

# 랩 스케일 저온탄화로 형상설계를 위한 탄화로 내부의 유동특성에 관한 연구

고동국\*, 자헤르 라마단\*\*, 이교우\*\*, 임익태\*\*†  
 \*전북대학교 기계공학과, \*\*전북대학교 기계설계공학부  
 e-mail: itim@jbnu.ac.kr

## A Study on the Inner Flow Characteristics of Furnace for the Shape Design of Low-Temperature Carbonization Furnace of Lab-Scale

Dong-Guk Ko\*, Ramadan Zaher\*\*, Gyo-Woo Lee\*\*, Ik-Tae Im\*\*†  
 \*Department of Mechanical Engineering, Jeonbuk National University  
 \*\*†Division of Mechanical Design Engineering, Jeonbuk National University

### 요약

본 연구는 랩 스케일 저온 탄화로(LTE)의 형상을 최적으로 설계하기 위한 기초연구로서 탄화 공정 시 탄화로 내부의 유동특성을 해석적 방법을 이용하여 분석한 것이다. 탄화로 내 작동유체는 불활성 가스인 질소기체를 사용하였으며 이상기체로 간주하여 해석을 수행하였다. 유입기체에 의한 탄화로 내부의 복잡한 난류유동을 모사하기 위해 k-ε 난류모델을 사용하였으며 속도구배가 큰 벽면과 유입구 그리고 유출구에 조밀한 격자를 구성하였다. 분석결과 유입공기는 탄화로의 유입구로부터 유출구 방향으로 2,500 mm에서 완전히 발달된 포물선 형태의 유동구조를 형성하고 균일한 속도분포를 나타내었다. 그러나 그 이전까지는 유입공기의 회전운동에 의해 불안정하고 불균일한 유동구조를 형성하였다. 따라서 추후 저온 탄화로내 유동을 안정화시키기 위한 방안으로서 탄화로의 양쪽 끝단에 있는 실링챔버(sealing chamber)의 유로형상 최적화에 관한 추가적인 연구가 요구된다.

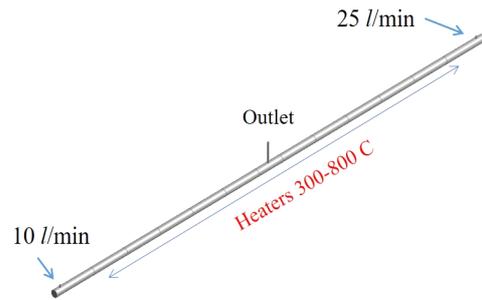
### 1. 서론

폴리이미드(polyimide)를 사용한 탄소섬유는 400~1800 W/(m·K)의 높은 열전도성을 보유하여 자동차와 항공기의 부품을 비롯한 반도체용 회로기관 등 고 부가가치의 제품에 활용이 가능하다. 탄화 공정 중 내열화 공정 없이 생산하는 기술은 아직 실용화되지 않았으며 이러한 새로운 생산기술의 개발은 국산 소재 및 부품의 경쟁력 확보를 위해 매우 중요하다고 판단된다.<sup>[1],[2]</sup>

따라서 본 연구는 폴리이미드를 활용한 탄소섬유 제조용 탄화로 제작을 위한 기초 연구로서 랩 스케일(lab-scale) 탄화로를 효과적으로 설계하기 위해 탄화로 내부유동을 해석적 방법을 이용하여 분석하였다. 또한 해석을 통해 탄화로 내부의 유동형태를 파악하고 모사하여 탄화로 축 방향 즉 길이 방향의 위치에 따른 속도분포를 균일하게 만들기 위한 방안을 모색하고자 하였다.

### 2. 수치해석

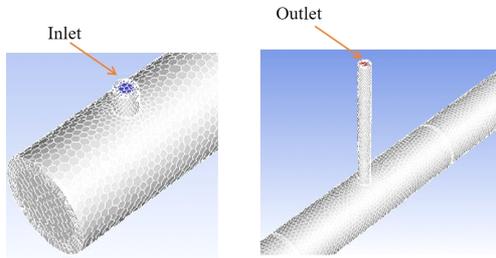
해석 대상인 랩 스케일 저온 탄화로는 그림 1에 나타난 것과 같이 지름과 길이가 각각 60 mm와 5,000 mm인 원통형이다. 길이 방향으로 가운데 부분에 기체 유출구가 있으며 그 전·후에 히터가 설치되어 탄화로 내부에 열을 전달한다. 해석결과와



[그림 1] 랩 스케일 저온 탄화로 형상

정확성과 유동의 안정성을 부여하기 위해 탄화로의 양쪽 끝에 있는 실링 챔버(sealing chamber)의 복잡한 부분은 해석대상에서 제외하였다. 탄화로의 상부면은 10개의 등간격으로 구분된 히터가 존재하며 300°C에서부터 800°C까지 50°C씩 증가하도록 설계하였다. 왼쪽과 오른쪽에 위치한 기체 유입구를 통해 각각 10 lpm과 25 lpm의 불활성 질소기체가 유입된다. 해석에서는 탄화로의 양 끝단은 막혀 있으며 유출구는 대기 중에 열려 있는 것으로 가정하였다.

본 연구에서는 저온 탄화로 내 질소기체의 유동구조를 분석하기 위해 전산유체역학 해석기법을 활용하였다. 해석에는 상용 전산유체역학 프로그램인 Ansys Fluent 20.0을 사용하



[그림 2] 랩 스케일 저온 탄화로의 격자계

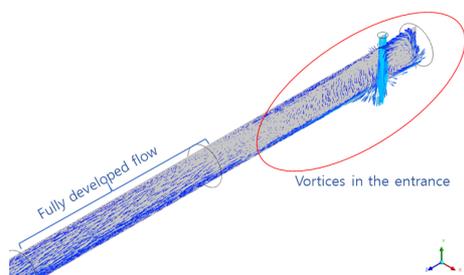
였다.<sup>[3]</sup> 탄화로 내의 질소기체는 이상기체로 간주하였으며 기체의 유동조건을 정상상태와 난류유동으로 가정하였다. 난류 모델은 평판과 원형관 유동해석에 가장 널리 사용되는 표준 k-ε 모델을 사용하였다.<sup>[3]</sup>

그림 2는 랩 스케일의 저온 탄화로에 격자를 생성한 것으로서 그 중 유입구와 유출구를 나타낸 것이다. 특히 벽면 근처는 급격한 속도변화가 있을 것으로 예상되어 원형관 벽 근처와 유입구 그리고 유출구 부위에 조밀한 격자를 구성하였다. 생성된 격자수는 대략 80 만개로서 정렬격자를 적용하였다.

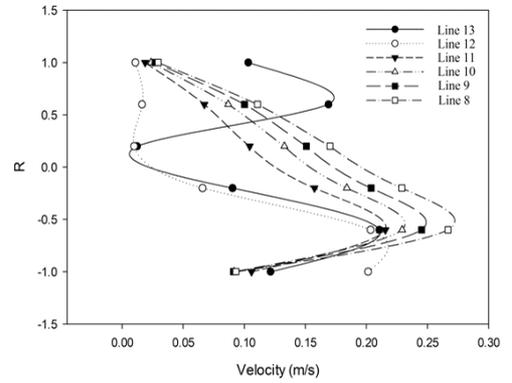
### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 저온 탄화로 오른쪽 측면에서의 탄화로 내부 속도 분포를 벡터로 표기한 것이다. 유입구를 통해 유입된 기체는 입구 반대편의 관 벽에 부딪힌 후 양쪽으로 상승하여 유입구의 양쪽에 회전유동(circulation flow)이 형성되었다. 부딪힌 기체는 유출구가 있는 왼쪽으로 흐르며 탄화로 오른쪽 끝단으로부터 2,250 mm를 지나면서 완전히 발달한 유동(fully developed flow) 형태가 형성하였다. 본 논문에서는 언급하지 않았지만 탄화로의 왼쪽 유입구에서 유입된 기체도 이와 유사한 유동 형태를 나타내었다. 다만 유입된 질소의 유량이 작기 때문에 유속은 느리게 나타났다.

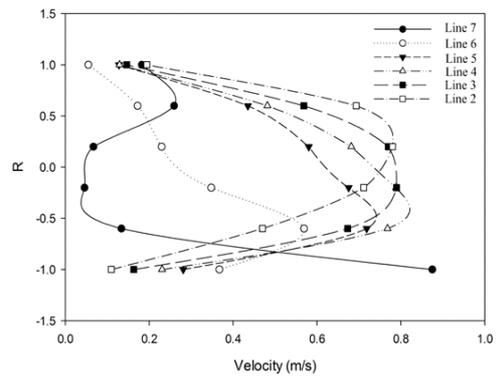
그림 4는 저온 탄화로 내의 유동을 정량적으로 살펴보기 위해 탄화로의 반경방향에 따른 길이 방향의 각 지점에서의 속도 값을 나타낸 것이다. 세로축 R은 탄화로 중심으로부터 상·하 대칭 위치를 의미한다. 그림 4의 (a)는 왼쪽 유입구에서 유출구 방향으로 각 지점에 따른 속도분포를 의미하며 그림 4의 (b)는 오른쪽 유입구에서 유출구 방향으로 각 지점에서의 속도분포



[그림 3] 저온 탄화로 오른쪽 면에서의 탄화로 내부 속도분포



(a) 탄화로 왼쪽 면



(b) 탄화로 오른쪽 면

[그림 4] 저온 탄화로의 반경방향에 따른 구간별 속도분포

를 나타낸다. 그림 4의 (a)를 보면 유출구 쪽에 가까워질수록 유속이 빠른 것을 볼 수 있으며 최대속도는 관 하부 즉 유입구의 반대편 벽면 근처에서 형성되었다. 유입구 바로 근처 즉 Line 13과 Line 12에서는 회전하는 유동 때문에 속도분포는 포물선 형태가 아닌 양쪽 벽 근처에서 최대값을 보였으며 유동의 형태는 불균일하고 불안정한 구조를 나타내었다. 그림 4의 (b)를 보면 유량의 차이로 인해 (a)에 비해 기체의 유속이 더 빠른 것을 확인할 수 있으며 Line 3에서부터 거의 완전한 포물선 형태의 균일분포를 형성하였다.

### 4. 결 론

본 연구는 랩 스케일 저온 탄화로를 최적설계하기 위한 기초자료를 획득하기 위한 것으로서 탄화로 내부의 질소기체의 유동특성을 해석적 방법을 이용하여 분석한 것이다. 실험용 탄화로는 원통형으로서 형상이 간단하지만 속도변화가 매우 크고 유동구조가 복잡하기 때문에 유동특성을 잘 이해해야 한다. 저온 탄화로의 최적형상을 구현하기 위해 탄화로 내 작동유체의 거동특성을 분석한 후 이 결과를 바탕으로 유입구의 위치와 수 그리고 배열 등을 고려한 디자인 설계를 추가하

여 속도분포의 균일도를 개선해야 한다. 특히 탄화로의 유입구로부터 유출구 방향으로 2,250 mm까지 형성된 불완전한 유동형태를 개선하기 위한 방안으로서 탄화로의 양쪽 끝에 존재하는 실링 챔버(sealing chamber)의 최적설계에 관한 추가적인 연구 또한 요구된다. 따라서 본 연구를 통해 도출된 탄화로 내 기체의 거동특성 분석은 추후 저온 탄화로 형상 최적화에 있어서 유용한 자료가 될 것으로 기대한다.

#### 후 기

본 연구는 산업통상자원부 지원사업인 소재부품기술 개발사업의 연구결과로 수행되었음.(NO. 20011577)

#### 참고문헌

- [1] H. Khayyam, R. N. Jazar, S. Nunna, G. Golkarnarenji, K. Badii, S. M. Fakhrhoseini, S. Kumar., and M. Naebe, "PAN precursor fabrication, applications and thermal stabilization process in carbon fiber production: Experimental and mathematical modelling", *Progress in Materials Science*, Vol 107, pp. 1-39, 2020.
- [2] D. G. Ko, K. J. Jung., and M. S. Kim, "Effect of Surface Thermal Conditions of Surface Heating Element on the Internal Temperature of Heater Module", *Journal of Korean Society of Mechanical Technology*, Vol. 22, No. 6, pp. 1002-1006, 2020.
- [3] TSNE, ANSYS Fluent User's Guid, ANSYS Co., Seoul, 2018.