

단부 아연 과도금 방지를 위한 단부 와동 구조의 분석

조중원*· 김상준**· 안기장*· 정명균†
(2002년 1월 16일 접수, 2003년 6월 16일 심사완료)

Analysis of a Vortex Structure Near the Strip Edge for Preventing Edge Zn Overcoating

Choong Won Cho, Sang Joon Kim, Gi Jang Ahn and Myung Kyoong Chung

Key Words: Edge Overcoating(단부 과도금), Edge Baffle(단부 차폐막), Air Knife(에어 나이프), Strip Edge Vortex(강판 단부 와동), Continuous Hot-Dip Galvanizing(연속 용융식 아연 도금)

Abstract

In the gas wiping process of continuous hot-dip galvanizing, edge overcoating develops near the edge of the steel strip. The overcoating is supposed to occur due to the reduced impact pressure of wiping gas on the strip surface. The purpose of this study is to investigate the effect of edge vortex on the reduced impact pressure. Three-dimensional unsteady flows are simulated using a commercial code, STAR-CD. Standard $k-\epsilon$ model is used as a turbulence model. It is found that an alternating vortex structure in the vicinity of strip edge is developed by buckling of opposed jet streams and that the reduced amount of impact pressure at strip edge becomes smaller as the air knife gets closer to the strip. The effect of edge baffle on the reduced impact pressure is also investigated.

기호설명

H : 두 에어나이프 사이의 거리
 G : 차폐막과 강판 단부 사이의 거리
 P : 강판위의 평균 충돌압력
 P_c : 강판 중앙부에서의 평균 충돌압력
 $S1, S2$: Neumann 경계조건과 강판 단부 사이의 거리
 V : 에어나이프로부터 분사되는 기체의 속도

d : 에어나이프 분사구의 간격
 p : 강판위의 충돌압력
 p_e : 강판 단부에서의 충돌압력
 ΔP : 충돌점에서의 평균 압력 강하
($= P - P_c$)

1. 서론

강판의 부식을 막기 위한 연속식 용융아연도금 공정에서는 Fig. 1에서 보듯이 소둔열처리된 강판을 용융아연욕조(molten zinc bath)에 통과시킴으로써 강판의 표면에 아연을 부착시킨다. 그런데 강판과 용융아연 사이의 접촉력 때문에 부착된 아연의 두께는 통상 필요로 하는 도금두께보다

* 한국과학기술원 기계공학과

** 회원 포항산업과학연구원 설비·자동화연구센터

† 책임저자, 회원, 한국과학기술원 기계공학과

E-mail : mkchung@kaist.ac.kr

TEL : (042)869-3014 FAX : (042)869-3054

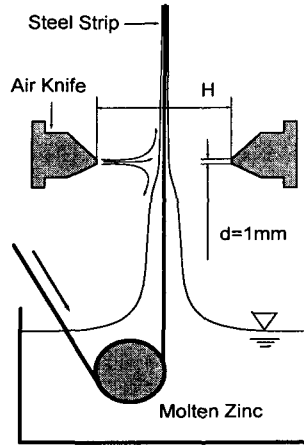


Fig. 1 Schematic diagram of a hot dip galvanizing process

약 10배 이상 두껍다. 따라서 필요 이상의 아연을 제거하기 위해 질소를 평면제트 형태로 강판의 표면에 수직으로 충돌시켜 불필요한 아연을 깎아 낸다. 이때 고속의 질소가 분사되는 노즐을 에어나이프라고 하고 이러한 방법을 가스 와이핑 방법이라고 부른다. 가스 와이핑 방법에서 강판에 부착되는 아연의 두께는 강판 표면에서의 기체의 충돌압력과 전단응력에 의해서 결정되는데 이 값들은 강판의 이송속도, 에어나이프와 강판 사이의 거리($H/2$), 분사되는 기체의 속도(V) 그리고 에어나이프 분사구의 간격(d) 등에 의해 조절될 수 있다.^(1,2)

1960년대에 개발된 가스 와이핑 방법은 종래에 사용하던 여타의 방법보다 우수한 생산성을 갖는 등 많은 장점이 있어 현재까지도 전 세계의 연속식 용융아연도금 공정에서 공통적으로 사용하고 있는 방법이다. 그러나 이 방법은 Fig. 2에서와 같이 강판의 양단으로부터 약 30~60mm 떨어져 있는 영역에서 도금두께가 강판 중심부의 두께보다 1.4~1.8배 정도 두꺼워지는 과도금 현상이 종종 발생하는 문제점을 지니고 있는데, 이러한 단부 과도금 현상(edge overcoating)은 제품의 품질을 떨어뜨리는 고질적인 병폐중의 하나이다. 실제 현장에서는 단부 과도금 현상을 억제하기 위하여 강판의 중앙에서부터 강판의 양끝으로 감에 따라 에어나이프 분사구의 간격(d)을 점점 증가

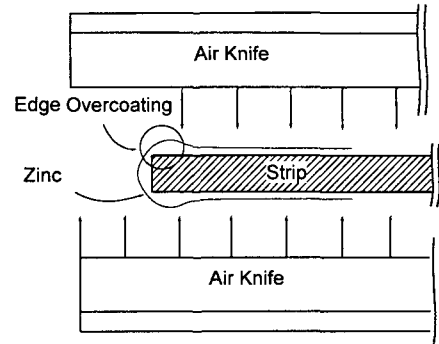


Fig. 2 Coating thickness profile

시키으로써 강판 단부에 부착된 아연을 강판의 중심보다 더 많이 깎아 내려고 시도해 왔지만 뚜렷한 개선점은 찾을 수 없었다.

단부 과도금 현상의 원인에 대한 정확한 규명은 아직까지는 이루어지지 않은 상태이다. 왜냐하면 도금되는 아연의 두께가 대략 10~20 μ m 정도로 매우 미세한 양이기 때문에 단부 과도금 현상이 주변의 미미한 요인들에 대해서도 민감하게 반응할 수 있고 그 측정 또한 매우 힘들기 때문이다. 그러나 현재까지 알려진 바로는 과도금의 원인은 다음과 같이 크게 두 가지 정도로 생각할 수 있다.

첫째는 Takeishi와 Morino⁽³⁾가 제시한 바와 같이 액체 아연의 표면장력이 그 원인일 것이라는 이론이다. Takeishi와 Morino는 여러 가지 조건에서 실험을 수행한 결과 에어나이프가 설치되어 있지 않을 경우에는 액체아연의 표면장력이 단부 과도금 현상을 발생시키며 에어나이프가 설치되어 있을 때에는 강판의 중앙으로부터 단부쪽으로 흘러가는 유동이 발생하고 이것이 액체아연의 표면장력과 복합적으로 작용해서 단부 과도금 현상을 유발한다고 지적하였다. 그런데 단부 과도금의 두께가 매우 미미한 양이라는 점을 감안해 본다면 액체아연의 표면장력이 과도금에 영향을 줄 수 있다는 주장은 타당성을 갖는다. 하지만 Takeishi와 Morino는 강판단부(strip edge)에서 발생하는 복잡한 유동의 발생 원인과 표면장력으로 인하여 과도금이 유발되는 메커니즘에 대해서는 만족할 만한 설명을 하지 못했다.

둘째는 에어나이프로부터 분사되는 기체가 강판 단부(edge)에서 주기적으로 와동(vortex)을 형

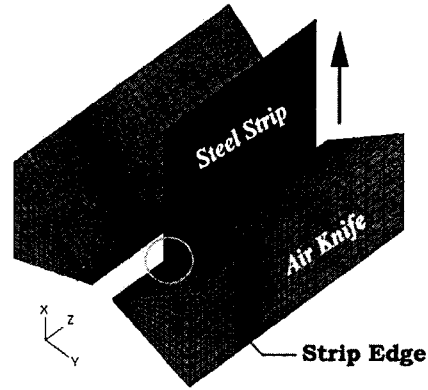
성하고 이것이 강판 단부의 아연제거능력(wiping force)을 감소시킴으로써 단부 과도금 현상을 유발시킨다는 이론이다. 실제로 박정렬 등⁽⁴⁾은 강판 단부에 와동의 발생을 억제하는 차폐막을 설치했을 때 단부 과도금 현상이 확연히 줄어든다는 사실을 실험으로 보임으로써 주기적인 와동형성이 단부 과도금의 중요한 요인이 될 수 있다는 점을 입증하였다. 하지만 박정렬 등도 단부 와동의 발생 메커니즘에 대해서 만족할 만한 설명을 하지 못하였다. 그리고 차폐막을 설치함으로써 과도금을 억제하려는 방법은 이송장치의 잦은 고장이라는 문제점을 안고 있다. 왜냐하면 고압의 기체분사에 의해 튀겨 나온 아연도금 덩어리들이 주위의 기계장치에 달라붙어 고장을 유발하기 때문이다.

본 연구에서는 위에서 언급한 단부 과도금의 요인들 중 단부 와동에 초점을 맞추고자 한다. 왜냐하면 차폐막을 설치함으로써 과도금 현상을 억제할 수 있다는 사실이 밝혀졌고 실제 현장에서도 이 방법이 응용되고 있기 때문이다. 그런데 아직까지는 단부 와동(edge vortex)의 발생 메커니즘에 대한 이해가 미흡한 실정이다. 또한 주기적으로 발생된 와동이 어떠한 방식으로 에어ナイ프의 아연 제거능력을 감소시키는 지에 대해서도 입증된 바가 없다. 따라서 현재까지는 단부 과도금 현상을 막아줄 수 있는 좀 더 안정적인 방법을 제시하기는 매우 어려운 실정이다. 본 연구의 목적은 단부 와동 발생의 메커니즘과 이것이 에어ナイ프의 아연 제거능력에 어떠한 영향을 끼치는지에 대한 정성적 특성을 상용코드인 STAR-CD를 이용하여 규명하는 것이다.

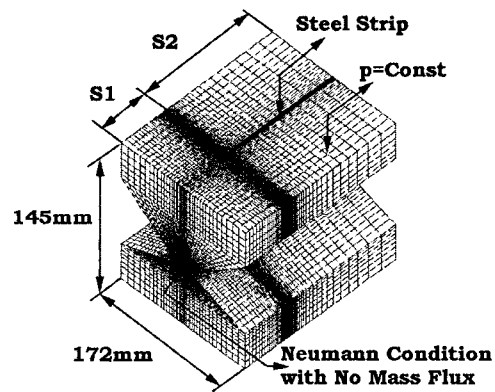
2. 3차원 비정상 유동의 수치해석

2.1 지배 방정식

본 연구에서는 와동의 발생 메커니즘을 자세히 살펴보기 위해 비정상 수치해석을 수행하였다. 또한 에어나이프로부터 분사되는 기체의 Mach 수가 대략 0.3~0.6이기 때문에 상태방정식과 에너지 방정식을 추가한 압축성 유동장 해석을 수행하였다. 그리고 난류모형으로는 표준 k-ε 모형을 사용하였다.



(a) Schematic diagram of an air knife



(b) Calculation domain

Fig. 3 Schematic diagram of an air knife system and calculation domain

2.2 격자의 생성과 경계조건

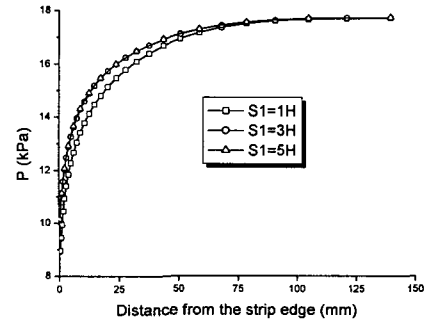
수치해석의 경계조건은 Fig. 3에서처럼 계산영역의 좌측면과 우측면은 질량 출입을 배제시킨 Neumann 경계조건을 사용하였고 상단면과 하단면은 일정압력 경계조건을 사용하였다. 에어나이프 노즐에서 분사되는 유체의 속도와 온도는 정체압력(p_0)과 정체온도(T_0)가 각각 30kPa(Gage)과 340K인 질소가 등엔트로피 과정을 거쳐 대기압까지 떨어졌을 때의 속도와 온도조건을 사용하였다. 즉 에어나이프에서 분사되는 유체의 속도는 225.5m/s 이고 온도는 318.5K이다.

전체적인 에어나이프 시스템에서 강판의 너비 즉 강판이 두개의 제트를 가로막고 있는 영역은 1000~1500mm 이고 가로막고 있지 않은 영역은 100~600mm 정도로 강판의 종류에 따라 다양하게 변한다. 강판이 가로막고 있는 영역은 에어나이프로부터 분사된 질소가스가 평판 수직 충돌제트 (impinge jet)를 만들고 강판이 가로막고 있지 않은 영역은 대향 충돌제트를(opposed jets) 형성한다. 그런데 대향 충돌제트 영역에서는 복잡한 와동이 형성되기 때문에 경계조건을 부여하기가 매우 까다롭다. 이 문제를 해결하기 위해서는 계산 영역을 충분히 크게 함으로써 경계조건에서 유동의 흐름을 단순하게 만들어야 한다. 그러나 3차원 계산영역을 크게 할수록 많은 계산시간이 소요 된다. 또한 본 연구에서 다루고자 하는 것은 강판의 단부 영역이기 때문에 단부에서 멀리 떨어진 대향 충돌제트 영역까지도 정밀하게 해석할 필요는 없다. 따라서 본 연구에서는 질량출입을 배제시킨 Neumann 경계조건을 계산영역의 좌측면과 우측면에 사용하고 이 경계 조건이 강판의 단부로부터 충분히 멀리 떨어져 있도록 계산영역의 크기를 조절하였다.

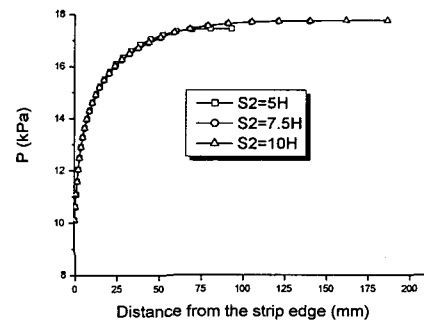
Fig. 4는 $H/d=20$, $d=1\text{mm}$ 일 때 수정 Neumann 경계조건의 위치가 강판 위의 충돌압력에 어떠한 영향을 미치는지 보여준다. 계산결과를 살펴보면 좌측 Neumann 경계조건의 위치($S1$)가 강판 단부로부터 $3H$ 이상 떨어진 곳에 있고 우측 경계조건의 위치($S2$)는 $7.5H$ 이상 떨어져 있을 때 강판 단부의 평균 압력변화에 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 $S1 \geq 3H$ 와 $S2 \geq 7.5H$ 를 만족하도록 계산영역을 설정하였다. 또한 수치해석의 정확성을 살펴보기 위하여 격자의 숫자를 232232, 328016, 482562개로 증가 시켜 보면서 강판 단부의 압력 변화를 살펴보았다. Fig. 5를 살펴보면 격자의 숫자가 482562개인 경우 미세한 차이가 나지만 유동의 정성적 특성을 규명하는 데에는 문제가 없을 정도로 그 차이는 작다. 따라서 본 연구에서는 232232개의 3차원 구조화 격자를 사용하였다.

2.3 주기적 유동의 계산방법

주기적인 와동의 발생은 Fig. 6에서 보듯이 강판 단부에서 발생하는 압력변화를 통해 알 수 있다. 결과를 살펴보면 대략 10msec의 시간이 흐른



(a) Effect of left side boundary condition



(b) Effect of right boundary condition

Fig. 4 Effect of boundary with Neumann condition on the mean surface pressure distribution

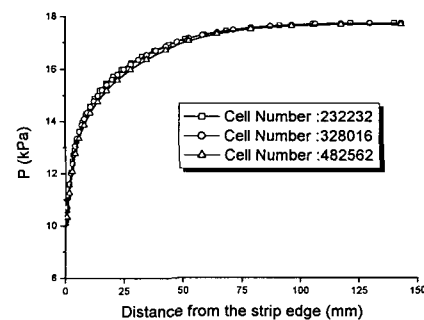


Fig. 5 Effect of spatial resolution on the mean surface pressure distribution

후에서야 주기적인 와동이 발생하였다. 이러한 상태를 일정 주기 상태(steady periodic state)라 부르는데 본 연구의 결과는 유동장이 이러한 일정 주기 상태에 도달한 후에 얻어내었다. 그리고 비정상 수치해석의 정확도를 높이기 위해 Δt 를 $H/(10V)$, $H/(20V)$, $H/(30V)$, $H/(40V)$ 으로 변화시켜가면서 강판 위의 압력변화를 살펴보았으나 Fig. 7에서 보듯이 큰 차이점을 찾을 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 $\Delta t = H/(20V)$ 인 조건을 사용하여 계산을 수행하였다. 이 값은 강판표면에서 일어나는 압력진동주기(0.5msec)의 약 1/10이다.

3. 계산 결과 및 고찰

3.1 와동 발생의 메커니즘

Fig. 8과 9는 강판의 단부(edge)로부터 단부 바

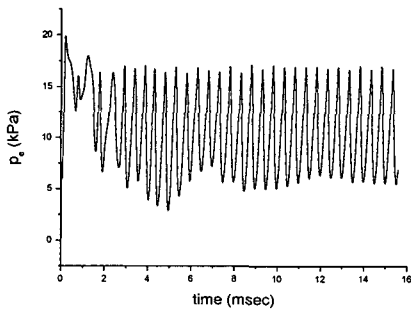


Fig. 6 History of surface pressure on the strip edge

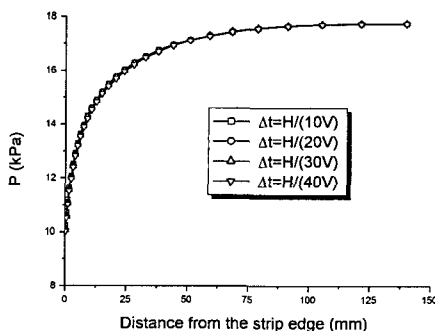
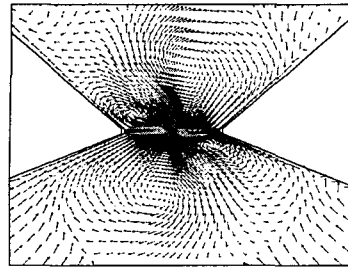


Fig. 7 Effect of time step size on the mean surface pressure distribution

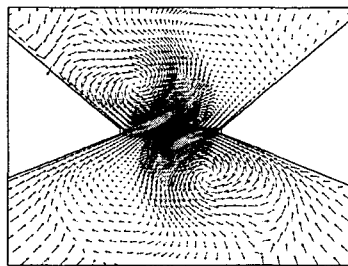
깎 방향(-z direction)으로 20mm 떨어진 지점에서의 유동장을 xy평면에 도시한 것이다. 결과를 살펴보면 대향 충돌제트 영역에서는 두 에어나이프의 상부와 하부에서 반시계 방향 와동과 시계 방향 와동이 번갈아 가면서 형성된다.

이러한 현상은 다음과 같이 설명될 수 있다. 두 에어나이프로부터 분사된 제트유동이 서로 충돌을 일으키고 이 충돌로 인하여 생기는 높은 정체압력이 유동의 흐름을 극도로 불안정하게 만든다. 따라서 약간의 교란에도 정면으로 충돌하던 제트유동은 충돌을 피하면서 서로 어긋나게 진행된다. 여기에서 교란의 역할을 하는 것은 제트와 주위 대기와의 경계면에서 생기는 와동이다. 그러므로 마주보며 분사되는 제트의 경우뿐만 아니라 벽에 부딪히는 충돌제트의 경우에도 이와 유사한 불안정성을 보이고 있다.⁽⁵⁾ 그리고 Zhao 등⁽⁶⁾과 Honame 등⁽⁷⁾의 실험들에서도 본 연구에서 밝혀낸 유동의 굴절(buckling)과 유사한 현상을 찾아볼 수 있다.

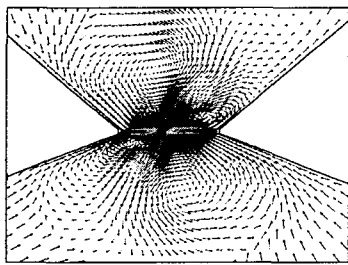
Fig. 8과 9에서 (a)는 에어나이프로부터 분사된 두 개의 제트가 거의 정확하게 충돌한 것을 보여주고 있다. 따라서 충돌점에서의 압력은 매우 높다. 그리고 좌측 에어나이프의 상부에 작은 크기의 와동이 보이는데 이것이 제트에 교란을 주어 결과적으로 (b)와 같이 유동을 굴절시킨다. 일단 굴절이 발생하면 교란으로 작용하였던 작은 크기의 와동은 반시계 방향으로 도는 강력한 와동으로 성장해 간다. 이때의 압력장을 살펴보면 압력이 주위 보다 매우 낮은 부분이 보이는데 그곳이 와동의 중심부를 나타낸다. (c)에서는 반시계 방향 와동의 크기가 계속 성장하면서 와동의 중심부가 제트로부터 멀리 떨어지게 된다. 압력이 낮은 와동의 중심부는 제트를 와동쪽으로 끌어당기는 역할을 해왔기 때문에 와동의 중심부가 제트로부터 멀어지면서 제트에 작용하는 교란 또한 약해진다. 따라서 교란이 없어진 제트는 다시금 충돌을 일으키고 굴절이 없는 제트는 반시계 방향 와동의 성장에 더 이상의 도움을 주지 못한다. 이것은 제트와 와동간의 상호작용이 사라지기 시작함을 의미한다. 그리고 이와 동시에 좌측 에어나이프의 하부에서 시계방향 와동이 새롭게 형성되는데 좌측 제트는 이 와동과 새로운 상호작용을 갖게 된다. (d)에서는 시계 방향와동이 제트와의 상호작용을 통해서 강력한 와동으로 성장



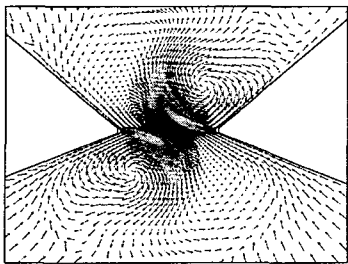
(a)



(b)

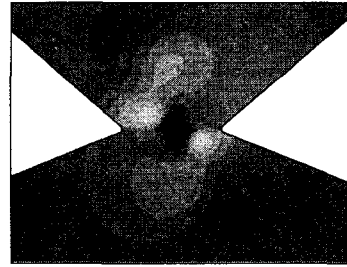


(c)

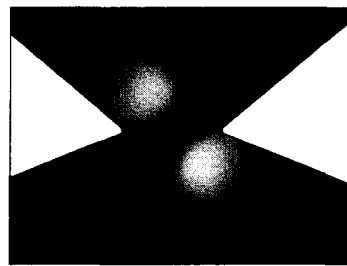


(d)

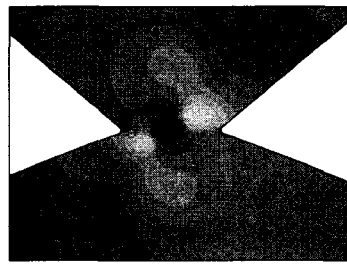
Fig. 8 Variation of velocity vector near the exit plane at $z=20$ mm away from the strip edge for $H/d=20$, $d=1$ mm (a) $t=0$ ms, (b) $t=0.25$ msec (c) $t=0.5$ msec, (d) $t=0.75$ msec



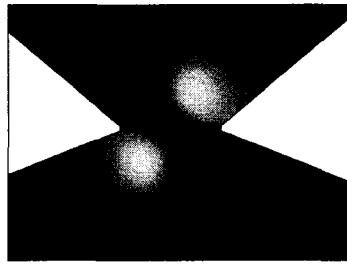
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 9 Variation of pressure near the exit plane at $z=20$ mm away from the strip edge for $H/d=20$, $d=1$ mm (a) $t=0$ ms, (b) $t=0.25$ msec (c) $t=0.5$ msec, (d) $t=0.75$ msec

했음을 보여준다. 그리고 좌측 에어나이프의 상부에 있었던 반시계 방향 와동은 우측 제트에 의해 생긴 시계방향 와동에 밀려 소멸되어 졌다. (d)에서 볼 수 있는 시계방향 와동들은 이후 (a)의 상태로 돌아가고 이로 인해 와동의 형성은 일정한 주기를 갖게 된다. 이와 같이 에어나이프의 상부와 하부에서 발생하는 반시계방향 와동과 시계방향 와동의 발생은 원봉의 후류에서 발생하는 Karman vortex 의 형성과 유사한 점이 있다.

3.2 에어나이프 시스템의 형상에 따른
충돌압력의 변화

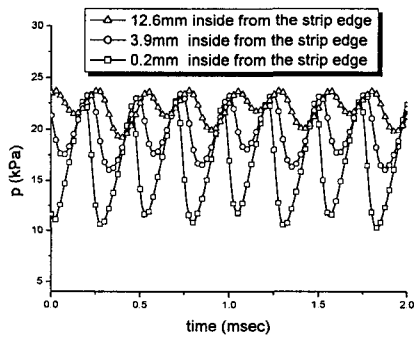
두 에어나이프 사이를 강판이 가로막고 있는 영역에서는 수직 충돌제트가 형성되지만 강판이

가로막고 있지 않은 영역에서는 와동 흘림(vortex shedding) 현상이 발생한다. 이 두 현상의 경계가 되는 강판의 단부는 기본적으로는 수직 충돌제트 유동이 발생 하지만 단부 와동의 영향으로 매우 불안정하다. 즉 단부의 수직 충돌제트에서도 굴절이 일어나면서 주변의 와동과 상호작용을 가진다. 제트가 주변의 와동과 상호작용을 가진다는 의미는 와동은 제트에 굴절을 일으키게 하고 굴절된 제트는 와동을 더욱 강하게 성장시킨다는 뜻이다. 따라서 제트가 가지고 있던 에너지의 일부가 와동의 성장에 쓰여지고 이로 인하여 강판 위에서의 제트의 충돌압력은 큰 폭으로 감소한다. 그리고 충돌압력의 감소는 에어나이프의 아연 제거 능력을 저하시키는 중요한 원인이 된다. 실제 현장에서는 이러한 와동을 방지하기 위하여 다양한 방법으로 에어나이프를 설치하는데 본 연구에서는 크게 두 에어나이프 사이의 거리 (H)와 차폐막의 부착이 강판 단부의 충돌압력에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보았다.

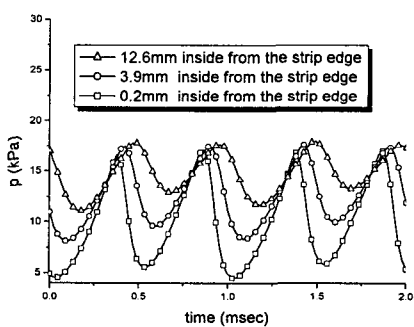
3.2.1 두 에어나이프 사이의 거리

Fig. 10은 H 값에 따른 제트 충돌지점에서의 압력 변화를 나타낸 것이다. 시간에 따른 충돌압력의 변화를 살펴보면 (a), (b) 모두 충돌압력에 진동이 발생하고 이 진동은 강판 단부로부터 중심부쪽으로 들어 갈수록 주기는 같지만 진폭이 작아짐을 알 수 있다. 이러한 결과는 단부 와동의 영향으로 수직 충돌제트에 굴절이 발생하고 그 결과로 인하여 충돌지점의 압력값이 진동하게 됨을 보여준다. 그리고 단부 와동의 영향으로 생긴 굴절의 크기는 점차 감소 되면서 강판의 중심부로 전달됨을 알 수 있다.

H 값에 따른 충돌압력의 변화를 살펴보면 H 값이 상대적으로 큰 경우에 주기와 진폭 역시 크다는 것을 알 수 있다. Fig. 11은 Fig 10의 결과를 시간 평균한 결과이다. 단부에서의 평균 충돌압력의 저하는 H 값이 커질수록 심해짐을 알 수 있다. 이러한 강판 단부의 충돌압력 변화와 H 값과의 관계는 다음과 같이 설명될 수 있다. H 값이 큰 경우에는 충돌압력이 더욱 큰 주기와 진폭을 가지는데 이것은 더욱 강력한 단부 와동이 발생하고 있음을 의미한다. 이것은 Fig. 8에서 볼 수 있듯이 단부 와동이 H 값과 비슷한 크기를 갖기 때문이다. 따라서 H 값이 커질수록 더욱 큰 와동이



(a) $H/d=12$



(b) $H/d=20$

Fig. 10 Oscillation of pressure on the strip surface for various distances between two opposing jets

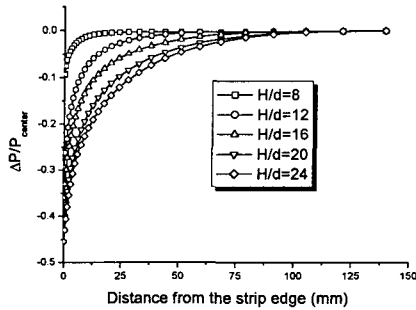


Fig. 11 Mean surface pressure distribution for different nozzle distance

형성되고 이 와동에 의해서 손실되는 제트의 에너지도 증가한다. Fig. 11을 살펴보면 H/d 가 증가할 수록 평균 충돌압력이 감소함을 알 수 있다. 그런데 $H/d=20$ 이상에서는 H 값에 따라 충돌압력의 저하가 거의 차이가 나지 않는데 이것은 단부 와동이 일정 크기 이상 성장하지 못하고 있는 것으로 볼 수 있다. 즉 본 연구에서 다루고 있는 에어나이프의 작동조건에서는 단부 와동의 크기가 $20d$ 이상으로는 성장하지 못하고 있는 것으로 보여진다.

3.2.2 차폐막과 강판 단부 사이의 거리

강판의 양 단부에 차폐막을 고정시키면 두 개의 에어나이프로부터 분사된 제트가 서로 충돌하지 못하고 차폐막에 가로막혀 충돌제트유동이 된다. 따라서 강판의 단부에서는 와동이 형성되지 못한다. Fig. 12와 같은 차폐막은 강판 단부의 압력저하를 방지하는 가장 확실한 방법이고 또한 현장에서 자주 쓰이는 방법 중 하나이다. 그런데 차폐막을 사용할 시에는 강판의 단부와 차폐막 단부의 간격(G)이 일정거리 이하로 유지되어야 한다. 왜냐하면 G 값이 일정 거리 이하가 되면 두 제트 유동이 서로 충돌하는 영역이 작아서 와동을 형성할 수 없게 되지만 이 값이 커짐에 따라 두개의 제트가 서로 충돌하는 영역이 넓어지고 이에 따라 단부 와동을 생성시키는 유동의 불안정성이 증가된다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 와동의 발생을 완벽하게 억제할 수 있는 강판과 차폐막의 간격을 알아 보았다.

Fig. 13은 G 값의 영향을 살펴보기 위해 제트가

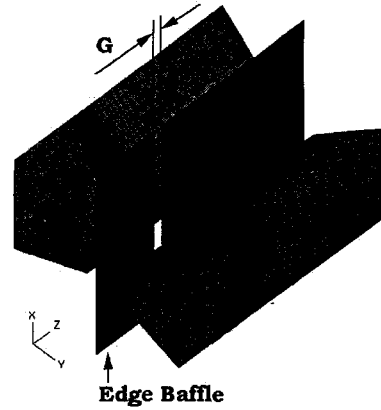


Fig. 12 Schematic diagram of an edge baffle

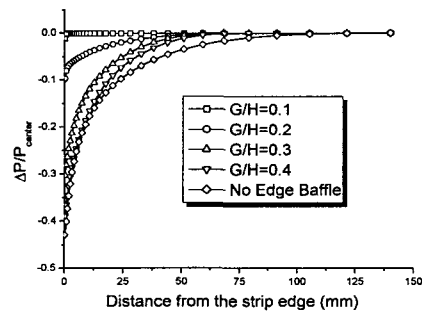


Fig. 13 Effect of edge baffle on mean pressure distribution near the strip

충돌하는 지점에서의 강판표면 압력의 시간 평균을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 $H/d=20$, $d=1\text{mm}$ 일 때 G/H 값이 0.1, 0.2, 0.3, 0.4인 네 가지 경우에 대해 계산을 수행하였다. 이중 $G/H=0.1$ 인 경우는 강판 표면에서의 압력저하를 발견할 수 없었다. 이것은 단부 와동이 발생할 수 있는 충분한 공간이 없기 때문이다. 그러나 G 값이 점차 증가함에 따라 평균압력의 저하도 점점 증가해서 $G/H=0.4$ 인 경우에는 차폐막을 설치하지 않은 경우와 거의 같은 정도의 압력저하가 발생한다.

4. 결론

본 연구에서는 강판 단부의 과도금 원인을 분석하기 위하여 강판 단부에서 발생하는 3차원 비정상 와동에 대한 수치해석을 수행하였다.

강판 단부의 와동은 충돌제트 유동의 굴절에 의해 형성되며 이후 일정한 주기를 가지면서 소멸과 생성을 반복한다. 이러한 주기적인 와동의 소멸과 생성은 강판 단부의 압력장에 영향을 주기 때문에 강판 단부의 충돌압력은 와동과 같은 주기로 진동하게 되고, 진폭은 강판의 단부로 갈수록 커진다. 이러한 현상으로 인해 강판 단부의 평균압력은 중앙보다 약 45% 정도 더 작아진다. 강판 단부에서 발생하는 평균 압력 저하는 두 에어나이프 사이의 거리(H)와 밀접한 관계가 있다. H 값이 클수록 더욱 큰 크기의 와동이 형성된다. 강판의 충돌압력은 와동의 크기와 밀접한 관계가 있는데 큰 와동이 발생할수록 강판의 충돌압력은 그 영향으로 더욱 심하게 저하된다. 또한 수치해석을 통해 차폐막을 설치했을 때 강판 단부의 압력저하 현상이 현저히 저하됨을 알 수 있었다. 이는 차폐막이 단부 와동이 형성될 공간을 제거하기 때문이다.

후 기

본 연구는 포항산업과학연구원의 지원과 일부 국가지정연구실 사업의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Ellen, C. H. and Tu, C. V., 1984, "An Analysis of Jet Stripping of Liquid Coating," *J. Fluids Engineering*, Vol. 106, pp. 399~404.
- (2) Yoo, S. R., Choi, I. S., Nam, P. K., Kim, J. K., Kim, S. J. and Davene, J., 1999, "Coating Deviation Control in Transverse Direction for a Continuous Galvanizing Line," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 7 pp. 129~135.
- (3) Takeishi, Y. and Morino, H., 2000, "Mechanism and Prevention of Edge Over Coating in Continuous Hot-Dip Galvanizing," *ISIJ International*, Vol. 40, No. 11, pp. 1127~1133.
- (4) Park, J., R., Jeon, S. H. and Park, R. B., 1999, "Edge Overcoating and Buildup of Continuously Hot-Dip Metallized Strip," *Journal of the Korea Institute of Surface Engineering*, Vol. 32, No. 4, pp. 555~ 560.
- (5) Kwon, Y. P., 1998, "Instability of High-Speed Impinging Jets (1)," *Trans. of KSME (B)*, Vol. 22, No. 4, pp. 452~458.
- (6) Zhao, Y. and Brodkey, R. S., 1998, "Averaged and Time-Resolved Full-Field (Three -Dimensional), Measurements of Unsteady Opposed Jets," *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 76, pp. 536~545.
- (7) Honami, S., Shizawa, T., Sato, A. and Ogata, H., 1996, "Flow Behavior with and Oscillating Motion of the Impinging Jet in a Dump Diffuser Combustor," *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 118, pp. 65~71.