

NBF 고농도 플럭스 자동 도포 장치 개발에 관한 연구

이영림^{1*}, 황순호¹

¹공주대학교 기계자동차공학부

A Study on Development of an Automatic Spreading System of High-concentration Flux for a Nocolok Brazing Furnace

Young Lim Lee^{1*} and Soon Ho Hwang¹

¹Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

요 약 Nocolok 브레이징을 하기 위해서는 플럭스 용액을 접합부 표면에 도포해야 하는데 저농도 플럭스와는 달리 고농도 플럭스는 필요한 부분만 도포해야 한다. 보통 기존의 브레이징로에서는 고농도 플럭스 도포를 수작업으로 하고 있는데 작업의 비효율성을 초래하고 플럭스 분진 날림 및 열 등으로 인해 작업 환경을 악화시킨다. 그러므로 경제적이고 효율적인 고농도 플럭스 자동 도포 장치의 개발을 통한 품질 향상 및 생산 단가 저감 등이 절실한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 고농도 플럭스 자동 도포 시스템을 설계 및 제작하였고 이를 직접 브레이징로에 장착하여 자동화 공정으로 개선시켜 기피 작업 해소 및 생산성 향상을 이루었다.

Abstract Nocolok brazing requires flux at the joining area and low-concentration flux is uniformly spreaded to products to be brazed in a chamber. However high-concentration flux needs to be applied only to a necessary spot. In general, high-concentration flux is manually applied for conventional brazing furnaces, resulting in low production efficiency and harmful environments for workers due to particles and heat etc. Therefore an economical and efficient automatic spreading system needs to be developed. In this study, an efficient automatic spreading system of high-concentration flux was successfully developed and tested with a NBF.

Key Words : Nocolok Brazing Furnace, Flux, Automatic Spreading, CFD

1. 서론

노코록(Nocolok) 브레이징은 플럭스(flux) 용액을 접합 부분 전면에 도포하여 질소 가스를 충전한 불활성 분위기에서 가열하여 접합하는 방법이다. 일반적으로 저농도 플럭스 용액은 인젝터를 이용하여 브레이징할 열교환기에 고르게 도포하지만 고농도 플럭스 용액은 필요한 부분만 도포해야 한다. 가령 열교환기에서는 헤더 파이프(header pipe)와 튜브 접합부에서만 고농도 플럭스가 필요하며 고농도 플럭스가 그 이외의 부분에 도포된다면 이는 리크(leak)로 인한 제품의 불량률 초래하게 된다. 그림 1은 전형적인 클래드(clad) 금속, 플럭스 및 베이스 금속이 브레이징되는 공법과 열교환기에서 고농도 플럭스

도포가 필요한 곳을 보여준다.

보통 고농도 플럭스 자동 도포는 고가의 이송장치와 분사 시스템으로 구성되어야 하기 때문에 기업에서는 브레이징 공정에 인력을 투입하여 수작업을 통해 도포하게 된다. 하지만 수작업은 플럭스 분진 날림 및 건조로 열 등으로 인해 기피 대상 작업 중의 하나이다. 또한 수작업으로 인해 플럭스 도포가 일정하지 않으며 추가 인력이 요구된다. 그러므로 경제적이고 효율적인 고농도 플럭스 자동 도포 장치 개발을 통한 품질 향상 및 생산 단가 저감 등이 절실한 실정이다.

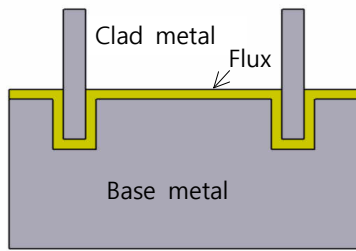
본 논문은 2009년 중소기업청 산하 공동기술개발지원사업 연구과제로 수행되었음

*교신저자 : 이영림(ylee@kongju.ac.kr)

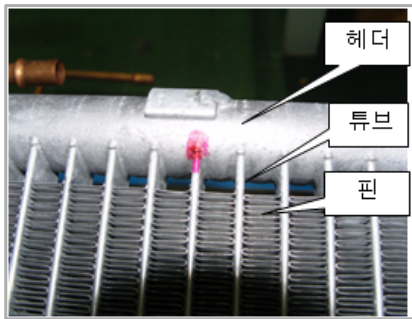
접수일 09년 12월 21일

수정일 10년 03월 11일

게재확정일 10년 03월 18일



(a) 브레이징 공법



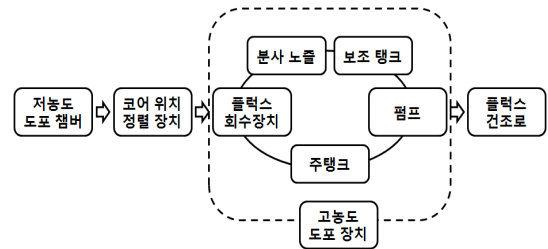
(b) 고농도 플렉스 도포 구간

[그림 1] Nocolok 브레이징

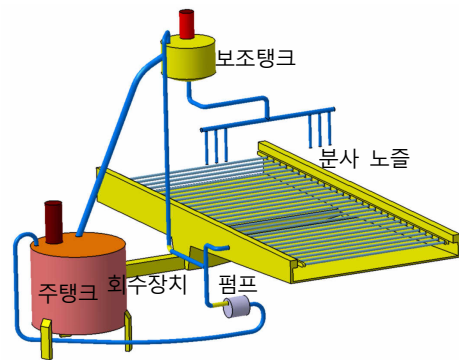
노코록 브레이징에 관해서는 방대한 연구가 지금까지 이루어졌으나 실용적인 고농도 플렉스 자동 도포 장치에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 먼저, Shin[1]은 브레이징로를 사용하여 브레이징 플렉스의 종류에 따른 도포법 등에 대한 연구를 실시하였고 Lee 등[2]은 노코록 브레이징을 이용하여 대용량 알루미늄 히트싱크 제작에 필요한 배치로(batch furnace)를 성공적으로 개발하였다. Jung 등[3, 4]은 첨가 원소의 변화를 통한 알루미늄 모재와의 내식성 검사를 통한 진공 브레이징 및 비부식성 플렉스 브레이징에 대한 연구를 수행하였고 임병문 등[5]은 염수분무 환경에서 알루미늄의 부식 생성물이 내식성에 미치는 영향에 대해 발표하였다.

노즐 제트의 자유 표면을 해석하기 위하여 Hirt와 Nichols[6]은 VOF(volume of fluid) 기법을 제안하였고 Storr와 Behnia[7]는 자연 중력으로 떨어지는 노즐 유동의 자유 표면을 수치적으로 해석하였고 이를 실험 결과와 비교하였다. 한편, Kemen 등[8]은 교반기의 혼합 현상을 실험적으로 규명하였고 Delafosse 등[9]은 혼합 탱크 내의 유동을 LES(large eddy simulation)와 RANS(Reynolds-averaged Navier Stokes) 기법을 이용하여 수치적으로 해석하였다. 그림 2에 전형적인 브레이징로에서 고농도 플렉스 도포 공정 구간과 본 연구에서 개발한 자동 도포 장치의 구성도를 나타내었다. 자동 도포

장치는 코어(core)위치 정렬장치, 혼합 탱크, 분사 노즐 및 플렉스 회수 장치 등으로 구성되어 있다.



(a) 자동 도포 장치 구성도



(b) 자동도포 장치 개략도

[그림 2] 고농도 플렉스 자동 도포 장치

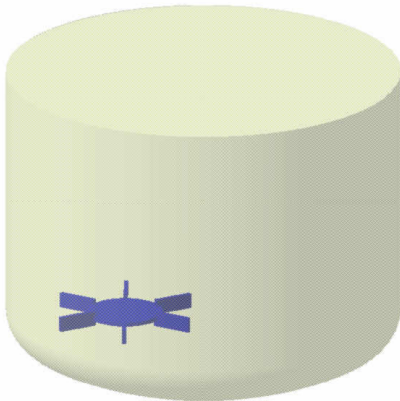
본 연구에서는 저가형 고농도 플렉스 자동 도포 장치 개발을 통한 열교환기의 품질 향상 및 생산 단가 저감을 실현하고자 한다. 먼저, 고농도 플렉스의 균일한 혼합을 유지시켜주는 고농도 플렉스 혼합 탱크 및 노즐에서 일정한 플렉스 유량을 유지해 주는 정수압력 분사 시스템을 개발하고자 한다. 또한, 노즐에서의 플렉스 유량 최적화를 통해 고농도의 플렉스가 필요한 곳에 정확히 도포 되도록 하고자 한다.

2. 자동 도포 장치 설계

2.1 고농도 플렉스 혼합 탱크

그림 3에 고농도 플렉스 저장 탱크의 개략도를 나타냈다. 고농도 플렉스는 저장 탱크로부터 침전 없이 노즐까지 균일하게 혼합된 상태로 이송되어야 한다. 따라서 저장 용기에 균일한 혼합 상태를 유지하기 위한 장치가 필요하다. 이를 위해 저장 탱크 내부에 플렉스 혼합을 위한

교반기(stirrer)를 장착하고 충분히 혼합된 고농도 플렉스는 펌프를 통하여 보조탱크로 이송된다. 보조 탱크는 정수 압력을 이용하여 노즐까지 플렉스를 이송시킬 정도의 충분한 높이에 설치되어야 한다.

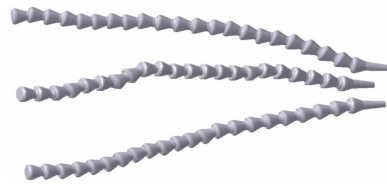


[그림 3] 고농도 플렉스 혼합 탱크 개략도

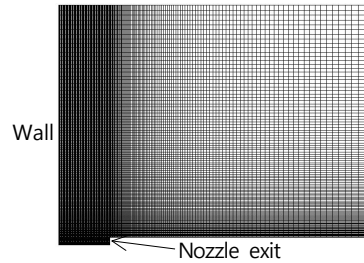
본 연구에서는 저장 탱크 내의 플렉스를 균일하게 혼합하기 위한 교반기 최적 회전수 결정을 위한 수치해석을 수행하였다. 이를 위해 회전좌표계(Rotating Reference Frame) 기법을 이용하여 이상 유동을 수행하였는데 용기 내 플렉스 농도 분포가 최대한 균일하게 분포되도록 교반기 날개 회전수를 결정하였다[10].

2.2 분사 노즐 유량 최적화

분사 노즐은 그림 4와 같이 노즐의 위치를 정확히 제어할 수 있는 타입으로 사용하였으며 열교환기 표면에 유체가 도달할 때 튀겨 나가지 않고 균일하게 도포될 수 있도록 최적의 플렉스 유량 및 열교환기와의 간격을 결정하였다. 이를 위해 이상 유동(two-phase flow)을 해석할 수 있는 VOF 기법을 사용하였고 노즐의 자유 표면을 추적하기 위해 비정상 유동을 해석하였다. 유동은 축대칭으로 가정하였고 난류 모델로는 표준 k- ϵ 모델을 채택하였다[6]. 또한 해의 정확성을 유지하기 위해 Courant 수는 0.1이하로 유지하였는데 이는 격자 간격 0.1 mm 및 노즐 분사 속도 1 m/s 기준으로 시간 간격 1×10^{-5} s에 해당한다. 그림 5는 해석에 사용된 격자 시스템을 보여 주는데 격자수에 무관한 해를 구하기 위해 약 0.1mm의 최소 간격을 사용하였다.



[그림 4] 고농도 플렉스 노즐

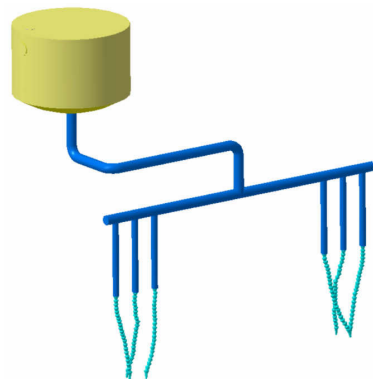


[그림 5] 노즐 유동에 사용된 격자 시스템

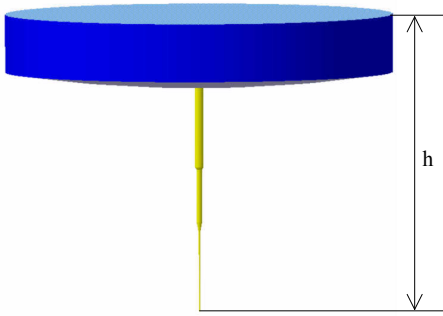
2.3 정수압력을 이용한 분사 시스템

그림 6은 보조 탱크에서 노즐까지의 분사 시스템을 보여준다. 주탱크 보다 높은 곳에 위치한 보조 탱크는 정수압력이 충분히 커서 원하는 플렉스 유량을 노즐에서 분사시킬 수 있고 일정한 정수압력을 유지하기 위해서 플렉스 수면 높이를 유지해야만 한다. 또한 장착된 총 6개의 노즐에서 유량이 일정하게 배분되도록 배관 시스템을 구성해야만 한다.

먼저 보조 탱크의 설치 높이를 결정하기 위한 배관 유동을 해석하였는데 그림 7과 같이 매우 넓은 수조에 지름 3.3 mm의 노즐을 단계적인 관 축소를 통하여 연결한 다음 VOF 기법[6]을 사용하여 노즐 출구 속도를 예측하였다. 실제 배관시는 수평관이나 엘보우(elbow)등이 존재하여 추가적인 손실수두가 존재하게 된다. 또한 6개 노즐로 유량이 고르게 분포되도록 유량 배분 해석을 실시하였다.



[그림 6] 정수압력을 이용한 분사 시스템



[그림 7] 정수압력을 이용한 노즐 분사

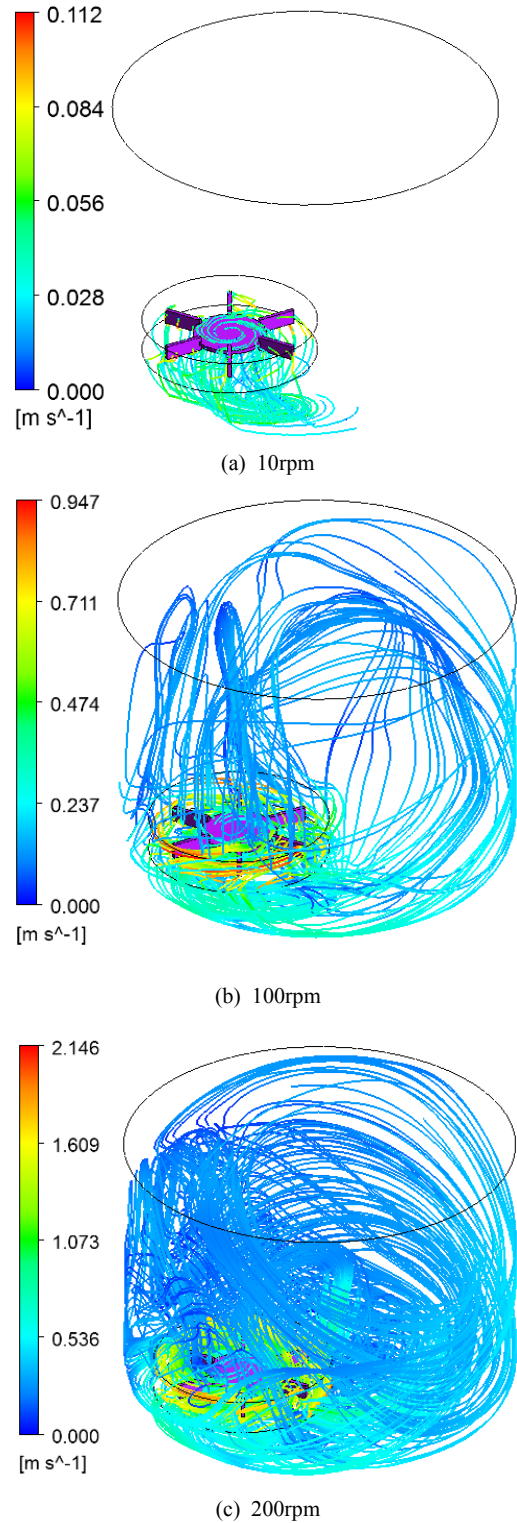
3. 결과 및 고찰

3.1 주탱크의 플렉스 혼합 해석

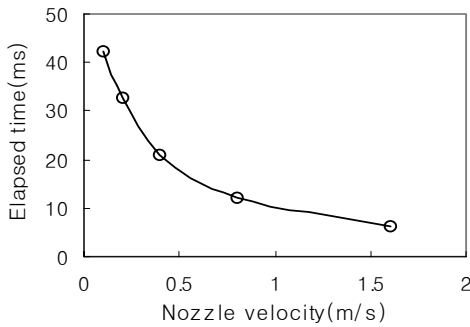
혼합 탱크 내에서 플렉스의 유동은 그림 8에 나타내었으며 최대 트랙(track) 수는 동일하게 고정하였다. 고려된 회전수의 범위는 10 ~ 200 rpm이며 10 rpm씩 증가시키며 혼합특성을 고찰하였다. 10rpm의 경우 플렉스는 탱크 전체 영역으로 확산되지 않고 대부분 바닥면에 분포하였다. 이는 침전 현상을 발생시킬 가능성이 농후하며 균일한 농도의 플렉스를 유지하기에 부적합하다. 100 rpm의 경우 교반기 전체로 유동이 발생하지만 플렉스 확산이 여전히 불충분하고 주로 임펠러 부근에 밀집되어 있다. 200 rpm의 경우 유속이 비교적 커서 교반기 전체 구역에서 고른 혼합을 보여주고 있어 최적의 임펠러 회전수로 결정하였다. 실제 혼합 탱크 제작 후 실험으로 보정된 회전수는 180 rpm이다.

3.2 분사 노즐 유량 최적화

그림 9에 노즐 분사 속도에 따른 플렉스 벽면 도달 시간을 나타냈다. 저속인 경우에는 중력으로 인한 자유 낙하 속도가 현저하여 노즐 분사 속도에 비하여 상대적으로 빨리 도달하는 것을 알 수 있다. 즉, 노즐 분사 속도가 0.1m/s인 경우 중력이 없다면 노즐과 벽면 간격 0.01m에 도달하는 시간이 약 100 ms로써 중력으로 인한 가속으로 인하여 약 40ms 내외에 도달한다. 하지만,



[그림 8] 임펠러 회전수에 따른 플렉스 경로 패턴

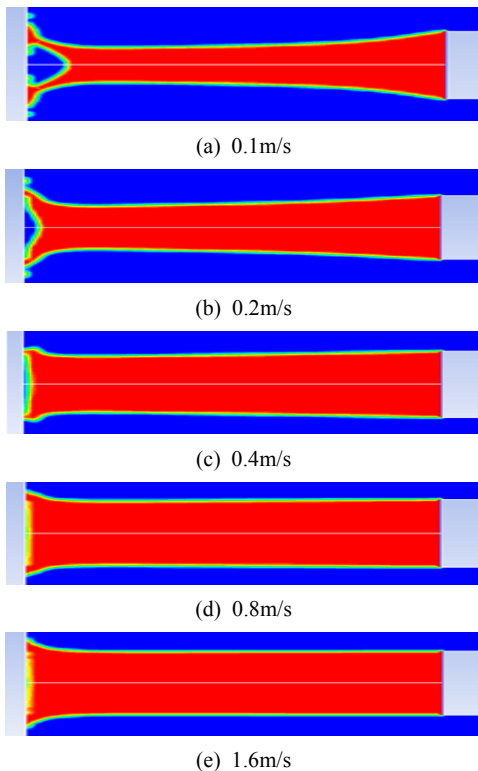


[그림 9] 노즐 분사속도에 따른 벽면 도달 시간

[표 1] 분사속도에 따른 1cm당 투입 플렉스 체적

U(m/s)	Q(lpm)	V(cm ³)†
0.1	0.05	0.5
0.2	0.10	1.0
0.4	0.21	2.0
0.8	0.41	4.0
1.6	0.82	8.0

† 컨베이어 벨트 속도 1 m/min 기준



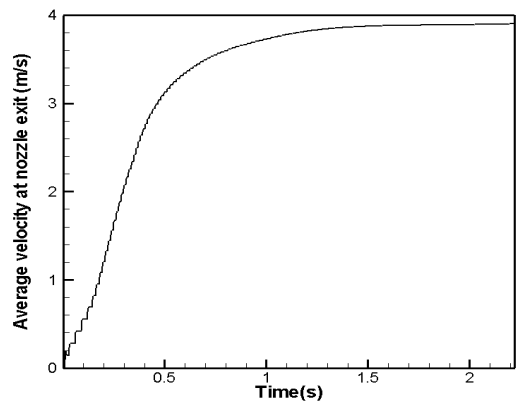
[그림 10] 노즐 분사속도에 따른 VOF 변화

분사속도 0.8m/s 이상에서는 중력으로 인한 가속 효과는 3% 미만으로 줄어든다. 한편 노코록 브레이징을 이용한 열교환기 생산시 컨베이어 이송속도를 분당 1000 mm로 가정할 때 노즐 분사속도에 따른 1 cm당 투입되는 플렉스 양은 표 1과 같다. 투입 플렉스의 체적은 1cm³ 이상을 목표 값으로 설정하였다.

그림 10은 분사 속도에 따른 벽면에 도달하는 VOF를 보여주고 있는데 이는 플렉스 유동 형상 변화를 의미한다. 분사 속도 0.2 m/s까지는 중력으로 인한 가속으로 인하여 노즐 제트의 지름이 감소하는 네킹(necking) 현상이 현저하게 관찰되고 있고 또한 제트의 형상 변화가 과도하여 벽면에 도달할 때 균일하게 도달되지 않는다. 하지만 노즐 분사속도가 0.4 m/s 이상이 되면 제트 유동은 벽면에 비교적 균일하게 도달하고 이후 전형적인 정체점 유동(stagnation flow) 형태로 퍼져 나간다. 따라서, 본 연구에서는 노즐 유량 0.4~0.8 lpm에 해당하는 노즐 분사속도 0.8~1.6 m/s를 목표 설계 값으로 결정하였다.

3.3 정수압력을 이용한 분사 시스템

노즐 출구에서 목표유량을 0.4~0.8 lpm으로 결정하였으므로 관로의 부차적인 손실을 감안하여 최대 두 배 이상의 속도로 분출시킬 수 있는 혼합 탱크의 높이를 선정하였다. 그림 11에서와 같이 초기에 정지 상태에 있던 유체는 중력으로 인해 시간에 따라 가속되는데 h=1.25m일 때 노즐 출구 유량이 2 lpm에 도달하여 관로의 부가 손실을 감안할 때 적정 혼합탱크 높이로 가정하였다. 실제 시제품 제작 후 측정된 최대 유량은 1.3 lpm으로 목표 값을 만족하였다.



[그림 11] 정수압력에 의한 노즐 출구 속도 변화

[표 2] 각 노즐 출구에서 유량 해석 결과

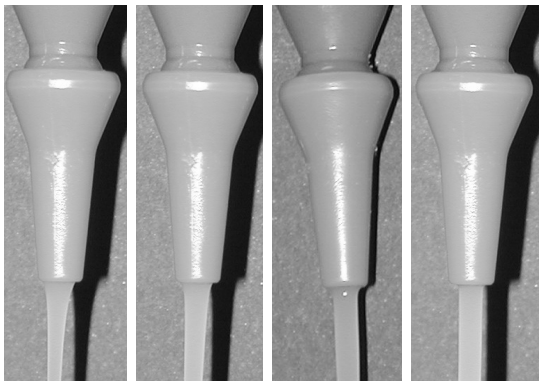
Nozzle no.	Flow rate(lpm)
1	0.803
2	0.801
3	0.795
4	0.810
5	0.788
6	0.803

표 2에 각 노즐로의 유량 배분 최적화 결과를 나타냈다. 입구 전체 유량은 4.8 lpm으로 가정하였고 각 노즐로 균일하게 배분된다면 각 노즐의 출구 유량은 0.8 lpm이 될 것이다. 수치해석은 노즐이 부착되어 있는 압력 레일 (pressure rail)의 지름을 변화시켜 가며 최적화시켰는데 지름 32.4 mm인 경우에 각 노즐에서의 출구 유량은 평균 값 기준으로 최대 2%미만이였다.

3.4 NBF 장착 고농도 플렉스 자동도포 실험

본 연구에서 개발한 고농도 자동 플렉스 도포 시스템을 직접 브레이징로에 장착하였다. 그림 12는 노즐 유량에 따른 제트 유동 특성 변화를 보여 주고 있는데 0.2 lpm까지는 제트 직경이 줄어드는 현상이 육안으로 관찰이 가능하고 0.4 lpm부터는 비교적 균일하여 수치해석 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

또한, 그림 13은 NBF에 장착된 고농도 플렉스 자동 도포 장치를 보여주고 있고 그림 14는 수동으로 도포하던 고농도 플렉스를 자동으로 도포하는 모습을 보여 준다. 자동 도포된 열교환기는 성공적으로 브레이징되어 수작업으로 도포하던 공정을 대폭 개선하였다.



(a) 0.1 lpm (b) 0.2 lpm (c) 0.4 lpm (d) 0.8 lpm

[그림 12] 노즐 유량에 따른 제트 유동 가시화



[그림 13] NBF에 장착된 고농도 플렉스 자동 도포 장치



(a) 수작업 도포 (b) 자동 도포

[그림 14] 고농도 플렉스 도포

4. 결론

본 연구에서는 혼합 탱크, 정수압을 이용한 분사 시스템, 유량 배분 설계 등을 통하여 고농도 플렉스 자동 도포시스템을 개발하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 혼합 탱크는 러쉬톤(Rushton) 타입 임펠러를 사용하여 회전수를 약 180 rpm으로 최적화하였고 분사 노즐 유량은 0.4-0.8 lpm 정도가 적합함을 보였다. 또한 다양한 열교환기의 수요에 대비하여 균일한 유량을 분사할 수 있는 6개의 노즐을 장착한 분사 시스템을 개발하였다.
- 2) 노즐 분사압력은 펌프를 이용하여 가압하지 않고 정수압력을 이용하는 경제적인 가압 시스템을 개발하였다. 이를 통해 고농도 플렉스 보급의 가속화를 이루어 공정 개선 및 기피 작업 조건 해소에 기여할 수 있다.

- 3) 고농도 플럭스 자동 도포 장치 개발은 생산성 향상 및 기피 작업 해소에 기여하였다. 이는 연간 예상 생산량을 15만대로 가정할 때 연간 5천 4백만원 절감 효과, 즉 제품 1개당 단가 360원 가량 절감 할 수 있다.

참고문헌

- [1] Y. S. Shin, "Selection Technology for Brazing Fluxes", Journal of KWS, Vol. 22. No. 5. pp. 412-419, October, 2004.
- [2] 이영림, 황순호, 전의식, "대용량 알루미늄 브레이징 히트싱크 개발에 관한 연구", 산학기술학회논문지, 10 권, 2호, pp.11-22, 2009.
- [3] J. P. Jung, T. Takemoto and C. S. Kang, "Aluminum Vacuum Brazing in Japan", journal of KWS, Vol. 13, No. 1, pp. 62-72, Mar, 1995.
- [4] J. P. Jung, T. Takemoto and C. S. Kang, "Non-corrosive Flux Brazing of Aluminum", Journal of KWS, Vol. 13, No. 2, pp. 53-59, Jun, 1995.
- [5] B. M. Lim, S. H. Hong, J. I. Jeong, J. H. Choi and W. S. Chung, "Effect of Corrosion Products of Hot-Dip Al-Cr Steel Sheet on the Corrosion Resistance in Salt Corrosive Environment", J. Kor. Inst. Met. & Mater. Vol. 41, No. 10, 2003.
- [6] C. W. Hirt and B.D. Nichols, "Volume of Fluid (VOF) method for the Dynamics of Free Boundaries", J. Comp. Phys. Vol. 39, pp. 201-225, 1981.
- [7] G. J. Storr and M. Behnia, "Comparisons between Experiment and Numerical Simulation Using a Free Surface Technique of Free-falling Liquid Jets", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 22, pp.79-91, 2000.
- [8] A. Kemen, F. Lusseyran, J. Mallet and M. Mahoust, "Experimental Scanning for Simplifying the Model of a Stirred-take Flow", Experiments in Fluids, Vol. 25, No. 1, pp. 23-36, 1998.
- [9] A. Delafosse, A. Line, J. Mochain and P. Guiraud, "LES and URANS Simulations of Hydrodynamics in Mixing Tank: Comparison to PIV Experiments", Chemical Engineering Research and Design, Vol. 86, pp. 1322-1330, 2008.
- [10] Fluent, Version 6.1, Fluent, Inc., Lebanon, NH 2005.

이 영 림(Young Lim Lee)

[정회원]



- 1995년 5월 : U of Texas at Austin 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 8월 ~ 2000년 2월 : 삼성자동차삼성전자 책임연구원
- 2000년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

열유체공학, 에너지공학, 자동차공학

황 순 호(Soon Ho Hwang)

[준회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계설계공학전공 (공학학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 석사과정

<관심분야>

열유체공학, 에너지공학