

전산유체역학을 이용한 산세조 후드 성능 개선에 관한 연구

정유진¹, 박기우², 손병현³, 정종현^{4*}

¹씨이테크(주) 연구개발센터, ²경기대학교 환경에너지시스템공학과,
³한서대학교 환경공학과, ⁴대구한의대학교 보건학부

A Study on the Hood Performance Improvement of Pickling Tank using CFD

Yu-Jin Jung¹, Ki-Woo Park², Byung-Hyun Shon³ and Jong-Hyeon Jung^{4*}

¹C.E.Tech Co. Ltd., R&D Center

²Department of Environmental Energy System Engineering, Kyonggi University

³Dept of Environmental Engineering, Hanseo University

⁴Faculty of Health Science, Daegu Haany University

요약 본 연구에서는 산(acid) 세척 개방조의 양 측면에 설치한 슬롯형 외부식 후드의 성능을 평가하였고, 산(acid) 증기의 포집능력을 향상시킬 수 있는 방안을 검토하였다. 현장조사와 전산유체역학 수행한 결과, 기존 후드의 흡인 성능이 매우 불량한 것으로 확인되었으며, 후드의 흡인 성능을 개선시켜야 할 것으로 판단되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 개방조 한쪽에서 밀어주고 반대편에서 당겨주는 방식의 Push-pull 후드로 개선할 것을 제시하였다. 개선 방안에 대한 효과를 예측한 결과, Push-pull 후드로 개선할 경우에는 push 기류에 의해 조 표면에 비교적 높은 제어 기류를 형성시키면서 산 가스를 후드 쪽으로 유인시킬 수 있는 것으로 예측되었다. 그러나 push 기류 유속이 너무 강할 경우에는 후드 쪽에서 오히려 범람하여 주변으로 확산될 가능성이 있는 것으로 확인되었다. 따라서 push 급기를 약 25 m³/min(급기유속 10 m/s) 수준으로 설치할 경우 조 표면으로 적절한 제어 기류가 형성되는 것으로 확인되었다. 또한, 조 상부에 정체하던 산 가스가 후드 쪽으로 원활하게 유인 및 포집되어 흡인 성능이 향상될 수 있음을 확인할 수 있었다.

Abstract In this study, we investigated the methods of improving the capturing ability of acid fume by assessing the performance of slot-type external hood installed on both sides of an open surface tank for acid washing process. A field survey and the results of computational fluid dynamics revealed that capturing performance of existing hoods is very poor. To solve such problem, 'push-pull hood' that pushes from one side of an open surface tank and pulls on the other side was suggested. The initial prediction was that if a push-pull hood is used, the acid fume of an acid-washing tank surface could be moved towards the hood through the push flow. However, this study has confirmed that if the push flow velocity becomes too high, it could spread to other areas due to flooding from the hood. Therefore, if the push air supply is maintained at around 25 m³/min(push 10 m/s), proper control flow is formed on the surface of a tank and acid fume that stayed at the upper part of the tank is smoothly captured toward the hood, significantly enhancing the capturing performance.

Key Words : Computational Fluid Dynamics, Exterior slot hood, Open surface tank, Push-pull hood

본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며, (No. 2012-R1A1A4A01- 014771) 연구비를 지원하여 주심에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Jong-Hyeon Jung(Daegu Haany Univ.)

Tel: +82-10-2805-5621 email: airgas@dhu.ac.kr

Received November 5, 2013

Revised (1st December 10, 2013, 2nd January 8, 2014)

Accepted January 9, 2014

1. 서론

후드(Hood)는 국소배기장치의 시작점으로 유해한 오염물질이 포함된 공기를 끌어들이어 포집하는 부분이다. 유해오염물질이 들어오는 입구인 개구부는 그 모양에 관계없이 후드라고 볼 수 있으며, 작업자의 작업 활동 및 공정 흐름에 지장을 주지 않으면서 오염된 공기가 모두 포집되도록 적절한 제어유속(Capture velocity), 크기, 모양 등의 조건을 갖추어야 한다[1-4,7]. 후드에서 유해오염물질이 충분히 포집되지 않는다면 후드 이후의 설비(공기정화장치, 송풍기)가 아무리 우수한 조건을 갖추고 있는 경우에도 유해한 오염물질 제거에 효율적이지 못하게 된다. 따라서 후드는 국소배기장치에서 가장 중요한 부분이라 할 수 있다.

본 연구 대상 공정은 전자 부품을 제조하는 공장으로서 제품의 표면 상태를 개선할 목적으로 수행하는 도금 작업 전에 도금에 영향을 미칠 수 있는 피도금물 표면의 스케일이나 녹 등을 제거하기 위해서 염산이나 황산을 이용하여 세척작업을 수행하는 공정이다. 주로 수평으로 이동하는 호이스트(Hoist) 및 캐리어(Carrier)등에 피세척물을 고정시켜 염산이나 황산이 들어 있는조에 함침시켜 일정 시간 침지 후 꺼내어 다음 공정인 수세 및 건조 공정으로 이동하게 된다. 이 때 조는 상부가 상시 개방되어 있는 개방조(Open surface tank) 형태이며, 일반적인 산세조(Pickling tank)라 함은 이와 같은 개방조 형태의 침지작업을 수행하고 있다. 세척에 이용되는 산은 작업성 및 경제성 등을 고려하여 일반적으로 염산이나 황산이 사용되고 있다. 산세척 과정에서 많이 발생하는 염산가스의 경우 작업공정에 근무하고 있는 근로자가 다량을 흡입할 경우 폐수중을 유발하여 사망하는 경우도 발생하고 있으며, 황산가스의 경우 근로자 피부 접촉시에 세포조직을 파괴하거나 또는 흡입시에 중증 장애 및 사망을 초래할 수 있어 이러한 산성물질을 처리하는 작업장에서는 반드시 환기 장치를 설치해야 한다[3].

따라서 본 연구에서는 인체에 많은 악영향을 미치는 유해한 산성 증기를 제어하기 위해 세척조 양 측면에 설치한 슬롯(Slot)형 외부식 후드의 성능을 평가하였으며, 산 증기 포집능력을 향상시킬 수 있는 방안을 검토하였다. 이를 검토하기 위해 수치해석기법(CFD, Computational Fluid Dynamics)을 이용하였다. 수치해석기법은 본 연구 대상 공정의 유동 특성을 분석하여 실제 실험의 한계성이 안고 있는 문제를 해결하여 기류 특성을 이해하는데 매우 경제적이고도 효과적인 방법을 제공할 수 있다 [4,6-8,11]. 수치해석기법을 이용하여 후드의 현재 성능과 성능향상 방안에 대한 효과를 검토하여 작업환경을 개선

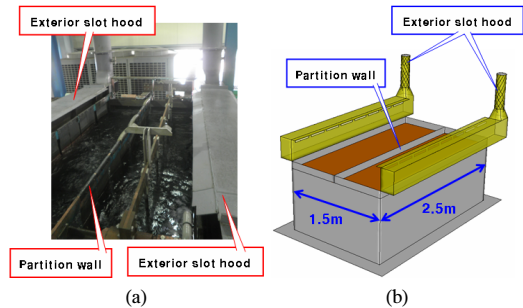
함은 물론 이와 유사한 산업 현장에서도 실제 적용 가능한 최적화된 후드 시스템을 제안하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 공정 현황

2.1.1 기존 후드

본 연구대상 공정의 상부에는 피세척물 함침을 위한 수평 이동형 호이스트가 설치되어 있고, 조 상부는 그대로 개방되어 있는 형태로 구성되어 있으며, 대상공정에서는 15% 염산 용액을 약 30분 정도 침지하여 사용하고 있다. 또한, 조 상부에서 발생하는 산 증기를 제어 및 포집하기 위해 개방조 양 측면에 슬롯형 후드를 설치하여 운영하고 있다. 또한, 조의 폭이 넓어 한 쪽변에만 후드를 설치할 경우 반대편까지 후드의 배기력을 미치지 어려우므로 반대쪽에도 후드를 하나 더 설치한 양쪽 흡인형 방식으로 운영하고 있었으며, 추가적으로 배기 구간을 구분하고자 개방조 중앙에 격벽을 설치하여 사용하고 있었으며, 세부적인 공정 구성은 Fig. 1과 같다.



[Fig. 1] Open surface tank and hood configuration
(a)Configuration (b)Dimension

2.1.2 개선 후드

본 연구 대상의 개방조와 같이 조의 폭이 비교적 넓은 경우에는 측방형 후드로 조 전체 구간에 충분한 제어유속을 유지시키기 위해서는 과도한 후드 유량이 필요하게 되므로 후드의 실용성이 떨어진다[3]. 이러한 측방형 후드의 단점을 보완하기 위해서 당겨만 주는 방식보다 밀어주고 당겨주는 방식의 Push-Pull 후드를 적용할 것을 제안하였다. 조 한쪽 변에 설치된 후드를 철거하여 다른 한쪽 변에 설치된 후드로 유량을 집중시키고, 철거한 후드 위치에 Push jet용 급기 덕트를 설치하면 유량은 적지만 운동량이 큰 제트 기류를 조 표면에 평행하게 밀어주

고 제트 기류가 조의 표면을 통과하면서 조에서 발생되는 오염물질을 후드까지 유인시키고, 이를 Pull 후드에서 받아주는 방식이다. 이는 Push-Pull 후드에서 배기후드는 Push 기류에 의해 포집된 유해오염물질을 단순히 받아주는 역할을 하므로 적은 후드 유량으로도 조 표면에 충분한 제어유속을 유지시켜 줄 수 있기 때문에 폭이 비교적 넓은 개방조 후드에 적합할 것으로 판단되었기 때문이다 [5].

또한, 미국 산업위생사협의회(ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서 제시하는 개방조 공정에 대한 국소배기 후드 설계 매뉴얼에 의하면, 일반적으로 개방조의 폭이 50cm 이하인 경우에 한쪽 슬롯 후드를 적용하고, 50~90cm는 양쪽 슬롯 후드, 90cm 이상은 양쪽 슬롯 후드 또는 Push-Pull 후드, 120cm 이상은 Push-Pull 후드를 설치하도록 권장하고 있다. 이 때 Push 노즐 분기관의 단면적은 노즐 개구면적의 2.5배 이상으로 하고, 분사 각도는 약 0~20°로 하향시키며 분사 노즐의 유량은 아래 식 (1)에 의거하여 산정토록 권고하고 있다[3].

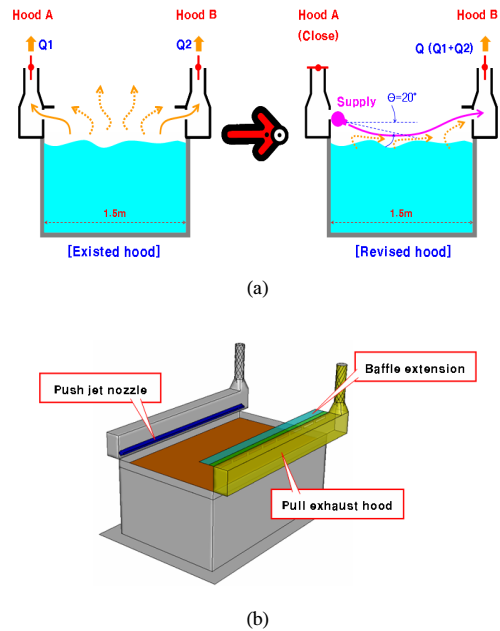
$$Q_j = 0.68 \sqrt{A_j} \text{ m}^3/\text{s/m} \quad (1)$$

여기에서 Q는 푸시 노즐 단위 길이당 급기 유량, A_j는 푸시 노즐 1m 당 개구면적이다.

Pull측 배기량은 조의 온도를 기준으로 아래 식 (2)에 의거하여 산정토록 권고하고 있다[3].

$$Q_E = 0.38 \text{ m}^3/\text{s/m}^2 \quad (2)$$

이 때 개선 후드는 ACGIH에서 제시하는 위 설계 권고치를 기준으로 산정한 Push와 Pull의 유량을 적용하는 것과 기존의 배기량을 변동없이 최대한 이용하면서 Push 노즐만 설치하여 급기 조건을 조정하여 최적의 유량 밸런스를 찾고자 한다. 후자의 경우, 배기량은 Fig. 2의 후드 A 위치에 Push용 급기 덕트를 설치할 것이므로 덤퍼를 닫아 Pull 후드 역할을 할 후드 B로 집중시킴에 따라 후드 A와 B의 유량을 합한 값이 Pull 후드의 배기량이 된다. Push jet용 급기 덕트는 제트 기류가 조의 표면을 따라 흐를 수 있도록 분사 각도를 분사구 축 아래 방향으로 20° 하향시켰다. 또한 Pull 배기 후드에 설치된 배플을 좀 더 연장시켜 배기력을 집중시키고자 하였으며, 세부적인 공기구조성은 Fig. 2와 같다.



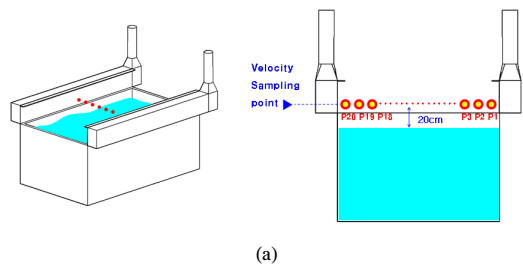
[Fig. 2] Scheme of hood revision
(a)Concept of revision (b)Scheme of revision

2.2 현장 조사

수치해석기법을 통해 기존 후드의 포집 성능을 규명하기 위한 경계 조건(Boundary condition)을 확보하기 위해 후드 성능 및 농도 평가를 수행하였다.

2.2.1 후드 성능 평가

기존 후드의 흡인 성능을 평가하기 위해 제어유속과 배기량을 측정하였다. Fig. 3과 같이 열선풍속계(TSI 9545)를 이용하여 개방조 표면으로부터 약 20 cm 높이의 중앙을 기준으로 총 20 point에서 제어유속을 측정하였고, 연기발생기를 이용한 흡인 성능을 가시적으로 확인하였다.

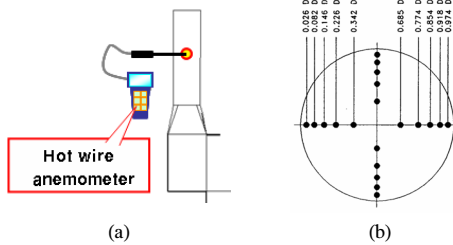




[Fig. 3] Measuring figure
 (a)Sampling point for capture velocity and HCl concentration (b)Hot wire anemometer (c)Fog machine

후드에 연결된 덕트에서 배기량(Exhaust flow rate)을 평가하였다. 덕트 단면에서 피토크 횡단법(Pitot traverse)에 따라 총 20 point에서 유속을 측정하여 평균하고, 배기량은 식(3)과 같이 평가하였으며, Fig. 4에 자세히 나타내었다.

$$Q(\text{m}^3/\text{min}) = A(\text{m}^2) \times V(\text{m/s}) \quad (3)$$



[Fig. 4] Measuring of hood exhaust flow rate.
 (a)Measuring figure (b)Pitot traverse

2.2.2 농도 평가

산 증기의 발생현황과 주변으로의 확산 정도를 평가하고 수치해석기법의 경계 조건으로 활용하고자 염화수소 농도를 대기오염공정시험법(싸이오시안산 제이수은법)에 따라 분석하였다. 산 증기의 발생 농도를 측정하기 위해 배기 장치의 가동을 중단한 상태에서 개방조 표면에서 농도를 측정하였으며, 주변으로의 확산 여부를 확인하기 위해 배기 장치를 가동한 상태에서 후드 배기구 위치 중앙을 기준으로 총 20 point에서 농도를 측정하였다[Fig. 3](a).

2.3 수치 해석 방법

2.3.1 지배 방정식

유체의 유동에 대한 물리적인 특성을 나타내는 기본적인 법칙이 있으며, mass, momentum, energy conservation 등과 같은 법칙들이다. 정상 상태, 비압축성 기체라 가정할 때 일반적인 물리량의 수송 방정식을 다음과 같은 형

태로 나타낼 수 있다.

$$\text{div}(\rho V \phi_i - \Gamma_{\phi_i} \text{grad} \phi_i) = S_{\phi_i} \quad (4)$$

여기에서 V는 속도 벡터(Velocity vector)이고 Γ_{ϕ_i} 는 확산계수이다. S_{ϕ_i} 는 부력항(Buoyancy)을 제외한 비정상항, 압력구배 등을 포함한 모든 source term을 나타낸다[8].

2.3.2 난류 모델

난류 유동은 매우 불규칙하고, 비정상 3차원 거동을 하므로 난류 유동과 관련된 유동 현상을 수치적으로 정확하게 예측하거나 설명하기는 어렵고 레이놀즈수 유동에서 발생하는 난류의 물리량 수송방정식인 Navier-Stokes 방정식을 직접 풀 수는 없다[10]. 따라서 난류를 해석하기 위해 난류 모델을 도입하게 된다. 난류 모델 중 1974년 Launder와 Spalding에 의해 제시된 표준 k-ε 모델은 난류의 시간적으로 변동하는 속도가 시간 평균 속도와 변동분의 속도로 되어 있다는 가정하에 Navier-Stokes 방정식을 시간 평균하여 속도 변동량의 상관항이 응력 형태(Re 응력항 = 난류 점성 계수 × 속도 구배)인 레이놀즈 응력항을 도출해 내고, 이는 분자점성에 의해 발생하는 전단 응력과 같은 형태로 난류를 가장 잘 표현하는 모델이라 할 수 있다[1,2,4,8,11].

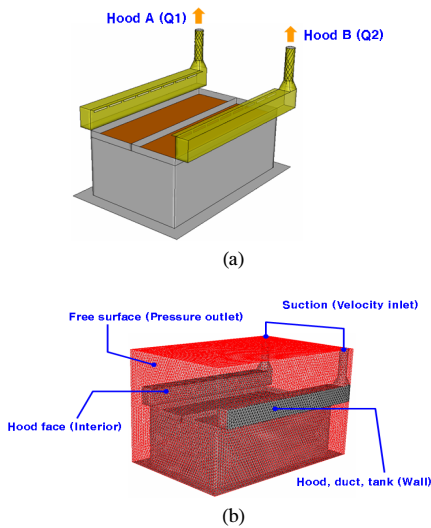
2.3.3 해석 방법

본 연구에서는 상용 소프트웨어인 FLUENT를 사용하였고, 이는 난류 방정식들의 이산화 방법으로 유한체적법(finite-volume method)을 사용한다. 유한체적법은 적분 후에 이산화하기 때문에 항상 그 미소 영역내의 운동량 등의 출입을 고려하게 되어 보존 법칙을 확실하게 만족시키는 이산식을 얻을 수 있는 장점이 있다[1,2,4,8-11]. 그리고 압력장을 구하기 위해 연속 방정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE (Semi-Implicit Method Pressure-Linked Equations) 알고리즘을 사용하였다[1,2,4,8-11].

2.4 수치 해석 모델

2.4.1 기존 후드

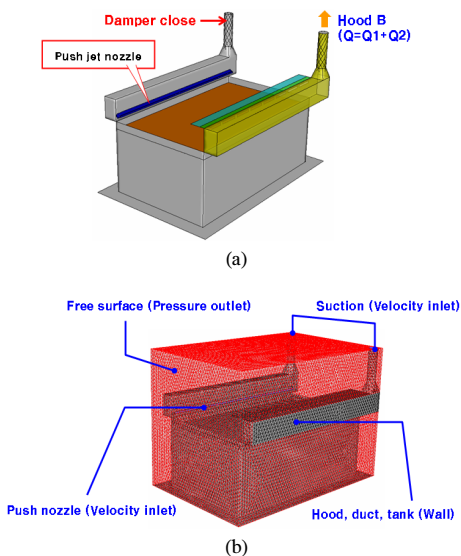
Fig. 5에서는 기존 후드의 수치해석을 위해 실제 후드 형상과 똑같은 형상으로 3차원 모형을 구현하였으며, 격자 형상(Grid configuration) 모습 및 경계 조건도 함께 나타내었다. 수치 계산을 위한 제어체적 구성에 사용된 격자수는 563,200개이며, 후드 A와 후드 B의 배기량 조건은 실측값을 나타내었다.



[Fig. 5] Control volume and grid configuration of the 3 dimensional existing hood.
 (a)3D modeling (b)Control volume and boundary condition

2.4.2 개선 후드

Fig. 6에서는 기존 후드의 흡인성능 향상을 위해 마련한 후드 개선안에 대한 격자 형상 모습 및 경계 조건을 나타내었다. 계산을 위해 사용한 격자수는 기존 후드와 동일하다.



[Fig. 6] Control volume and grid configuration of the 3 dimensional modified hood.
 (a)3D modeling (b)Control volume and boundary condition

2.5 수치 해석 조건

기존 후드 및 개선된 후드에 대한 수치해석조건을 Table 1에 나타내었다. Case 1은 현재 상태를 묘사한 조건으로 현장조사를 통해 수집한 자료를 경계 조건으로 활용하였다. Case 2~4는 개선 후드 상황으로 기존 배기량을 그대로 이용하고 Push용 급기 제원을 신설 및 조정 한 조건이다. 이에 Pull 배기 후드는 기존 양쪽 흡인형을 후드 1개로 통합하여 배기량은 기존 후드의 2배가 되며, Push 유량 및 급기 유속 조건은 각 case별로 수치해석을 통해 오염물질의 포집 및 확산 정도를 확인하면서 최적의 조건을 찾고자 하였다. Case 5는 ACGIH 설계 권고치로 산정한 Push와 Pull의 유량 제원의 효과를 예측하기 위한 조건이다. Push와 Pull의 유량은 앞서 언급한 설계 권고치에 의거하여 산정한 수치이며 배기량이 상대적으로 크게 산정되었다. 또한 기존 배기량을 그대로 이용하면서 급기량을 증가시킨 Case 2~4의 결과와도 비교 검증하였다.

[Table 1] Simulation cases

	Flow rate (m3/min)			Remark
	Supply	Exhaust		
	Push nozzle	Hood A	Hood B	
Case 1	-	18	18	Existing hood
Case 2	15 (v = 6m/s)	-	36	Modified hood
Case 3	25 (v = 10m/s)	-	36	
Case 4	35 (v = 10m/s)	-	36	
Case 5	15 (v = 15m/s)	-	86	Recommendation value of ACGIH

3. 결과 및 고찰

3.1 현장 조사

3.1.1 후드 성능 평가

후드의 배기량을 측정한 결과 각각 18 m³/min이었으며, 이 때 개방조 표면으로부터 약 20 cm 높이의 중앙을 기준으로 총 20 point에서 제어유속을 측정한 결과, 평균 약 0.12 m/s 수준이었다. 개방조 외부식 후드의 경우 오염물질 발생원에서 가장 먼 거리(격벽 위치)의 제어유속 권고치가 최소 0.7 m/s 이상 유지할 것을 권장하고 있다 (ACGIH, 2001). 권고치를 기준으로 모든 지점의 제어유

속이 0.2 m/s 미만으로 매우 약한 것으로 평가되었고, 후드로부터 멀어질수록 유속은 더 낮아지는 경향을 나타내었다.

또한, 연기 발생기를 이용하여 개방조 후드의 배기 흐름을 확인한 결과, Fig. 7과 같이 후드 근처 연기만 일부 포집될 뿐 대부분 외부로 확산되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 후드 흡인 성능은 매우 불량한 것으로 확인되었다.



[Fig. 7] Air stream visualization test.

3.1.2 농도 평가

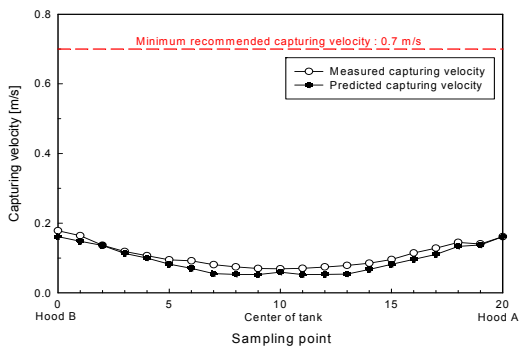
산 증기의 발생 농도를 측정하기 위해 배기 장치의 가동을 중단한 상태에서 개방조 표면에서 염화수소(HCl)의 농도를 측정된 결과, 평균 약 1.2 ppm 수준으로 확인되었다. 이는 수치해석을 위한 발생원 경계 조건으로 활용하였다. 후드 배기구 위치 중양을 기준으로 총 20 point에서 측정된 결과, 평균 약 0.26 ppm 수준이었다.

3.2 수치 해석 결과

3.2.1 기존 후드 검증

1) 제어유속 예측 결과

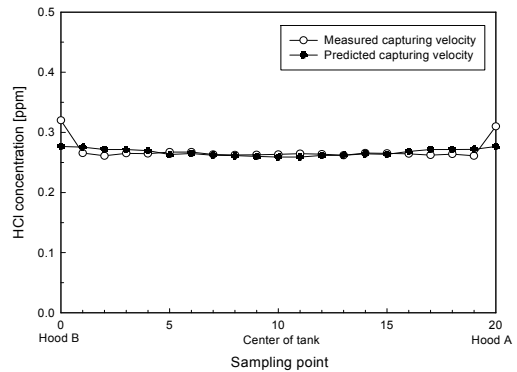
Fig. 8에서 확인한 바와 같이 현장에서 직접 측정된 제어유속의 선형 분포와 예측치가 매우 잘 일치하고 있는 것으로 확인되었다. 측정치와 예측치 모두 대부분 지점에서 평균 0.2 m/s 미만의 수준을 보이고 있으며, 후드의 배기효율이 매우 낮은 상태임을 예상할 수 있었다.



[Fig. 8] Comparison of measured and predicted velocity.

2) 오염물질 농도 예측 결과

Fig. 9를 보면 Hood A와 Hood B 위치를 제외한 거의 모든 지점에서 위치별 농도는 선형 분포를 나타내었다. 예측치와 측정치 모두 개방조 상부 대부분 구간에서 평균농도인 0.26 ppm 수준의 일정한 분포를 나타내고 있으며, 측정치의 경우 후드 근처에서의 농도가 다소 높게 측정된 것은 후드의 배기력에 의해 농도가 다소 집중됨에 따른 결과로 판단된다. 이는 후드 근처의 산 증기만 일부 포집되고, 대부분 구간에서는 후드의 배기력이 전혀 영향을 미치지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 측정치와 예측치가 비교적 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.



[Fig. 9] Comparison of measured and predicted concentration.

3.2.2 개선 후드 효과

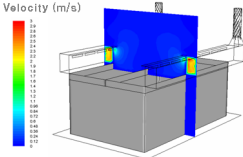
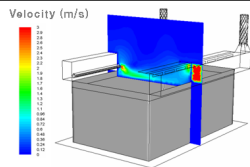
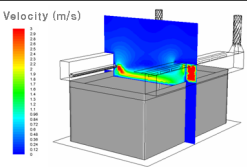
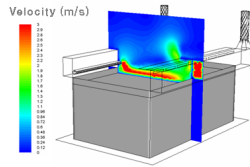
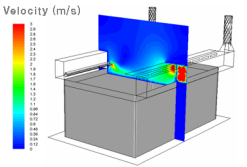
1) 제어유속 비교 결과

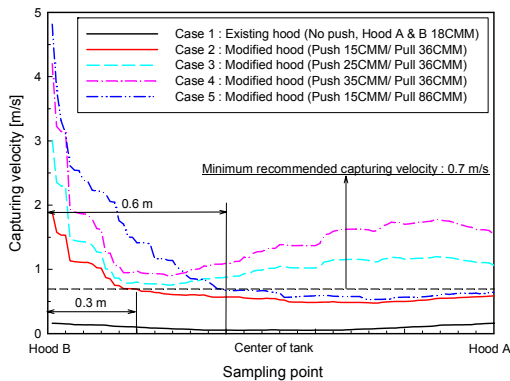
Table 2에서 확인한 바와 같이 현재 상태인 Case 1의 경우에는 개방조 상부로 기류 흐름이 거의 없는 것으로 예측되었다. 후드 개선안인 Case 2는 밀어주는 역할을 하는 push 기류가 다소 약하여 조의 중앙 구간 이후에서부터는 제어 기류가 급감하는 경향을 나타내는 것으로 예측되었다. 반면에 Case 4는 push 기류가 너무 강하여 조 상부에 약 2 m/s 수준의 강한 제어 기류가 형성되고는 있으나, 후드 근처에서 기류가 범람(Overload)하여 상승하는 경향을 보이고 있어 push air 유량이 너무 많은 것으로 판단된다. Case 3은 조 상부로 약 1 m/s 수준의 제어 기류가 형성되고, 후드 근처에서도 범람 없이 안정적으로 배기되고 있는 경향을 보이는 것으로 예측되었다. ACGIH 설계 권고치인 Case 5는 급기가 시작되는 구간에서부터 조의 중앙까지는 Case 2와 유사한 유속 분포를 보인 후, 조의 중앙부터 Pull 후드 구간까지는 배기량이 가장 많으므로 높은 유속 분포를 보이고 있었다. 그러나 push측으로부터 0.9 m 까지는 최소 제어유속이 0.7 m/s 보다 낮아 효과적인 배기에 약간의 문제가 있는 것으로 나

타났다.

Fig. 10에 각 조건별 유속 선형 분포를 정리한 결과, Table 2의 결과를 부연할 수 있는 경향을 나타내고 있다.

[Table 2] Predicted velocity field in the existing hood and modified hood

Case 1	
* Existing hood * Supply : No * Exhaust : Hood A 18CMM / Hood B 18CMM	
	
<p>Case 2</p> <p>* Modified hood * Supply : push 15CMM * Exhaust : pull 36CMM</p> 	<p>Case 3</p> <p>* Modified hood * Supply : push 25CMM * Exhaust : pull 36CMM</p> 
<p>Case 4</p> <p>* Modified hood * Supply : push 35CMM * Exhaust : pull 36CMM</p> 	<p>Case 5</p> <p>* Modified hood * Supply : push 15CMM * Exhaust : pull 86CMM</p> 



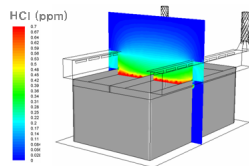
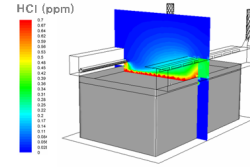
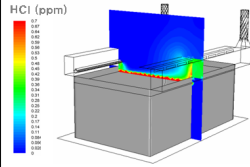
[Fig. 10] Comparison of predicted velocity distribution between existing hood and modified hood.

2) 오염물질 농도 비교 결과

Table 3에서 확인한 바와 같이 Case 1은 개방조 상부로 산 가스가 고농도로 정체되고 있는 것으로 예측되었다. 후드 개선안인 Case 2는 밀어주는 역할을 하는 push 기류가 다소 약하여 push 노즐이 위치하는 구간의 농도는 상대적으로 낮으나 조의 중앙 구간 이후에서부터는 여전히 정체되는 경향을 보이고 있다. Case 3은 적절한 push 기류에 의해 조 상부에 정체하던 산 가스가 후드 쪽으로 원활하게 유인되어 포집되고 있는 것으로 예측되었다. Case 4는 후드 근처에서 고농도의 산 가스가 범람하여 조 표면 근처에까지 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 push 기류가 너무 강한 현상에 기인한 것으로 판단된다. ACGIH 설계 권고치인 Case 5는 조 표면 전반적으로 농도가 가장 낮은 수준으로 예측되었으며, 배기량이 가장 많으므로 Pull 후드 근처에서도 신속한 배기에 의해 농도가 낮은 수준으로 확인되었다. 그러나 push측으로부터 1 m까지는 Case 3보다 HCl의 농도가 높게 유지되는 것을 볼 수 있어 push 유량이 비교적 적고 pull유량은 상대적으로 많음을 확인할 수 있다.

개선된 후드의 모든 Case가 전반적으로 Pull 후드 쪽으로 갈수록 농도가 높아지는 것은 push 기류에 의해 후드로 산 가스가 유인되어 집중되기 때문인 것으로 판단된다.

[Table 3] Predicted concentration field in the existing hood and modified hood

Case 1	
* Existing hood * Supply : No * Exhaust : Hood A 18CMM / Hood B 18CMM	
	
<p>Case 2</p> <p>* Modified hood * Supply : push 15CMM * Exhaust : pull 36CMM</p> 	<p>Case 3</p> <p>* Modified hood * Supply : push 25CMM * Exhaust : pull 36CMM</p> 

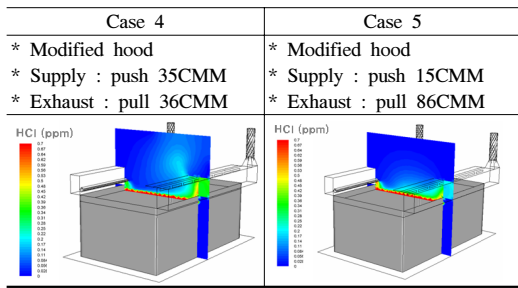
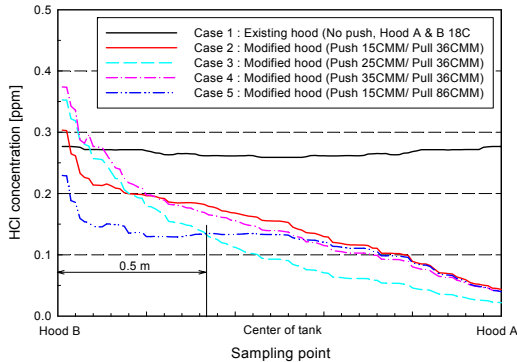


Fig. 11에서는 각 조건별 농도 선형 분포를 정리하여 나타내었으며, 앞서 Table 3의 결과를 부연할 수 있는 경향을 나타내고 있다.



[Fig. 11] Comparison of predicted concentration distribution between existing hood and modified hood

IV. 결론

본 연구에서는 도금공정에 영향을 미칠 수 있는 피도금물 표면의 스케일이나 녹 등의 제거를 위해서 염산이나 황산을 이용한 세척 작업을 수행하는 산세 개방조(open surface tank) 공정에 대하여 현장조사와 수치해석 기법을 이용한 연구를 수행하였으며, 인체에 유해한 산 증기를 제어하기 위해 조의 양쪽 측면에 설치한 슬롯(slot)형 외부식 후드의 성능을 평가하였고, 산 증기의 포집능력을 향상시킬 수 있는 방안을 검토하였다. 이상의 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구 대상 후드는 조 상부 대부분에서 제어유속이 0.2 m/s 미만으로 평가되었고, 연기 발생기를 이용한 결과 대부분 외부로 확산되고 있어 후드의 흡인 성능이 매우 불량한 것으로 확인되었다. 따라서 산 가스의 확산 방지를 위해 후드의 흡인 성능을 개

선시키는 것이 필요할 것으로 판단되었다.

2. 이에 연구 대상 공정과 같이 조의 폭이 넓은 경우에는 기존 배기량을 그대로 이용하기 위해 양쪽에서 당겨만 주는 방식보다 한쪽에서 밀어주고 반대편에서 당겨주는 방식의 Push-Pull 후드로 개선할 것을 제시하였다.
3. 개선 효과를 검증한 결과, Case 5의 ACGIH 설계 권고치를 기준으로 산정한 조건과 Case 3과 같이 배기량 변동 없이 Push 급기를 약 25 m³/min(급기 유속 10 m/s) 수준으로 설치한 경우가 오염물질이 후드 쪽으로 원활하게 유인 및 포집되어 흡인 성능이 향상될 수 있음을 확인할 수 있었다. 단, Case 5는 배기량이 현재보다 약 2배 이상 증가되어야 하므로 덕트 및 집진용량도 함께 증설되어야 하는 문제점이 발생할 수 있는 바, Case 3과 같이 기존 배기량을 그대로 유지하면서 Push 급기량을 조정하여 조 표면에 비교적 높은 제어 기류를 형성시키면서 산 가스를 후드 쪽으로 유인시키는 것이 더욱 바람직할 것으로 판단된다.
4. 본 연구 결과를 바탕으로 해당분야 유해공정을 보유한 사업장이 보다 안전하고 쾌적한 사업장으로 개선되어 근로자의 건강 보호는 물론 작업환경 개선에 따른 생산성 향상에도 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Reference

- [1] Jong-Hyeon Jung, Sang-Woon Lee, Sang-Man Lee, Byung-Hyun Shon, Jung-Hee Lee, Yu-Jin Jung. Improvement of capturing velocity in the fume hood using Computational Fluid Dynamics(I) - uniform flow, The Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.14(2), pp.9621-969, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.2.962>
- [2] Yu-Jin Jung, Byung-Hyun Shon, Sang-Man Lee, Jong-Hyeon Jung. A Numerical Study on Performance Improvement of Canopy Hood in Melting Process, The Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.14(3), pp.1519-1526, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.3.1519>
- [3] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Industrial Ventilation Manual of Recommended Practice, 24th Edition, 2001.
- [4] Kulmala, I. Advanced Design of Local Ventilation Systems, Finland, VTT Publications, 1997.

[5] Robinson, M et al. Recommendations for the Design of Push-pull Ventilation Systems for Open Surface Tanks, Ann. occup. Hyg., Vol.40, pp.693-704, 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/annhyg/40.6.693>

[6] Riffat, S. B et al. CFD Prediction of k-factors of Duct Elbows, International Journal of Energy Research, Vol.21, pp.675-681, 1997.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-114X\(19970610\)21:7<675::AID-ER287>3.0.CO;2-Z](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-114X(19970610)21:7<675::AID-ER287>3.0.CO;2-Z)

[7] Varley, J. O. The Effect of Turbulent Structures on Hood Design - A Review of CFD and Flow Visualization Studies, HVAC & R RESEARCH, vol.3, 1997.

[8] Patankar, S. V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp, 1980.

[9] J.M. Berkoe, D.M.M.Lane, and B.M.Rosendall. Computerized fluid Dynamic(CFD) modeling, an important new engineering tool for design of smelting furnaces, 4th International Conference COPPER 99-COBRE 99, vol. 4, pp.53-66, 1999.

[10] Kumala, I, The Effect of Contaminant Source Location on Worker Exposure in the Near-wake Region, Finland, VTT Publications, 1995.

[11] Hyun-Guk Myung. Computational Fluid Dynamics for Engineering, Han Mi publishing company, pp. 124-138, 1997.

정 유 진(Yu-Jin Jung)

[정회원]



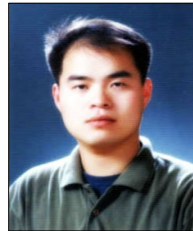
- 2000년 2월 : 창원대학교 환경공학 (공학사)
- 2002년 2월 : 창원대학교 환경공학 (공학석사)
- 2002년 9월 ~ 2010년 3월 : 크린에어테크놀로지(주)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 씨이테크(주) 연구개발팀 수석연구원

<관심분야>

산업환기기술, 대기오염제어기술, 대기오염모델링

박 기 우(Ki-Woo Park)

[정회원]



- 2000년 2월 : 창원대학교 환경공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 창원대학교 환경공학과 (공학석사)
- 2003년 1월 ~ 2004년 9월 : 크린에어테크놀로지(주)
- 2004년 10월 ~ 현재 : 씨이테크(주) 기술영업팀
- 2010년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 환경에너지시스템공학과

<관심분야>

산업환기기술, 대기오염제어기술, 신재생에너지

손 병 현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



- 1990년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 정교수

<관심분야>

대기오염제어(탈황 및 탈질), 폐기물처리, 이산화탄소 흡수

정 종 현(Jong-Hyeon Jung)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학박사)
- 2008년 2월 : 대구한의대학교 보건학과 (보건학박사)
- 2012년 2월 : 동국대학교 의학과 (의학박사)
- 1996년 3월 ~ 2002년 2월 : 서울별대 보건의료행정과 교수
- 2011년 3월 ~ 현재 : 대구한의대 보건학부 교수

<관심분야>

보건/환경학, 산업보건학, 대기, 예방의학, 인체위해도 평가, 문화재보존과학