 rpm의 회전 속도를 가진 모터링 디젤엔진의 흡기 포트에 140CAD의 기간 동안 요소수를 분사하여 연소실 내에서의 암모니아 변환량을 측정하는 실험을 실시하였다. 이를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 도징 펌프의 공급압력을 11 V, 13 V, 15 V로 하여 분사량을 100회 측정한 결과, 1회 분사량이 평균 23.9138 mg, 30.2396 mg, 32.2043 mg이었다. 이는 선형인 아닌 로그함수의 형태로 나타나는 것을 알 수 있었다.

2) 연소실에서의 압력 변화를 확인한 결과, 요소수가 분사된 경우, 암모니아로 전환 시 흡열반응에 의해 압력이 낮게 상승하는 경향이 있었다.

3) 분무 형태에 따른 영향을 확인하기 위해 흡기포트에서 0 mm, 500 mm, 1,000 mm, 1,500 mm에서 분사하였을 때 배기가스 라인에서 측정된 암모니아 농도는 8.8, 6.5, 2.8, 1.5 ppm이었다.

4) 이론적인 암모니아 농도 17,445 ppm에 비해 매우 미량이 측정되었다. 흡기 포트에 퇴적된 요소가 매우 많이 발견되었기 때문에 흡기 포트에서의 요소수 분사는 유효한 방법이 아니었다.

추후 연구에서는 연소실 내에 직접 분사 방법에 의해 요소수의 암모니아 전환량을 측정할 필요가 있다.

## 후 기

이 논문은 2022학년도 부경대학교 연구년 교원 지원사업에 의하여 연구되었음.

## Author contributions

S. H. Jung; Conceptualization, Formal analysis, Funding acquisition, Supervision. J. B. Lim; Investigation, Resources. C. C. Lee; Validation, Writing-review & editing.

## References

1. B. Shadidi, G. Najafi and T. Yusaf, 2021, "A Review of Hydrogen as a Fuel in Internal Combustion Engines", *Energies*, 14(19), 1-20. (<https://doi.org/10.3390/en14196209>)
2. M. Ciniviz and H. Kose, 2011, "Hydrogen Use in Internal Combustion Engine : A Review", *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 1(1), 1-15.
3. P. Dimitriou and R. Javaid, 2020, "A review of ammonia as a compression ignition engine fuel", *International journal of hydrogen energy*, 45(11), 7098-7118. (<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.209>)
4. J. T. Gray, Jr. E. Dimitroff, N. T. Meckel and R. D. Quillian, 1967, "Ammonia fuel - Engine compatibility and combustion", *SAE INTERNATIONAL*, 75, 785-807.
5. C. C. Li, J. B. Lim, D. W. Lee, K. J. Kong and S. H. Jung, 2024, "Experimental study on hydrolysis of urea-water solution by compression pressure of diesel engines", *Journal of Advanced Marine Engineering and Technology*, 48(5), 252-259. (<https://doi.org/10.5916/jamet.2024.48.5.252>)