

# 전기 가열부 형상에 따른 동결 요소수 해동 특성에 대한 수치해석

김태욱<sup>1)</sup>·최병철<sup>2)</sup>·김화남<sup>3)</sup>

전남대학교 대학원 기계공학과<sup>1)</sup>·전남대학교 기계공학부<sup>2)</sup>·G금강(주)<sup>3)</sup>

## Numerical Analysis on Melting Characteristics of Frozen Urea-aqueous Solution with Different Shapes of Electric Heating Units

Taeuk Kim<sup>1)</sup> · Byungchul Choi<sup>2)</sup> · Hwanam Kim<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Mechanical Engineering, Graduate school of Chonnam National University, 77 Yongbong-ro Bu-gu, Gwangju 500-757, Republic of Korea

<sup>2)</sup> School of Mechanical Engineering, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro Bu-gu, Gwangju 500-757, Republic of Korea

<sup>3)</sup> Engineering Division, G-geumgang Co, 43-20, Cheomdangwagi-ro 208beon-gil, Buk-gu, Gwangju, Republic of Korea

**Abstract** : Even though urea-SCR system is a powerful technique to de-NO<sub>x</sub>, it has some critical issues such as ammonia slip, transient injection, freezing of urea solution at extreme cold ambients. In the present study, numerical analysis on three-dimensional unsteady heating problems is conducted with the commercial software STAR-CCM+(9.06) to find the melting phenomena of frozen urea-water solution and urea liquid volume fraction, temperature profiles and phase change behavior in urea solutions. After evaluating the accuracy of the numerical method by comparisons with experimental data, numerical analysis was conducted with several different shapes of heater units. From the results, it was found that the amount of melted urea is 305 mL during 20 minutes of heating period.

**Key words** : Numerical Analysis(수치해석), Diesel Engine(디젤엔진), Urea Solution(요소수), Heat Transfer(열전달), Melting(해동), SCR(Selective Catalytic Reduction, 선택적촉매환원)

## 1. 서론

디젤자동차용 urea-SCR 시스템은 넓은 온도범위에서 우수한 NO<sub>x</sub> 정화성능을 가지며, 연비에 미치는 영향이 비교적 적다. 그러나 약 -11℃ 이하에서 urea 수용액이 동결하는 등의 단점이 있다. 따라서 동결기에 기온이 약 -20℃ 이하로 내려가 urea 수용액이 동결되는 지역에서는 최단 시간 내 해동하여 시스템에 요구되는 최소량의 수용액을 확보해야 한다. 동결 요소수 해동에는 엔진 냉각수나 전기히터를 사용하며, 공간의 제약이 크게 작용하는 소형차량은 구조가 단순하고 발열량 제어가 용이한 전기히터를 주로 사용한다.

이 연구는 전기 가열부 형상에 따른 동결 urea 해동특성을 수치적 방법을 적용하여 고찰하였다. 서로 다른 형상의 전기 가열부에 동일열량을 공급 시 해동특성을 urea 액상분율, 온도분포, 상경계면의 이동 속도를 파악하였다.

## 2. 수치해석

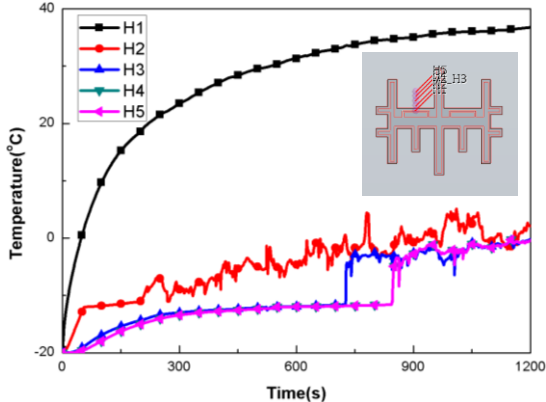
### 2.1 지배방정식

물질의 비정상상태에 대한 고체와 액체 상변화 현상과 온도 및 유동장을 계산하기 위한 지배방정식은 참고문헌을 이용하였다.<sup>1,2)</sup>

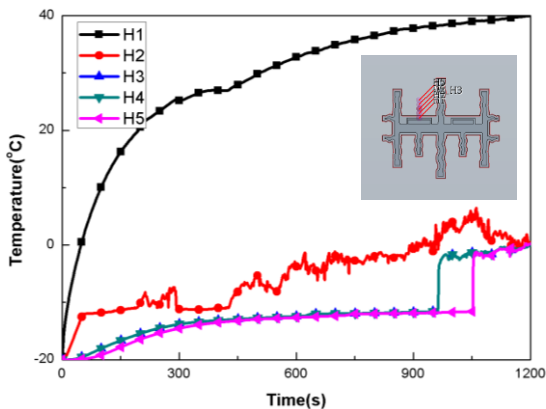
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 전기 가열부 형상이 해동에 미치는 영향

Fig. 1은 전기 가열부 형상에 따른 동결 우레아의 해동 시 온도분포다. 물결파형 전열확산판을 적용한 경우 우레아 접촉면적이 넓어 직립형 전열확산판을 적용한 경우보다 열전달이 활발히 일어나 온도가 빠르게 상승함을 확인할 수 있다. 따라서 동결된 우레아의 상변화가 물결파형을 적용한 경우에서 빠르게 나타나지만, 300초 이후부터는 직립형을 적용한 경우에서 우레아 상변화가 빠르게 일어난다.



(a) Temperature distribution (Straight)



(b) Temperature distribution (Curl)

Fig. 1 Heat transfer characteristics of melting phenomena with Different Shapes of Electric Heating Units

Fig. 2는 해동 시작 후 시간에 따른 온도분포를 도시한 것이다. 또한 물결파형 전열확산판을 적용한 모델에서 동결된 우레아로의 열전달이 느리게 이뤄져 직립형 전열확산판을 적용한 모델보다 전기 가열부 온도가 높게 나타난다.

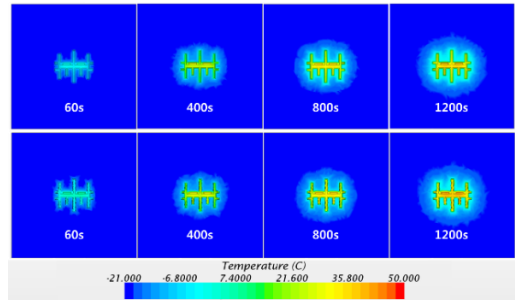


Fig. 2 Temperature distributions with elapsed time

#### 3.2 전기 가열부 형상별 해동량 비교

물결파형 전열확산판의 경우에서 우레아 해동이 먼저 시작되지만 최종 해동량은 직립형의 경우가 많다. 그래프 상의 변곡점은 비열이 높은 우레아가 상변화 하는데 걸리는 시간을 나타낸다.

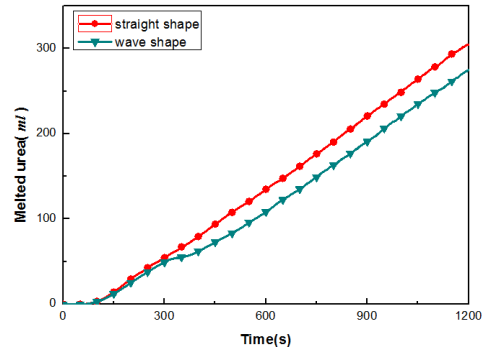


Fig. 3 Comparison of melted urea

### 4. 결론

- 비정상 3차원 해동 모델의 전산 해석 결과 직립형·물결파형 전기가열부 형상에 따른 동결 urea의 해동특성을 정확히 예측할 수 있었다.
- 물결파형 전열확산판의 경우에서 직립형 물결파형 전열확산판보다 동결 우레아와의 접촉면적이 넓어 해동시점이 빠르게 관측되었지만, 직립형 전열확산판의 최종 해동량이 높게 나타났다.

### References

- 1) B. C. Choi, S. M. Woo, "Numerical analysis of the optimum heating pipe to melt frozen urea-water-solution of a diesel urea-SCR system" Applied Thermal Engineering, Vol.89, pp.860-870, 2015.
- 2) S. A. D. Wiesche, "Numerical Heat Transfer and Thermal Engineering of AdBlue(SCR) Tanks for Combustion Engine Emission Reduction", Applied Thermal Engineering, Vol.27, No.11, pp.1790-1798, 2007.