

## 폴리우레아를 활용한 해상풍력 지지구조물 안티파울링 필름 개발

손진혁\* · 강명보\*\* · 정경국\*\*\* · 한우범\*\*\*

### Development of Anti-Fouling Film Using Polyurea for Offshore Wind Turbine Substructure

Jin Hyuk Son\*, Myung Bo Kang\*\*, Kyung Kuk Jung\*\*\* and Woo Beom Han\*\*\*

Key Words : Offshore wind turbine (해상풍력), Substructure (지지구조물), Polyurea (폴리우레아), Anti fouling film (안티파울링 필름), O&M (유지보수)

#### ABSTRACT

Bio-fouling has positive aspects that are used as a fish resource, but there are also negative aspects such as corrosion of the surface of the support structure, aesthetics and work safety problems. A specimen was produced using a polyurea material with excellent anti-fouling and methodology, and contact angle, high water pressure, adhesion, and real sea area tests were performed. As a result of measuring the contact angle of the specimen with a 10 cm x 10 cm area of polyurea, There was found to be an average of 124.4 ° at nine points. No surface damage was found even above 5 Mpa when high water pressure was sprayed, and adhesive strength of 300LSE adhesives was confirmed between 22.84 and 23.04 Mpa with an adhesion test. During the 6-month real sea area test, it was confirmed that about 17.24 % of the polyurea film was less generated than the comparison group.

#### 1. 서론

해상풍력발전기의 지지구조물은 수중 환경에 설치되며 바이오파울링 발생 및 부식에 대한 관리가 필요하다. 바이오파울링은 지지구조물 표면에 미생물, 먼지, 부유물질 등이 모여 생물 군집 및 퇴적 덩어리를 형성하는 현상을 가리킨다. 바이오파울링은 적절한 관리를 통해 어족 자원으로 활용할 수 있다고 알려져 있다.

Steven 등은 해상풍력발전단지에서 지지구조물들이

인공 어초로서 역할을 하며 친환경적인 시스템임을 확인했다. 미생물들이 누적되고 퇴적물이 발생함에 따라 이는 해양 생물들의 먹이로서 작용하여 생물 다양성이 증가한다고 평가했다 [1, 2]. Bela H. Buck은 서남해에서 시도되었던 수산업과 공존하는 다목적 해상풍력발전단지에 대한 가능성을 제시하였다. Tension - Leg Platform을 활용하여 해상환경에서 안정적인 해조류 양식이 가능하다고 제안하였다 [3]. 이처럼 어족 자원으로써 활용하는 긍정적인 면도 있으나 지지구조물 표면을 부식시키고 구조 안정성에 악영향을 줄 수 있으며 미관 문제, 작업 안전 문제와 같은 부정적인 면도 존재한다. Maduka는 해양 구조물에 서식하는 해양 생물은 비선형적으로 발생함을 확인하였다 [4]. Claire는 해상풍력 지지구조물에 해양 생물 부착으로 인해 작업자 이동 시 방해 요인이 되며 지속적인 해양 생물 증가는 중량과 표면 거칠기 변화를 일으킴에 따라 지지구조물의 구조적 악영향을 줄 수 있어 설계 시 설계

\* 윈디텍(주), 기업부설연구소 책임연구원

\*\* 윈디텍(주), 기업부설연구소 연구소장 (교신저자)

\*\*\* 한국조선해양기자재연구원, 친환경에너지팀

E-mail : sjh@windetect.co.kr

DOI : <https://www.doi.org/10.33519/kwea.2024.15.1.009>

Received : December 20, 2023, Revised : February 21, 2024

Accepted : February 26, 2024

마진을 최적화할 필요가 있음을 확인하였다 [5]. Kim은 구조물 표면에서 해양 생물이 떨어져 나갈 때 중금속 등이 함께 유출됨에 따라 수많은 유해 물질로 인해 바다 생태계가 오염되는 문제가 발생함을 확인하였다 [6]. DNV-RP -0416은 풍력발전기 지지구조물 부식방지에 대한 가이드라인을 제시한다. 해당 가이드라인에서는 부위별 부식방지 관리를 위한 방법 및 기준을 제시하고 있으며 Splash Zone은 조수간만에 따른 해수면 최고 높이와 최저 높이의 중간 지점을 가리키며 해양 생물에 대한 관리가 가장 필요한 부분이라 명시하였다 [7]. Chae는 해상풍력발전기가 설치된 환경에서 약 10개월 간 바이오파울링 모니터링을 진행 한 결과 자기마모성이 있는 방오도료를 적용한 시편에서 바이오파울링이 낮게 발생함을 확인하였다 [8]. 최근 국내에서 해상풍력발전 확대가 예상됨에 따라 지지구조물에 대한 유지보수 방안도 준비가 필요한 상황이다.

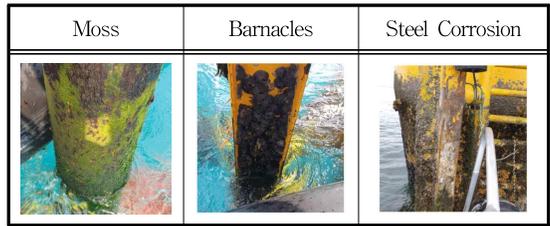
본 연구에서는 작업자들이 지지구조물로 이동 시 미끄러짐에 의한 추락 사고와 같은 안전사고를 예방하고 철근 부식에 따른 구조물 파손이 우려되는 부위를 보강하기 위한 방안으로 폴리우레아를 기반으로 한 안티파울링 필름을 제안하였다. 방오, 방식성이 뛰어난 폴리우레아 소재를 활용하여 시편을 제작하였고 접착각, 고수압, 집착력 테스트를 수행하였다. 그 후 약 6개월 간 실험역 현장에서 시편 침지 테스트를 통해 다른 후보 제품들과 비교하여 안티파울링 성능이 우수한지 확인하였다.

## 2. 해상풍력 지지구조물 안티파울링

### 2.1 해상풍력 바이오파울링 발생사례

Table 1은 국내 해상풍력발전기 지지구조물 Splash zone 부근에서 확인되는 바이오파울링들의 유형을 보여준다. 대표적인 유형으로 이끼류, 따개비류, 철근 부식 등과 같은 사례가 있으며 국내에 설치된 대부분의 구조물에서 확인되는 유형이다. 이끼류(Moss)는 작업자들이 발전기에 진입하기 위해 활용하는 사다리에 서식하는 경우 미끄러짐으로 인한 추락 사고가 발생할 수 있어 관리가 필요하다. 따개비류(Barnacles)는 지지구조물 표면에 가장 일반적으로 발생하는 유형이며 서식량이 많아질 경우 지지구조물의 중량 부담을 늘리기 때문에 관리가 요구된다. 바이오파울링에 따른 철근 부식(Steel Corrosion)은 지지구조물 표면이 부식되어

Table 1 Bio-fouling type of offshore wind turbine substructure

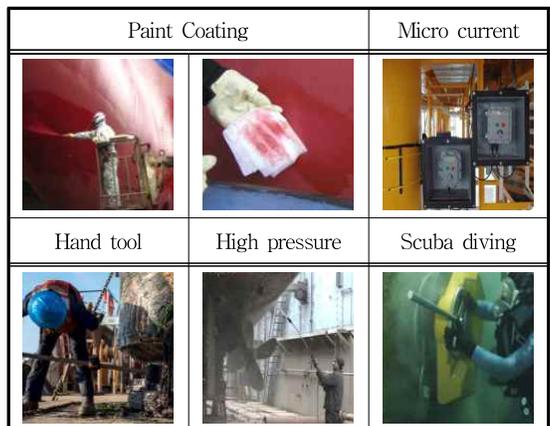


심한 경우 파손에 이를 수 있어 주기적인 유지관리가 필수적이다.

### 2.2 해상풍력 안티파울링 기술 현황

안티파울링은 구조물 표면에 발생한 바이오파울링을 예방 혹은 제거하는 작업을 말한다. 예방 기술로는 방오도료, 필름 시공, 미세 전류와 같은 방법이 있고 제거 기술은 도구를 이용한 제거, 고수압 분사, 잠수부 투입, 로봇과 같은 방법이 있다. Table 2는 안티파울링을 위한 일반적인 예방 및 제거 작업 예시를 나타낸다. 현재까지 미세 전류는 성능이 미비한 수준이며 도구, 고수압 분사, 스쿠버 다이버 투입을 통한 제거는 오염물 유출이 심하여 이에 대한 대책이 필요한 상황이다. 방오도료는 현재까지 적용되는 가장 일반적인 방법이지만 내구성이 낮고 수명이 짧은 단점이 있다. 폴리우레아 기반 안티파울링 필름은 방오도료와 비교하여 내구성과 수명이 우수하여 본 연구에서 제안하였다.

Table 2 Example of anti-fouling



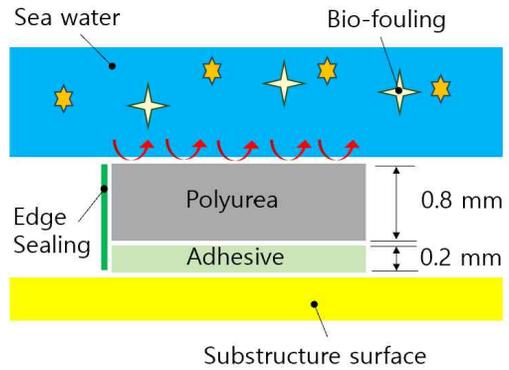
### 3. 안티파울링 필름 및 테스트 방법

#### 3.1 안티파울링 필름 개요

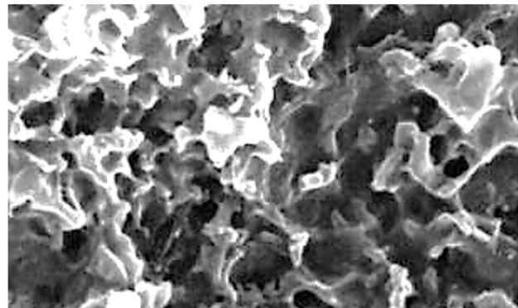
안티파울링 필름은 폴리우레아 원료를 기반으로 제작한다. 폴리우레아는 이소시아네이트 폴리머와 폴리 아민과의 연쇄적인 반응을 통해 만들어지며 분자 구조 내에 우레아 결합을 가지고 탄성을 지니는 고분자 물질이다. 높은 인장강도, 연성, 높은 팽창 및 수축률과 같은 기계적 특성을 보이며 우수한 방식성과 방오성을 갖고 있어 염해로부터 장기적인 보호를 받을 수 있다고 알려져 있다 [9, 10]. 폴리우레아는 빠른 시간 안에 경화가 완료되어 외부 물체에 접촉이 있더라도 묻어나지 않고 흘러내림이 없어 수직부나 천장면에도 시공이 용이하다. 미국에서 성능이 검증된 이후 현재까지 지속적으로 연구 개발이 되어 왔고 강한 내화학성을 요구하는 구조물에 주로 적용되고 있다. 수처리 시설 및 배수지는 하자 발생 시 각 가정에 오염수가 공급되어 막대한 피해를 입힐 수 있기 때문에 시공, 보수 및 유지관리에 엄격한 기준이 적용되는데 폴리우레아는 이를 충족시키는 우수한 재료이다 [11].

Fig. 1은 안티파울링 필름의 원리와 구조를 보여준다. (a)는 수중 환경에서 지지구조물 표면에 적용되는 안티파울링 필름을 나타낸다. 폴리우레아층과 접착제 층이 구분되어 있고 테두리는 마감재 처리된다. 폴리우레아 층은 해양 생물들의 접근을 차단하여 지지구조물 표면을 보호한다. 각 층의 특성은 구조물의 면적, 형태, 해양환경 조건, 계절 등에 따라 달라질 수 있다.

(b)는 폴리우레아 소재에 대한 SEM 이미지를 나타낸다. 폴리우레아는 전체적으로 부드러운 굴곡 구조가 밀집되어 있어 낮은 표면 에너지를 갖기 때문에 젖음성(Wettability)이 낮다. 낮은 젖음성은 높은 접촉각(Contact angle)으로 인해 나타나는 특성이며 이는 물방울을 굴러 떨어지게 만드는 성질이다. 이로 인해 수중환경에서 미생물들이 필름 표면에 들러붙지 못하여 구조물을 보호할 수 있다. 이러한 특성은 자연 현상에서 쉽게 관찰할 수 있다. 연못에 사는 연잎은 항상 표면을 깨끗하게 유지하고 있다. 이는 연잎 표면이 수십 나노 크기의 점들이 덮고 있는 울퉁불퉁한 마이크로 돌기 구조를 가지고 있으며 이 표면을 표면 에너지가 낮은 소수성의 왁스가 코팅되어 있어 물과의 접촉을 최소화할 수 있기 때문이다. 이때 비가 오면 빗물에 의해 오염물이 쉽게 씻겨버리는 자기 정화(Selfcleaning)의 기능을 보이게 된다 [12].



(a) Polyurea based anti fouling film



(b) Polyurea SEM Image

Fig. 1 Principle of Anti-fouling film

#### 3.2 안티파울링 테스트 절차 및 방법

Fig. 2는 안티파울링 필름 시편의 테스트 절차를 나타내며 각 단계별 조건을 순차적으로 충족하는지 확인한다. 접촉각 테스트(Contact angle test)는 시편의 젖음성과 자기 세정 능력을 확인하기 위한 과정으로 안티파울링 성능을 결정짓는 중요한 절차이다. 물방울을 떨어트리고 접촉각을 측정하여 확인할 수 있다. 고수압 테스트(Water jet test)는 시편의 내구성을 확인하기 위해 고수압 분사 장비를 활용하여 진행한다. 고수압으로 물을 분사하고 표면에 긁힘, 찢어짐과 같은 손상이 발생하는지 확인한다. 접착력 테스트(Pull off test)는 시편의 접착 강도와 유지력을 확인하는 과정이다. 실패역에 침지한 시편들을 대상으로 접착력 테스트 장비를 통해 시편의 이탈 여부를 확인한다. 실패역 테스트(Sea area immersion test)는 폴리우레아 시편 이외에 유사 제품들을 비교군으로 설정하여 약 6개월 간 실패역에 침지시키고 주기적으로 모니터링하는 방

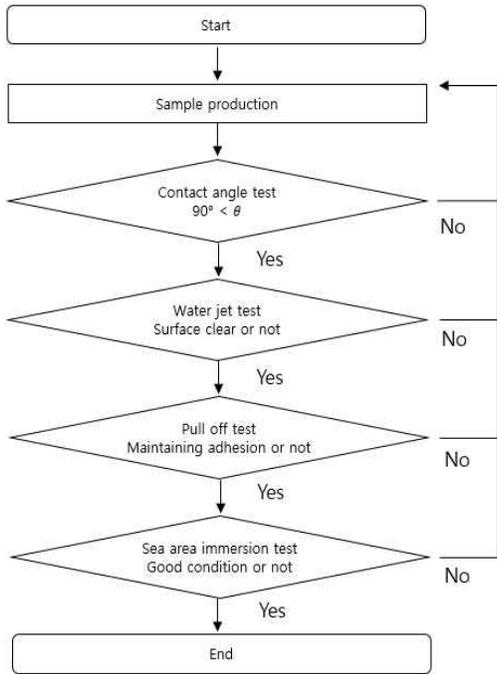


Fig. 2 The process of anti fouling film test

식으로 진행하였다. 시편에 따라 바이오파울링의 발생 여부와 유형, 손상 상태를 파악하고 정량적 평가를 통해 안티파울링 성능을 확인한다.

### 3.3 안티파울링 필름 제작

Fig. 3은 안티파울링 필름의 시작품 예시를 보여준다. 필름의 두께는 접착제를 포함하여 약 1 mm (폴리우레아: 0.8 mm, 접착제: 0.2 mm)이며 폭은 15 cm이고 길이는 최소 1 m 이상이다. 2형지 접착제를 사용하여 현장에서 손쉽게 제거하고 즉시 시공이 가능하도록 하였다.

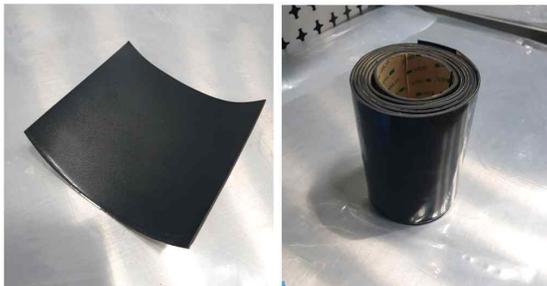


Fig. 3 Anti-fouling film product

Table 3은 안티파울링 필름의 재료와 혼합 조건을 나타낸다. 폴리우레아는 주재와 경화제를 1 : 1 비율로 혼합하고 압력 조건 2,000 ~ 3,000 psi, 온도 조건 65 ~ 70 °C에서 분사한다. 분사 후 약 5초 안에 경화가 시작되고 완전 경화까지 약 1분 정도 소요된다. 접착제는 3M 社의 테이프를 활용하였고 해상환경에서도 접착성능이 지속적으로 유지되는 제품을 선정하였다.

Table 3 The specification of anti-fouling film

Testing Item	Description
Polyurea	ezGuard 235 (A, B)
Adhesive	3M 社 300LSE
Mixing ratio	A (ISO) : B (Resin) = 1 : 1
Mixing pressure	2,000 ~ 3,000 psi
Mixing temperature	65 ~ 70 °C
Gel Time	5 s
Tack Free Time	1 min

Table 4는 안티파울링 필름의 물성치를 보여준다.

Table 4 Physical property of anti-fouling film

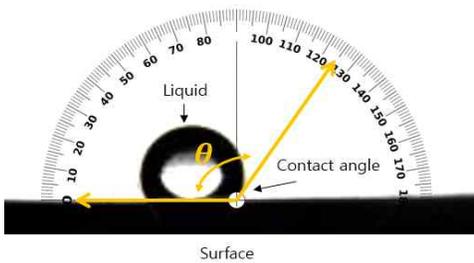
Testing item	Unit	Result	Requirement	Standard
Hardness	-	79	-	Shore A
Tensile strength	N/mm <sup>2</sup>	15	14	KS F 4922
Elongation at break	%	448	300	KS F 4922
Tearing strength	N/mm	52.1	50	KS F 4922
A Part viscosity	K.U	74	-	-
B Part viscosity	K.U	68	-	-

## 4. 안티파울링 테스트

### 4.1 접촉각 테스트

표면 접촉각  $\theta$  는 필름 표면의 방수, 방오 성능을 확인 할 수 있는 지표이다. Fig. 4는 표면 접촉각을 측정하는 방법을 나타낸다. 물방울을 떨어트려 표면과 물방울 간에 각도를 재서 확인하며 물방울은 표면에 맺히지 않을수록 원형 모양을 형성한다. 물방울이 흘러내리지 않고 표면에 붙어 있는 피닝 현상(Pinning)은 표면 에너지와 물방울 에너지가 불균형할 때 발생하며 표면 구조에 따라 두 에너지가 균형을 이룰 때 물방울이 흘러내리는 효과가 극대화된다 [13].

Table 5는 10cm x 10cm 사이즈의 시편 안티파울링 필름에 9개 위치를 선정하여 측정한 표면 접촉각과 평균값을 보여준다. 평균값은 124.4도이며, 소수성을 나타낸다. 낮은 표면 에너지를 갖는 방오도료나 페인트의 경우, 접촉각이 98도 수준이며 해양 생물들이 달라붙지 않는 수준이다 [14].



- $30^\circ < \theta < 90^\circ$     Hydrophillic
- $30^\circ < \theta < 150^\circ$     Hydrophobic
- $150^\circ < \theta$     Super-hydrophobic

Fig. 4 Contact angle measurement method

Table 5 Contact angle depending on measurement location

1	2	3	4	5
125.6°	121.3°	125.9°	122.3°	122.8°
6	7	8	9	Avg
126.2°	126.7°	125.3°	123.5°	124.4°

### 4.2 고수압 테스트

고수압 분사 장비를 활용하여 안티파울링 필름 표면에 고수압의 물을 직접 분사하여 박리, 파단, 찢김과 같은 현상이 발생하는지 확인하였다. Table 6은 고수압 테스트에 사용된 장비와 테스트 모습을 보여준다. Water jet은 상용압력 230 Bar로 지속 분사가 가능하며, 1분에 약 21 L의 물 분사가 가능하다. 현장에서는 고수압으로 바이오파울링 제거 시 약 5 Mpa의 수압으로 물을 분사한다고 알려져 있다. 이를 고려하여 해당 시편을 대상으로 10 cm정도 이격하고 1, 5 Mpa의 수압으로 약 1분간 각각 분사하여 표면의 상태 변화를 관찰하였다.

Table 7은 약 3개월 간 해수 침지를 완료한 시편을 대상으로 고수압 테스트를 수행한 모습을 보여준다. 시편 종류는 폴리우레아, 방오도료 750, 표면 처리를 하지 않은 일반 철판으로 구분하여 진행하였고 해수 침지 후 시편 표면은 각각 정도는 차이가 있었지만 이

Table 6 Water jet test setting

Water jet	Pressure gauge	Test

Table 7 Water jet test to sample

	1 Mpa	5 Mpa
Poly urea		
Paint 750		
Steel		

끼류, 따개비류와 같은 바이오 파울링이 형성되었다.

1 Mpa의 저압으로 물을 분사하였을 때 폴리우레아 표면의 경우 들러붙은 따개비를 제외하고 이끼류는 수월하게 세척됨을 확인하였다. 방오도로 750과 철판의 경우 바이오파울링이 제거되는 양이 폴리우레아와 비교하여 미비한 수준임을 확인하였다. 5 Mpa의 고압으로 물을 분사하였을 때 폴리우레아 표면은 바이오파울링이 대부분 제거되었다. 시편의 표면 상태도 고수압으로 물을 분사하였으나 긁힘, 찢어짐과 같은 손상이 거의 관찰되지 않았다. 방오도로 750은 따개비류가 약간 제거되었으나 여전히 표면에 들러붙어 있어 도구를 이용하여 제거해야 했다. 도구 이용 시 표면이 손상되어 폴리우레아 대비 내구성이 떨어짐을 확인하였다. 철판의 경우 따개비류들이 잘 제거되지 않았고 도구를 이용하는 경우 표면 손상이 다수 발생함을 확인하였다.

### 4.3 접착력 테스트

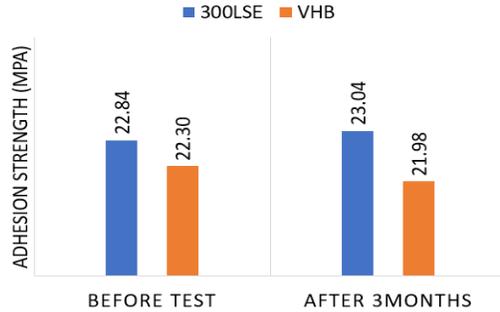
안티파울링 필름이 해상환경에서 지지구조물 표면에 지속적으로 부착이 될 수 있는지 여부를 확인하기 위해 접착력 테스트를 수행하였다. 접착력 테스트는 Adhesion tester 장비를 활용하여 진행하였고 접착제 후보 제품은 3M社의 300LSE와 VHB 를 사용하였다.

Table 8은 접착력 테스트 시 활용된 장비 종류와 제조사, 모델을 보여준다. 접착력 테스트는 다음과 같은 절차대로 진행되었다. 20 mm 직경 돌리(Dolly)에 전용 접착제(EP11HT Gray)를 도포한 후 대상 시편에 부착시킨 후 완전 경화를 위해 약 24시간 방치한다. 그 후 대상 시편과 돌리 주변 층을 회전 칼날(Rotary knife)을 이용하여 흠집을 낸다. 부착된 돌리를 Adhesion tester를 이용하여 시편에서 분리 시켰을 때 완전 이탈이 일어났을 때의 접착력을 확인한다. 접착력 테스트 시에 시험 온도는 (20±10) °C이고 시험 상대습도는 (50±30) % R.H.이다.

Fig. 5는 300LSE와 VHB 접착제를 이용하여 제작한 시편 12EA를 나타낸다. 시편들은 10 cm x 10 cm



(a) Preparation of Test Samples



(b) Comparison by samples

Fig. 5 Pull off test results

동일한 사이즈로 Steel Plate에 제작하였다. 시편의 테두리 부분은 완전 방수를 위해 실리콘을 이용하여 마감 처리하였다.

(a)는 제작한 시편을 나타내며 300 LSE #1, #3, #5와 VHB #2, #4, #6은 실온에서 보관하였고 300 LSE #7, #9, #11과 VHB #8, #10, #12는 약 3개월간 바다물에 침지시켰다. (b)는 접착제별 접착강도 평균값을 침지 유무로 구분하여 확인한 결과를 보여준다. 300LSE는 침지하지 않은 시편이 22.84 Mpa, 3개월 침지 한 시편이 23.04 Mpa로 침지 한 시편의 접착강도가 0.2 Mpa만큼 소폭 높게 나타났다. VHB는 침지하지 않은 시편이 22.30 Mpa, 3개월 침지 한 시편이 21.98 Mpa으로 침지 한 시편의 접착강도가 0.32 Mpa만큼 다소 낮게 나타났다. 전반적으로 300LSE의 접착강도가 VHB와 비교하여 우수한 것으로 나타났다. 시편 테스트 전 장시간 침지 시에 접착강도가 떨어질 것으로 예상하였으나 마감 처리를 통해 완전 방수가 되어 실온에서 보관한 시편과 비교하여 접착강도가 큰 차이는 없음을 확인하였다. 이에 본 연구에서 진행한 실험역 테스트에서는 접착강도가 우수한 300LSE 접착제를 선정하여 적용하였다.

Table 8 Equipment of adhesion test

Equipment	Manufacturer	Model
Adhesion tester	DeFelsko	PosiTest AT-M
EP11HT Gray	Resin lab	Tube kit
Dolly	DeFelsko	20 mm
Rotary knife	DeFelsko	Morse 25 mm

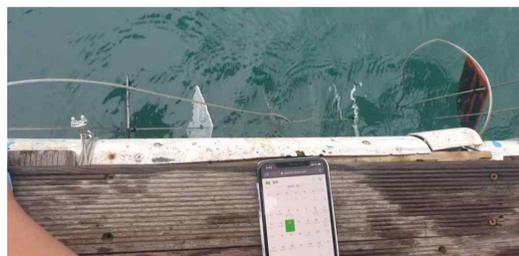
#### 4.4 실험역 테스트

안티파울링 필름의 방수, 방오 성능을 확인하기 위해 시편을 바닷물에 침지하여 바이오 파울링 발생 여부를 확인하는 실험역 테스트를 수행하였다. 테스트 기간은 해양 생물 서식이 가장 활발한 여름철을 포함하여 약 6개월 간 진행하였고 1개월에 1회씩 현장 모니터링을 수행하였다. 현장 모니터링은 침지한 시편을 들어 올리고 부식 정도와 바이오파울링 발생 유형과 상태에 대해 육안으로 확인하는 방식으로 진행하였다.

Fig. 6은 실험역 테스트 진행 과정을 보여주며 (a)는 시편 준비 모습 (b)는 시편 침지 모습을 나타낸다. 시편은 폴리우레아 필름, 불소 필름, 방오도료 750, 방오도료 880, 방수페인트로 총 5가지 종류의 제품으로 준비하였고 10 cm x 10 cm 사이즈 Steel Plate에 적용하여 제작하였다. 비교군으로 방수, 방오 성능이 뛰어나다고 알려진 유사 제품들을 활용하였다. 불소 필름은 내후성, 방오성, 내열성이 우수한 재료로서 가혹한 환경에서도 뛰어난 성능을 나타낸다. 방오도료 750, 880은 선박 외장 안티파울링 전용 제품으로서 현장에서 안티파울링을 위해 가장 일반적으로 적용되는 방법이다. 방수페인트는 나노 기공 구조의 특성을 기반으로 건축물 방수 및 부식방지를 위해 사용하는 제품이다.



(a) Preparation of Test Samples



(b) Sample Installation

Fig. 6 Sea area immersion test

Table 9 Monitoring surface conditions by anti-fouling sample for 6 months

	Before test	After 3 months	After 6 months
Polyurea			
Fluorine			
Paint 750			
Paint 880			
Water proof paint			

Table 9는 6개월간의 시편별 오염 및 바이오 파울링 형성 과정을 모니터링한 결과를 보여준다. 6개월 간의 평균 해수 온도는 약 19.2 °C이며 수심은 1~4 m이다.

침지 후 약 3개월 정도 지난 시기부터 소량의 이끼류가 발생하는 것이 관찰되었다. 약 6개월 후에는 전체 시편에서 오염과 이끼류의 바이오 파울링이 관찰되었다.

Fig. 7은 실험역 테스트를 진행한 시편별 바이오 파울링 발생 면적을 비교 분석한 결과를 나타낸다. 가로 세로 1 mm 간격 투명 눈금 페이지를 이용하여 육안으로 바이오 파울링 생성 부분을 확인하였다. 발생면적은 전체 면적 대비 바이오 파울링 발생 부분을 비율로 나타내었다. 6개월 간 침지한 시편과 바이오 파울링을 세척한 후 시편을 비교하였고 시편별로 발생 면적의 차이를 확인하였다. 5가지 시편 중 폴리우레아를 이용한 시편에서의 바이오파울링 발생면적이 17.24 %

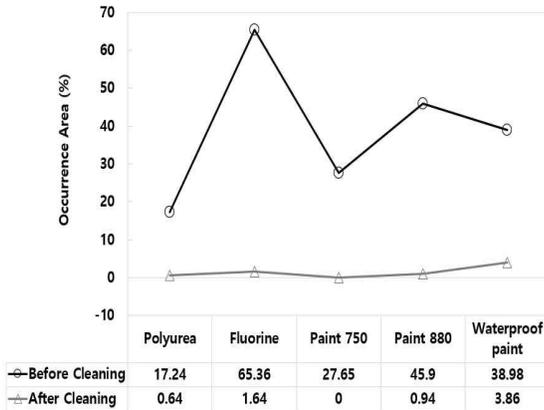


Fig. 7 Comparison of bio-fouling occurrence area

로 가장 낮게 확인되었고 불소 필름이 65.36 %로 가장 높게 나타났다. 5가지 시편 세척 시 모든 시편에서 바이오파울링은 제거되었고 방오도로 750에서만 표면 박리가 발생하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 해상풍력발전기 지지구조물에서 발생하는 바이오파울링을 방지하는 방법으로 폴리우레아 소재를 기반으로 한 안티파울링 필름을 제안하였고 이에 대한 사양 및 테스트 결과를 제시하였다.

폴리우레아 10 cm x 10 cm 사이즈 시편의 접착각 측정 결과 9기 지점에서 평균 124.4 °로 나타났다. 고수압 분사 시 5Mpa 이상에서도 표면 손상은 발견되지 않았고 접착력 테스트를 통해 300LSE 접착제의 경우 22.84 ~ 23.04 Mpa 정도의 접착강도를 확인하였다. 6개월 간 실험역 테스트 시 폴리우레아 필름에서는 약 17.24%로 비교군 대비 바이오파울링 발생량이 적음을 확인하였다.

## 후기

본 연구는 2023년도 중소기업부의 재원으로 중소기업기술정보진흥원(TIPA)의 지원을 받아 수행되었습니다. (No. RS-2023-00234888, 안티파울링 시트 제조 장비의 공정 자동화 및 최적화 기술 개발)

## 참고문헌

- [1] Steven Degraer, Drew A. Carey, Joop W.P. Coolen, Zoe Hutchison, Francis Kerckhof, Bob Rumes and Jan Vanaverbeke, "Offshore Wind Farm Artificial Reefs Affect Ecosystem Structure and Functioning," Oceanography, Vol33, No.4, p.49.
- [2] Mirta Zupan, Bob Rumes, Jan Vanaverbeke, Steven Degraer and Francis Kerckhof, "Long-Term Succession on Off shore Wind Farms and the Role of Species Interactions", Diversity, 15, 288, p.1.
- [3] SpringerOpen, Aquaculture Perspective of Multi-Use Sites in the Open Ocean, p.51.
- [4] Maduka Maduka, "Hydrodynamic effects of bio fouling-induced surface roughness-Review and research gaps for shallow water offshore wind energy structures," Ocean Engineering, Volume 272.
- [5] Claire Canning, 2020, "Corrosion and Bio fouling of Offshore Wind Monopile Foundations," Industrial Doctoral Centre for Offshore Renewable Energy, The University of Edinburgh, p.8.
- [6] Dong-Ho Kim, "Emerging marine environmental pollution and ecosystem disturbance in ship hull cleaning for biofouling removal", Science of The Total Environment.
- [7] DNV, 2016, Corrosion Protection for Wind Turbines, p.15~20.
- [8] Yoon Seok Chae, "Study of biofouling in Korea offshore wind farms", Korea Wind Energy Association, p.48.
- [9] Do Gwang Gu, "An Experimental Study to Improve Durability of Polyurea Waterproofing Anticorrosion Materails Applied to Concreate Water Tank, p.15~17.
- [10] Jang Hye Sook, A Study on Out-of-Plane Strengthening of Masonry-Infilled Wall Reinforced by Glass Fiber-Reinforced Polyurea, Kangwon university, p.3.
- [11] Song Jun Hyeok, A Study on Reinforcement Effect of Structural Performance by Glass Fiber-

- Reinforced Polyurea, Kangwon university, p.3
- [12] Lim Ho Sun, "Development of Nanostructured Superhydrophobic Surfaces". KIC News, Volume 15, No. 1, 2012, p.11.
- [13] Sang Uk Cho, Doo In Kim, Won Kyoung Cho, Bo Sung Shin, Myung Yung Jeong, "Diverging Effects of Topographical Continuity on the Wettability of a Rough Surface", ACS Appl. Mater. Interfaces 2016, 8, 43, 29770 - 29778.
- [14] Yong Gil Sung, "Non-toxic anti-contamination coating for ships", KisTi