

## 철도차량 스크루 공기압축기의 수학적 모델링

### Mathematical Modeling of a Screw Air-Compressor of a Railway Vehicle

신제창\*, 이진석\*, 김명준\*, 조현직\*\*, 강철구\*†

Che-Chang Shin\*, Jin-Seok Lee\*, Myeong-Joon Kim\*, Hyun-Jik Cho\*\*, Chul-Goo Kang\*†

**초 록.** 철도차량 공기압축기는 제동 등의 안전에 관련되는 핵심요소 중 하나로서, 최근에 고장예지 필요성이 대두되고 있다. 본 연구에서는 스크루 공기압축기의 고장예지를 위하여, 철도차량 스크루 공기압축기의 작동을 모사하는 수학적 모델을 구하고, 이를 시뮬레이션하여 실측 데이터와 비교함으로써 그 타당성을 입증하고자 한다.

**주요어 :** 스크루 공기압축기, 수학적 모델링, 시뮬레이션, 철도차량

#### 1. 서 론

현재 철도차량 공기압축기의 정비는 주로 예방정비 방법으로 이루어지고 있다. 예방정비는 일정기간 간격으로 공기압축기를 교체하는 방법으로서, 더 쓸 수 있음에도 불구하고 교체함으로써 비용 낭비가 크다. 이러한 비용 낭비를 줄이기 위하여 상태기반 정비(condition-based maintenance; CBM)가 필요하고, 이를 위해 공기압축기의 고장예지(fault prognostics)가 필요하다.

이 논문에서는 스크루 공기압축기에 대해, 그 작동을 살펴보고, 작동에 대한 수학적 모델을 구한 뒤 이를 시뮬레이션하여, Fig. 1과 같은 공항철도 공기압축기의 실측 데이터와 비교 연구하고자 한다.

#### 2. 스크루 공기압축기의 수학적 모델링

스크루 공기압축기는 Fig. 2와 같이 2개의 헬리컬 로터로 구성된 스크루가 맞물려 반대방향으로 회전



Fig 1. 철도차량에 설치된 스크루 공기압축기

하면서 공기를 흡입하고 압축하여 배출하는 회전형 압축기이다. 스크루 공기압축기는 회전을 통해 압축과정을 수행하기 때문에 왕복동 공기압축기에 비해 소음 및 진동이 적고, 소형 경량이라는 이점을 가지고 있다.

스크루 공기압축기는 급유방식과 무급유방식으로 분류되는데 이 연구에서는 급유 스크루 공기압축기를 사용한다. 급유 스크루 공기압축기는 스크루 입구에서 오일을 스크루에 분사하여, 공기온도

† 교신저자: 건국대학교 공과대학 기계공학부  
(cgkang@konkuk.ac.kr)

\* 건국대학교 공과대학 기계공학과

\*\* 현대로템(주) 기술연구소

를 내리고, 두 로터 사이에 밀봉과 윤활작용을 하도록 한 것이다.

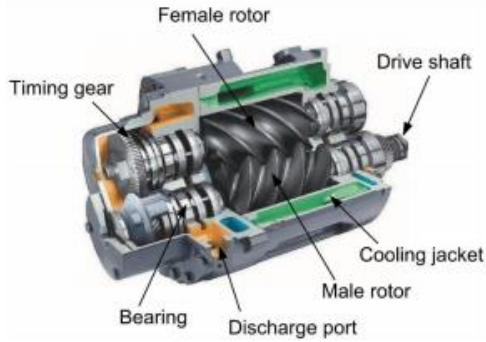


Fig 2. 스크루 공기압축기의 모습

압축 과정에서의 온도와 압력은 로터의 회전에 의한 밀폐체적의 변화[1]와 내부 누출에 의한 질량 변화에 의해 변화한다. 온도와 압력의 수학적 모델은 다음과 같다. [2,3]

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dt} = & \frac{1}{V_a} [-kP \left( \frac{dV}{dt} + q_{lo} \right) + (kP_i - P_i + P) q_{li} \\ & + k \frac{T_{ai} P V_a}{T_a M_a} m_{ai} - k \frac{P V_a}{M_a} m_{ao} \\ & - \frac{P V_a h A}{c_v M_a T_a} (T_a - T_l)] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{dT_a}{dt} = & - \frac{(k-1)T_a}{V_a} \left( \frac{dV}{dt} - \frac{P_i}{P} q_{li} + q_{lo} \right) - \frac{k-1}{M_a} T_a m_{ao} \\ & + \frac{1}{M_a} (kT_{ai} - T_a) m_{ai} - \frac{hA}{c_v M_a} (T_a - T_l) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{dT_l}{dt} = (T_{li} - T_l) \frac{m_{li}}{M_l} + \frac{hA}{M_l c_l} (T_a - T_l) \quad (3)$$

여기서  $P$ 는 공기압,  $T_a$ 는 공기온도,  $T_l$ 은 윤활오일온도,  $V$ 는 챔버부피,  $V_a$ 는 공기부피,  $q$ 는 체적유량,  $m$ 은 질량유량,  $M$ 은 질량,  $c_v$ 는 공기의 정적비열,  $h$ 는 열전달계수[4],  $A$ 는 면적[4],  $c_l$ 은 윤활오일의 비열, 하첨자  $a$ 는 공기,  $l$ 은 윤활오일,  $i$ 는 입력,  $o$ 는 출력을 의미한다.

### 3. 시뮬레이션 결과 및 토론

MATLAB을 이용하여 위 수학적 모델을 시뮬레

이션하면 Fig. 3과 같은 압력과 온도에 대한 결과를 얻을 수 있다. 로터가 회전하면서 챔버부피가 변함으로써 공기압력이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고 압축 중에 윤활오일을 분무함으로써 압축과정은 거의 등온과정임을 알 수 있다.

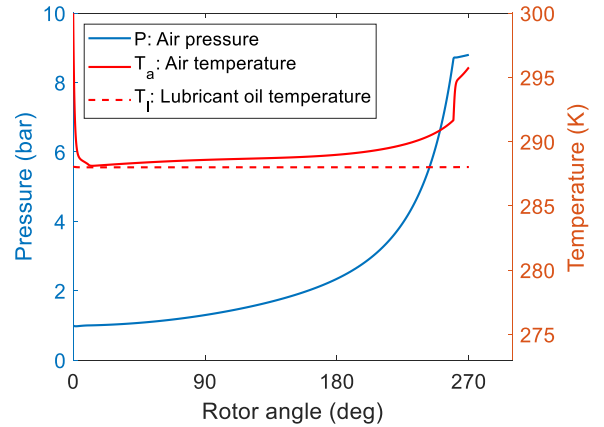


Fig 3. 스크루 공기압축기 시뮬레이션 결과

### 후 기

본 연구는 부분적으로 국토교통부 철도차량 스마트 유지보수 기술개발사업의 연구비지원(21QPWO-B152220-03)으로 수행되었으며, 또 부분적으로 정부(과기정통부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(No. 2020R1A2C1010138).

### 참고문헌

- [1] M. Fujiwara, et al. (1984) Computer modeling for performance analysis of rotary screw compressor, *Proc. of the Purdue Compressor Technology Conference*, Purdue U., USA, 536-543.
- [2] M. Fujiwara, et al. (1995) Performance analysis of an oil-injected screw compressor and its application, *Intern. J. of Refrigeration*, 18(4):220-227.
- [3] N. Seshaiyah, et el. (2007) Mathematical modeling of the working cycle of oil injected rotary twin screw ..., *Applied Thermal Engin.*, 27:145-155.
- [4] 박동규 등 (2002) 스크루 공기압축기의 성능해석, *대한기계학회논문집B*, 26(2):184-192.