

해양플랜트 프로세스 배관 내경 플라싱 오일속에서 수분제거를 위한 실험적 품질 특성

Experimental Quality Characteristics for Water Removal in Inner Flushing Oil in Process Piping of Offshore Plant

박창수¹, 성기영², 한성종³

Chang-Soo Park¹, Ki-Young Sung², Seong Jong Han³

〈Abstract〉

An important problem of offshore plant process piping is equipment accidents due to the removal of fine metal debris and foreign substances in the pipes that deliver fluids such as hydraulic oil, lubricating oil and thermal oil. Temporary flushing equipment to remove debris uses fluid equipment of centrifugal pump and gear pump to prevent equipment accident of offshore platform. The equipment manufacturer requires the shipyard to have a cleanliness rating inside the pipe to meet the international standards ISO4406 and NAS1638 quality levels to prevent damage to the equipment sold. The quality of the internal flushing of pipes conforms to the regulations suggested by the equipment manufacturer. In this paper, three types of electric heater capacity, which is a method of evaporating and removing water inside a pipe during an oil flushing process, were compared. In addition, the study was conducted to remove the flushing oil in the pipe and to improve oil quality.

Keywords : Pickling, Oil Flushing, National Aerospace Standard 1638, International Organization for Standard 4406

-
- 1 정회원, 선박해양플랜트연구소, 해양플랜트산업지원센터1 Principal Researcher, Offshore Industries R&BD Center, 책임연구원, 경상남도 거제시 거제북로 1350 Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering, E-mail: cspark@kriso.re.kr 1350, Geojebuk-ro, Geoje-si, 53201 Republic of Korea
 - 2 정회원, 선박해양플랜트연구소, 해양플랜트산업지원센터2 Junior Engineer, Offshore Industries R&BD Center, Korea 기술원, 경상남도 거제시 거제북로 1350 Research Institute of Ship & Ocean Engineering. 1350, E-mail: kysung@kriso.re.kr Geojebuk-ro, Geoje-si, 53201 Republic of Korea
 - 3 정회원, 교신저자 선박해양플랜트연구소, 해양플랜트산업3 Senior Engineer, Corresponding author, Offshore Industries 지원센터 선임기술원, 경상남도 거제시 거제북로 1350 R&BD Center, Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering 1350, Geojebuk-ro, Geoje-si, 53201 Republic E-mail: sjhan@kriso.re.kr of Korea

1. 서론

해양플랜트 설비는 해양자원을 탐사·시추·생산하는 장비로 볼 수 있다. 주로 해상에서 움직임이 없는 고정식 플랫폼(Fixed Platform)과 바다 위에 떠 있는 부유식 FPSO(Floating Production Storage and Off-loading), FSU(Floating Storage Unit)등으로 나누어진다. 해양구조물은 Oil 과 Gas를 생산하기 위해 해양 환경에 맞는 장비들로 구성되어 있다. 이러한 업 스트림 장비들이 정상적으로 작동될 수 있도록 전장, 계장, 통신, 공압, 유압과 같은 유틸리티 장치들도 함께 설치되어 있다. 또한 시추된 원유를 운반하기 위한 통로인 배관은 중요한 요소 중에 하나이다. 우리 몸속의 혈관과 같은 기능을 수행하는 배관은 장비 가동을 위해 중요한 역할을 한다. 부유식 설비 FPSO에 사용되는 배관의 자재비와 인건비는 해양구조물 전체금액 중에서 약 25~35%정도이다. 해양플랜트에 사용되는 배관은 사용 목적에 따라 석유 및 가스 생산을 주목적으로 하는 프로세스 배관과 냉각수, 연료, 윤활유, 해수, 청수, 스팀 등 보조용으로 유틸리티 배관으로 구분된다. 프로세스 배관은 오일과 가스의 목적에 맞게 생산된 유체를 이송하는 통로이다. 플랫폼에서 생산된 Oil 과 Gas는 필요한 곳으로 전달하고 저장하여 운반하는 기능을 수행한다.[1]

Table 1은 해양플랜트에서 사용되어지는 플러싱 오일의 성분에 관한 화학적 성질과 기본 물리적 성질을 도표와 같이 나타내고 있다.[2] 발주처의 프로젝트 사양서에 기술된 배관 단품 제작과 설치검사 기준에 따라 배관 제작 완성품 검사까지 완벽하게 수행해야 한다. 배관 내부는 산세척과 오일 플러싱을 통하여 청정도를 준수해야 한다. 배관 내부의 이물질과 녹을 제거하기 위해 1차 초도용 100 μ m 필터를 사용하고, 2차 미세필터 5~10 μ m를

사용하여 발주처에서 요구되는 청정도의 기준 등급과 장비 제작사의 추천등급을 만족시켜야한다. 상기 내용은 ASME B31.3 Process Piping Guide, Appendix K에 의하면 탄소강과 스테인 강의 배관의 오일 플러싱에 관하여 규정 되어져 있다.[3] 배관 제작 공장에서 진행되는 절차 중 마지막 공정에서는 장비 제작사가 추천한 시스템오일 (신유)을 공급하기 전에 최종 청정도 품질검사를 해야 하며, 신유는 초기 구동 전에 장비제작사 매뉴얼에 따라 주입해야 한다. 본 논문에서는 해양플랜트 프로세스 배관 내부의 미세 이물질 제거를 하지 않고 장비운전을 하는 경우, 장비의 고장, 파손을 일으킬 수 있는데 이를 예방하기 위한 방법을 다루고 있다. 본 논문에서는 화학적 세척방법과 오일 플러싱을 연구하는데 그 목적을 두고 있다.

Table 1. Information on Basic Physical and Chemical Properties of Flushing Oil

Physical and Chemical Properties	
Appearance	Liquid
Colour	Amber to Brown
Auto Ignition T (°C)	Not determined
Solubility	Insoluble in water soluble
Initial boiling point (°C)	>320
Melting Point (°C)	< -35
Relative density	0.89815
Flash point(°C)	> 170 PM Closed cup
Vapour density	>1 (Air=1)
Viscosity	36 cSt 40 not water soluble

2. 배관 재질에 의한 오일 플러싱 방법

2.1 스테인레스강 배관 세척방법

ASME B31.3 규정에 의하면 화학세척 종류는 스테인레스강의 비철합금과 탄소강의 철합금으로 분

류된다. 배관 내부의 녹과 이물질을 제거하는 방법 중 철강표면의 흑피, 기름성분의 그리스 그리고 먼지 알갱이 등의 입자가 휴대용 장비에 속해 있는 필터를 통하여 폐쇄 회로로 순환시켜 화학약품 반응을 일으켜 제거하는 방법이다. 화학 세척은 재질에 따라 다른 화학약품을 사용한다. 배관 내의 불순물 제거에는 기름 성분, 스케일, 부식 생성물 등을 용해시켜 제거하는 알칼리 세척, 소다수 세척, 산세척 등이 있다. 이 방법은 제작 완료 검사와 배관 내부에 수압 누유시험이 완성된 후 공정이 수행 되어져야 한다. 알칼리 세척, 소다수 세척, 산세척은 완성 후 반드시 청수로 행균 작업을 수행해야 한다. 스테인레스강의 산세척 방법 순서는 다음과 같다.

- ① 청수에 산 용액을 1.5% 희석하여 순환한다.
- ② 청수로 행균 후 배관 내부의 잔여물 제거한다.
- ③ 배관 내부를 완전 건조시킨다.
- ④ 배관 내부의 건조가 완료되면 예방 부식을 위한 피막처리를 한다. (Table 2. 참조)
- ⑤ 피막처리가 완료되면 2차 행균을 한다.
- ⑥ 배관 내부의 수분을 제거하고 잔여 수분은 5~6bar의 압력공기 분사로 제거한다.
- ⑦ 배관 내부의 최종 품질검사를 수행한다.

Table 2는 배관 제작사에서 출고되기 직전에 산세척 후 파이프 내경의 표면방청 도포에 관한 화학성분의 혼합 함량 비율을 나타내고 있다.[4]

Table 2. The Passivation and Solution after Pickling

Element	Hydrogen fluoric acid	Nitric Acid	Mg. Complex Powder
Contents (%)	7~15	15~25	30~40
Others	Surfactant, Corrosion Inhibitor, Ammonium hydrogen		

아래의 절차는 조선소에서 스테인레스강의 배관 용접 및 플랜지, 가스켓 조립작업 후 오일 플러싱 이전에 산세척 방법 순서는 다음과 같다.

- ① 배관 내부에 카본가루, 탈지(기름성분 제거) 작업을 한다.
- ② 화학적 산세척 플러싱은 청수를 사용하여 60~70°C의 엘렉트릭 히터를 가동하고 원심 펌프를 사용하여 순환한다.
- ③ 불화수소암모늄(HF) 10g/L을 희석 순환한 다
- ④ 배관 내부의 건조가 완료되면 부식 방지를 위한 조치로 피막 벗김 처리를 한다.
- ⑤ 배관 내부의 피막 벗김 처리가 완료되면 2차 행균 작업을 한다.
- ⑥ 중화작용은 아질산나트륨(HNO) 15g/L 을 희석하고 마그네슘 분말가루를 혼합하여 12 시간 동안 순환시킨 후 배출한다.
- ⑦ 배관 내부의 방청 오일로서 표면을 도포한다.
- ⑧ 배관 내부의 최종 품질검사를 수행한다.

2.2 탄소강 배관 재질의 세척 방법

탄소강에 관한 화학적 세척공정 공정순서는 아래와 같다.

- ① 탄소강 내부에 탈지작업을 한다.
- ② 탄산나트륨 3 g/L을 혼합하여 원심 펌프로 순환 시킨다. 온도는 60~70°C의 청수에 염화 수소 200g/L, 불화수소암모늄 10g/L을 희석하여 순환시킨다.
- ③ 청수로 행균 처리를 한다.
- ④ 배관 내부의 건조가 완료되면 내부의 방식을 위한 조치로 피막처리를 한다.
- ⑤ 피막처리 완료 후 2차 행균 처리를 한다.
- ⑥ 중화작용은 상온에서 아질산나트륨: 10g/L

을 희석하여 12시간 순환 후 배출 시킨다.

- ⑦ 배관 내부 표면에 방청오일을 분무한다.
- ⑧ 배관 내부의 최종 품질검사를 수행한다.

2.3 오염의 유형과 오일 플래싱 절차서 근거

Table 3은 각종 시스템 배관 내부에 오염의 형태와 이를 제거하는 절차를 설명한 것이다. 배관 내부 이물질 제거 종류는 오일 성분, 탄소가루, 용접 슬래그, 블라스팅 그릿, 폐기물, 쓰레기, 파편 등의 이물질이 있다.[5] 또 다른 플래싱 방법으로는 7bar 이하의 압축 공기를 분사하거나, 경유 및 플래싱 오일 등의 액체를 이용하는 방법이 있

다. 이런 방법들은 배관 내부의 청정도를 높여주고, 장비 운전 도중에 고장을 예방하고 설비의 원활한 운전 및 수명 연장에 효과적이다.

Table 4는 NAS 1638 Classes에서 오염도 μm 크기의 범위이고 좌측 오염도 5가지 분류는 시료 1병의 양이 100ml 당 최대 오염 입자 개수를 의미한다. 또한 유체 내의 오염도 μm 에 따라 품질 등급을 나눌 수가 있다. NAS 1638에서는 플래싱 오일 속에 포함된 불순물 범위를 세로축 μm 단위 5가지로 분류하고 각각의 등급 별로 오일 플래싱 속에 포함되어 있는 불순물 개수를 정량적으로 계산하여 가로축 14개의 등급으로 나누는 방식으로 표현된다.[6]

Table 3. ASME B 31.3 Process Piping Guide Revision 2. Appendix K

Contamination type and Removal Procedure	
Type of Contamination	Removal Procedure
Dirt, Metal Chips and Filings.	Water, Steam, Air Blow, Steam Cleaning
Oil Paint Grease Wax, Varnish	Cleaning
Moisture	Dehydration, Using N ₂ , Alcohol.
Weld Spatter, Rust, Scale, Slag, Free Iron.	Blasting, Mechanical, Sulfuric, Acid Cleaning

2.4 ISO 4406 Classes Grade

Table 5는 오일 품질등급에 관한은 불순물 입자의 크기와 측정값을 ISO 4406과 NAS 1638 등급 기준에 대한 비교표를 나타낸다. 오일 메이저 발주처의 건조사양서는 조선소에게 요구사항을 ISO 4406과 NAS 1638의 같은 의미인데 일반적으로 2개의 종류를 각각 지정해 주는 경우도 있다. 조선소는 2개의 종류가 국제적으로 동급의 규정이니 발주처와 협의하여 2개 중에 1개의 선택을 요청할 수 있다.

Table 4. NAS 1638 Classes Grade

NAS 1638 Classes														
오염도	00	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5~15	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	32000	64000	128000	256000	512000	1024000
15~25	22	44	89	189	356	712	1425	2850	5700	11400	22800	45600	91200	182400
25~50	4	8	16	32	64	126	253	506	1012	2025	4050	8100	16200	32400
50~100	1	2	3	6	11	22	45	90	180	360	720	1440	2880	5760
100 (μm)	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024

Table 5. Equivalent ISO 4406 and NAS Classes Grade

Approx ISO 4406 equiv.	NAS	5-15	15-25	25-50	50-100	>100
-	0	125	22	4	1	0
-	0	250	44	8	2	0
10/12/7	1	500	89	16	3	1
13/11/8	2	1000	178	32	6	1
14/12/9	3	2000	356	63	11	2
15/13/10	4	4000	712	126	22	4
16/14/11	5	8000	1425	253	45	8
17/15/12	6	16000	2650	506	90	16
18/16/13	7	32000	5700	1012	190	32
19/17/14	8	64000	11400	2025	360	64
20/18/15	9	128000	22800	4050	720	128
21/19/16	10	256000	45600	8100	1440	256
22/20/17	11	512000	91200	16200	2880	512
23/21/18	12	1024000	182400	32400	5760	1020

Table 5는 ISO 4406 Classes에서 3등분의 값 예) 20/18/15 NAS 9등급 표현을 나타내고 있다.

- ① 첫 번째 20은 4 μ m 보다 큰 입자가 5,000~10,000개 사이에 있다.
- ② 두 번째 18은 6 μ m 보다 큰 입자가 1,300~2,500개 사이에 있다.
- ③ 세 번째 15는 14 μ m 보다 큰 입자가 80~160개 사이에 있다. 좌측의 첫째 줄 ISO 4406의 20/18/15 비교하면 둘째 줄 NAS 9등급 입자의 크기 값은 동등하다는 것을 알 수 있다.[7]

2.5 오일 플라싱 시험장비 및 계측기 배치

플라싱 장비와 계측장비 배치는 Fig. 1의 사진을 볼 수 있고 Fig. 2에는 장비구성과 측정기의 위치를 나타내고 있다.

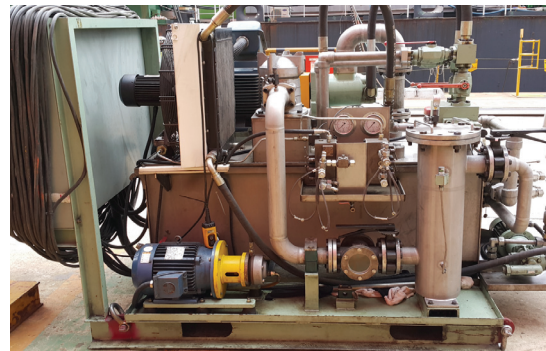


Fig. 1 Oil Flushing equipment photo appearance

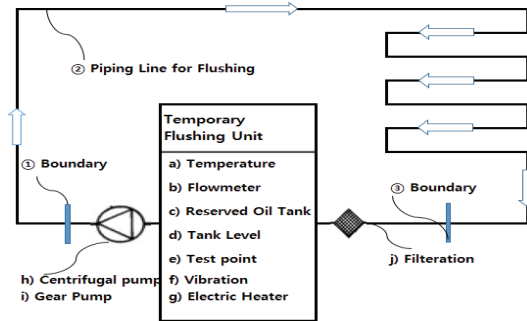


Fig. 2 Flushing general arrangement of test equipment

Fig. 2 에서 아라비아숫자의 설명은 순환되는 플러싱 오일의 배관 내경에 장비 입구사이에 필터 작용을 하는 여과 장치를 나타내고 있다.

- ① 오일 플러싱 펌프 출구 1차 스트레이너
- ② 배관 플러싱 순환 유동 흐름의 구성 설명
- ③ 오일 플러싱 필터 입구 2차 스트레이너

Fig. 2의 알파벳 영문자의 설명은 오일 플러싱 장비의 주변 계측 장치에 대한 것이다.

- ⓐ Temperature: 오일 플러싱 속의 온도측정
- ⓑ Flow Meter: 배관 내부의 유량 측정
- ⓒ Reserver Oil Tank: 순환 오일 저장소
- ⓓ Tank Level: 탱크 내부의 저장 양 측정
- ⓔ Test Point: 오일 플러싱 도중 시료 채취
- ⓕ Vibration: 오일 플러싱 도중 주기적 진동
- ⓖ Electric Heater: 온도 상승으로 유동성

2.6 이물질 제거를 위한 필터링 과정

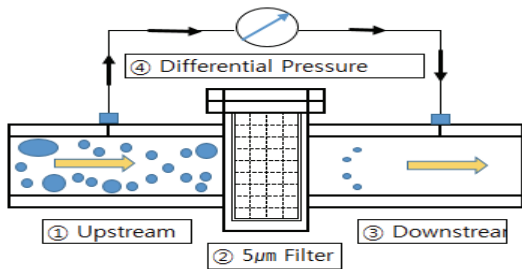


Fig. 3 Differential Pressure caused by foreign material pressure in filter

Fig. 3은 필터의 전단·후단의 차이 압력에 관한 설명이다. ①업 스트림의 고 수압력 ②5µm 2차 필터 ③다운스트림의 저 수압력 부분이 발생하며

필터를 통과하는 두 곳의 압력 차이를 볼 수 있다. ④필터 전단·후단의 차이압력이라고 한다. 플러싱용 장비에서 주기적으로 게이지상의 압력이 초과되면 필터를 새 것으로 교환해야 한다.[8] Fig 4는 플러싱 과정 도중에 주기적으로 시료측정을 위해 샘플링 용기 A, B, C 사진을 나타내고 있다.

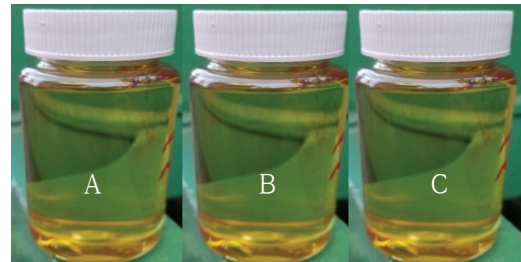


Fig. 4 Sampling Bottles of Flushing Oil

2.7 분석 측정기의 분석 과정 설명

Fig. 5는 배관 내부 플러싱 오일 시료를 분석하는 측정기이다. 오일 플러싱을 완성하면 오일 샘플링 용기에 시료를 채취하여 오염된 분자의 크기를 출력물을 통하여 볼 수 있다. ISO 4406 또는 NAS 1683에 준하는 청정도 등급의 최종 품질의 판정은 발주처의 건조 사양서 요구와 장비 제작사 등급이 일치하는 수준을 비교 검정 할 수 있다.



Fig. 5 The PorTable Oil Analyzer

Fig. 6은 FPSO 1척 분에 관한 주문주의 불만 사항을 기록한 것 중에 수분이 함유되어 품질 저하가 8건으로 상황을 나타내고 있다. 문제점 요인은 1차 화학 플라싱 작업완성 후 배관 하부 수분이 고여 있는 곡선 배관 부위까지 수분을 완전 제거해야하는 공정을 누락한 것으로 추정되었다. 2차 오일 플라싱은 기어식 순환 펌프 전용 장비로 바꾸어 작업한다. 이때 배관 속에 남아 있던 수분의 입자가 플라싱 오일 속에서는 거품으로 변하고 오일 분석기는 불순물 입자로 인식검출 되었다. 이로 인하여 국제 품질등급 ISO 또는 NAS 등급이 저하 되었다.

The Wrong quality factor analysis of 1 Ship/FPSO

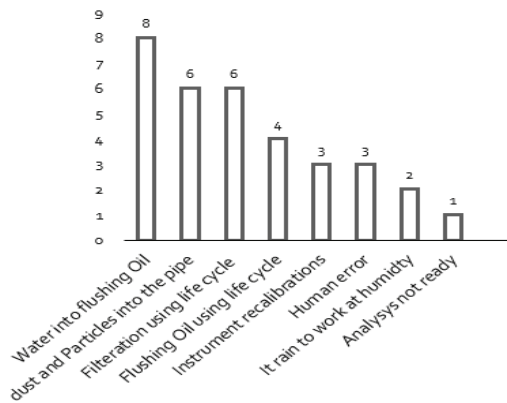


Fig. 6 The Result of Oil Flushing for Objection List

3. 결과 고찰 및 대응책

3.1 일렉트릭 히팅 엘리먼트의 교환

Table 6에서 현재 수분이 포함된 오일 플라싱의 문제점 해결을 위하여 오일 플라싱 장비 속해 있는 기존의 50Kw Heater 용량에서 60Kw와 70Kw로 증대하는 것으로 변화를 주어 실험하

였다. 오일 탱크의 상부 도어는 잭 볼트를 이용하여 10mm 씩 높은 공간을 주어 수분 증발이 용이할 수 있도록 하였다. 오일의 온도는 80°C 이상 일렉트릭 히팅을 가해 유증기를 발생시켜 수분을 대기로 증발시켰다. 오일 플라싱 순환 작업 시간은 16~18시간 소요되었다.

Table 6. Specification of Heating Element

Model	Capacity	E3	E4	E5
Power Consumption	KW	50	60	70
Elec. Power Supply	Volts	230	440	440
Weight	Kg	6.35	15.5	20.5
Length of HE	mm	330	530	666

3.2 오일 속의 수분 증발을 위한 일렉트릭 히터 변경

Fig. 7은 일렉트릭 히팅 엘리먼트의 용량이 기본 전력 50Kw를 60Kw와 70Kw 2종을 교환하면서 시험을 하였다. 60Kw의 오일 온도는 85°C에서는 문제가 없었다. 70Kw의 히팅 엘리먼트는 플라싱 온도가 95°C를 상승할 때 문제가 발생되었다. 압축 펌프 케이싱에 오일 기밀 유지를 위한 스프링이 포함된 오일 밀봉장치의 합성고무가 95°C의 고온 열에 변형되어 합성고무가 녹아 템포러리 펌프에서 누유가 발생되었다. 60Kw의 일렉트릭 히터가 합당하다는 것을 알았다.



Fig. 7 Electric Heating Element E3, E4 and E5

Fig. 8은 가, 나, 다 3개의 시료 병에 채취한 샘플링 시료를 나타낸다. 오일 측정 분석기는 결과 값을 측정하기 전에 유효기간 1년을 확인하고 검정과 교정이 되었는지 확인한다. 오일 분석의 결과 값은 분석 장치 몸체 프린트기로 출력 되어야 한다.



Fig. 8 Flushing Oil Condition Monitoring

3.3 오일 플러싱 재 검사 시료 분석 결과

Fig. 9는 온도와 시간을 비교하면서 E3 50Kw 히팅 엘리먼트와 E4 60Kw와 E5 70kw를 시험한 결과 그래프이다. E5 70Kw의 10시간 온도가 100°C를 도달하니 플러싱 장비의 오일펌프 측에서 누유가 발생 되었다. 누유의 원인은 펌프 케이싱용 샤프트 회전체를 감싸고 있는 합성고무의 오일 시일이 고온에 의해 변형되고 기능을 상실하여 누유가 발생 되었다. 결론은 E4 60Kw가 가장 안전하게 작업을 할 수 있었고 수분 증발용 온도는 합당 하였다.

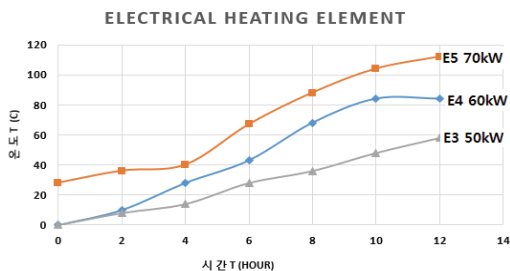


Fig. 9 The Compared to Temperature and Time

Fig. 10은 발주처의 사양서에 NAS 1638 규정에 따라 시료 채취 측정 결과 값을 프린트로 출력한 것이다. NAS Code 6등급을 만족하는 프린트 결과물이다.

TEST NUMBER	39			
TEST REF	CALIBRATION			
TEST TYPE	Dynamic			
ISO CODE	-			
15/14/11				
NAS CODE 6				
SAMPLE VOLUME 24ml				
µm(c)	/100ml	/100ml	/100ml	Average
4	29092	27370	34069	30177
6	11675	12058	17417	13715
14	1132	1274	1062	1156
21	283	389	424	365
25	177	318	212	235
38	35	35	70	46
50	0	0	0	0
70	0	0	0	0

Fig. 10 Result print sheet of Oil flushing without water

4. 결 언

본 연구에서는 템포러리 플러싱 장비를 사용하여 프로세스 배관 내부의 산세척 플러싱과 오일 플러싱에 관해 2가지 실험으로 수행하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 배관 내부의 오일 플러싱 작업 도중에 주기적으로 샘플 채취하여 관련규정 ISO 4406과 NAS 1686의 기준으로 값(등급)을 비교하였다. 오일 플러싱 장비와 배관 속에 문제요인은 플러싱 오일 속의 수분이 분석 장비에서 불순물 입자와 같이 인식되어 국제등급은 낮을수록 좋은데 높은 측정값이 나타나어 낮은 품질 결과가 나온 것을 확인할 수 있었다.

- (2) 1차 공정에서 화학적 산세척이 끝나고 배관 내부의 수분을 완전히 제거시키지 않고 2차 공정으로 오일 플러싱을 착수하면 수분을 불순물로 인식하여 시료 채취 결과가 불가피하게 나빠진다는 것을 알게 되었다.
- (3) 프로세스 배관 속에 오일 플러싱의 수분을 증발하기 위한 전기히터 용량을 50kw, 60Kw, 70kw의 3종을 번갈아 가며 실험을 하였다. 그 중에서 E4의 60Kw가 가장 최적임을 알 수 있었다.
- (4) 향후, 수분 제거 대응책으로는 1차 화학적 공정 플러싱 후, 2차 오일 플러싱 전에 반드시 배관 내부의 수분을 제거해야 한다. 조선소의 품질관리는 ITP (Inspection Test Plan)에 추가 삽입하여 발주처 입회 수행 검사한다.

후 기

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 해양 플랜트 머티리얼 핸들링 핵심기술 및 운영·유지 보수 위험도평가/관리 기술 개발(2/3)에 의해 수행 되었습니다(PES3081)

참고문헌

- [1] 박창수, 김형우 “해양플랜트 프로세스 배관 Pressure Leak Test의 품질특성에 관한 연구 한국산업융합학회 논문집 제 21권 제6호pp 429~437 (2018)
- [2] Morris Lubricants Safety Data Sheet Flushing Oil Section 9: Physical Properties U.K pp 4~8 (2015)
- [3] Process Piping Guide Revision2. ASME B31.3, Guide Appendix K, The American Society of Mechanical Engineers, USA, pp.153~155, (2009)
- [4] Process Piping Guide Revision2. ASME B31.3, Guide Appendix K, The American Society of Mechanical Engineers, USA, pp.156~158, (2009)
- [5] ACID Pickling Procedure, DOOSAN Engineering & Construction, Pickling and Passivation Procedure, South Korea pp, 4~5 (2012)
- [6] Guide to Contamination Standards, NAS 1638 Cleanliness Standard USA pp, 70 (1989)
- [7] Hydraulic Fluid Power Fluids Method for Coding The Level of Contamination by Solid Particles, ISO 4406 USA pp,1~4 (1999)
- [8] HYADAC Filter Systems GMBH Industriegebiet Sulzbach Saar, Partical Contamination Management From Processing to Delivery NAS 1638 Germany pp,15~16 (2009)

(접수: 2019.10.29. 수정: 2019.11.22. 게재확장: 2019.12.05.)