

전산유체역학을 이용한 주물 제조 사업장 용해 공정의 최적 후드 설계에 관한 연구

정유진*, 홍성길*, 정종현**, 임기혁***, 김진욱***, 손병현***

*씨이테크(주) 연구개발센터

**대구한의대학교 보건학부

***한서대학교 환경공학과

e-mail:bhshon@hanseo.ac.kr

A study on the optimized hood design in melting process of casting facilities using CFD

Yu-Jin Jung*, Sung-Gil Hong*, Jong-Hyeon Jung**, Ki-Hyuk Lim***, Jin-Uk Kim**, Byung-Hyun Shon***

* C.E.Tech Co. Ltd., R&D Center

** Faculty of Health Science, Daegu Haany University

*** Department of Environmental Engineering, Hanseo University

요 약

주물 사업장의 용해 공정인 장입과 출탕 작업, 첨가제 투입 과정에서 많은 분진이 발생한다. 실제 주물 사업장에서 사용되는 후드 형태는 매우 다양하며 구조적인 문제점으로 인해 효과적인 배기가 어려운 실정이다. 본 연구를 통해 실제 사업장에 전기로의 다양한 공정 형태에 대한 대응이 가장 우수한 직인식 후드 방식을 제시하고, 전산유체역학(CFD : Computational Fluid Dynamics)을 이용한 오염물질 거동 예측 기법을 활용하여 직인식 후드의 적정 배기량을 산정하여 현장에 제시하였다. 실제 현장에서는 본 개념 설계 결과를 바탕으로 용해 공정에 400m³/min의 배기량을 갖는 직인식 후드를 설치한 결과, 매우 만족스러운 분진 제어 효율을 확인할 수 있었다.

1. 서론

주물(Casting)이란 용해된 금속 쇳물을 주형 속에 흘려보내 응고, 냉각시켜 원하는 모양의 금속 제품으로 만드는 작업이다. 주물 제조 공정은 많은 유해인자로 인해 작업자들의 직업병 발생 원인이 되기도 하고, 주물 공장에서 비산되는 각종 분진 및 유해가스는 대기오염의 원인이 되기도 한다. 주조 작업을 작업 공정별로 나누면 i) 용해 공정, ii) 용탕 주입 공정, iii) 조형 공정, iv) 형 해체 공정, v) 사처리 공정, vi) 후가공 공정 등 크게 6개 작업 공정으로 나눌 수 있다.

이 중에서 용해 공정은 용해로의 종류에 따라 전기 용해로, 유도로, 전기아크로, 큐폴라 등으로 나눌 수 있는데, 금속 재료를 용해로에 투입하여 용해된 금속에 탈산, 탈가스 처리를 하고 용융 금속 표면의 산화물이나 부유물 등을 제거한 후, 주형에 용탕주입을 위해 쇳물을 붓는 작업으로 이루어져 공정 특성상 다량의 분진이 발생하게 된다. 특히, 장입과 출탕 작업, 첨가제 투입 과정에서 가장 많은 분진이

발생하게 되며 분진에 대한 적절한 제어 대책이 없다면 작업환경 악화는 물론 공정 근로자가 다량의 분진에 폭로될 수 있는 문제점이 있다.

이에 본 연구에서는 전산유체역학 (CFD, Computational Fluid Dynamics)을 이용한 오염물질 거동 예측 기법을 활용하여 용해 공정에서 발생하는 분진 제어에 적합한 후드를 설계하고 후드의 적정 배기량 및 제어 능력을 검증하고자 하였다.

2. 수치 해석 내용

2.1. 수치 해석 개요

2.1.1. 기초 방정식

정상 상태, 비압축성 기체라 가정할 때 일반적인 물리량의 수송 방정식을 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.[1]

$$\text{div}(\rho V \phi_i - \Gamma_{\phi_i} \text{grad} \phi_i) = S_{\phi_i} \quad (1)$$

S_{ϕ_i} 는 부력항(S_{buoyancy})을 제외한 비정상항, 압력구

배등을 포함한 모든 source term을 나타낸다.

난류 모델에는 Launder와 Spalding에 의해 제시된 Standard k-ε turbulence model을 사용하였다.[2]

2.1.2. 수치 해석 방법

본 연구에서 사용한 소프트웨어인 FLUENT에서는 이산화 방법으로 유한체적법을 사용하고 있다. 모든 수치 해석은 상류 차분 도식과 엇갈림 격자계를 이용하여 수행하였다. 압력장을 구하기 위해 연속 방정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE 알고리즘을 사용하였고, 벽면과 고체 표면에서의 전단 응력은 벽함수(wall function)를 이용하여 계산하였다. 필터백은 Porous jump model을 이용하여 다공성 물질로 가정하고 국부 유속에 대한 단위 면적당 압력강하로 계산하였다.[3]

2.2. 수치 해석 대상

본 연구 대상은 용해로 중에서 가장 일반적인 형태로 설치되는 전기로(용량 : 3t)이며, 전기를 열원으로 합금을 용해시키는 공정이다.

전기로에 설치되는 후드 형태는 매우 다양하며, 일반적으로 캐노피 후드(Canopy hood), 링 후드(Ring hood), 스윙 후드(Swing hood)등을 설치하여 오염물질을 배기시키고 있다. 그러나, 본 연구팀에서 현장 조사를 수행한 결과, 위 후드들은 구조적인 문제점으로 인하여 [표 1]과 같이 효과적인 배기가 어려운 실정이었다.

[표 1] 전기로에 적용되고 있는 다양한 후드 형태

구분	캐노피 후드	링 후드	스윙 후드
후드 모습			
출탕 모습			
특징	발생원과 후드의 거리가 멀어 분진을 효과적으로 제어하지 못함	고온의 부력으로 빠르게 상승하는 분진을 효과적으로 제어하지 못함	발생원과 후드의 거리가 멀어질 경우 분진을 제어하지 못함

따라서 본 연구 대상 사업장에는 [그림 1]과 같이

전기로의 다양한 공정 형태에 대한 대응이 가장 우수한 직인식 후드(Capture hood)를 제시하였다. 직인식 후드는 덮개 모양의 구조를 하고 있어 용해로 상판을 덮어 비산 오염물질을 최소화할 수 있고, [표 2]와 같이 용해 과정에서 발생하는 다양한 작업 조건에 대해 자유롭게 후드 방향을 바꿀 수 있기 때문에 적절한 관리와 운용이 된다면 오염물질 제어 성능이 상당히 우수한 후드라 할 수 있다.



[그림 1] 직인식 후드 모습

[표 2] 직인식 후드 특징

장입	첨가제 투입
용해	출탕

2.3. 수치 해석 조건



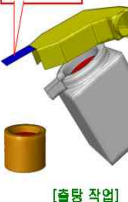
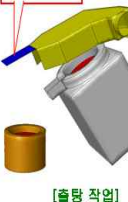
[그림 2]에 수치 계산을 위해 직인식 후드(전기로 3t 용량)를 형상화시킨 모습과 격자(약 730,000cells)를 구성한 모습을 나타내었다.



[그림 2] 수치 해석용 직인식 후드 모델링 및 격자 형상화 모습

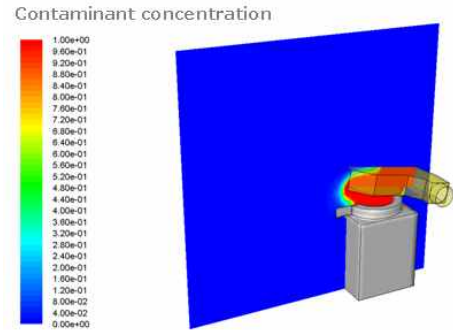
수치 해석은 [표 3]과 같이 용해 작업과 출탕 작업으로 구분하여 후드의 배기유량을 순차적으로 변화시킴으로써 오염물질의 거동 분포를 통해 제어 효율을 비교한 후, 최적의 제어 효율을 갖는 배기량을 최종 선정하였다.

[표 3] 수치 해석 Case

Case1	Case 2	Case 3	Case 4
1) 배기량 200 m ³ /min	1) 배기량 300 m ³ /min	1) 배기량 400 m ³ /min	1) 배기량 400 m ³ /min 2) 후드 안내깃 설치
			

3. 결과 및 고찰

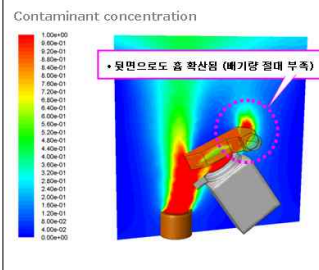
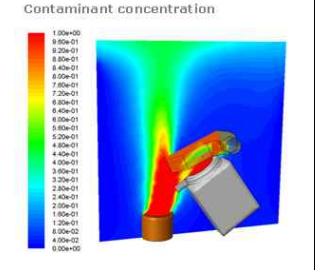
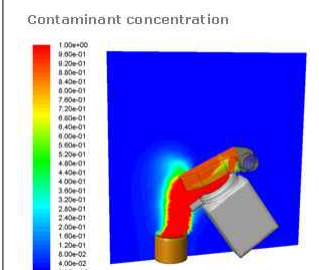
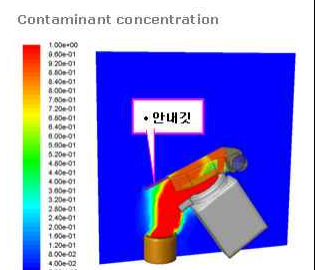
용해 작업시에는 후드와 전기로의 밀착 상태가 좋아 Case 1의 200 m³/min의 적은 배기유량에도 [그림 3]과 같이 오염물질이 주변으로 확산되지 않고 배기 효과가 양호한 것으로 예측되었다. 따라서 용해 과정에 대해서는 다른 case는 시뮬레이션을 수행하지 않았다.



[그림 3] 200m³/min(case 1) 배기시 오염물질 거동 분포

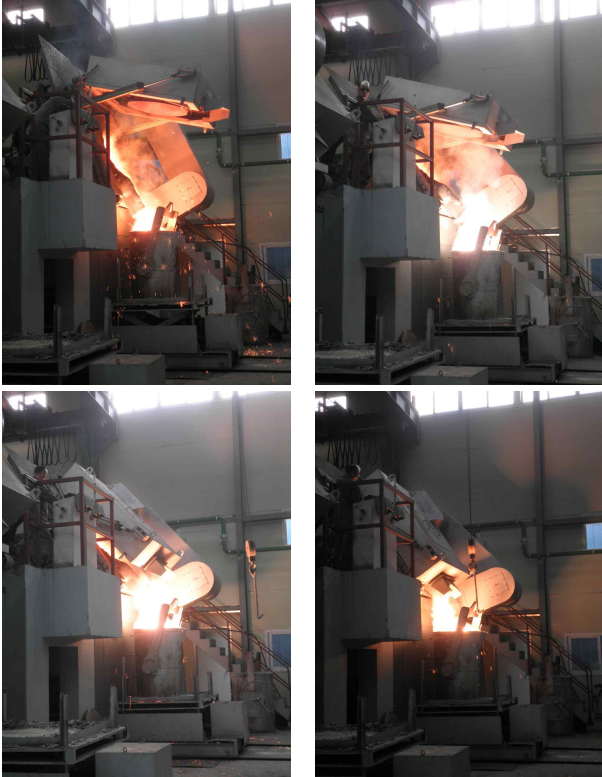
출탕 작업시에는 [표 4]와 같이 Case 3인 배기량을 400 m³/min 수준으로 배기시켜야 오염물질이 확산되지 않고 후드 내부로 모두 포집되는 것으로 예측되었으며, Case 4와 같이 후드 배기량 400 m³/min에 추가적으로 후드에 안내깃(Guide vane)을 설치한 경우 매우 안정적인 배기 효과를 가질 수 있는 것으로 예측되었다.

[표 4] 수치 해석 결과

Case1	Case 2
- 배기량 200m ³ /min	- 배기량 300m ³ /min
- 오염물질 대부분 비산됨,	- 제어 효과 미비함
	
Case 3	Case 4
- 배기량 400m ³ /min	- 배기량 400m ³ /min
- 오염물질 대부분 후드로 포집됨	- 후드 안내깃 설치
- 매우 안정적인 포집 효과를 가짐	
	

이와 같이 수치 해석 결과를 토대로 본 연구 대상

사업장의 용해 공정에 직인식 후드를 설치할 것을 제안하고, 적정 배기량 400 m³/min을 설계한 결과, [그림 4]와 같이 실제 연구 대상 사업장에 설치한 결과 매우 안정적인 분진 제어 효율을 보이고 있음을 확인할 수 있었다.



[그림 4] 실제 현장에 설치한 직인식 후드 모습

4. 결론

주물 사업장의 용해 공정인 장입과 출탕 작업, 첨가제 투입 과정에서 가장 많은 분진이 발생하게 되며 분진에 대한 적절한 제어 대책이 없다면 작업환경 악화는 물론 공정 근로자가 다량의 분진에 폭로될 수 있는 문제점이 있다.

따라서 본 연구를 통해 실제 연구 대상 사업장에 전기로의 다양한 공정 형태에 대한 대응이 가장 우수한 직인식 후드 방식을 제시하고, 전산유체역학(CFD)을 이용한 오염물질 거동 예측 기법을 활용하여 직인식 후드의 적정 배기량을 산정하여 현장에 제시하였다.

실제 현장에서는 본 개념 설계 결과를 바탕으로 용해 공정에 400m³/min의 배기량을 갖는 직인식 후드를 설치한 바, 매우 만족스러운 분진 제어 효율을 확인할 수 있었다.

사사

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학공동기술개발사업(00045078)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] 명현국, “수치유체공학”, 한미출판사, pp. 124-138, 1997.
- [2] Patankar SV, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp., 1980
- [3] 신병록, 장근식, 조강래, “전산유체역학”, 대영사, pp. 264-277, 1997.