이액형 도장기기를 이용한 방식 도장 시 건조막두께 결정인자들에 대한 실험적 상관관계 연구

윤원준^{1,†} · 최민규¹ · 이성균¹ · 이윤식¹ · 허병동²
현대중공업 생산기술연구소¹
현대중공업 선형도장부²

A Study on the Experimental Relation between Parameters for Determining Dry Film Thickness in the Application of Anti Corrosive Paint using Hydraulic Plural Component

Won-Jun Yun^{1,†} · Min-Gu Choi¹ · Sung-Goun Lee¹ · Yun-Sig Lee¹ · Byung-Dong Heo²
Industrial Technology Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.¹
Block Painting Department, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.²

Abstract

Anticorrosive paint is the most widely used in shipbuilding and the dry film thickness is very important in terms of productivity and assurance of anticorrosive performance. However, it is difficult to achieve the recommended target film thickness because the dry film thickness depends on labor's skill in practice and is affected by a number of parameters, such as spray pressure, paint flow rate, tip size, spray distance, SVR(Solid Volume Ratio), etc. Present paper derives an empirical equation through the correlation analysis of parameters selected by spray experiments of anti corrosive painting in order to predict the coated status. Comparing the calculated results with practical data, we show that the empirical equation can successfully expect DFT(Dry Film Thickness).

Keywords : Dry film thickness(건도막 두께), Anti corrosive paint(AC 도료), Coating procedure specification(도장 시공 조건)

1. 서 론

선박의 도장작업은 대부분 수작업으로 이루어지고 있으며, 균 일한 도막 형성 및 도막 두께 제어는 작업자의 노하우에 의존하고 있다. 또한 도료에 대한 표준 도장작업 조건이 정립 되지 않아 숙련된 도장 작업자일지라도 작업자에 따라 상이한 조건으로 도 장을 진행하기 때문에 도료 별로 표준 도장 조건을 정립할 필요 가 있다.

따라서 도장작업 조건과 관련하여 Yun, et al. (2010)에서 Shop Primer의 분사폭과 도막두께는 도장속도, 분사거리, 분사압 력, 도료의 비중, 팁 사이즈 및 팁 폭 등의 인자들에 의해 결정된 다고 하였다. 위의 각 인자들간의 상관관계는 도료 분사 시 도료 미립화 상태의 차이를 발생시켜 결국 도막품질에 영향을 미친다.

특히 도장 품질에 영향을 미치는 인자들 중에서 점도의 영향에 대해서 Kim, et al. (2008)은 방오(AF: Anti Fouling) 도료를 대 상으로 온도에 따른 점도 변화 실험을 진행한 바 있다. 그러나 선박 도장에서 가장 많이 적용되는 이액형 도료를 사용할 때의 점도는 대기 온도뿐만 아니라 도료를 혼합 후 경과시간에 따라 변화하고, 점도변화와 다른 인자들 간의 상관관계가 도장품질에 영향을 미

친다. 따라서 표준 도장 조건의 설정이 어려우며 실제 적용에 있 어서도 현장 작업 여건상 많은 제약이 따르고 있다. 이에 도료별 CPS(Coating Procedure Specification) 설정을 위해 Yun, et al. (2010)과 Kim, et al. (2008)은 각각 일액형 도료인 Shop Primer 와 AF 도료를 대상으로 도막두께의 상관관계 연구를 수행하였 다. 따라서 이액형 AC(Anti Corrosive) 도료의 도막두께 결정 인 자들간의 상관관계 및 CPS 정립이 추가적으로 요구되고 있는 실 정이다.

또한 IMO(International Maritime Organization) MSC 83차에서 적용하기로 합의된 PSPC(Performance Standard for Protective Coatings, 선박 보호도장) 강제 규정으로 NDFT(Normal Dry Film Thickness)의 도막두께가 정의되었으며 그 규정은 준수하여야만 한다. 따라서 강제 규정인 도막두께 기준(NDFT 90/10)에 따라 균일한 도막두께를 유지하기 위해서는 전문적인 도장 기량을 갖 춘 작업자가 더욱 많이 필요하게 되었다.

그러나 조선 현장에서는 블록의 형상과 사용되고 있는 도료가 다양하기 때문에 위치별, 도료별 도장조건이 상이하며 도장 작업 자의 기량에 따라 도막두께의 오차가 발생하고 있다.

따라서 도장 작업 시 도장 조건에 대한 경험치의 의존성을 최

소화할 수 있도록 도장의 분사폭과 도막두께를 결정하는 인자를 검토하여 AC도료의 CPS를 정립하였다. 또한 향후 도료의 사양이 변화하더라도 일정한 도막두께와 도장 품질을 유지할 수 있도록 본 연구에서는 조선 현장에서 도장 작업자들이 사용하는 이액형 AC 도료의 분사폭과 도막 두께를 결정하는 도장 인자들의 상호관계를 정립하고 도막두께의 상관관계를 예측할 수 있는 관계식을 도출하였다.

2. 실험 조건

2.1 실험 장치

Fig. 1은 이액형 도장기기, 도장로봇, 도료호스 내부의 압력을 측정, 모니터링하는 장치 등으로 인자들의 상관관계 정립을 위한 주요 실험장치의 구성을 나타내고 있다.

Fig. 1 Painting robot system with hydraulic plural component sprayer

실험장치는 이액형 에폭시계 AC 도료의 주제와 경화제를 일정한 비율로 혼합하고 토출하는 이액형 도장기기, 주제 내 고형 성분의 침전을 방지하고 도료의 혼합을 균일하게 유지하기 위한 교반기(Agitator), 이액형 도장기기에 의해 가압된 유체의 압력을 설정하고자 하는 토출압력으로 조절하는 기능과 도장기기의 맥동현상을 감쇄시키는 기능을 포함한 고압 레귤레이터(Air-operated high pressure regulator)를 설치하였다.

도장 로봇(Paint robot)은 설정된 속도와 도장 간격을 유지하면서 실험 시편을 만들 수 있도록 6축으로 구성하였으며 도장 로봇 끝단부에는 자동 분사장치(Automatic gun)를 장착하여 도료 토출의 On/Off 제어 기능을 가진다. 그리고 자동 분사장치에서 시편과의 일정한 분사거리가 유지되도록 기준면 바닥 위에 높이가 일정한 도장 작업대를 설치하였다. 또한 도장기기의 출력단과 레귤레이터의 입력단, 도료가 토출되는 자동 분사장치의 바로 전단 위치에 압력센서를 설치하여 도료 호스 내 각각의 위치에서 압력을 실시간으로 기록하고 모니터링 하였으며, 도료의 비중은 비중계를 이용하여 측정하였다.

2.2 실험 조건 및 방법

도장 실험은 Table 1과 같이 도료 분사 시 도막두께를 결정하는 대표적인 인자들에 대해서 도료의 미립화 조건이 형성되는 범위를 선정한 후 진행하였다.

Table 1 Test variables and conditions for AC (Anti Corrosive) Paint

Item	Condition
Outlet Spray Pressure	147~215.6 Mpa
Spray Distance	350~500 mm
Spray Speed	600~1,400 mm/sec
Tip Type	Graco Super Precision Airless Flat Tip (GGO-421,517,525, 529,621,725,729)
Thinning Ratio	0, 10, 20 %
Temperature	10~25 °C

그리고 AC 도료의 주제와 경화제는 혼합 후 경과시간에 따른 점도 변화의 영향을 최소화하기 위해 분사 직전 주제와 경화제가 혼합되는 이액형 도장기기를 이용하였으며 도료 호스는 분사 끝단을 제외하고는 3/8inch 크기를 사용하였다. 따라서 토출압력은 도료 호스의 길이에 따라 압력 저하가 발생하므로 자동 분사장치 전단에서 측정하였으며 도장기기에서 도료공급 시 발생하는 맥동현상을 줄이기 위해 자동 분사장치 전단에 레귤레이터를 설치하여 끝단 호스 내에 일정한 압력을 유지시켜 균일한 도막두께가 형성되도록 하였다.

또한 AC 도료의 비중은 시너 희석 비율에 따라 변화되기 때문에 각 도료 메이커에서 제시한 추천 비율을 준수하였다. 팁의 경우는 국내 조선사에서 대부분 사용하고 있는 Airless Tip 중에서 유량과 분사폭이 일정한 정밀 팁(Graco GGO Tip)을 이용하였다(Graco Inc, 2006).

도장 시편은 시너를 이용하여 표면 이물질을 사전 제거한 1m×1m×1.6t 크기로 앵커패턴(Anchor pattern)이 없는 철판을 사용하였으며 분사방법은 자동 분사장치(Automatic gun)에서 분사되어 시편에 부착된 도료가 중력의 영향을 받아 흘러내리지 않도록 아래보기 분사방법을 선택하였다. 또한 도료 분사 시, 도료 호스 내에 압력이 높은 상태에서 도장을 하면 시작 시점에 도료의 토출량이 많고 토출압력이 높아 시편에 과도막이 형성될 수 있기 때문에 분사 후 토출압력이 일정하게 되는 시간이 경과된 후 시편을 도장함으로써 과도막에 의한 실험 오차를 방지하였다.

그리고 시편의 건 도막두께 측정을 위해서는 엘코미터(Elcometer) 456을 이용하였으며 도막의 측정 오차를 줄이기 위해서 시편에 도막이 형성된 유효면적을 대상으로 도장 진행 방향으로 3cm 간격, 분사폭 방향으로 2cm 간격을 설정하여 전면적을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 토론

3.1 분사폭 및 도막두께를 결정하는 도장 인자 도출

선체에서의 도장 품질을 높이기 위해서는 도장 작업 조건들의 인자 값 설정이 필요하며 이에 따라 도장패턴, 분사폭, 도막두께 결정에 영향을 미치는 중요 인자들의 분석이 필요하다.

그러나 도장조건 인자들은 각각의 인자값에 의해 상호 간 영향을 미치고 있으며 또한 분사폭과 도막두께 결정에 영향을 주기 때문에 그 동안 도장 작업을 위한 CPS 표준화 설정이 어려웠다. 또한 이액형 도료의 점도값은 혼합 후 주위의 대기환경과 시간의 경과에 따라 변하기 때문에 도장 조건과 주변 환경의 변화에 따라 결과가 상이하게 측정되었다. 따라서 도료 별 작업조건 표준화 설정을 위해서는 각 인자들 중에서 상호 및 독립적으로 작용하는 인자들을 먼저 분리하고 실험인자에 대한 영향을 파악하여 실험인자 수를 줄이며 각 도장 인자들에 대한 상호 작용 및 상관관계 검증이 필요하다.

- 1) 도장 장비 조건에 따른 영향 인자
 - 팁 사이즈 및 크기, 도장기 토출압력
 - 도장건의 도료 토출량, 토출압력,
 - 공급 공기 압력, 도장기기 압축 비율
 - 도료 호스 길이 및 면적, 호스 내 압력손실
 - 도장기 사양 및 맥동의 크기
- 2) 도료 조건에 따른 영향 인자
 - 고형분 용적비, 점도, 비중, 가사 시간
 - 주제, 경화제의 혼합 비율, 시너 혼합 비율
- 3) 작업자에 따른 영향 인자
 - 분사거리, 도장 속도, 부재에 대한 도장 건의 각도

Fig. 2는 토출압력과 토출량에 대한 것으로 사용 Spray Tip, 도료의 비중, Spray 압력은 Spray Tip에서의 토출량에 영향을 주며,

Fig. 2 Importance of spray pressure and discharge flow rate of nozzle

호스 직경, 호스 길이, 도료의 점도, 호스 및 건에서의 압력손실은 Spray Tip에서의 토출압력에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. Choi (2007)는 “압전 작동기로 구동되는 젯팅 디스펜서의 설계 및 제어” 연구를 통해 유체 저항은 유체 흐름의 점성 효과와 관련이 있으며 이것은 마찰과 형상에 따른 손실에 의한 에너지 소산과 관련이 있다고 보고하였다. 이러한 손실들의 영향은 압력을 강하시켜 유량을 감소시킨다.

식 (1)은 호스 내의 저항을 표현한 값이며 식 (2)는 호스 내의 압력 변화를 의미한다.

$$R_f = \frac{128\mu l}{\pi D^4} \quad (1)$$

μ , l , D 는 각각 도료의 점도(kg/m.s), 호스길이(m), 호스 내경(m)을 의미한다.

$$\Delta P = R_f Q \quad (2)$$

ΔP , Q , R_f 는 각각 호스내의 압력 변화, 호스내의 유량, 호스 내의 저항을 의미한다.

즉, 도료 호스의 사양과 측정을 통해 호스 내의 압력 변화, 도료의 점도를 알면 호스에서 토출되는 유량을 산출할 수 있다. 또한 Yun, et al. (2010)은 분사폭의 주요 결정 인자는 팁 폭과 사이즈, 비중, 분사압력, 분사거리임을 실험으로 증명하였다.

따라서 Fig. 3에 보인 바와 같이 건 도막두께 결정을 위한 주요 인자로는 Spray Tip에서의 토출량, Gun의 도장속도, 부재와의 분사거리, 스프레이 패턴 및 분사폭 등으로 분석할 수 있다.

Fig. 3 Primary variables in determining the dry film thickness

3.2 도막두께 분포도 분석

도장 조건을 변경하면서 실험을 진행한 결과, Fig. 4의 도장된

시편에 대해 측정한 도막두께 분포도는 도료별 팁의 종류와 시너 비율에 따라 분포의 기울기가 상이한 결과를 나타냈다.

Fig. 4 Coated steel specimens

Fig. 5는 AC 도료 중 일반적으로 많이 적용되고 있는 EH Series의 도료를 대상으로 분사폭에 따른 도막두께의 분포도를 분석하기 위해, 각 시편에서 측정한 분사폭과 도막두께를 일정 비율(분사폭: 400mm, 도막두께: 105 μ m)로 조정하여 나타낸 결과이다.

분석 결과, 팁에 따른 도막두께의 분포 형상은 팁이 커짐에 따라 분포도의 폭이 커졌으며 도료 내의 시너 비율을 증가시킴에 따라 도막두께 분포도는 완만한 형상을 나타냈다. 또한 도료 내의 시너 혼합 비율이 10%인 경우는 20%의 시너 비율보다 분사폭 끝단에서의 도막두께가 높게 측정되었다. 따라서 도장작업 진행 시에 균일한 도막두께를 유지하기 위해서는 도장의 적절한 중첩 비율의 조절이 필요하다는 것을 알 수 있으며 시너 비율에 따라 도막두께 분포 형상과 작업자의 도장 작업성에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 주요 도료 메이커의 AC 도료에 대한 도막두께 분포

Fig. 5 Distribution of coating thickness according to the change of tip type and thinning ratio (EH Series)

도의 실험 결과를 나타낸 것으로 Fig. 5와 같이 동일 도료 내에서 시너 희석율에 따라 도막두께 분포는 중앙을 기준으로 양쪽으로 얇아지다가 양쪽 끝단에서 약간 두껍게 측정되었으며 도료의 종류에 따라 도막두께 분포 형상이 상이함을 알 수 있다. 그리고 AF 도료의 경우는 SVR(Solid Volume Ratio)이 낮기 때문에 Fig. 7과 같이 SVR이 높은 AC 도료보다는 도막두께 분포도의 기울기가 완만한 형상을 나타냈다.

Fig. 6 Distribution of coating thickness according to the change of tip type and thinning ratio (AC paint series)

Fig. 7 Distribution of coating thickness according to the change of tip type and thinning ratio (AF paint series)

3.3 AC 도료의 도장인자에 따른 상관관계 특성

1) 도장 인자에 따른 분사폭 변화 특성

가) 분사압력 및 점도에 따른 분사폭

도장 인자에 따른 분사폭과 도막두께의 분석을 위해서는 각 인자 별 상관관계 분석이 선행되어야 한다. 따라서 분사폭은 일정 크기의 시편 표면 위에 해당 도료가 70% 이상이 도장되어진 구간을 기준으로 측정하였다.

Fig. 8은 도료 분사 시 미립화 압력을 유지하는 조건에서 분사압력 변화에 따른 분사폭의 측정 결과로 팁, 도료의 비중, 분사거리, 도장속도가 일정할 때 분사압력을 증가시키기에 따라 분사폭은 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 경향을 나타내는 이유는 도료의 점도, 비중 및 표면 장력의 영향으로 파악할 수 있으며 일정 압력이상에서 도료의 미립화가 증가되어 Dust화 된 현상이 나타났기 때문이다.

Fig. 9는 점도에 따른 분사폭의 변화를 나타낸 것으로 팁, 분사거리, 도장속도가 일정할 때, 점도의 변화는 미립화 압력을 유지시키기 위해 토출압력의 변화를 유발시키기에 따라, 분사폭은 점도가 증가할수록 감소하는 결과를 보였다.

Fig. 8 The correlation between spray width and spray pressure

Fig. 9 The correlation between spray width and viscosity

2) 도장 인자에 따른 도막두께 변화 특성

가) 분사압력에 따른 도막두께

최적의 도장 작업을 하려면 도료의 점도에 따라 적정 분사압력이 요구되는데 분사압력이 낮으면 핑거(Finger) 현상이 발생하

며 분사압력이 높으면 도장은 가능하나 도료 분무 입자가 작아져 분진이 많이 발생한다.

테스트 결과 도료의 분사량과 도막두께는 주로 분사압력, 팁 종류, 비중에 의해 영향을 받았으며 Fig. 10과 같이 팁(525), 도료의 비중(1.38g/cm³), 분사거리(450mm), 도장속도 (800mm/sec)가 일정할 때 시편 중심부 부위의 도막두께는 분사압력에 따라 비례적으로 증가하였다.

Fig. 10 The correlation between coating thickness and spray pressure

분사량은 팁과 도료의 비중에 따라 변동하므로 팁의 마모 정도와 도료의 비중이 다르면 단위시간 당 도료의 분사량은 달라지게 되고 결과적으로 도막두께에도 영향을 미치게 된다. 따라서 팁의 마모도는 일정한 도막두께 및 분사폭에 영향을 주는 주요 인자로 CPS 설정을 위한 작업 시에 관리가 필요한 항목이다.

나) 분사거리에 따른 분사폭 및 도막두께

도장 시에 시편과의 분사거리는 도막두께, 분사폭, 도착효율 등을 고려하여 설정해야 한다. 분사거리가 가까우면 분사압력에 의해 시편 위의 도막이 밀리는 결함과 도료의 분사폭이 너무 작고 도장의 중첩이 일정하게 되지 않아 미 도막의 결함이 발생한다. 분사거리가 길어지면 도착효율은 감소될 뿐 아니라 분사폭이 달라져 전체 도막두께가 감소하게 되고 분진 양이 많아지기 때문에 균일한 도막두께를 위해서는 최적의 분사거리 설정이 필요하다.

따라서 도장기기의 압력을 고정하고 시편과의 분사거리를 변화시키면서 실험을 진행한 결과, Fig. 11과 같이 분사거리와 분

Fig. 11 The correlation between spray width and coating thickness by change of spray distance

사폭의 관계는 선형적으로 비례하였으며 반대로 도막두께는 감소하는 결과를 나타냈다. 즉, 분사폭을 결정하는 주요 인자는 팁 종류, 토출유량, 점도, 시편과의 분사거리이며 분사폭의 상관관계는 분사거리, 팁폭에 비례하고 팁 크기, 점도, 토출유량에 반비례하였다.

다) 분사압력 및 토출유량에 따른 도막두께

도료의 도막두께는 많은 도장 인자들에 의해 영향을 받으며 분사압력에 따른 도막두께는 팁과 도료의 비중이 일정할 때 분사압력에 따라 비례적으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나 Fig. 12와 같이 도막두께는 토출유량이 증가함에 따라 증가하나 분사폭의 경우 일정 유량 이후에는 증가하다가 감소하는 결과를 나타내었다.

Fig. 12 The correlation between spray width and coating thickness by change of discharge flow rate (Tip 525)

3.4 AC 도료의 도막두께 예측을 위한 상관관계 도출

도장 인자들과 AC 도료의 도막두께간의 실험적 상관관계를 분석한 결과, 도막두께는 식 (4)와 같이 도료의 토출량과 팁크기에 비례하고 팁폭, SVR, 분사거리에 반비례함을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 도막두께 결정에 영향을 미치는 도장인자들의 비선형 데이터를 이용해 유추된 식을 로그화시킨 후, 식 (3)과 같이 최소 자승법을 이용하여 식 (4)의 도막두께 예측식을 새롭게 도출하였다.

$$\begin{pmatrix} m & \sum x_i & \sum x_i^2 & \cdots & \sum x_i^n \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \cdots & \sum x_i^{n+1} \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \cdots & \sum x_i^{n+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum x_i^n & \sum x_i^{n+1} & \sum x_i^{n+2} & \cdots & \sum x_i^{2n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$= \begin{pmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \vdots \\ \sum x_i^n y_i \end{pmatrix}$$

x_i, y_i 는 표본 평균값을 나타내며 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ 는 계수를 나타낸다.

$$T = \frac{10^{2.603} \times Ts^{0.387} \times Q^{1.464}}{Tw^{0.827} \times SVR^{0.968} \times D^{1.166}} \quad (4)$$

식 (4)의 T는 도막두께(μm)를 의미하며 분자의 Ts, Q는 각각 팁 크기(inch), 토출유량(ml/min)을 나타내며 분모의 SVR, Tw, D는 각각 고형분 용적비, 팁폭, 분사거리(mm)를 나타낸다.

3.5 신규 도막두께 상관관계식 유효성 검증

새롭게 도출된 도막두께 상관관계식의 유효성 검증을 위해 Table 2와 같이 AC 도료에 대한 도장 조건을 설정하여 실험을 진행하였다.

측정한 도막두께에 대한 분포도의 결과값과 식 (4)에 의해 도출된 예측값의 분포도를 비교 분석 결과, Fig. 13과 같이 여러 시편의 실 측정된 도막두께와 예측값은 매우 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타나 본 신규 모델을 통해 도장작업 전 예상 도막두께가 신뢰도 있게 예측 가능함을 확인할 수 있다.

Table 2 Verification test conditions for new DFT model

Item	Condition
Outlet Spray Pressure	176.4 MPa
Spray Distance	450 mm
Spray Speed	800 mm/sec
Tip Type	Graco(GGO-421)
Thinning Ratio	10 %
Temperature	15 °C

Fig. 13 Coating thickness distribution of EH series

4. 결 론

이액형 도장기기를 이용한 AC 도료의 도막두께를 결정하는 인

자들에 대한 상관관계 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 도막두께 예측을 위해 도장인자에 따른 도막두께 분포, 분사 폭, 최대 도막두께를 측정하였다.
- 2) 도장시편에 대한 도막두께 분포 분석 결과, 도료에 적용된 팁의 종류와 시너 비율에 따라 분포도의 형상과 기울기가 상이하였다.
- 3) AC 도료의 도막두께 결정에 영향을 주는 인자들에 대한 상관관계를 분석하고 도막두께 예측식을 도출하였다.

본 연구를 통해 도장 인자별, 도막두께 측정 결과값의 데이터베이스와 예측식을 통해 균일한 도막두께 확보를 위한 도장의 작업조건 설정이 가능해졌다. 또한 향후 도장 작업의 간소화와 도막품질의 향상을 기대할 수 있게 되었다.

참 고 문 헌

- Choi, M.G., 2007. *Design and Control of Jetting Dispenser Driven by Piezoelectric Actuator*. Ph.D. Inha University.
- Graco Inc, 2006. *Automatic Airless Spray Guns*. [online] Available at: http://www.graco.com/content/dam/graco/tech_documents/manuals/311/311053/historic/311053EN-E.pdf [Accessed 10 October 2012].

Kim, D.K. Lee, D.H. & Kim, H.K., 2008. A Study on Development and Verification of Prediction Formula for Realization of Standard Process for Hull Block coating Method. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 45(6), pp.637-645.

Yun, W.J. Choi, M.G. & Ro, Y.S., 2010. A Study on Correlation of Dry Film Thickness with Multi-Nozzle Spray Pattern of Shop Primer. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(5), pp.743-749.

윤 원 준

최 민 규

이 성 균

이 윤 식

허 병 동