

유한요소해석을 이용한 EGL 도금조 Polisher Brush의 마모예측

구자경¹, 노학근¹, 허성찬¹, 송우진², 구태완³, 김정³, 강범수[#]

Wear for Polisher Brush of EGL Plating Cell using Finite Element Analysis

J. K. Ku, H. G. Noh, S. C. Heo, W. J. Song, T. W. Ku, J. Kim, B. S. Kang

Abstract

Electro galvanized steel is electroplated cold roller steel for improving corrosion resistance and paintability, and is widely used in automobiles and home appliances. In the electroplating line for manufacturing electro galvanized steel if plating process is carried out with impurity on conductor roll surface, the defects in manufacturing process occurs because of steel fault. For quality, polishing is always required to separate impurity on surface of conductor roll. In this study, finite element analysis of wear for polisher brush is carried out for replaced time of it.

Key Words : Electro Galvanized Steel(전기도금강판), Plating Cell, Conductor Roll Polisher, Felt, Abrasive Wear(연삭마모), Finite Element Analysis(유한요소해석)

1. 서론

전기아연도금강판(electro galvanized steel)은 냉연강판(cold roller steel:CR)의 내식성 및 도장성을 향상시키기 위하여 전기도금을 처리한 제품으로 도금처리가 상온에 가깝고 원판의 재질특성을 유지할 수 있기 때문에 재질선택의 폭이 넓고 가공성이 뛰어난 특징을 갖고 있다. 날로 증가하는 전기도금 제품 수요에 맞춰 모든 제철소에서는 다양한 기술개발이 활발히 진행되고 있다[1]. 제철소의 전기 도금 라인 중 도금조(plating cell)의 전도롤(conductor roll)은 스트립(strip)에 도금 전류를 공급하기 위해 설치되며 전기도금공정에 있어서 전도롤의 표면상태는 도금제품의 품질에 중요한 영향을 미친다. 전도롤의 원주 표면은 중앙의 전도체인 금속파트와 양 측면의 유연한 탄성 부도체인 고무파트로 나누어져 있으며 도금의 원리는 롤에

전기를 가하여 금속부분을 음극으로 작용하게 하고, 양극(anode)판을 전해조에 설치하여 전기도금을 하는 것이다[2].

전도롤 표면에 전해액 및 먼지 등의 이물질이 부착되어 도금공정이 이루어지면 강판 표면에 품질 불량 현상이 발생하여, 공정불량이 발생하고, 품질을 안정화시키기 위해서는 전도롤 표면에 이물질이 부착되지 않게 폴리싱(polishing)을 해주어야 한다. 이 과정에서 폴리셔 브러시(polisher brush)로 사용되는 펠트(felt)의 마모가 발생하게 되는데, 마모된 펠트의 잦은 교체로 소재 구입비의 증가 및 라인 가동중단에 따른 생산성 저하 등의 문제가 있다. 또한 펠트에 편마모가 일어나게 되면 전도롤 표면에 균일한 접촉 압력을 주지 못하므로 폴리셔의 이물질 제거효과는 떨어지게 된다.

따라서 펠트의 편마모 방지 및 교체주기 향상

1. 부산대학교 항공우주공학과 대학원

2. 부산대학교 부품소재산업협력연구소

3. 부산대학교 항공우주공학과

교신저자: 부산대학교 항공우주공학과,

E-mail: bskang@pusan.ac.kr

을 위해 마모에 대해 연구가 이루어져야 하지만, 대부분의 마모 연구는 일반적인 금속 소재에 대해 이루어지고 있고, 펠트 소재에 대한 마모연구는 거의 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 상용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS/CAE 를 이용하여 폴리셔 공정의 브러시로 사용되는 펠트소재의 마모량을 예측하고 이를 바탕으로 브러시의 교환주기를 예측하였다.

2. 해석 방법

2.1 이론 해석

폴리셔 브러시의 마모량 계산에는 Archard's equation으로부터 유도된 I. R. McColl의 식을 사용하였다[3, 4]. j 번째 증분의 i 번째 절점에서의 마모 깊이 $\Delta h_{i,j}$ 는 다음과 같다.

$$\Delta h_{i,j} = k \times 2s_{i,j} \times \Delta N \times p_{i,j} \quad (1)$$

여기서 s 는 스트로크(stroke), k 는 무차원 마모계수(local dimensionless wear coefficient), p 는 접촉 압력(contact pressure), 그리고 N 은 각 증분에 해당하는 주기이다.

폴리셔 브러시의 교체주기를 계산하기 위해서는 모든 절점에서의 마모 깊이 및 마모된 표면형상을 계산할 필요가 없고, 마모가 가장 많이 일어날것으로 예상되는 중앙에 대해서만 마모 깊이를 계산하면 된다. 또한 계산시간을 줄이기 위해 한번의 증분에 대해서만 계산을 하게 되면 식(1)은 다음과 같다.

$$h = k \times 2s \times N \times p \quad (2)$$

2.2 펠트소재 물성치 실험

브러시로 사용된 펠트는 삼차원 다면체의 내부셀(cell)로 구성된 다공성 재질의 탄성 폼(foam)이다. 탄성 폼의 거동은 변형률 에너지 함수(strain energy function)를 따른다[5].

$$U = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{\alpha_i^2} \left[\begin{array}{l} \hat{\lambda}_1^{\alpha_i} + \hat{\lambda}_2^{\alpha_i} + \hat{\lambda}_3^{\alpha_i} - 3 \\ + \frac{1}{\beta_i} ((J^{el})^{-\alpha_i \beta_i} - 1) \end{array} \right] \quad (3)$$

여기서 N 은 변형률 에너지 함수의 차수이고 λ_i 는 주연신율(principal stretch)이다. 여기서

$$\hat{\lambda}_i = (J^{th})^{-1/3} \lambda_i \quad (4)$$

이다. 폼 재질의 거동은 이 변형률 에너지 함수 U



Fig. 1(a) Compression test specimen (b) Compression test

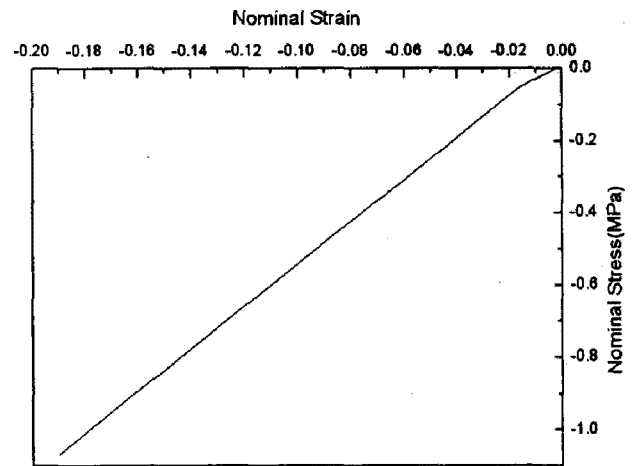


Fig. 2 Compression test result

의 차수에 따라 결정된다. 이것을 결정하기 위한 방법으로는 단축(uniaxial), 이축(biaxial), 순수전단(pure shear), 평면(planar), 그리고 부피(volumetric) 시험 등 5가지가 있으며, 본 연구에서는 압축 변형이 지배적인 것을 감안하여 단축 압축 시험의 결과를 통해 해석을 위한 U 의 차수를 결정하였다.

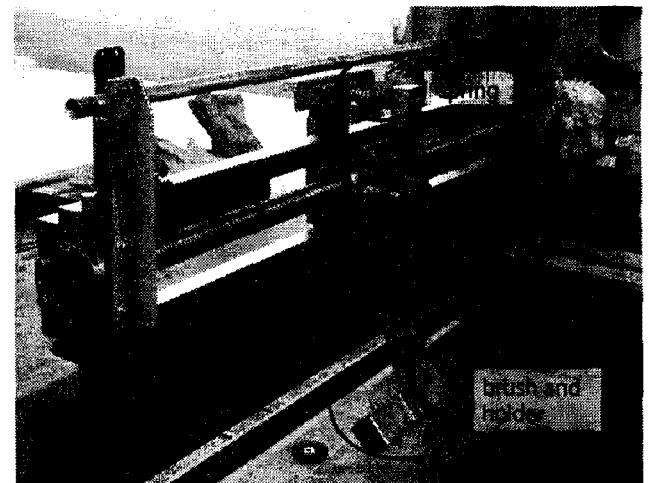


Fig. 3 EGL polisher system

2.3 해석 모델

본 해석에 사용된 폴리서 브러시는 너비 310mm, 폭 70mm, 높이 62mm의 3차원 변형체(3D Deformable Body)로 파트 모델링 하였고, 롤러는 지름 350mm의 3차원곡면(3D Rigid Shell)으로 모델링하였다. 브러시가 롤러를 닦아내는 과정에서 브러시의 이송과 롤러의 회전이 동시에 일어나지만, 해석의 목적이 그에 수직방향의 접촉압력을 구하는 것이므로, 해석과정에서 이송조건과 회전조건을 배제하여도 결과에 큰 영향을 미치지 않는다. 해석 방법으로는 일반, 정적 해석(general, static)을 사용하였으며, 브러시가 홀더에 의해 고정되는 윗면을 롤러에 접하는 방향으로 구속하였다. 브러시 파트의 거동은 하이퍼폼(hyperfoam)으로 설정하고 여기에 사용된 물성치는 표 1과 같다. 변형률 에너지 함수의 차수를 결정하기 위해 2.2절의 단축 압축 시험 데이터를 사용하였다.

브러시가 롤러에 압착되기 위해 가해지는 하중은 Fig. 3에서처럼 스프링 하중으로서, 스프링 상수가 2.06kg/mm이고 최대 하중이 20.6kg이다. 스프링이 최대하중으로 작용하고 있을 때, 브러시의 윗면에 가해지는 압력은 3.85E-3MPa이다. 구속조건 및 경계조건의 설정, 이산화가 완료된 모델을 Fig. 4에 나타내었다.

Table 1 Material properties of brush part model

Density	1.819ton/mm ³
Moduli time scale	instantaneous

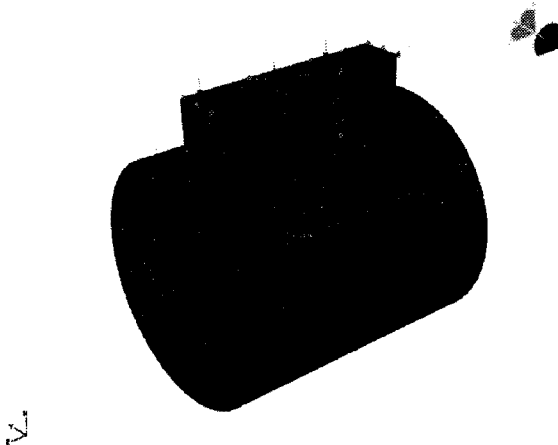


Fig. 4 Modeling, Mesh, and BCs

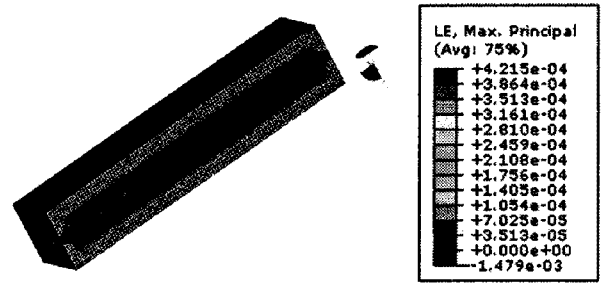


Fig. 5 Elastic strain of brush

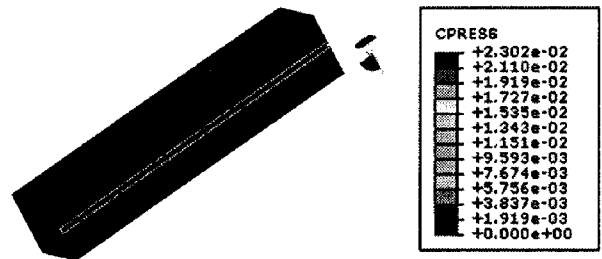


Fig. 6 Contact pressure at contact surface of brush

3. 결과

ABAQUS를 이용한 해석 결과를 Fig. 5, 6에 나타내었다. Fig. 5는 브러시의 탄성 변형률로서, 롤러와의 접촉부위는 변형률이 0에 가까우며 4.2E-4의 최대 변형률이 측면 중앙부에서 나타나는 것을 확인하였다. Fig. 6는 롤러와 접촉하고 있는, 브러시의 접촉면에서의 접촉압력을 확대해서 나타낸 것으로, 브러시의 중앙부에서 2.3E-2MPa의 최대 접촉압력이 나타나고 주변부로 갈수록 접촉압력이 작아짐을 알 수 있다.

브러시의 교체주기를 계산하기 위해 식(2)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$N = \frac{h}{k \times 2s \times p} \quad (5)$$

Table 2 Each parameter value

h	20mm
s	1890mm
p	2.3E-2MPa
k	2.35E-6MPa ⁻¹

이렇게 계산된 N 의 값은 약 98,000주기로서, EGL을 하루 8시간 가동한다고 가정하면 약 51일

의 교체주기가 도출되는데, 이는 실제 현장에서 두달에 한번 교체되는 것을 감안하면 타당한 결론이라고 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 전기도금라인중 폴리셔 브러시로 사용되는 펠트 소재의 마모 및 교체주기를 예측하기 위해서 마모량 계산식 도출, 변형률 에너지 함수를 통한 펠트 소재 특성 파악 실험, 그리고 브러시와 롤러간 접촉압력 계산을 위한 유한요소해석을 수행하였다.

해석에 필요한 펠트 소재의 물성치를 찾기 위해 단축 실험을 수행하였으며, 이를 이용하여 하이퍼폼 소재의 거동을 예측하기 위한 변형률 에너지 함수의 차수를 결정할 수 있었다. 또한 이 과정에서 적은 변형률 범위에서 탄성적인 거동을 하는 것을 확인하였다. 유한요소해석을 통해 2.35E-2MPa의 최대 접촉압력이 롤러와 접촉하고 있는 브러시의 하단 중앙부에 나타남을 알 수 있었으며, 브러시 전체적으로 0에 가까운 변형률이 나타나는 것을 확인하였다. 또한 접촉압력을 마모식에 대입하여 일정한 마모량에 대응하는 주기를 계산하여 교체주기를 계산하였고 마모량과 접촉압력과의 상관관계를 확립하였다.

롤러와 접촉하고 있는 브러시의 접촉면은 초기의 평탄한 형상에서 마모가 될수록 점점 곡면으로 바뀔 것이다. 이는 유한요소해석 결과에서 나타난 좁은 접촉면이 시간이 지날수록 넓어지는 것을 의미하며, 접촉압력은 이에 반비례하여 줄어들 것으로 예상할 수 있다. 본론에서 도출된 실제보다 15%정도 적은 마모주기는 여기에 기인한 것으로 볼 수 있다.

본 연구결과를 통해 폴리셔 브러시의 교체주기를 예측하기 위한 펠트 재질의 마모 모델을 확립

하였다. 이를 바탕으로 폴리셔 브러시로 사용될 수 있는 다양한 재질에 대한 물성시험을 실시하여 각 재질에 대한 교체주기를 도출할 예정이며 교체주기뿐만 아니라 마모형상 예측 및 이로 인한 이물질 제거 효과에 대한 연구도 수행할 예정이다.

후 기

이 논문은 2008년도 과학기술부의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (No. R0A-2008-000-20017-0). 또한, 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업 (No. R15-2006-022-02002-0)의 부분적 지원에 의하여 수행되었으며 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] I. S. Kim, D. Lee, 1998, The effect of die materials on the strain distribution in electro-galvanized sheet steel forming, *Met. Mater. Int.*, Vol. 4, No. 4, pp. 695~701
- [2] Y. J. Choi, S. B. Jun, E. S. Lee, H. S. Kim, J. S. Jang, 1997, Development of a Profile Measuring System for Conductor Roll, *Trans. Kor. Soc. Mech. Eng(A)*, Vol. 21, No. 10, pp. 1730~1741
- [3] J. F. Archard, 1953, Contact and rubbing of flat surfaces, *J. Appl. Phys.*, Vol. 24, pp. 981~988
- [4] I. R. McColl, J. Ding, S. B. Leen, 2004, Finite element simulation and experimental validation of fretting wear, *wear*, Vol. 256, pp. 1114~1127
- [5] S. G. Jeon, J. G. Choi, J. H. Kim, H. S. Kim, C. S. Woo, 2006, *Proc. Conf. on Kor. Soc. Auto. Eng.*, Kor. Soc. Auto. Eng, Korea, pp. 947~952