

에폭시 프라이머 도료의 에어리스 스프레이 분사 시간에 따른 팁 노즐 침식마모경향과 분사특성 연구

김진억[†] · 조연호 · 천제일 · 한명수

경남 거제시 거제대로 3370, 대우조선해양(주) 중앙연구원 산업기술연구소
(2014년 8월 20일 접수, 2015년 3월 19일 수정, 2015년 3월 19일 채택)

A study on the erosive wear of spray tip nozzle by epoxy primer paint impingement and the spraying characteristics

Jinuk Kim[†], Yeon-Ho Cho, Je-Il Cheon, and Myoung-Soo Han

DAEWOO SHIPBUILDING & MARINE ENGINEERING CO.,LTD.3370,
Geoje-daero, Geoje-si, Gyeongsangnam-do, 656-714, Korea

(Received August 20, 2014; Revised March 19, 2015; Accepted March 19, 2015)

Airless spray which is widely used for painting to ship blocks and hull sides is the coating method for attaching atomized paint material to the substrate using spray tip nozzle with compressed air. When the paint material which has high solid contents such as epoxy primer paint is atomized by passing through spray tip nozzle with high pressure, the nozzle composed of tungsten carbide(WC) undergoes the erosive wear, leading to widening of nozzle hole. The deformation of nozzle hole induces improper spray pattern and coating failures such as finger pattern and sagging because the conditions of spray pump pressure and paint flow rate for developing full spray pattern are changed. In this study, an appropriate replacement cycle of spray tip was predicted by measuring the erosive wear tendency as increasing the spraying time of epoxy primer paint.

Keywords : painting, airless spray, epoxy primer, spray tip nozzle, erosive wear

1. 서론

에어리스 스프레이(Airless spray) 도장은 스프레이 팁(Spray tip) 노즐(Nozzle)을 통해 고압의 에너지로 도료를 미립화(Atomization)시켜 대상 표면에 부착시키는 방법으로서, 짧은 시간 동안 많은 양의 도료를 도포할 수 있고, 복잡한 형상의 피도면에 비교적 균일한 도막을 형성시킬 수 있는 장점으로 인해 조선용 블록과 선체 도장에 널리 사용되고 있다¹⁾.

이러한 에어리스 스프레이 작업 시 스프레이 팁 노즐은 침식마모(Erosive wear) 현상을 겪게 되는데, 침식마모란 일정 운동량을 갖는 다양한 형태의 입자가 표면에 충돌함으로써 미세 파편이 발생되어 마모되는 현상이다²⁾. 도장기와 도료호스를 통해 고압으로 이송되는 도료 입자는 미립화되

는 과정에서 높은 운동량으로 스프레이 팁 노즐과 충돌하여 침식마모를 일으키며, 이로 인해 스프레이 팁 사용 시간에 따라 노즐 직경이 증가하여 형상이 변형될 수 있다³⁾.

스프레이 팁 노즐 크기 및 형상이 변하게 되면, 도료가 완전히 미립화 되기 위한 도장용 가압펌프 압력과 도료 유량 등 제반 요구조건이 변하기 때문에 부적절한 스프레이 분사 패턴과 도막 결함이 발생할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 에폭시 프라이머(Epoxy primer) 도료의 분사시간에 따른 스프레이 팁 노즐 마모 경향을 정량적으로 평가하여, 도막 품질을 유지하기 위한 스프레이 팁의 적절한 교체 주기를 정립하고자 하였다.

2. 연구방법

재료의 마모 특성은 단일 물질치에 의한 예측이 어렵고 경도, 강도, 파괴인성, 충격치 등의 재료 특성과 복합적인

[†] Corresponding author: jineok@dsmc.co.kr

Table 1. The conditions of spraying test for predicting erosive wear of tip nozzle

Items		Conditions
Spray tip		Contractor flat tip no.527
Paint	Type	Epoxy primer
	SVR	60 %
	Viscosity	90 ~ 110 KU
Airless pump	Type	Hydraulic single feeding pump
	Applied pressure	300 bar

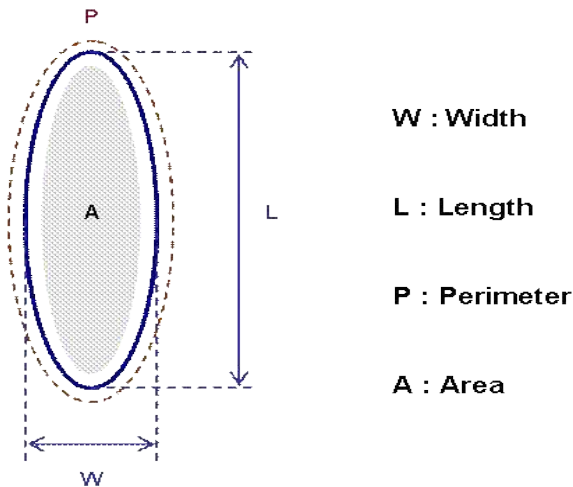


Fig. 1. Measuring factors for estimating erosive wear tendency.

상관관계를 갖고 있다. 특히, 충돌입자의 모양, 크기, 속도, 충돌각도 등 제반 조건에 따라 그 마모특성이 매우 크게 변하게 된다⁴⁾. 따라서 본 연구에서는 실제 도장 공정 조건에서 발생하는 스프레이 팁 노즐 마모 경향을 파악하기 위해 동일한 크기의 노즐을 갖는 스프레이 팁을 도장 공정에 투입하였으며, 3주 동안 동일한 고형분률(SVR)을 갖는 도료를 도포할 때, Table 1의 시공조건이 유지될 수 있도록 엄격하게 관리하여 실험을 진행하였다. 이때 사용된 팁 노즐은 상용제품으로서 2,000 ~ 2,100의 비커스 경도(Vickers Hardness)를 갖는 텅스텐카바이드(WC)로 제작되었다.

1주 간 실제 도포 시간은 25시간 기준으로 총 75시간(3주)동안 스프레이 도포를 진행하였다. 실험에 사용된 스프레이 팁은 1주 주기로 회수되었으며, 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope)으로 회수된 팁 노즐 크

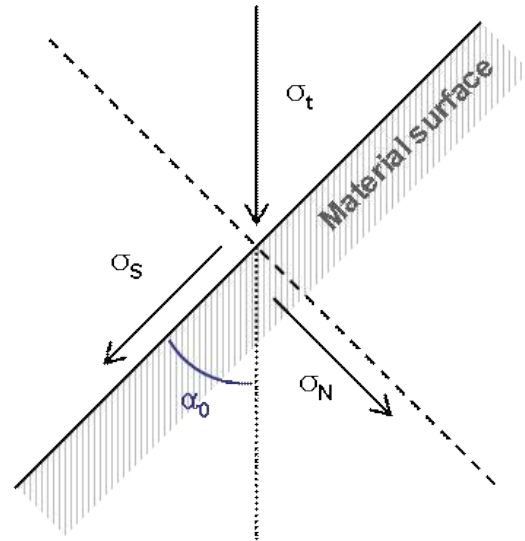


Fig. 2. The stress vector of material surface induced by particle impingement.

기와 형상 변화 분석을 진행한 후 해당 작업현장에 재 공급되었다.

스프레이 팁 노즐 마모 경향을 평가하는 지표로서 Fig. 1과 같이 노즐의 폭(W)과 길이(L)를 전자주사현미경으로 분석하였으며, 또한 침식 경향과 형태를 다각도로 파악하기 위하여 측정된 폭과 길이를 바탕으로 노즐의 둘레(P)와 면적(A)을 계산하였다.

노즐 둘레와 면적은 타원형태로 간주하여 아래 식(1)과(2)를 통해 산출하였다.

$$A(\text{Area}) = \pi \frac{W \cdot L}{4} \tag{1}$$

$$P(\text{Perimeter}) = \pi \sqrt{2 \times \left(\frac{W^2 + L^2}{4} \right)} \tag{2}$$

또한, 도료 분사시간에 따른 노즐 크기 및 형상 변화가 완전히 미립화된 형태의 스프레이 패턴 형성 조건에 어떠한 영향을 주는지 파악하기 위해 노즐 크기에 따른 도장기 내 흐름 도료의 유량과 끝단 압력을 도료 이송호스에 구비된 전자식 압력/유량 모니터링 시스템을 이용하여 측정하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 팁 노즐 마모경향 평가

입자에 의한 재료의 침식 메커니즘은 Fig. 2와 같이 무게가 M인 재료 표면에 속도 V인 입자가 각도 α 인 상태에서

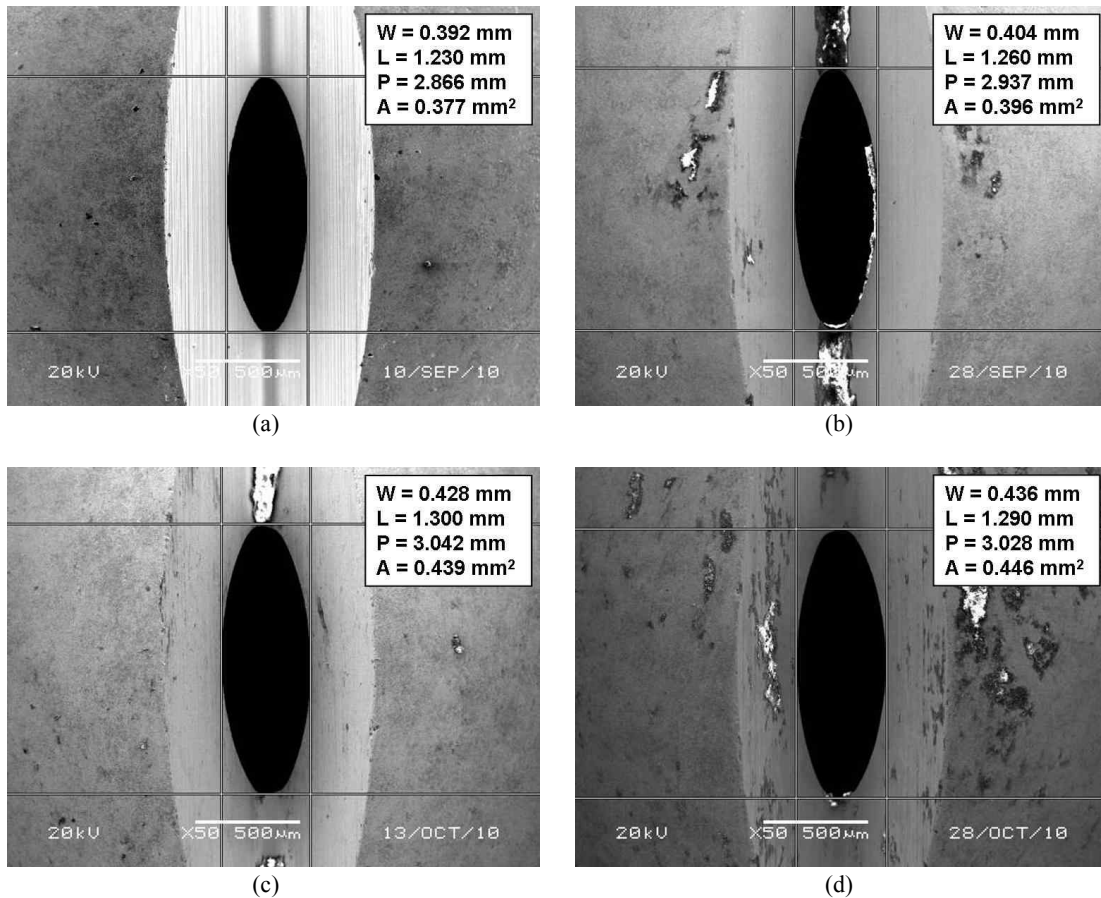


Fig. 3. SEM images of tip nozzle shapes as increasing spraying time: (a) initial, (b) after 25 hours, (c) after 50 hours and (d) after 75 hours.

부딪칠 때 재료에 가해지는 힘을 재료 표면에 평행한 힘과 수직된 힘으로 분리하였을 때 식 (3)과 같이 정의된다.

$$\sigma_s = \sigma_t \cdot \cos \alpha, \quad \sigma_N = \sigma_t \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

입자에 의한 침식 메커니즘은 cutting wear와 deformation wear로 나뉘어지며, 일반적으로 재료가 무른 (soft) 경우에는 표면에 평행한 응력(σ_s)에 의해 재료가 깎여나가는 cutting wear가 일어나고, 재료가 단단한 (hard) 경우에는 표면에 수직한 응력(σ_N)에 의해 균열이 발생한 후 떨어져 나가는 deformation wear가 주로 일어난다.

본 실험의 경우 미립화된 도료 입자에 의한 고경도 물질인 텅스텐 카바이드의 침식이므로 주된 마모 유형이 deformation wear라 할 수 있다⁵⁾.

스프레이 팁 노즐 사용 시간에 따른 노즐 크기는 Fig. 3과 같이 전자주사현미경으로 분석하였으며, 그 결과 스프레이 팁 사용 시간이 증가함에 따라 측정된 노즐 폭과 길이 그리

고 이 값들을 통해 산출된 노즐 둘레와 면적이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

노즐의 침식마모경향을 평가하기 위해 측정된 지표 중에서 가장 대표성을 갖는 항목인 면적(노즐 구경의 크기)과 팁 사용 시간에 따른 변화를 아래 Fig. 4를 통해 관찰하면, 25시간의 사용 기간 이후 급격히 증가하였으며, 반면 75시간 이후에는 그 증가율이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

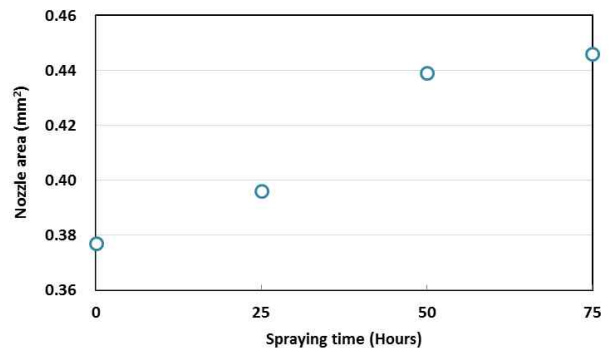


Fig. 4. The variation of the nozzle area as increasing spraying time.

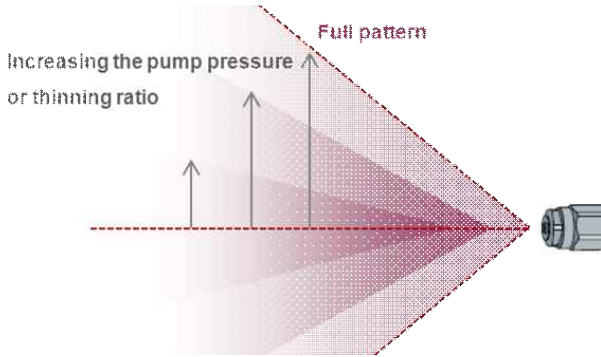


Fig. 5. Spray pattern variations as increasing the pump pressure or thinning ratio.

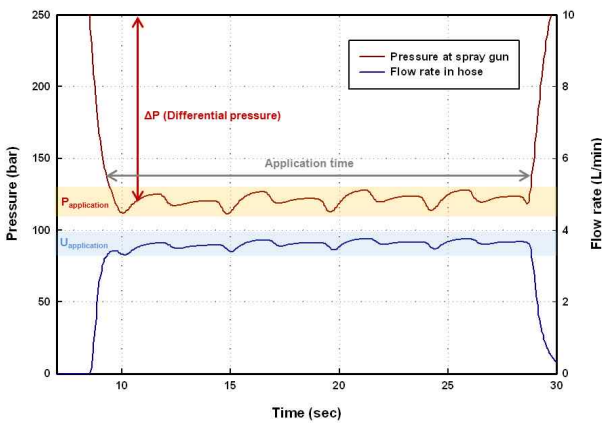


Fig. 6. The measurements of the application pressure and paint flow rate for full spray pattern.

3.2 팁 노즐 크기 변화에 따른 스프레이 패턴

스프레이 패턴(Spray pattern)은 도료가 팁 노즐을 통과할 때 액적이 미립화되면서 Fig. 5와 같은 형태로 발생한다.

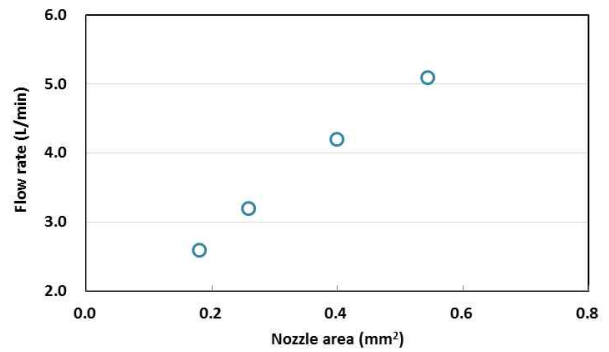


Fig. 7. The variation of paint flow rate to develop full spray pattern as increasing the nozzle area.

도료가 충분히 미립화 되어 일정한 스프레이 패턴으로 형성되기 위해서는 유체 형태를 갖는 도료가 충분한 압력과 유량을 가져야 한다. 또한, 완전히 발달된 패턴(Full pattern)이 형성되기 위한 유량 조건은 노즐 크기에 따라 변하게 되는데 일반적으로 팁 노즐 크기가 커질수록 도료가 미립화 되기 위한 유량이 높아져야 한다⁶⁾.

스프레이 팁 노즐 확장이 완전히 발달된 패턴을 형성하기 위한 시공조건에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위하여 노즐 크기에 따라 완전 발달 패턴이 형성되기 위한 유량, 압력 등의 시공조건을 전자식 모니터링 시스템을 통해 측정하였다.

스프레이가 시작되면서 발생하는 도료 토출 압력과 유량이 Fig. 6와 같이 실시간으로 측정되었으며, 압력과 유량이 일정하게 유지되는 구간(15 ~ 25 sec)의 평균값을 산출하였다.



(a)



(b)

Fig. 8. Atomized spray pattern: (a) The fully developed pattern, (b) The finger pattern caused by extension of nozzle area.

모니터링 데이터 값 중 완전 발달 패턴 형성을 위해 요구되는 도료의 유량 값은 노즐 면적이 확장될수록 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

즉, 스프레이 팁 사용 초기에는 도료의 신너 희석률과 도장용 가압펌프 설정압력 등 특정 조건에서 완전 발달 패턴이 형성이 되었지만, 3.1절의 실험 결과와 같이 노즐이 침식마모에 의해 확장되면 완전 발달 패턴을 형성하기 위한 도료 유량이 증가해야 하기 때문에 기존 시공 조건으로는 패턴을 형성할 수 없으며, 도료 유량을 증가시키기 위해서는 보다 많은 희석용 신너와 높은 펌프 압력이 필요하게 된다.

만약, 노즐 마모로 인하여 그 크기가 확장되었을 경우, 기존 시공조건을 유지한 상태에서 도장작업을 하게 된다면 액적이 미립화 되기 위한 충분한 에너지가 도료에 공급되지 못함으로 인해 Fig. 8의 (b)와 같이 스프레이 패턴이 충분히 발달하지 못한 채 갈라짐 현상(Finger pattern)을 동반할 수 있으며, 이는 궁극적으로 피도면에 불 균일한 피막을 형성하게 되는 원인을 제공하게 된다.

4. 결론

본 연구에서는 에폭시 프라이머 도료가 분사되면 스프레이 팁 노즐은 도료 내 안료와 같은 입자상과의 충돌에 따른 침식마모를 겪게 되며, 이로 인해 노즐 면적이 증가함을 실험적으로 확인하였다. 또한 침식마모에 의한 노즐 확장 현상은 25시간의 연속 분사 이후에 급격하게 진행됨을 확인하였다.

노즐 면적이 확장될수록 완전 발달 패턴을 얻기 위해 요구되는 도료 유량은 증가하지만 노즐의 마모를 고려하지 않고 스프레이 작업 조건을 설정하게 되면, 도료 액적이 미립화 되기에 충분한 에너지가 도료에 공급되지 못하기 때문에 패턴 갈라짐 현상으로 인한 도막의 조기 결함이 발생할 수 있다. 또한, 마모된 노즐을 통해 완전 발달 패턴을 형성하기 위해서는 분사 유량이 증가해야 하므로, 도장용 가압 펌프의 설정압력이 높아지고 희석용 신너의 사용량도 많아져 이에 따른 원가 상승 등의 부작용이 발생할 수 있다.

결론적으로 노즐 확장에 의한 도막 결함 발생 및 시공 원가 상승을 미연에 방지하기 위해서는 침식마모에 따른 노즐 면적의 급격한 증가가 발생하는 25시간 이상 연속 스프레이 분사 작업 시간에 도달하기 전 스프레이 팁을 교체할 필요가 있으며, 이를 위하여 각 도장 공정의 특성에 맞는 스프레이 팁 교체 주기 기준을 정하여 관리해야 할 것으로 판단된다.

References

1. N. R. Whitehouse, *Shreir's Corrosion*, **4**, 2637 (2010).
2. K. H. Kim, Y. S. Cho, K. M. Hwang, *Corros. Sci. Tech.*, **12**, 125 (2013).
3. K. Yildizli, M. Eroglu, M. B. Karamis, *Tribology in industry*, **27**, 15 (2005).
4. ASTM Standard G76-95 (1995).
5. S. B. Jeon, S. H. Hahm, J. J. Kim, and J. J. Lee, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, **23**, 11 (1990).
6. A. Goldschmidt, H. J. Streitberger, *BASF Handbook on Coating Technology*, p. 506, Vincentz Network, Germany (2003).