

아연도금강판의 품질향상을 위한 도금욕 내부 유동제어 연구

최재호* · 고민석** · 김 석** · 이상준†
(2001년 2월 27일 접수, 2001년 7월 25일 심사완료)

Flow Control Inside a Molten Zn Pot for Improving Surface Quality of Zinc Plated Strips

Jae Ho Choi, Min Seok Koh, Seok Kim and Sang Joon Lee

Key Words : Flow Control(유동제어), Molten Pot(용융 도금욕), Zinc Plating Process(아연도금), PIV(입자영상유속계), Scrapper(스크래퍼), Baffle(배플)

Abstract

The flow fields inside a molten Zn pot of continuous hot-chip galvanizing process were investigated experimentally. With varying several parameters including the strip speed V_s , flow rate Q of induction heater, scrapper location and baffle configuration, instantaneous velocity fields were measured using a PIV velocity field measurement technique. Inside the strip region, counter-clockwise rotating flow is dominant. The general flow pattern inside the strip region is nearly not influenced by the strip speed V_s , flow rate Q and the scrapper location. In the exit region, the flow separated from the moving strip due to the existence of a stabilizing roll ascends to the free surface, for the cases of no scrapper and scrapper detached from the roll. On the other hand, the ascending flow to the free surface is decreased, as the flow rate Q of induction heater increases. By installing a baffle around the uprising strip, the flow moving up to the stabilizing roll decreases. In addition, B-type baffle is better than A-type baffle in reducing speed of flow around the stabilizing rolls. However, the flow ascended to the free surface is largely influenced by changing the flow rate Q , and the scrapper location, irrespective of the baffle type.

기호설명

V_s : 스트립의 이송 속도
 Q : 유도가열기의 유량

1. 서론

아연도금강판은 내식성이 우수하여 자동차, 가전 및 건축용 방청강판으로 사용량이 날이 증가되고 있다. 최근 들어 자동차용 강판 즉 외판재 용도로 고품질 아연도금강판의 수요가 크게 확대되고 있는 추세이다. 이러한 수요 확대와 더불어 표면 결함에 대한 엄격한 품질보증이 요구되고 있

다. 강판 스트립(strip)은 460°C 로 유지되는 용융 도금욕 (molten Zn pot) 내부를 회전하는 싱크롤 (sink roll)을 지나는 동안 아연으로 도금되어진다. 도금욕 중에 부유되어 있던 직경 10 μ m 이상의 입자들이 도금강판에 부착됨에 따라 드로스(dross) 결함이 발생한다. 특히 드로스는 도금표면에 자국을 남기고 도장결함의 원인이 되기도 하므로 도금강판의 표면을 냉연강판 수준으로 향상시키기 위해서는 드로스 문제를 필히 해결하여야 한다. 드로스는 크게 산화물계 드로스와 금속간 화합물계 드로스로 구별되어진다. 산화물계 드로스는 주로 에어 나이프(air knife)에 의해서 도금층 두께를 제어할 때 형성되고, 도금욕 용탕 표면에 주로 존재한다. 금속간 화합물계 드로스는 아연 도금욕으로 인입되는 강판이나 도금욕과 접하고 있는 설비로부터 용출된 Fe 와 도금욕 성분 사이의 화학반응에 의해서 형성되는 것으로 알려져 있다. 이들 금속간 화합물계 드로스는 Fe-Al 계 탑(top) 드로스와

* 회원, 삼성테크윈

** 포항공과대학교 대학원 기계공학과

† 책임저자, 회원, 포항공과대학교 기계공학과

E-mail : sjlee@postech.ac.kr

TEL : (054)279-2169 FAX : (054)279-3199

Fe-Zn 계 보텀(bottom) 드로스로 구별되어진다. FeZn₂의 밀도는 약 7300 kg/m³이고 Fe₂Al₃의 밀도는 약 4200 kg/m³이며, 도금욕 Zn의 밀도는 약 6700 kg/m³이다. 따라서 밀도가 높은 FeZn₂은 도금욕의 바닥으로 가라앉고, 가벼운 Fe₂Al₃는 윗부분으로 떠오르게 된다. 입자 형태의 금속간 화합물 드로스는 수 μm에서 수십 μm 크기를 가지며, 도금욕 내부유동을 따라 부유되어 떠다니다가 강판 표면에 부착되어, 강재를 성형하는 과정에서 표면 결함을 초래한다. 자동차 외판재로 주로 사용되는 아연도금강판의 품질을 향상시키기 위해서 드로스 부착을 저감시키기 위한 여러 가지 대책이 강구되고 있다.^(1,6)

도금욕 내부의 드로스를 효율적으로 감소시키기 위해서는 드로스의 이동원인이 되고 있는 도금욕 내부 흐름의 유동특성을 정확히 파악하여야 한다. 그러나, LDV (Laser Doppler Velocimetry)나 열선 유속계와 같은 기존의 속도측정법으로는 복잡한 도금욕 내부유동을 정확히 측정하는 것은 거의 불가능하다. LDV의 경우 유동을 교란시키지 않지만, 레이저 빔이 통과할 수 있는 작동 유체와 가시화 장치가 필요하고 한 순간에 한 점의 속도만 측정하기 때문에 시간에 따라 변화하는 복잡한 유동구조의 해석에는 적합하지 않다. 열선유속계의 경우, 고온의 액체유동에 적용하기 어려울 뿐만 아니라 열선을 유동장 내에 설치하게 되면 유동을 교란시키게 된다.

도금욕 내부유동과 관련한 대부분의 기존연구는 주로 단순화된 수모델 실험을 통해 싱크롤 주위유동을 정성적으로 가시화하고 있다. Kurobe 등⁽¹⁾은 아연도금욕 내부의 유동특성과 드로스 거동을 입자 주입법 (particle seeding)과 LDV를 이용하여 해석하였다. 또한 Yakawa 등⁽²⁾은 도금욕 바닥면에 "Z"형상의 배플(baffle)을 설치하여 부유하는 드로스를 억제시켰다. Nakamura 등⁽³⁾은 스트립(strip)의 이동속도에 따른 부유 드로스양을 수모델 실험을 통해 해석하였다. 최근에는 신대식 등⁽⁶⁾이 디지털 화상처리를 이용한 PIV 속도장 측정기법을 이용하여 강판유입구인 snout 내부유동의 속도장을 측정하여 드로스 억제에 필요한 유동구조를 해석하였다.

도금욕 내부 유동을 보다 정확히 해석하기 위해 본 연구에서는 도금욕 모사장치를 실제와 상사성을 갖도록 제작하고, 아연도금 과정을 실험적으로 모사하였다. 그리고, 디지털 화상처리를 이용한 PIV (Particle Image Velocimetry) 속도장 측정기법을 이용하여 도금욕 내부 유동의 속도장을 측정하고

해석하였다. CCD 카메라를 이용한 PIV 속도장 측정기법은 유동에 교란을 주지 않으며, 유동장의 정성적인 특성 뿐만 아니라 정량적인 해석도 가능하다. 이러한 PIV 속도장 측정기법⁽⁷⁻¹²⁾을 이용하게 되면 시간에 따라 변화하는 비정상 유동의 순간 속도장을 짧은 시간 내에 측정할 수 있다.

이와 같은 연구를 통해 얻어진 도금욕 내부 속도 정보를 분석함으로써 도금욕 내부 유동에 대한 정확한 이해와 함께 궁극적으로 도금 강판의 품질 향상에도 크게 기여할 수 있을 것이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 수 모델 장치

본 연구에서는 자동차용 아연도금 강판을 주로 생산하는 광양제철소 아연도금 공장 #4 CGL을 대상으로 수모델 실험을 수행하였다. 수모델 모사장치는 실제의 유동조건과 동일하게 하기 위하여 레이놀즈수 (Reynolds number)와 프라우드수 (Froud number)의 상사법칙을 적용하여 크기를 1/5로 축소하여 투명 아크릴로 제작하였다. 제작한 모사장치를 정면에서 찍은 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 모사장치는 유도가열기(induction heater), 스크래퍼 (scraper), snout, 안정화롤(stabilizing roll) 그리고 도금욕조로 구성되며 이들 모두를 가능한 한 실제에 가깝게 모사하였다. 그리고, 스크래퍼는 안정화롤 각각의 상부에 위치한 힌지(hinge)에 연결되어 안정화롤에 밀착, 분리, 제거가 가능하도록 하였다. Fig. 2는 정면도로 도금욕 모델의 길이는 90cm, 높이는 46cm이다. 중앙에 보이는 싱크롤의 직경은 16cm이고, 싱크롤을 지나 스트립은 상부에 설치된 안정화롤을 지나게 되어 있다. 싱크롤 원편에는 유도가열기가 설치되어 있는데, 도금욕면과

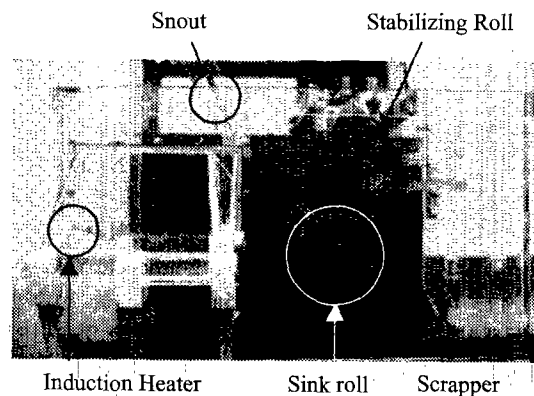


Fig. 1 Photograph of experimental apparatus

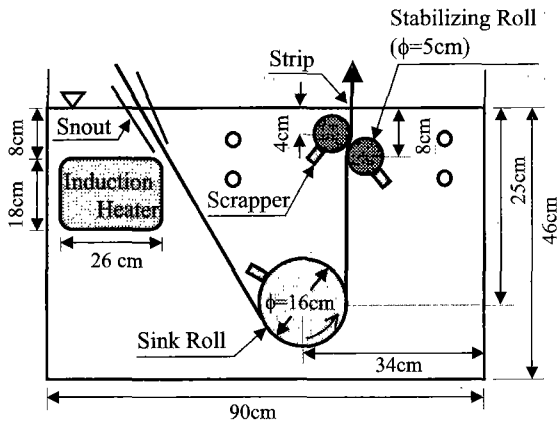


Fig. 2 Schematic diagram of water model

만나는 부분의 크기는 $14 \times 28\text{cm}^2$ 이다. 유도가열기 상부에 비스듬하게 설치된 장치가 강판 스트립의 유입구인 snout 장치이다. 그림에서 보는 바와 같이 싱크롤은 길이가 42cm 이고 도금욕 중앙부분에 위치하여 지정된 속도로 회전하게 되며 여기에 얹은 고무판으로 된 스트립이 회전하게 된다. 그리고 싱크롤, 안정화롤과 스크래퍼 등은 수모델 장치 후방에서 지지하고 있다. 또한 도금욕 바닥면도 실제에 가깝게 곡면으로 제작하였다.

스트립은 수조 내에 설치한 싱크롤과 수조 상부에 위치한 구동롤에 폭 24cm 의 스트립 벨트가 연속적으로 회전하는 방식으로 모사하였다. 상부의 구동롤은 DC 모터로 회전시키며, 구동롤 회전수로부터 스트립 이동속도를 구하였다. 유도가열기는 수조 외부에 설치한 펌프를 이용하여 수조내의 작동유체를 순환시키는 방식으로 모사하였으며, 유량계를 이용하여 수조내부로 유입되는 유량 Q 를 측정하였다. 도금욕 내부의 용융아연 용액은 증류수로 모사하였다.

2.2 입자영상 유속계

도금욕 내부유동의 속도장을 계측하기 위해 PIV 속도장 측정시스템을 이용하였는데, 그 계략도를 Fig. 3 에 나타내었다. 이 PIV 시스템은 Nd:YAG 레이저, CCD 카메라, 영상처리장치, 제어 및 계산용 컴퓨터, 동기화 장치 등으로 구성되어 있다.

두 개의 광원을 가지고 있는 2-head Nd:YAG 레이저는 레이저 펄스 당 약 25mJ 에너지를 방출한다. 해상도가 $2K \times 2K$ 인 CCD 카메라는 영상편이(image shift) 기능이 카메라에 내장되어 있다. 카메라에서 나오는 영상신호(video signal)는 12 비트(bit)이며, 카메라의 셀(cell) 충전율은 100%이고 초당

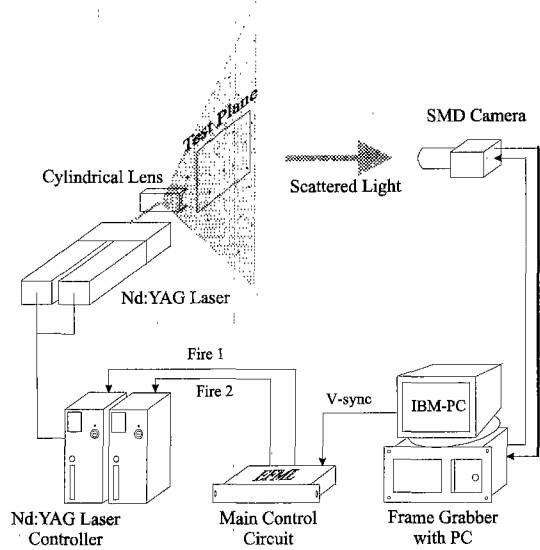


Fig. 3 Schematic diagram of the single-frame PIV velocity field measurement system

4 장의 영상을 얻을 수 있다.

본 연구에서 사용한 싱글프레임 PIV 기법은 하나의 프레임에 이중 노출된 입자영상에 상호상관법(cross-correlation)을 적용하여 속도장을 추출하는 방식이다. 상호상관 함수를 구하기 위해 사용되는 두 번째 미소조사구간(interrogation region)은 9 픽셀 만큼 영상을 이동시켜 다른 위치에서 잡게 된다. 이 경우 상호상관 함수는 속도방향을 나타내는 큰 상관값과 함께 상대적으로 작은 상관값이 반대위치에 나타나게 되어 방향모호성(directional ambiguity)문제를 해결할 수 있다. 싱글프레임 PIV 의 자세한 측정기법과 정확도에 대한 정보는 참고문헌^(13,14)에 나와있다.

속도장 측정영역의 크기를 150mm × 150mm 로 하였으며 도금욕 내부 중앙단면(center plane)을 Fig. 4 에 나타나 있는 것처럼 14 개의 측정영역으로 나누어 속도장 측정을 수행하였다. 미소조사구간은 영상이동량을 고려하여 공간해상도와 SNR(signal-to-noise ratio)이 최적인 상태가 되는 64 × 64 픽셀로 설정하였고, 50% 오버랩핑하였다. 산란입자로 는 평균직경이 100μm 인 vestosint® 1111 입자를 사용하였다.

본 연구에서는 스트립 이송속도 V_s , 유도가열기 유량 Q, 스크래퍼 위치, 그리고 배플의 형태변화에 따른 속도장을 측정하였다.

Fig. 5 는 스트립 이송속도가 $V_s = 2.0\text{m/s}$ 이고 유도가열기 유량이 $Q=40\text{ lpm(l/min)}$ 인 조건에서 스트립 출구부 주위 4 개 단면에서 측정된 속도장 결

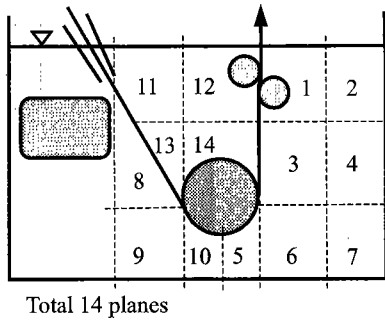


Fig. 4 14 sections for PIV velocity field measurement at the strip center plane

과를 도식한 것이다. 이와 같은 속도장 결과들을 이용하면 도금욕 내부 유동의 정성적 특성과 함께 정량적인 유동구조 해석이 가능하다.

본 실험에서는 14 개 측정단면 중에서 1 과 12 분면에 중점을 두었다. 왜냐하면 본 연구에서 대상으로 삼은 #4 CGL 아연도금욕은 주로 탑 드로스에 의한 드로스 결함이 많이 발생하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 탑 드로스에 의한 드로스 결함이 많이 발생하는 안정화를 주위의 유동을 실험적으로 해석하고, 수동적인 유동제어기법을 이용하여 드로스 결함을 감소시키고자 한다.

3. 결과 및 고찰

도금욕 내부 흐름의 유동구조변화를 정량적으로 해석하기 위하여 PIV 기법을 적용하여 순간 속도장을 측정하였다.

3.1 스트립이송 속도 변화

먼저 스트립 이송속도 변화에 따른 속도장 변화를 관측하였다. Fig. 6 은 스트립 중앙단면에서 스트립 이송속도를 $V_s=1.5, 2.0, 2.5\text{m/s}$ 로 변화시키면서 측정된 속도장 결과들이다. 이때 유도가열기의 유량은 실제 현장 조업과 유사한 $Q = 40 \text{ lpm}$ 로 고정시켰다. Fig. 6 의 오른쪽은 출구부의 1 분면에서 얻어진 스트립 외부유동의 속도장 결과를 보여주고 있다. 스트립 속도가 $V_s = 1.5\text{m/s}$ 인 경우 (Fig. 6(a)) 유동이 스트립을 따라 안정화를 부근까지 상승하다 안정화에 의해 유로가 차단된 후 스트립에서 분리되어 스크래퍼를 따라가다 도금욕 하부로 이동하고 있다. 스크래퍼보다 높은 위치의 상부 영역에서는 유동이 거의 없어 정체상태에 가깝다.

스트립 이송속도가 2.0m/s 와 2.5m/s 로 증가함에 따라, 스크래퍼를 따라 분리되어 나가며 보다

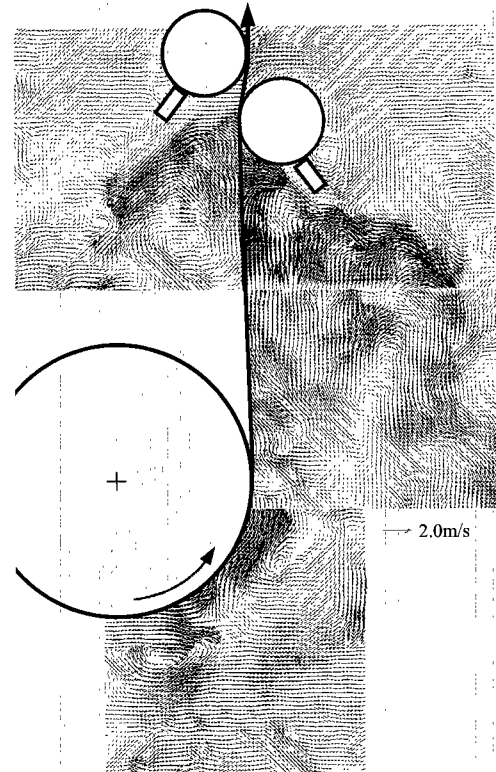


Fig. 5 Velocity field around the moving strip ($V_s=2.0\text{m/s}$, $Q=40 \text{ lpm}$)

빠른 속도로 도금욕 상부로 상승하는 유동도 나타나고 있다. 또한 스트립 이송속도가 증가함에 따라, 스트립을 따라 상승하는 유동이 안정화를 부근까지 상승하지 못하고 보다 빨리 스트립에서 분리되는 현상이 나타나고 있다. 그리고 스트립에서 분리된 유동의 일부가 빠른 속도로 오른쪽 벽면에 부딪힌 후 안정화를 상부로 유입되고 있다.

Fig. 6 의 왼쪽은 출구부의 스트립 내부유동을 묘사한 12 분면에서의 속도장 변화를 나타낸 것이다. 스트립 속도가 $V_s = 1.5\text{m/s}$ 인 경우 유동이 스트립을 따라 상승하다 분리된 후, 스크래퍼를 따라 도금욕 하부로 이동한다. 이중 일부는 도금욕 입구쪽으로 상승하는 유동도 나타나 다시 스트립을 따라 상승하며 반시계 방향의 와류를 형성하는 유동구조가 지배적이다.

스트립 이송속도가 2.0m/s 와 2.5m/s 로 증가함에 따라 스트립을 따라 상승하다 분리되어 스크래퍼를 따라 하강하는 유동의 유속이 증가하며 안정화를 아래에서 반시계 방향으로 회전하는 와류도 강해지고 있다. 특히 스트립 속도가 $V_s = 2.5\text{m/s}$ 로 증가하게 되면 스크래퍼를 지나 하강하는 유동 중에서 도금욕 입구쪽으로 상승하는 유동이 증가하

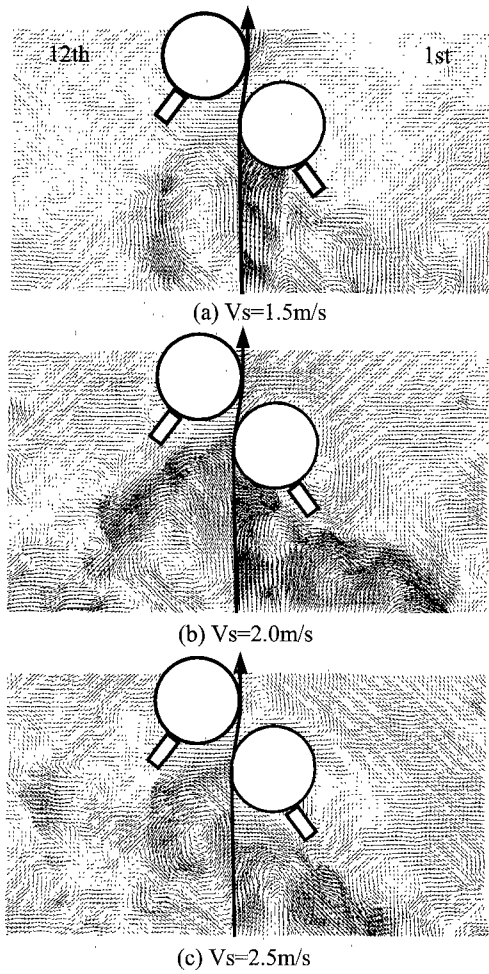


Fig. 6 Velocity field around the stabilizing roll at sections 1 and 12 for different strip speed V_s ($Q = 40$ lpm)

여 이 부분의 유속도 빨라짐을 알 수 있다. 따라서, 스트립 이송속도가 증가하게 되면 스트립 내부영역에서는 안정화롤 아래에 회전하는 와류가 강해지며, 스트립을 따라 상승하는 유동이 안정화롤까지 상승하지 못하고 스트립으로부터 보다 빨리 분리되며, 스트립에서 분리된 유동도 빨리 싱크롤 방향으로 재유입 되고 안정화롤 상부영역의 유동도 증가시키게 된다.

3.2 유도가열기 유량 변화

Fig. 7 은 싱크롤과 안정화롤 중간 높이에 설치된 유도가열기의 유량 Q 를 변화시켜 가면서 얻은 속도장 결과들이다. 이때 스트립 속도는 실제 현장 조업과 유사한 $V_s = 2.0m/s$ 로 고정시켰다.

Fig. 7 의 오른쪽은 유도가열기의 유량 변화에

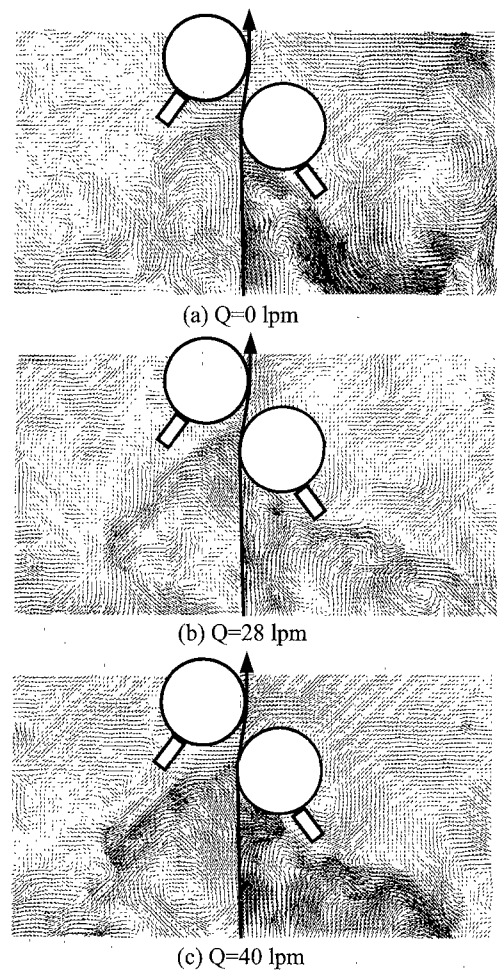


Fig. 7 Velocity field around the stabilizing roll for different flow rate Q of induction heater ($V_s = 2.0$ m/s)

따른 출구부 1 분면에서 구한 스트립 외부유동의 속도장 변화를 보여주고 있다. 유도가열기가 작동하지 않는 경우 ($Q=0$ lpm) 스트립을 따라 안정화롤 부근까지 상승하던 유동은 스크래퍼에 의해 스트립에서 분리되고 있다. 그리고 빠른 속도로 하강하는 유동의 영향으로 스트립과 스크래퍼 사이에 시계방향으로 회전하는 2 개의 와류가 형성되어진다.

유도가열기의 유량을 실제 현장 조업의 70%와 100% 수준인 $Q=28$ lpm 과 $Q=40$ lpm 로 증가시키에 따라, 스크래퍼 상부로 상승하는 유동이 유도가열기의 영향으로 감소하고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 7 의 왼쪽은 출구부의 스트립 내부유동을 모사한 12 분면에서 속도장 결과를 보여주고 있다. 여기서 보면 유도가열기의 유량에 상관없이 스트

림 내부유동은 안정화를 아래부근에서 반시계방향으로 회전하는 유동구조가 지배적이다. 그러나 유도가열기의 유량이 증가함에 따라 안정화를 아래부근에서 반시계 방향으로 도는 와류 유동이 강해지고 있다. 따라서 안정화를 주위와 상부유동을 억제시켜 드로스를 저감시키기 위해서는 유도가열기 유량을 증가시키는 것이 유리함을 알 수 있다.

3.3 스크래퍼 위치 변화

Fig. 8 은 스크래퍼의 위치를 변화시켜 가면서 얻은 속도장 결과들이다. 이때 스트립 이송속도와 유도가열기의 유량은 실제 현장 조업과 유사한 $V_s = 2.0m/s, Q = 40 lpm$ 으로 고정시켰다.

출구부 영역인 1 분면에서의 속도장 변화를 보면 오른편 스크래퍼가 안정화롤로부터 일정거리만큼 떨어져 있는 경우, 스크래퍼가 안정화롤에 밀착된 경우(Fig. 8(a))에 비해 스트립에서 분리된 유동의 많은 부분이 안정화롤과 스크래퍼 사이 공간을 통해 도금욕 상부로 상승하고 있다. 나머지 일부는 안정화롤 하부로 나아가 다시 스트립쪽으로 유입되어 시계방향의 유동구조를 형성한다.

Fig. 8(c)는 스크래퍼가 없는 경우의 속도장 결과를 나타낸 것으로 스크래퍼가 안정화롤과 분리되어 일정한 간격을 유지하는 경우(Fig. 8(b))와 마찬가지로 도금욕 상부로 상승하는 유동이 주를 이루고 있다. 그러나, 안정화롤 하부에 형성된 시계방향으로 회전하는 와류 중심은 스크래퍼가 없음으로 인해 스트립으로부터 보다 많이 떨어져 있다.

Fig. 8 의 왼편은 스트립 왼편 12 분면에서의 속도장 변화를 보여주고 있다. 스크래퍼가 안정화롤과 분리되어 일정한 간격을 유지하는 경우인 Fig. 8(b)를 보면 스크래퍼가 안정화롤에 밀착된 경우(Fig. 8(a))에 비해 스트립에서 분리되어 도금욕 하부로 이동하는 유동이 스트립과 이루는 각도가 증가하고 도금욕 입구부쪽으로 보다 많이 치우쳐 있다. 따라서 안정화를 아래부분에서 반시계 방향으로 회전하는 와류유동이 약해지고 안정화롤 왼편의 입구부쪽 유동이 강화되어진다.

Fig. 8(c)는 스크래퍼가 없는 일반적인 경우의 속도장 결과이다. 스크래퍼가 안정화롤과 분리되어 일정한 간격을 유지하는 경우(Fig. 8(b))에 비해 반시계방향으로 회전하는 와류구조가 훨씬 강해지며, 도금욕 상부로 상승하는 유동도 커지고 있다.

즉, 스크래퍼를 안정화롤에서 분리, 제거 시키게 되면 도금욕 입구부 영역의 스트립 내부유동은 강화되고, 출구부의 스트립 외부유동은 도금욕 상부로 상승하는 유동이 증가하게 된다. 따라서 드

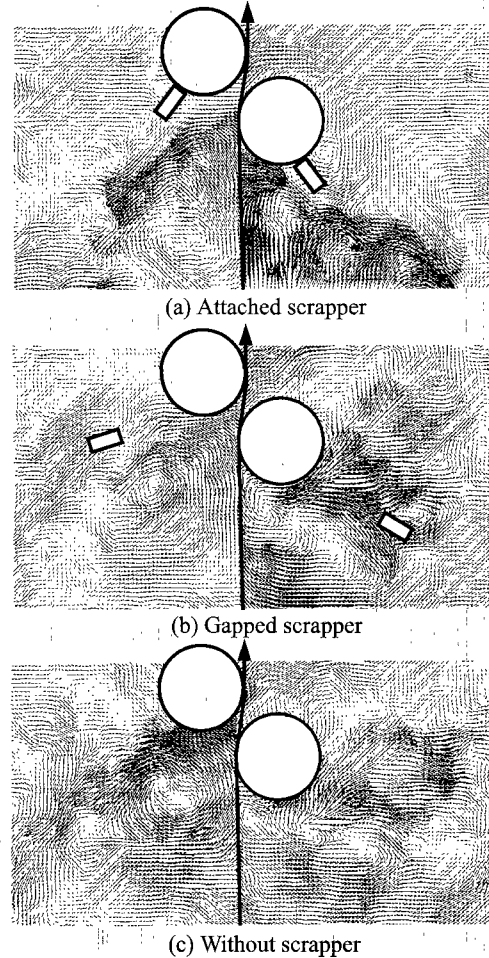


Fig. 8 Velocity field around the stabilizing roll for different scrapper position ($V_s = 2.0m/s, Q = 40 lpm$)

로스를 감소시키기 위해서는 스크래퍼를 가급적 안정화롤에 밀착시켜야 함을 알 수 있다.

3.4 배플 형태 변화

Fig. 9 에 표시한 2 가지 형태의 배플을 안정화롤 아래쪽에 설치하고 이들이 도금욕 내부유동에 미치는 효과를 조사하였다. 배플의 양 끝단은 유동 교란을 최소화 시키기 위해 모서리를 뾰족하게 (sharp edged) 가공하였다. A 형 배플은 안정화롤 양쪽에 동일한 크기의 배플을 안정화롤과 접선으로 지나게 배치한 것이다(Fig. 9(a)). 이때 배플이 스트립에 수직인 수평면과 이루는 각도는 약 50° 이다 Fig. 9(b)는 본 연구에서 사용한 B 형 배플을 나타낸 것으로 오른편에 설치된 배플은 A 형과 동일하나 스트립 내부인 왼편은 A 형 배플보다 길이가

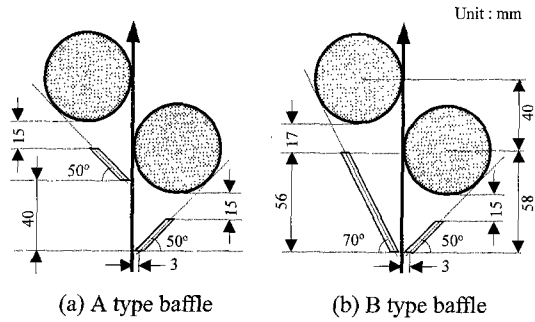


Fig. 9 Configuration of baffles type A and type B

약 3 배정도 긴 배플을 안정화롤과 접선으로 만나게 설치하였다. 이때 배플이 수평면과 이루는 각도는 약 70° 이고, 스트립 양쪽에 설치된 배플의 양끝단의 높이가 서로 일치하게 하였다.

Fig. 10 는 A 형 배플을 설치한 경우의 속도장 결과들을 나타낸 것이다. 이때 스트립 이송속도와 유도가열기의 유량은 각각 $V_s = 2.0m/s$, $Q=40$ lpm 로 고정시켰다.

스트립 오른쪽인 출구부 영역에 있는 1 분면에서의 속도장 결과를 보면 유동구조가 배플 설치로 인해 같은 조건에서 속도장 결과인 Fig. 8(a)에 비해 크게 달라졌음을 볼 수 있다. 스트립 가까이 설치된 배플에 기인하여 안정화롤 부근까지 상승하던 유동이 크게 감소하였으며, 대부분 배플을 따라 스트립에서 분리된 후 스크래퍼를 따라 도금욕 아래쪽으로 이동하고있다. 또한 배플 설치로 인해 안정화롤과 스트립이 만나는 코너 영역에서는 유속도 느리고 바깥으로 빠져 나오려는 속도 성분이 존재하여 드로스 방지에 도움이 될 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 10 의 원편은 12 분면에서의 속도장 변화를 보여주고 있다. 여기서 보면 배플이 없는 경우와 마찬가지로 주로 안정화롤 아래부분에서 반시계 방향으로 도는 큰 규모의 와류가 지배적이다. A 형 배플이 설치된 위치는 배플이 없는 경우에 유동이 스트립에서 분리되어 나가기 시작하는 지점이다. 따라서, 배플이 없는 경우(Fig. 10(a))에 비해 A 형 배플을 설치함으로써 인해 스트립에서 분리된 유동이 배플과 스크래퍼를 따라 도금욕 하부로 원활하게 이동하고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 11 은 B 형 배플을 설치한 경우의 속도장 결과를 나타낸 것이다. 이때 스트립 이송속도와 유도가열기의 유량은 $V_s = 2.0m/s$, $Q=40$ lpm 로 고정시켰다.

스트립 출구부의 1 분면에서의 속도장 결과를 보면 유동구조가 A 형 배플을 설치한 경우와 유사

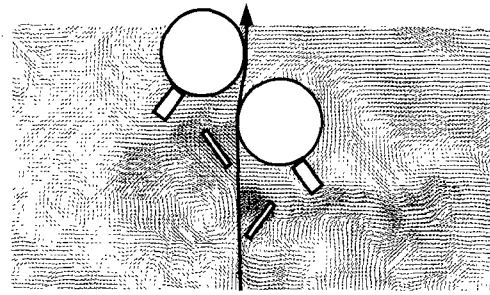


Fig. 10 Velocity field around the stabilizing roll with A type baffle ($V_s = 2.0m/s$, $Q = 40$ lpm)

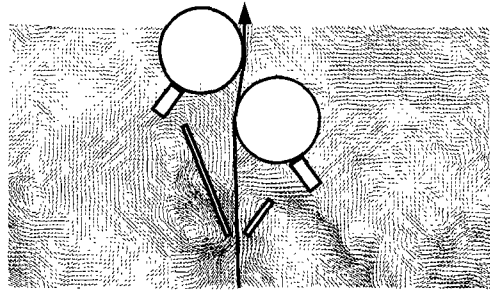


Fig. 11 Velocity field around the stabilizing roll with B type baffle ($V_s = 2.0m/s$, $Q = 40$ lpm)

함을 알 수 있다. 스트립을 따라 상승하던 유동이 배플 설치로 인해 안정화롤 높이까지 상승하는 유동이 크게 감소하고 있다. 또한 배플이 없는 경우(Fig. 8(a))에 비해 안정화롤 상부에서 유입되는 유동도 감소하고 있다.

원편의 12 분면에서의 속도장 변화를 보면 배플이 없는 경우와 마찬가지로 안정화롤 아래부분에 반시계 방향으로 도는 와류가 지배적이다. B 형 배플이 설치된 위치는 배플이 없는 경우에 유동이 스트립을 따라 지속적으로 상승하는 지점이다. 따라서 배플이 없는 경우에 비해 B 형 배플을 설치함으로써 인해 스트립을 따라 상승하는 유동 대부분이 배플을 따라 스트립에서 분리되어 대각선 방향으로 상승하게 된다. 배플을 따라 상승하던 유체는 스크래퍼에 부딪친 후 스크래퍼를 따라 하강하며 안정화롤까지 상승하는 크게 유동은 감소하였다.

안정화롤 아래부분에 형성된 반시계방향으로 회전하는 와류가 배플에 근접하게 위치하여 이러한 와류구조가 배플에 진동을 야기시킬 수도 있음을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서 다른 여러 가지 유동제어방법 중 Fig. 11 처럼 B 형 배플을 사용하고, 스크래퍼를 안정화롤에 밀착시키고, 유도 가열

기 유량을 최대한 유지하게 되면, 안정화를 주위 유동을 효과적으로 제어하여 드로스 부착을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

아연도금 공정에서 도금욕 내부흐름의 유동특성을 실험적으로 해석하였다. 강제 스트립의 이동속도를 $V_s = 1.5, 2.0, 2.5\text{m/s}$ 의 3 가지로 변화시키고 유도가열기의 유량을 0, 28, 40 lpm 으로 변화시키며, 스크래퍼 설치위치와 배플 형상을 변화시키면서 도금욕 내부유동의 변화를 PIV 속도장 측정을 통해 연구하였다. 본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 스트립 이송속도가 증가함에 따라 스트립 내부의 안정화를 아래부근에서 반시계방향으로 도는 와류유동이 강해지며 또한 출구부의 스트립 외부에서는 강판을 따라 상승하는 유동이 안정화를 부근까지 상승하지 못하고 강판에서 보다 빨리 분리되어 진다.

(2) 유도가열기의 유량 (Q)이 증가함에 따라 도금욕 표면으로 상승하는 유동이 크게 감소하며 스트립 내부 안정화를 아래부근에서는 반시계방향으로 도는 유동이 강해지게 되어 드로스 억제에 효과적이다.

(3) 스크래퍼를 안정화물에서 떨어뜨리거나 제거시키는 경우 출구부의 스트립 외부에서 도금욕 표면으로 상승하는 유동이 증가한다. 따라서 도금욕 상부로 상승하는 유동을 억제시키기 위해서는 스크래퍼를 안정화물에 밀착하는 것이 효과적이다.

(4) 강판을 따라 상승하던 유동은 배플 설치로 인해 안정화물과 스트립이 만나는 코너부분으로 유입되는 유동이 크게 감소한다. 또한 A 형 배플에 비해 B 형 배플을 설치한 경우가 스트립을 따라 상승하던 유동이 크게 감소하며, 안정화를 주위 유속을 크게 떨어뜨려 드로스 저감에 보다 효과적이다.

후 기

본 연구는 POSCO 과제지원에 의해 수행된 연구 결과의 일부이며, POSCO 기술연구소 광양 압연연구팀의 정진환 팀장, 박노범 연구원에게 감사드립니다. 본 연구에 사용되어진 장비 일부는 포항공대와 NRL 사업 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- (1) Kurobe, J., Matsubara, N. and Iguchi, G., 1996, "Cold Model Experiment on Flow Phenomena in Hot Dip Plating Bath," *CAMP-ISIJ*, Vol.9, pp. 1080~1083.
- (2) Yakawa, A., Yamanaka, S. and Kurida, K., 1996, "Investigation of Restraining Method from Bottom Dross Flinging," *CAMP-ISIJ*, Vol.9, pp. 1084~1087.
- (3) Nakamura, T., Shibuya, T., Kokuji, K. and Urai, M., 1996, "Dross Control in Zinc Bath for Producing Exposed GA with High Surface Quality," *CAMP-ISIJ*, Vol.9, pp. 1076~1079.
- (4) Kato, 1996, "Dross Formation and Flow Phenomena in molten Zinc Bath," *CAMP-ISIJ*, Vol.9, pp. 1072~1075.
- (5) Shin, D. S., Choi, J. and Lee, S. J., 2000, "Velocity Field Measurement of Flow inside Snout of Continuous Hot-Dip Galvanizing Process Using a Single-frame PIV Technique," *ISIJ International*, Vol.40, pp. 484~490.
- (6) 신대식, 최제호, 이상준, 2000, "용융아연 도금 공정에서의 SNOUT 내부 유동장 해석 (I)," 대한기계학회논문집 B 권, 제 23 권 제 10 호, pp. 1265~1273.
- (7) Adrian, R. J., 1991, "Particle Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics," *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol.23, pp. 1202~1215.
- (8) Dracos, Th., 1996, "Three-Dimensional Velocity and Vorticity Measuring and Image Analysis Techniques," *Ekluwer Academic publishers*
- (9) Keane R. D. and Adrian R. J., 1992, "Theory of Cross-Correlation Analysis of PIV Images," *University of Illinois, Applied Scientific Research*, Vol.49, pp. 1~39.
- (10) Keane, R. D. and Adrian, R. J., 1995, "Super-resolution Particle Image Velocimetry," *Measurement Science and Technology*, Vol.6, pp. 754~768.
- (11) Lourenco, L. M. and Korthapalli, A., 1995, "On the Accuracy of Velocity and Vorticity Measurements with PIV," *Florida A&M University and Floridal State University, Experimental in Fluids* Vol.18, pp. 421~428.
- (12) Hinze, J. O., 1975, *Turbulence*, McGraw-Hill. New York.
- (13) 이상준, 신대식, 2000, "고해상도 CCD 카메라를 이용한 Single-Frame PIV 속도장 측정기법 개발," 대한기계학회논문집 B 권, 제 24 권 제 1 호, pp. 21~28.
- (14) 신대식, 이상준, 2000, "고해상도 PIV 기법을 이용한 타원형 제트의 근접 유동장 해석," 대한기계학회논문집 B 권, 제 24 권 제 3 호, pp. 459~466.