



Pump Casing 부식 손상원인 분석

황령경^{a,*}, 황선중^a, 윤성태^b, 이관영^c

Analysis of Causes of Corrosion Damage in Pump Casing

Ryung-kyung Hwang^{a,*}, Sun-joong Hwang^a, Seong-tae Yoon^b, Kwan-young Lee^c^a Management, Dongnam Special Cast Steel co., Ltd^b Department of Nano Convergence Engineering, Inje University^c Department of Mold and Materials Engineering, Inje University

ARTICLE INFO

Article history:

Received	27	December	2023
Revised	27	March	2024
Accepted	4	April	2024

Keywords:

Corrosion damage
Pump casing
Electrolytic corrosion
Cr special steel
Martensitic matrix

ABSTRACT

In this study, we attempted to determine the cause of corrosion that occurred after three days of using a pump casing cast from 20Cr steel. The damaged pump casing contained a Cr-carbide structure in its martensite matrix. This occurred in martensite with a low Cr content owing to differences in the corrosion properties of the martensite structure and Cr-carbide, and the pump casing was damaged by corrosive environments such as seawater and sulfur (corrosive substances). In seawater, corrosion by sulfur (S), a corrosive substance, is relatively weak, and it is believed that selective corrosion and crevice corrosion damage occur in the martensite matrix, which has a lower Cr content than Cr-carbide. Considering that the corrosion started at the interface between the Cr-carbide and martensite and progressed rapidly over a short period of time, it appears that the damage was caused by electrical corrosion.

1. 서론

본 연구에서는 20Cr을 재료로 하여 동남특수강 주식회사에서 제작한 3일간 사용하였던 pump casing의 부식 원인을 파악하고자 하였으며, pump는 바다 수면 안에 바닥부터 수면까지 총 4기의 pump가 서로 연결 및 설치되어 순차적으로 해수를 퍼 올려 주는 구조로 설치되어 있었으며, 4기 중 3기의 pump casing에서는 부식 손상이 발생하지 않았지만 2번째(지하 22 m)의 pump casing에서만 부식이 발견되었다(Fig. 1). 본 실험에서는 2번째 casing으로 부식 손상원인을 분석했다.

부식에 의한 손상이 발견되었을 때에는 원인 규명에서부터 대책 수립까지 필요한 분석·조사가 필요하다. 부식 손상의 원인은 강재

의 불량 외에, 재질 선정, 가공공정, 구조설계의 부적합이나 사용 환경의 가혹화 등 다양하다. 각각의 부식 환경에 대하여 원인을 해명하고, 적절하게 대책을 수립할 필요가 있다.

여기서 pump란 유체에 에너지를 주어, 유체를 낮은 곳에서 높은 곳으로 이송시키거나, 유체를 멀리 보내주는 것으로, pump 내에 유체를 가득 채우고 회전 차를 줘서 유체를 회전시키면 유체는 그 원심력에 의해 바깥으로 고속으로 발산되게 된다. 이것을 casing이 모아서 외부로 토출하게 되며 이 과정에서 유체의 속도 에너지가 압력에너지로 변환되어 유체를 멀리 혹은 높이 올릴 수 있게 되는 것이다. 즉, pump 내 casing은 그 일부가 흡입 측의 관로와 접속되어 유입되는 유체를 임펠러로 유도하는 흡입 관로와 임펠러에서 토출되는 높은 에너지의 유체를 모아서 토출 관로로 유도하는 유

* Corresponding author. Tel.: +82-55-551-9200

E-mail address: bring1103@naver.com (Hwang ryung-kyung).

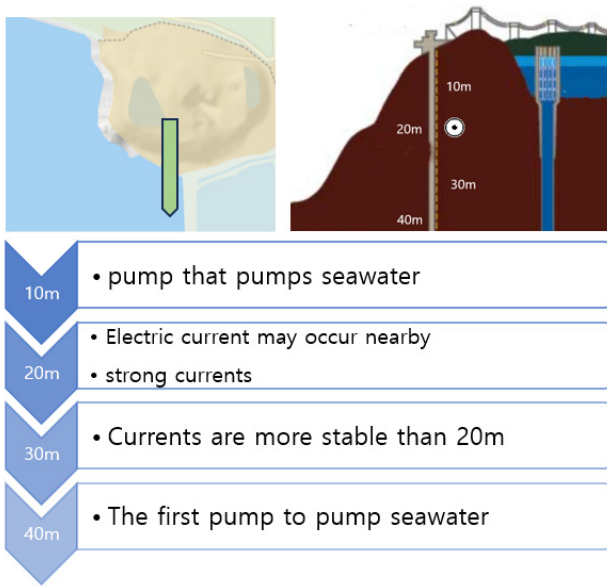


Fig. 1 Location of the damaged 22 m pump out of a total of 4 pumps

로 구성되며, 압력용기 및 지지물로서의 기능을 하는 pump의 주요 부속품 역할을 한다.

Fe-Cr계 강종은 C가 0.1 Wt.% 이상 첨가되면 마르텐사이트계, C가 0.1 Wt.% 보다 적게 첨가되면 페라이트계로 분류되나 최종 열처리 상태에 따라 구분된다.

최근에는 Cr을 약 16% 로 증가시킨 고 C의 마르텐사이트계 스테인리스강은 퀴칭 경화성이 좋고 인성이 큰 강종으로서 내식, 내산화성이 뛰어나 응력제거 상태에서도 사용되고 있으며, 특히 고급 날물, 외과용 칼날, 게이지, 베어링, 캠(cam), 부시(bush), 롤러(roller) 등의 내식, 내마모성을 요구하는 곳에 주로 사용되고 있다.

각종 합금 원소의 첨가와 동시에 오스테나이트화 온도와 시간, 그리고 템퍼링 온도를 결부시켜 전기화학적 부식에 따른 내식성을 체계적으로 조사한 연구는 없어 이에 대한 연구가 필요한 실정이다. 또한, 스테인리스강의 내식성은 표면에 산화물 보호피막(산화 크롬)을 형성하는 부동태에 의존되고 있으며, 이 피막이 파괴 시 부식을 쉽게 발생시키며, 스테인리스강의 부식은 균일이나 입계부식보다는 부식이 어떤 특정 장소에만 집중하여 부식 구멍을 만들고 다른 곳은 대부분 부동태를 유지하는 공식^[12]이 가장 중요하다.

Pump casing의 부식 손상원인을 공식, 틈새 부식, 선택 부식에 집중해서 관찰했다. Casing의 부식은 설비보존 및 운전 비용이 추가로 발생할 수도 있으며, 공장 가동 중지 및 생산제품의 오염, 효율 감소, 안전성까지 영향을 줄 수 있으므로 부식의 원인 파악 및 예방은 매우 중요하다고 판단되며, casing의 손상 부식은 pump의 고장을 야기할 수도 있다.

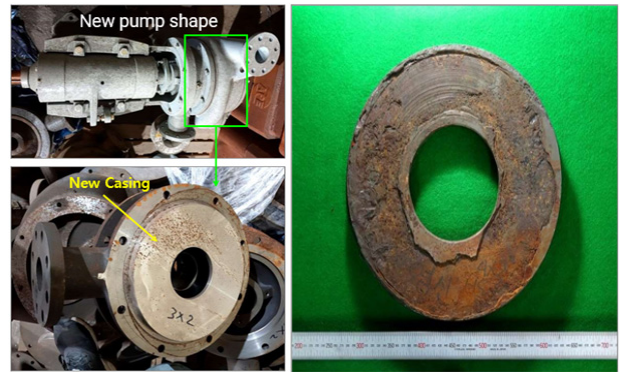


Fig. 2 Casing installation location and shape of new and damaged products

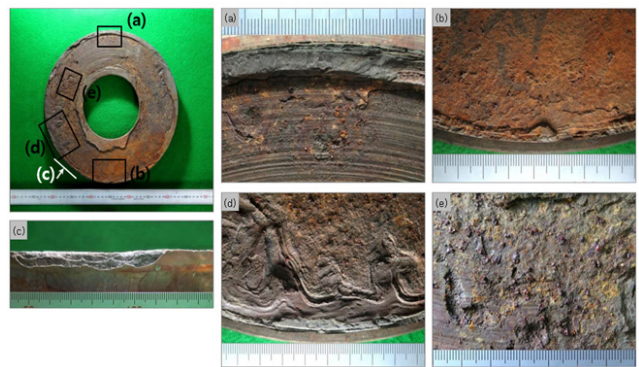


Fig. 3 Close-up photo (a to e) of the exterior and interior



Fig. 4 Shape after cutting of the cross section of the damaged area

2. 연구 방법

2.1 육안분석 및 macro 시험

본 연구에 분석된 casing의 손상품 외면 및 내면을 면밀하게 관찰·촬영하여 위치, 크기, 깊이 등의 수치를 확인했다(Fig. 2, Fig. 3). 또한 시험편의 일부를 절단하여 손상부를 관찰하였다(Fig. 4).

시험편의 단면을 연마한 후 부식액으로 etching하여 육안 현미경으로 흡집 및 품질 상태를 육안으로 관찰하였다.

2.2 SEM-EDS 분석

SEM 분석을 위해 (주)새론테크놀로지의 AIS2300C를 이용하여 가속전압 20 kV로 측정하였다. 기계적 절단 시 가해지는 점 결합이나 새로운 상이 생성되지않도록 주의하면서 단면적을 획득했다. etching 전 단면을 분석하여 요철이 심한 파단면을 관찰하였다.

EDS 분석을 위해서 JSM-6610LV + Oxpord X-max장비를 이용해서 20 keV전압으로 전자가 시험편에 입사될 경우 발생하는 x-ray 신호를 분석하여, 시험편에 대한 정성·정량 분석하여 결과값을 정량화 하였다. 또한 시험편에서 C, CR, Fe, Si, P, S, O 등 원소별 분포영역을 확인하고자 정성·정량 분석과 동일하게 시료의 분석영역에 전자빔을 일정시간 동안 조사하여 발생한 결과값으로 각 원소별 시료 분포영역을 그래프로 영상화하였다.

2.3 Micro 시험_OM(optical microscope)

광학현미경, sand paper, polishing cloth, grinder&polisher, 부식액, 드라이어, 시험편을 사용해서 에칭 전과 후, Etching 후 미세조직을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 육안검사 결과

Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4는 총 4기의 pump중 2번째 pump에서만 발견 된 부식으로 인해 손상 된 시험편으로 선정된 casing의 모습을 보여주고 있다. Fig. 2에서 왼쪽 상단과 하단에서 보이는 casing 신품의 형상과 Fig. 2의 오른쪽에서 보이는 부식으로 인해 손상된 시험편 casing의 외면과 내면의 모습은 확연한 차이를 보여주고 있다. 전체적으로 부식이 상당히 진행된 모습과 적갈색의 두꺼운 부식 scale이 관찰되면서 부식으로 인한 두께의 감소 및 박리까지 관찰된다.

외부로 노출되어 부식 개시점이 되었던 시험편 casing의 관찰 후 노출되지 않았던 단면까지 확인하기 위하여 시험편을 절단해 관찰 해 본 결과 단면의 표면층에서 심한 적층(lamination) 구조를

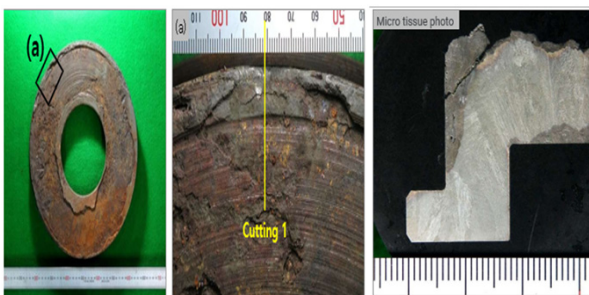


Fig. 5 Micro organization photo of cross section

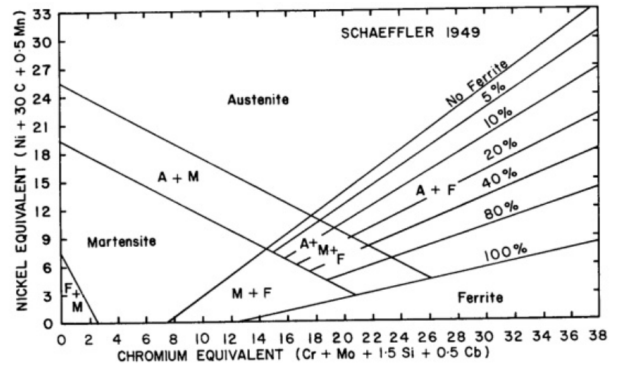
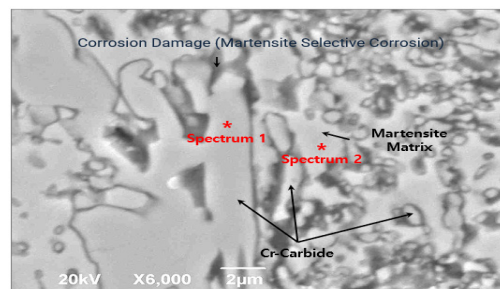
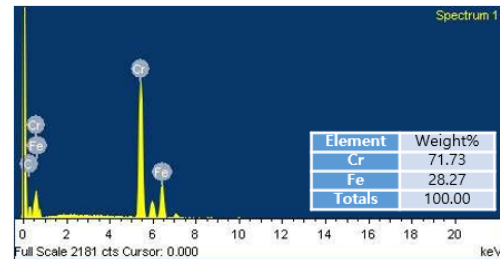


Fig. 6 Schaeffler's diagram



< Spectrum 1 >



< Spectrum 2 >

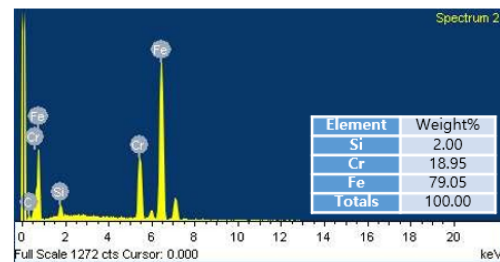


Fig. 7 SEM photo and EDS component analysis results before etching of cross section

이루고 있는 것을 관찰했다. 부식 개시점인 외부로부터 내면까지 부식이 진행되고 있었음을 확인할 수 있었으나, 구조적으로 pump와 닫는 부위에서는 심한 부식이 관찰되지는 않는다(Fig. 4).

더 정확한 관찰이 필요하다고 판단되어 먼저 Macro 조직 관찰을 진행한 결과(Fig. 5) 육안검사 결과와 마찬가지로 표면에서 부식 손상이 관찰됨과 동시에 전체적으로 응고 조직이 발견되고, 시험편을 절단해 단면도를 확인한 결과도 마찬가지로 부식 개시점이

된 외부 노출 지점부터 적층 구조를 이루어가며 내부까지 부식이 진행되고 있다.

3.2 SEM-EDS 분석결과서

Fig. 6은 Ni-Cr의 함유량에 따라 열처리 했을시의 상태에 대한 표를 참고하면 12-18% Cr에 C함량을 높여 고온의 오스테나이트 조직에서 급냉하여 마르텐사이트 조직을 얻을 수 있다. Fig. 7의 왼쪽 사진은 시험편을 에칭하기 전 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과이다. Martensite 미세조직으로 관찰되며, spectrum 1과 spectrum 2로 나누어 EDS 결과를 비교해보면 spectrum 1에서 Cr가 71.73의 함량 수치를 나타냈다. 관찰되는 석출물은 Cr과 C로 구성된 Cr-carbide로 구성된 것으로 판단된다. spectrum 2에서 Cr은 18.95의 함량 수치를 보여주고 있는데, spectrum 1에서 보여 주었던 Cr의 석출량만큼 석출상은 관찰되지 않았다(Fig. 10).

다시 Fig. 8에서 확인해보면 왼쪽 상단의 그림 (a)부터 (f)까지 보며 미세조직 전체 부위에서 선택부식이 진행되고 있었다. 일정량 이상 Cr을 함유하게 되면 Cr은 금속 내 용해된 C와 반응하여 Cr-carbide를 생성하게 된다. 금속 내 Cr이 6 wt% 이상 함유하게 되면 기지 금속에서부터 M3C, M7C3, M23C6 형태의 Cr-carbide가 생성되는 것으로 보고하였으며^[3], 일정량의 경질의 Cr-carbide

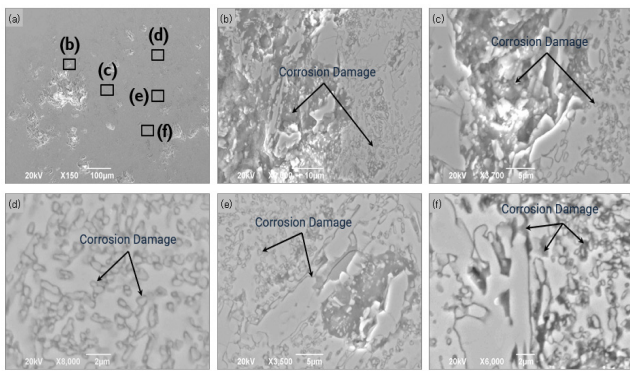


Fig. 8 SEM before etching of cross section

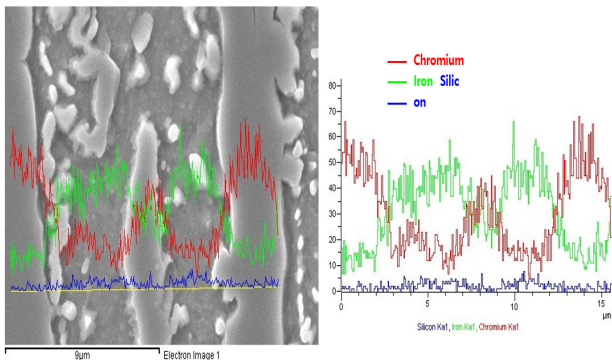


Fig. 9 Line profile analysis results for cross section

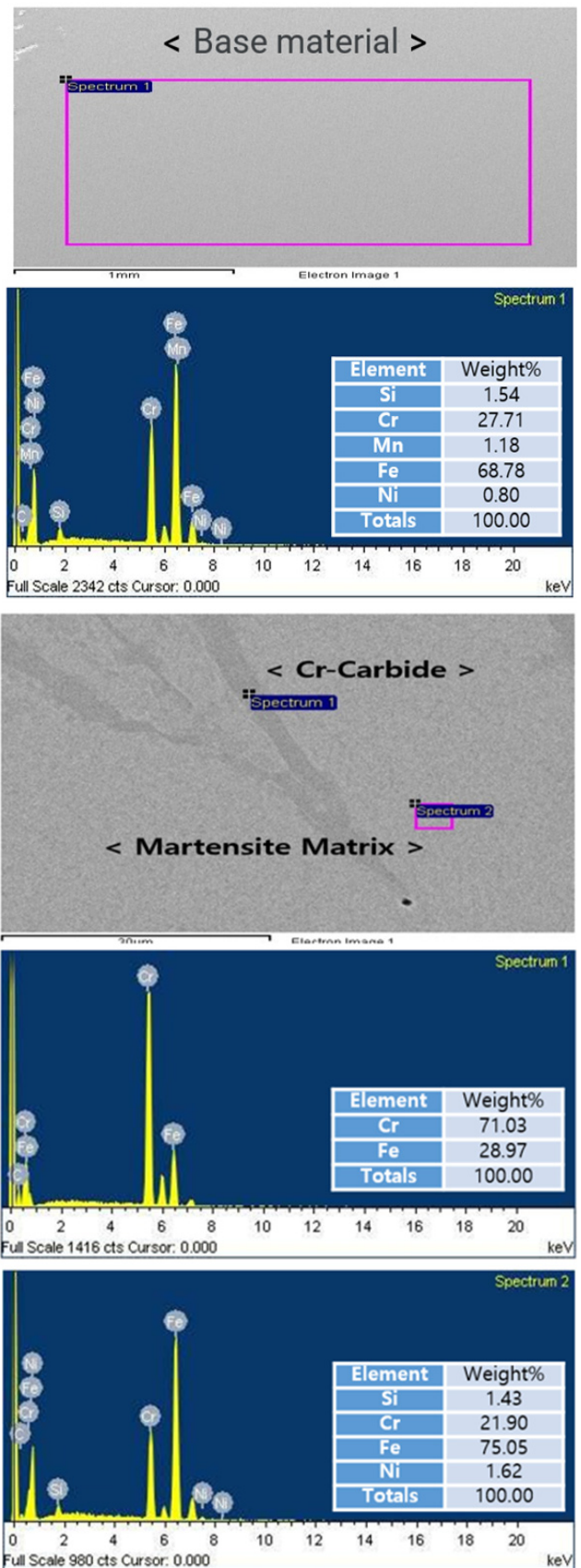


Fig. 10 EDS component analysis results for good parts of the cross section

< Corrosion damaged area >

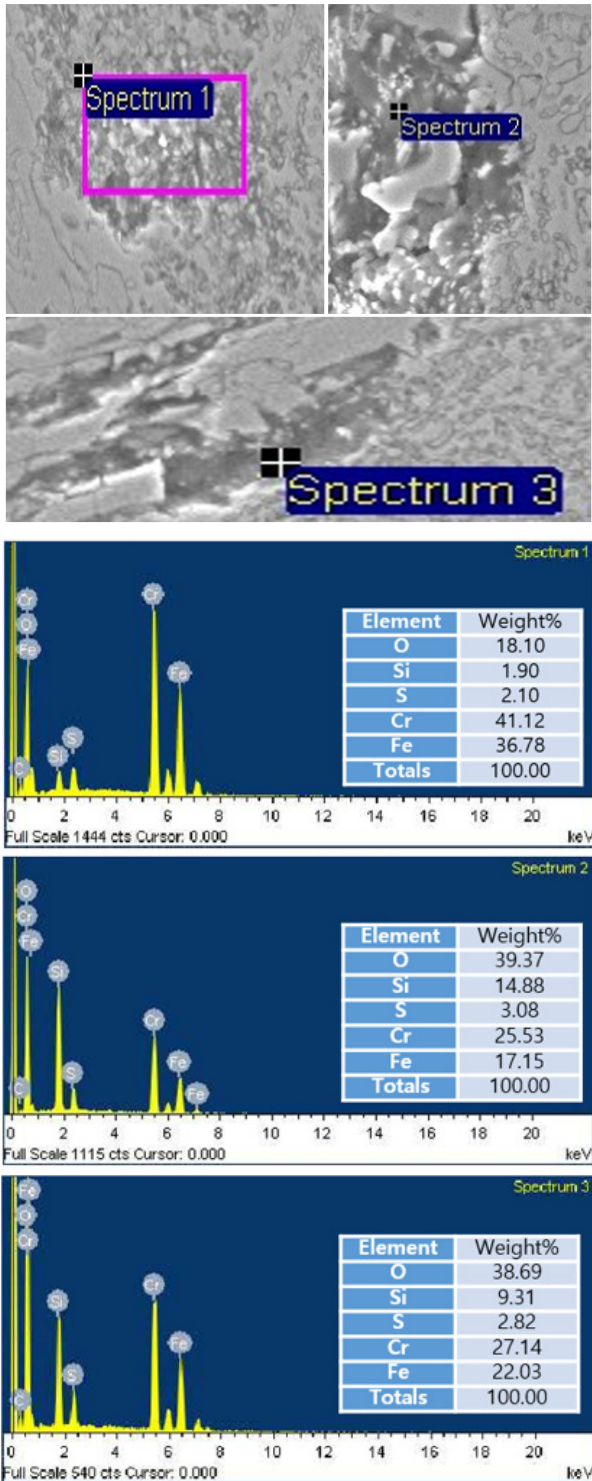


Fig. 11 EDS analysis results for damaged areas in cross section

는 내마모성 향상에 영향을 미친다고 보고되고 있다^{4,5)}.

이를 바탕으로 결과를 해석한다면 Fig. 7의 EDS 분석 결과와 함께 해석한다면 Cr-carbide가 생성되지 않은 matrix의 계면에서

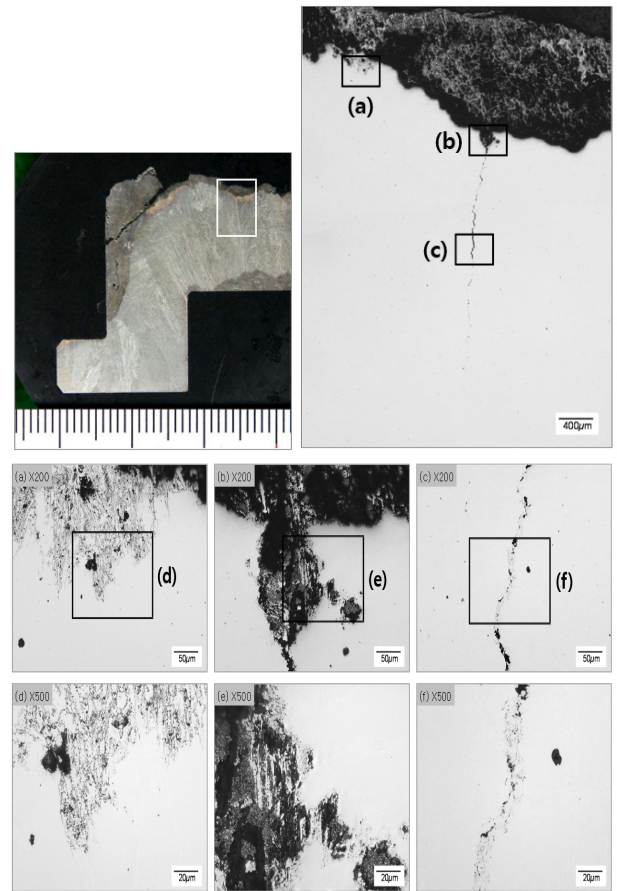


Fig. 12 Photo of OM microstructure before etching for cross section I X25

선택적 부식이 시작되어 Cr-carbide 쪽으로 부식이 진행되는 양상을 보인다고 할 수 있다.

Fig. 9의 line profile 분석 결과도 부식되지 않은 Cr-carbide 부분과 부식이 진행된 부분의 Cr량 차이를 명확하게 보여주고 있다.

이어서 Fig. 10은 정상 부위를 Fig. 11은 부식 손상 부위를 더 면밀하게 관찰한 결과다. 부식 손상된 데이터 모두에서 S가 검출되었다. Cr-carbide와 martensite matrix의 단면 중 손상 부위에 대해서는 동일하게 손상 부위 모두에서 S가 관찰되었으나, 손상되지 않은 부분에서는 S가 발견되지 않았다.

부식 손상 데이터에서 S가 발견되었고, 이는 해수의 오염에 포함된 H2S에 의한 것으로 해수의 이온 구성 분석 결과 Fig. 14에서 보면 하천의 주요 용존성분과 바닷물의 주요 용존성분 비교하면 해수는 자연환경 속에서도 부식성이 강한 환경을 제공한다. 해수의 성분은 복잡하기 때문에 장소에 의한 차이는 있을 수 있으나 부식성은 생물의 영향을 제외하고 거의 유사할 것이라고 한다⁶⁾. 다만, 도시 가까이 있는 해수는 오염이 심하고 물속의 용존 산소등이 포함되어 H2S를 포함하여 금속의 부식에 현저한 영향을 미칠

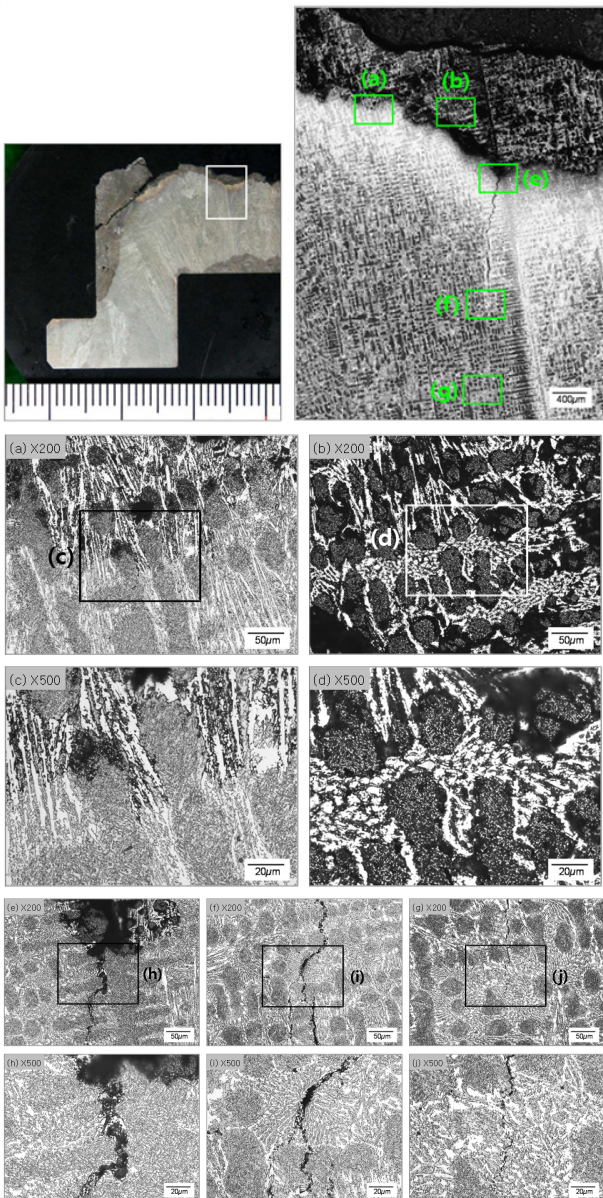


Fig. 13 Photo of OM microstructure after etching for cross section I X25

것이라 판단하여 S는 부식을 일으키는 물질로 생각할 수 있다. 그러므로 지금까지 부식된 위치에서 나타났던 S가 갖는 의미는 유의미하다고 생각된다.

Fig. 12, Fig. 13은 단면에 대하여 에칭 전과 후 미세조직 관찰 결과 시험편 단면과 내면에서 모두 부식 손상이 관찰되었고, 기본적으로 martensite matrix 조직에 Cr-carbide가 관찰되었다.

부식은 martensite matrix에서 선택적으로 발생하여 Cr-carbide의 계면을 따라 진행되는 양상을 보였으며, 균열도 관찰되었다. 균열은 부식 부위에서 발생된 것으로 볼 때 부식 이후에 부식 부위가 notch로 작용하여 발생한 2차 손상으로 판단된다(Fig. 13).

Constituent	Concentration in streams (parts per million by weight)	Concentration in seawater (parts per million by weight)
Bicarbonate ion (HCO ₃ ⁻)	58.4	trace
Calcium ion (Ca ²⁺)	15.0	400
Silicate (SiO ₂)	13.1	3
Sulfate ion (SO ₄ ²⁻)	11.2	2700
Chloride ion (Cl ⁻)	7.8	19,200
Sodium ion (Na ⁺)	6.3	10,600
Magnesium ion (Mg ²⁺)	4.1	1300
Potassium ion (K ⁺)	2.3	380
Total (parts per million)	119.2 ppm	34,793 ppm
Total (‰)	0.1192‰	34.8‰

Fig. 14 Comparison of major dissolved components in streams with those in seawater

3.3 부식에 대한 고찰

일반적으로 Cr함량이 11%이상일 때 대기 부식이 현저히 낮아지는 경향이 있어 Cr 11%이상의 철계합금을 스테인레스강이라 정의한다(일반적으로 Cr 함량이 높아지면 부식특성이 좋아진다).

펌프 casing에 사용된 합금은 Cr Steel에 C와 Cr이 조절된 합금으로 볼 수 있도록 조성을 볼 때 martensite+carbide조직을 이루고 있으며, 해수에 대한 부식 특성은 일반적으로 좋은 합금이다.

손상된 casing은 미세조직적으로 martensite matrix에 Cr-carbide조직으로 martensite조직과 Cr-carbide의 부식특성의 차이로 Cr함량이 더 적은 martensite에서 발생되었고, 이러한 부식은 martensite와 Cr-carbide의 계면에서 상대적으로 부식특성이 안 좋은 martensite에서 발생된 틈부식과 선택부식의 일종이다.

4. 결론

Casing의 손상은 부식환경이 해수와 부식물질인 S분위기에서 Cr-carbide보다 Cr함량이 낮은 상대적으로 부식에 약한 martensite matrix에서 발생한 선택부식과 틈부식 손상으로 이다¹⁷⁻⁹⁾.

틈새 부식 방지를 위해 염화물 환경이 제거한 환경을 제공하거나 내공식 합금으로 고 Mo, N, Cr, Ni합금을 사용한다. 틈새가 생기지 않도록 설계하거나, 용액이 고이지 않도록 완전히 배수되는 구조로 설계도 가능하며, 틈새가 발생 되었을 때 재빠르게 충전물로 충전하는 방법이 필요하다.

Casing의 소재인 stainless steel은 일반적인 해수 환경이나 부식 분위기에서는 이처럼 단기간에 부식이 발생되지 않는데 반하여 손상된 casing은 사용 후 3일 만에 심한 부식 손상이 발생한 것과 인근의 pump에서는 부식이 발생하지 않은 점을 볼 때 일반적인 환경이 아니라 특수한 환경에서 부식이 발생하였을 것이다.

Cr-carbide와 Martensite의 계면에서 부식이 시작되고 짧은 기간에 부식이 급속도로 진행된 것으로 볼 때 전식에 의한 손상으로 설비가 가동을 중지한 경우는 가능한 담수로 세척하고 해수의 정

체가 일어나지 않도록 설계하고 가능한 유속을 빠르게 해주는 방법 좋을 것으로 결론한다.

References

- [1] Lee, H. Y., 1995, Corrosion of Metals, YeonKyeong Publishing Co., Republic of Korea.
- [2] Chang, H. K., 1973, Review on Pitting Corrosion of Steels in Chloride Solution, Journal of the Corrosion Science Society of Korea, 2:4 153-160.
- [3] Lin, T., Guo, Y., Wang, Z., Shao, H., Lu, H., Li, F., He, X., 2018, Effects of Chromium and Carbon Content on Microstructure and Properties of TiC-steel Composites, Int. J. Refract. Met. Hard Mat., 72 228-235, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2017.12.037>.
- [4] Mourlas, A., Pavlidou, E., Vourlias, G., Rodríguez, J., Psyllaki, P., 2019, Concentrated Solar Energy for In-situ Elaboration of Wear-Resistant Composite Layers. Part I : TiCand Chromium Carbide Surface Enrichment of Common Steels, Surf. Coat. Technol., 377 124882, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.08.011>.
- [5] Orečný, M., Buršák, M., Šebek, M., Falat, L., 2016, Influence of Hardness, Matrix and Carbides in Combination with Nitridation on Abrasive Wear Resistance of X210Cr12 Tool Steel, Metals, 6:10 236, <https://doi.org/10.3390/met6100236>.
- [6] Trujillo, A. P., Thurman, H. V., 2007, Essentials of Oceanography, Prentice-Hall, Prentice Hall, Boston, MA.
- [7] Cramer, S. D., Covino, Jr. B. S., 2008, ASM Handbook Volume 13B: Corrosion: Materials, ASM International, USA.
- [8] Davis, J. R., 1995, ASM Specialty Handbook-Stainless Steels, ASM International, Materials Park, OH.
- [9] Nalco, and Ecolab company, 2015, The Nalco Guide to Cooling Water Systems Failure Analysis, McGraw-Hill Education, New York, NY.



Ryung-kyung Hwang

Managing Director, Dongnam special cast steel co., Ltd.

Her research interest is Metal Materials and Casting.

E-mail: bring1103@naver.com



Sun-joong Hwang

Executive Director, Dongnam special cast steel co., Ltd.

His research interest is Metal Materials and Casting.

E-mail: sjhwang84@naver.com



Seong-tae Yoon

Ph.D. Graduate Student, Department of Nano-Convergence Engineering, Inje University.

His research interest is Aerospace Materials and Molds.

E-mail: styun@airkpc.com



Kwan-young Lee

Professor, Department of Mold and Materials Engineering, Inje University.

His research interest is Heat/Surface Treatment and Development of New Materials to Maximize the Life of Mold Materials.

E-mail: heleegy@inje.ac.kr