



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

석유화학용 펌프의 출하검사에 의한 부적합
사례의 분석 및 개선방안에 관한 연구



기 계 설 계 공 학 과

김 두 용

공 학 석 사 학 위 논 문

석유화학용 펌프의 출하검사에 의한 부적합
사례의 분석 및 개선방안에 관한 연구

지도교수 김 선 진

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2013 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

기 계 설 계 공 학 과

김 두 용

김 두 용의 공학석사 학위논문을

인준함



주 심 공학박사 김 영 식 (인)

위 원 공학박사 김 병 탁 (인)

위 원 공학박사 김 선 진 (인)

목 차

Abstract

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경 및 필요성	1
1.2 연구 목적	5
 제 2 장 석유화학용 펌프 및 부적합 사례	6
2.1 석유화학용 펌프	6
2.1.1 석유화학용 펌프의 개요	6
2.1.2 석유화학용 펌프의 분류	8
2.1.3 석유화학용 펌프의 특징	10
2.1.4 석유화학용 펌프의 검사	13
2.2 석유화학용 펌프의 부적합 사례	18
2.2.1 검사공정 별 부적합 사례	18
2.2.2 출하검사의 부적합 사례	21

제 3 장 출하검사의 부적합 사례 분석 및 고찰	24
3.1 Auxiliary Piping	25
3.2 Rust	27
3.3 Bolt/Nut	29
3.4 Driver	31
3.5 Painting	33
3.6 Packing	35
3.7 Document	37
3.8 Main Part	39
3.9 Accessary	41
3.10 Plugging	43
3.11 Auxiliary Part	45
제 4 장 부적합 사례의 개선방안	47
4.1 후속조치 및 사전조치 개선방안	47
4.2 개선방안의 실무 적용사례	56
제 5 장 결 론	59

A Study on Analysis and Improvement of Nonconformity Case
by Final Inspection in API Pump

Kim Doo Yong

Department of Mechanical Design Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Pump Inspection process is divided Incoming, Intermediate, Performance, Final stage and pump manufacturers and customers commonly had interest about result of performance up to recently. But as pump models are gradually to be patterned and standardized, customers having many operating experience are concerned more exterior of pump than performance test. Moreover because customers can first identify visual condition such as appearance, dimension, painting, packing as soon as pump is delivered at the site, it is important to minimize incidence rate of nonconformity at final inspection stage. Consequently global pump manufacturers constantly effort to improve pump quality at final inspection process.

As nonconformity case occurred at site is annually increasing and complicating, manufactures always realize that customer's judgement level is higher than their criterion. And customers decide quality level of pump manufacturer according to their standard that it was designated as nonconformity even parts considered as minor points for the manufacturer. Especially because API pump was designed complex assembly structure and severe inspection criterion, various and unpredictable nonconformity factors occasionally exist at final inspection process.

Therefore this thesis first counts and arranges nonconformity data detected at final inspection process for several years recently, and classify these data to eleven nonconformity cases occurred frequently, "Auxiliary Piping, Rust, Bolt/Nut, Driving, Painting, Packing, Document, Main Part, Accessary, Plugging, Auxiliary Part", then analyze about the detailed items and main cause as per incidence rate. Finally as considering the analysing result, it will be suggested the improvement of follow-up measure & preliminary action and show cases applied actually at final inspection process of pump manufacturer. As s result, these ways will resolve many serious problem such as increase of F-Cost, delay of customer deadline, failure of customer trust.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 필요성

18세기 오일러(Euler)에 의해 원심펌프의 이론이 정립된 이후 원심펌프는 다양한 구조로 개발되고 있으며, CAD와 같은 소프트웨어¹⁾를 통해 하이드로(Hydro)는 혁신적으로 발전하고 있다. 현재까지 수많은 펌프 제조사들이 끊임없이 연구개발에 투자를 하고 있지만, 원심펌프의 모델은 대부분 표준화, 제품화되어 있기 때문에 새로운 구조와 특징을 개발하는 것은 상당한 기간과 인력 그리고 투자비용이 요구된다. 그래서 각 회사의 연구소에서는 동일한 부품을 적용하면서 상대적으로 효율이 우수한 펌프 개발²⁾에 주력을 하고 있으며, 추가적으로 향후 운전 및 유지보수에 용이할 수 있도록 사용자 중심의 구조로 설계를 하는 것이 최근의 추세이다. 펌프 운전의 경험이 풍부한 고객사들은 주변에 부착되는 보조 배관, 보조 장치와 같은 외관 구성에 많은 관심을 보임에 따라 제조사들은 펌프 주변의 요소에도 품질을 확보할 수 있는 방안이 필요하게 되었다. Fig. 1.1은 Cooler 보조 장치에 보조배관으로 연결된 Flushing Line의 외관 구성을 나타낸다.

일반적인 산업플랜트의 내부 설비에서 펌프가 차지하는 비중은 1% 내외에 불과하지만, 만약 펌프의 이상 정지³⁾로 인해 Plant가 정지되었을 경우 1초마다 발생하는 공장의 손실은 상상을 초월한다. 예를 들어 정유공장에 사용되는 석유화학용 펌프 중 Revamping Pump의 경우 공장이 임시 가동중단 기간 동안 Maintenance를 반드시 완료해야 하는 장치이지만, 만약 제작 과정에서 예상치 못한 불량으로 인해 납기를

지연시킨다면, 그로 인해 발생하는 모든 손실을 제조사에서 감당해야 하는 상황이 초래될 수 있다.

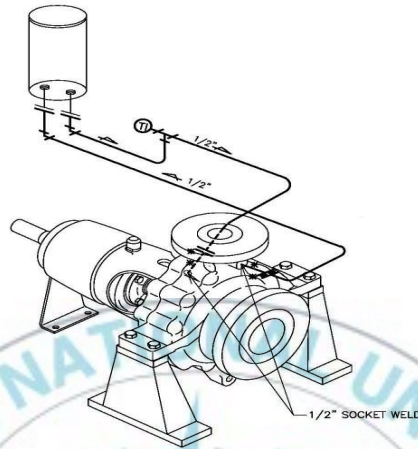


Fig. 1.1 펌프의 외관 구성

Table 1.1~1.4는 H사가 제작공정 별 발생한 불량사항을 관리하는 부적합보고서⁴⁾에서 2007~2011년까지 수입, 중간, 성능, 출하검사에서 발견된 제품군 별 불량률을 나타낸다. 4가지 표에 의하면 2007년 이후 수입, 중간, 성능검사에서 발견된 불량 건수는 년도 별 큰 변화가 없으나, 출하검사 공정에서 발견된 불량 건수는 2010년부터 급격하게 증가하고 있음을 알 수 있다. 수입검사의 경우 협력업체의 경쟁 입찰과 불량 삼진아웃제⁵⁾를 시행하여 품질을 확보하고 있으며, 중간검사의 경우 작업 기준 절차서⁶⁾의 수립 및 배포를 통해 규정에 맞는 작업과 모니터링을 실시하여 가공불량 건수를 낮게 유지하고 있다. 그리고 성능검사 공정은 과거 실적 데이터를 기반으로 설계처리 표준화를 구현하여 대형 및 고압펌프 개발품의 증가 수에 비하여 상대적으로 낮은 불량률 상승을 나타내고 있다.

그러나 출하검사에서 발견된 불량률은 수입, 중간, 성능검사 공정과 비교하여 최근 2년 동안 급격하게 증가하고 있으며, 특히 석유화학용 펌프에서 발생률이 높음을 알 수 있다. 이러한 현상은 최근 펌프의 대형화, 고압 화에 따라 펌프운전 시 상태 감시를 위해 다양한 보조 장치와 센서가 부착되고 있으며, 특히 석유화학용 펌프의 경우 복잡한 Piping System으로 구성됨에 따른 외관검사 대상 부위의 증가가 주된 원인으로 판단된다.

따라서 본 논문에서는 펌프검사 공정 중 최근 부적합 사항이 빈번히 발생하고 있는 출하검사 공정과 불량 발생률이 가장 높은 석유화학용 펌프를 연구의 대상으로 선정하였다. 그리고 불량이 중복해서 발생하는 사례에 대하여 불량 원인을 개선할 수 있는 방법을 제시할 수 있다면, 부적합 사항의 발생률 감소를 통해 불량 조치비용 절감과 납기 지연 방지 효과를 동시에 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

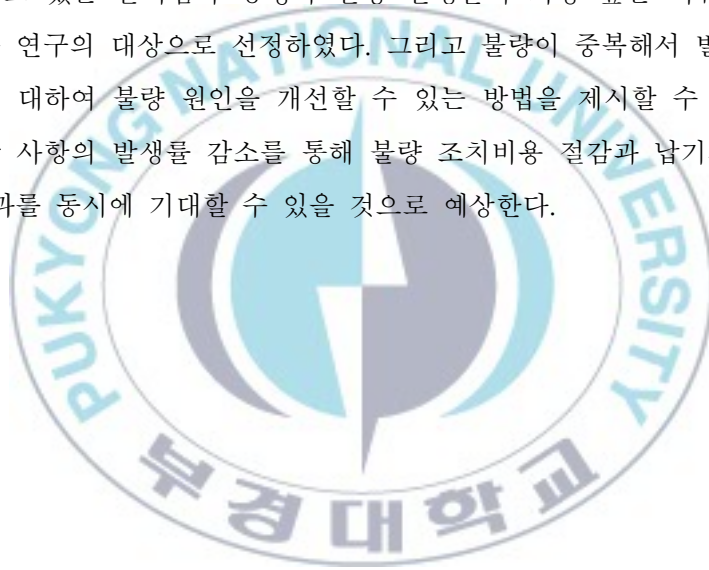


Table 1.1 수입검사 제품군 별 불량률

	2007	2008	2009	2010	2011
대형(%)	0.13	0.10	0.15	0.33	0.26
고압(%)		0.41	0.33	0.66	0.51
석유(%)		0.08	0.07	0.06	0.08

Table 1.2 중간검사 제품군 별 불량률

	2007	2008	2009	2010	2011
대형(%)	4.30	5.69	6.28	5.55	12.21
고압(%)		5.66	3.82	3.11	7.27
석유(%)		0.97	0.67	1.81	5.35

Table 1.3 성능검사 제품군 별 불량률

	2007	2008	2009	2010	2011
대형(%)	0.87	0.21	10.48	2.35	12.03
고압(%)		1.98	6.80	8.42	9.38
석유(%)		0.40	7.92	5.51	7.31

Table 1.4 출하검사 제품군 별 불량률

	2007	2008	2009	2010	2011
대형(%)	0.76	4.63	1.90	16.85	21.03
고압(%)		0.00	0.00	14.33	20.75
석유(%)		2.78	0.61	22.10	33.85

1.2 연구 목적

석유화학용 펌프는 제품의 특성 상 수많은 불량 부위가 존재함으로 인해 예측 불가능한 부적합 사항들이 발견될 확률이 높으며, 제품의 품질은 출하검사 엔지니어의 숙련도와 경험에 크게 좌우된다. 그리고 출하검사 공정에서 발견되는 부적합 사항에 대하여 빠르게 대응하지 못해 발생하는 납기 지연, 고객 신뢰도 저하 그리고 이어지는 추가 수주 물량의 감소는 제조사들의 성장흐름에 역행하는 불필요한 손실들이다. 그래서 본 연구에서는 석유화학용 펌프의 출하검사에 의해 최근 몇 년간 빈번하게 발견된 불량 데이터를 분류하여 부적합 사례 별 상세항목과 주요원인을 분석함으로써 향후 재발을 방지할 수 있는 개선방안을 제시하려고 한다.

서론에서는 석유화학용 펌프에서 수행하는 검사 공정 중 출하검사에 의한 부적합 사례를 분석한 연구배경 및 연구목적에 대하여 기술하였다.

제 2장에서는 석유화학용 펌프의 개요, 분류, 특징 그리고 검사 항목에 대해 설명하였다. 그리고 펌프의 검사공정 별 발견되는 부적합 사례와 출하검사의 일반적인 부적합 사례를 기술하였다.

제 3장에서는 출하검사에서의 주요 부적합 사례를 기술하였다. 총 11가지에 대한 부적합 항목을 기술하였고, 각 부적합 사례의 상세항목과 주요원인을 분석하고 고찰하였다.

제 4장에서는 부적합 사례 별 개선방안을 제시하였으며, 실제 업무에 적용한 사례를 통하여 연구 결과를 증명하였다.

제 5장에서는 본 연구의 결론을 요약하였다.

제 2 장 석유화학용 펌프 및 부적합 사례

2.1 석유화학용 펌프

2.1.1 석유화학용 펌프의 개요

펌프가 Pumping을 하는 기본 개념은 내부에 가득히 채워진 유체가 회전체의 움직임에 따라 원심력에 의해 바깥으로 비산되어 외부로 토출하는 과정에서 속도 에너지가 압력 에너지로 바뀌는 원리이다. 펌프의 성능을 판단하는 주요 변수로는 유량(Capacity), 양정(Head), 회전수(RPM), 효율(Efficiency), 동력(Power) 등이 있으며 펌프가 운전하는 동안 측정된 결과 값을 국내외 인증된 규격과 비교하여 성능의 합격유무를 판단한다.

베르누이의 정리 = 속도에너지 + 압력에너지 + 위치에너지 = 일정

펌프는 Plant Facility 내 사용 용도에 따라 크게 4가지로 분류되는데, 유틸리티에 사용하는 유체의 이송을 담당하는 General Service Pump, 낮은 압력의 유체(물) 이송을 담당하는 ANSI Pump, 석유화학 또는 가스 등의 고온, 고압의 오일 이송을 담당하는 API Pump 그리고 특수하게 높은 고온, 고압의 유체 이송을 담당하는 Boiler Feed Pump로 나뉜다. Fig. 2.1은 정유 공장에서 원유가 석유가 되기까지 각 설비 장소로 이송되기 위해 사용되는 석유화학용 펌프의 위치를 나타낸다.

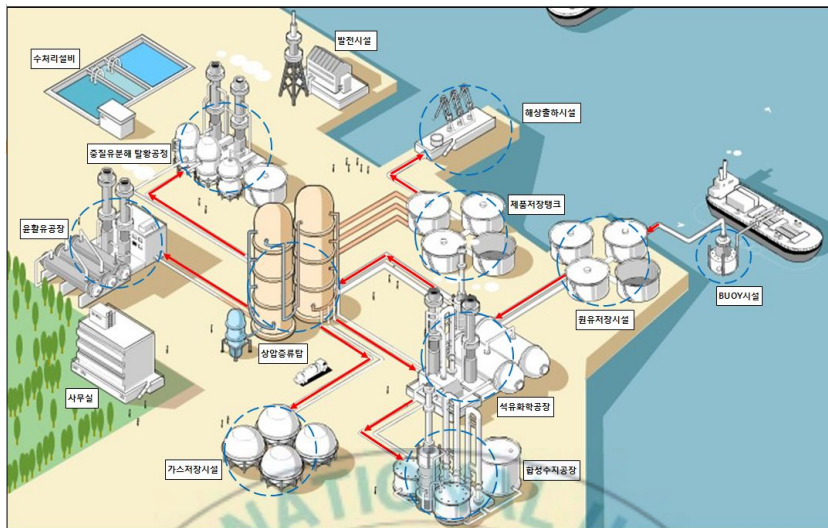
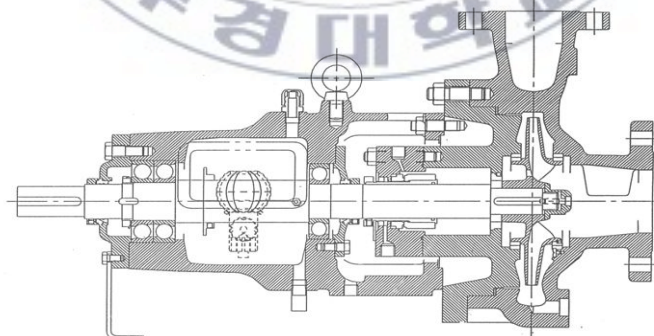


Fig. 2.2는 석유화학용 펌프의 대표적인 모델인 OH2 Type 펌프의 내부 구조⁷⁾를 나타내고 있으며, 케이싱 내부의 유체를 밖으로 정상적으로 토출하기 위해 축, 회전차, 웨어링, 베어링 등과 같은 부품들이 복잡하지만 유기적인 구조로 구성되어 있음을 알 수 있다.



2.1.2 석유화학용 펌프의 분류

Table 2.1은 석유화학용 펌프를 Pump Type과 Orientation에 따라 분류한 표⁸⁾를 나타낸다.

Table 2.1 석유화학용 펌프의 분류

Centrifugal Pump Classification Type Identification [API 610]				
Pump Type		Orientation		Type
Overhung	Flexibly coupled	Horizontal	Foot-mounted	OH1
			Centerline-supported	OH2
		Vertical in-line with bearing bracket		OH3
	Rigidly coupled	Vertical in-line		OH4
	Closed-coupled	Vertical in-line		OH5
		High-speed integrally geared		OH6
Between-bearings	1-and 2-stage	Axially split		BB1
		Radially split		BB2
	Multistage	Axially split		BB3
		Radially split	Single casing	BB4
			Double casing	BB5
Vertical suspended	Single casing	Discharge through column	Diffuser	VS1
			Volute	VS2
			Axial flow	VS3
		Separate discharge	Line shaft	VS4
			Cantilever	VS5
	Double casing	Diffuser		VS6
		Volute		VS7

Fig. 2.3은 석유화학용 펌프를 사용 용도와 내부 구조에 따라 분류한 그림⁹⁾을 나타내며, 일반적으로 OH1, OH2, BB2, VS6, BB3, BB4, BB5 Type의 모델들이 널리 사용되고 있다.

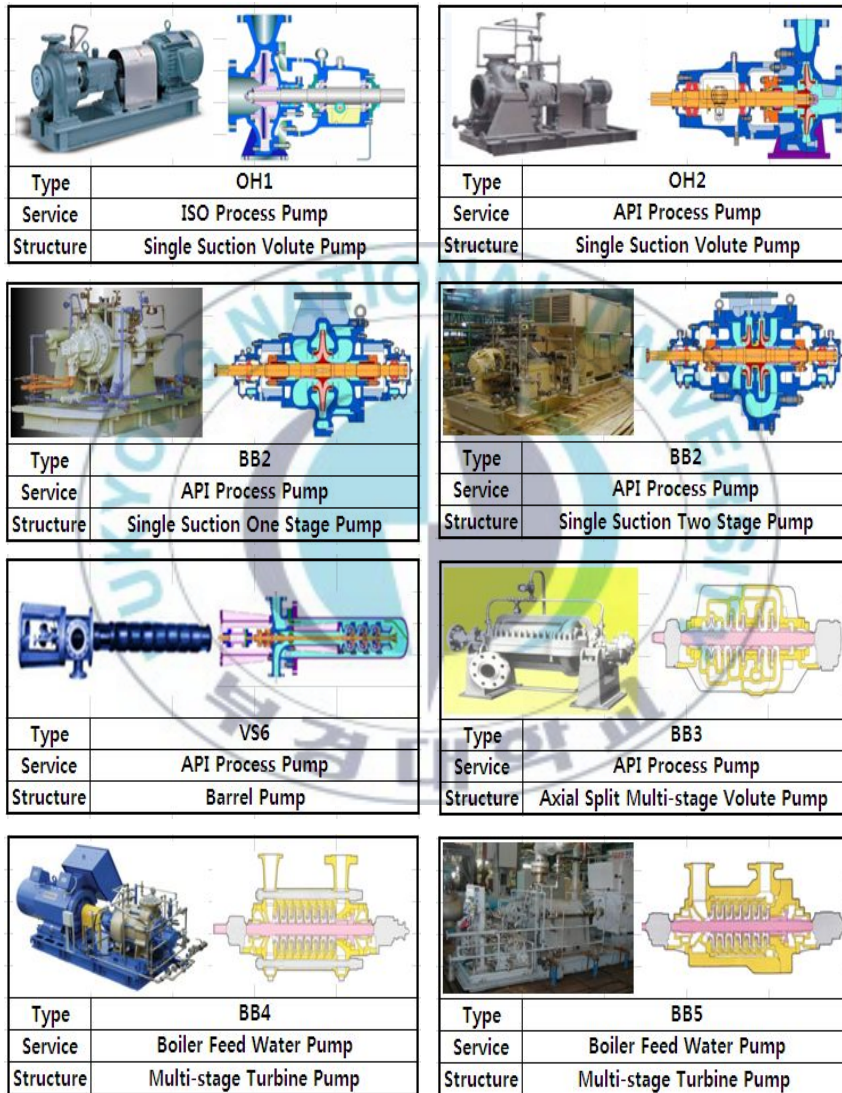


Fig. 2.3 석유화학용 펌프의 사용 용도와 내부 구조

2.1.3 석유화학용 펌프의 특징

석유화학공장에서 처리되는 유체는 대부분 고온, 고압의 특징을 가지고 있으며, 이러한 조건을 견딜 수 있는 펌프를 제작하기 위해서는 반드시 국제적으로 인증된 규격에 따라 설계를 해야 한다. 예를 들어 API 610 Code⁸⁾에 준하여 제작된 석유화학용 펌프의 경우, 최대 적용 가능한 유체의 온도는 제한이 없기 때문에 필요에 따라 400℃ 이상까지 고려할 수 있으며, 현장 조건의 제약에 따라 사용자의 요구 사항에 비표준 사양이 다수 포함되어 있더라도 펌프의 설계 단계에서 구조적으로 변경이 가능하다는 것이 특징이다.

Table 2.2 석유화학용 펌프의 기본 설계 조건

Code	API 610
Design	High Temperature & High Pressure
Plant	Oil Refineries, Petrochemical Industry
Service	Heavy Duty Service Pump

2.1.3.1 OH2 Type

Centerline mounted single-stage pump 구조⁸⁾에 Single bearing housing을 가진 펌프로, Centerline mounted 형식은 OH1 Type의 펌프가 극복하지 못한 고온, 고압의 환경을 견딜 수 있는 가장 이상적인 Mounting 방법이라고 할 수 있다. Table 2.3은 OH2 Type 펌프의 특징을 보여준다.

Table 2.3 OH2 Type 펌프의 특징

Max. Bore Dia.(mm)	300	Max. Flow Rate(m ³ /h)	2,000
Max. Head(m)	380	Max. Working Press.(Bar)	52
Application	Oil Refineries, Petrochemical Industry		
Characteristic	Lubrication : Flinger, Ring oil type, Purge oil mist		
	Mechanical Seal : API 682		

2.1.3.2 BB2 Type

Radially split, one and two stage, between bearing pump 구조⁸⁾를 가진 펌프로, BB1 Type과 동일한 양 흡입 형식의 장점을 가지고 있으면서 API 610에서 요구하는 Centerline mounted의 형상, 설계 압력, 설계 온도 등의 조건을 모두 갖추고 있다. 최근 BB Type의 펌프가 상용화되면서 대용량, 고양정의 펌프로 분류되는 제품군의 경우, 단순히 볼 베어링의 디자인으로 가혹한 운전 조건을 100% 견딜 수 없기 때문에 Journal bearing, Lube oil unit(강제윤활장치)과 같은 특수한 부품과 보조 장치가 적용되고 있으며, 펌프 운전 중 이상 증상을 신속히 진단할 수 있는 감지센서를 추가적으로 부착하는 사례가 증가하고 있다. Table 2.4는 BB2 Type 펌프의 특징을 보여준다.

Table 2.4 BB2 Type 펌프의 특징

Max. Bore Dia.(mm)	500	Max. Flow Rate(m ³ /h)	5,500
Max. Head(m)	550	Max. Working Press.(Bar)	52
Application	Oil Refineries, Petrochemical Industry		
Characteristic	Lubrication : Ring oil type, Purge/Pure oil mist		
	Mechanical Seal : API 682		

2.1.3.3 VS6 Type

입형 펌프에서 사용되는 Double-casing은 유체를 담아두는 기능을 가지고 있으며, 이것은 NPSH값과 연관된다. 예를 들어, 현장의 NPSHav값이 낮게 선정되거나 또는 펌프 설치 위치의 제약으로 인해 Suction Condition이 열악하다면 펌프에 주어지는 NPSHav값은 낮을 수밖에 없으므로 Pumping이 불가능할 확률이 높아진다. 그래서 VS6 Type의 펌프는 별도의 케이싱에 유체를 담아두는 구조⁸⁾를 가지고 있으며, Barrel의 총 길이는 펌프의 NPSHre값에 의해서 결정된다. Table 2.5는 VS6 Type 펌프의 특징을 보여준다.

Table 2.5 VS6 Type 펌프의 특징

Max. Bore Dia.(mm)	600	Max. Flow Rate(m ³ /h)	5,500
Max. Head(m)	1,000	Max. Working Press.(Bar)	150
Application	Oil and gas production, Oil Refineries,		
	Petrochemical Industry, Electric utilities etc		
Characteristic	Suction Can(Barrel) : The highly reliable welded barrel can easily meet local standards governing treatment of high pressure gasses.		

2.1.4 석유화학용 펌프의 검사

2.1.4.1 소재, 비파괴 검사

펌프 검사에서 가장 초기에 수행하는 단계로, 고객이 요구한 소재의 사양과 품질이 적용되었는지 확인하는 공정이다. 소재검사는 국제적으로 인증된 규격(Code)을 기준으로 CMTR(Certified Material Test Report)를 검토하고 PMI(Positive Material Identification)검사를 실시하여 양품을 검증한다. 비파괴 검사는 소재의 가공된 표면에 존재하는 결함을 검출하기 위해 PT를 실시하고 있으며, 표면의 내부 결함을 검출하기 위해 RT, UT, MT를 추가적으로 실시한다. Table 2.6은 펌프의 주요 부품에 적용하는 비파괴 검사의 방법⁸⁾을 나타낸다.

Table 2.6 펌프 부품 별 비파괴 검사 방법

Part	Inspection	Methods	Acceptance Criteria
Casing	PT, RT	ASME SEC. V, Art.6 ASME SEC. V, Art. 2	ASME SEC. VIII, Div.1, App.7
Impeller	PT	ASME SEC. V, Art. 6	ASME SEC. VIII, Div.1, App.7
Shaft	UT	ASME SA388	ASME SEC. VIII, Div.2, AM203.2
Weld Area	PT	ASME SEC. V, Art. 6	ASME SEC. VIII, Div.1, App.8

2.1.4.2 가공치수 검사

가공이 완료된 부품 형상에 대하여 도면을 기준으로 치수를 확인하는 검사 공정이며, 가공된 부위는 찍힘 또는 스크래치가 없어야 한다.

2.1.4.3. 수압 검사

펌프가 운전하는 동안 내부의 압력을 가장 많이 받는 케이싱 파트에 대하여 누수여부를 확인하는 검사 공정이며, 수압 검사에 적용되는 수압 압력, 검사 시간, 검사 액질은 고객사의 특별한 요구사항(Spec.)이 없는 경우 국제 규격에 따라 수행한다.

2.1.4.4 바란싱 검사

펌프의 Rotor부위에서 언밸런스한 부위를 찾아내어 한쪽 방향으로 휘둘리지 않도록 트리밍(Trimming)가공하여 조정하는 검사 공정이며, 국제 규격은 일반적으로 ISO 1940¹⁰⁾을 적용한다.

2.1.4.5 성능 검사

펌프의 검사 단계 중 고객사가 요구하는 사양대로 성능이 발휘하는지 확인하는 공정이며, 조립이 완료된 제품을 시험장으로 이동하여 설치, 운전, 검사의 과정을 통해 성능검사를 수행한다. 펌프가 운전하는 동안 연속적인 데이터를 모두 측정하는 것은 현실적으로 불가능하며 비효율적인 방법이기 때문에, 규격에 명시된 유량 점 별 양정, 동력 값을 측정하여 성능의 합격 여부를 판단한다. 예를 들어 석유화학용 펌프의 경우, API 610 Code에 따라 6개의 유량 점에서 검사를 실시한다.

2.1.4.6 운전 검사

성능검사를 수행하는 동안 펌프의 운전 상태를 확인하는 공정이며, 현장에서 펌프가 설치된 후 발생하는 하자 사례의 대부분이 펌프의 운전과 관련된 사항이므로 공장에서 검사를 수행하는 동안 각별한 주의가 요구된다. 주요 항목은 진동, 소음, 온도 그리고 Seal Leakage의 4가지로 나뉘지며 통상적으로 사양 유량 점에서 검사를 실시한다.

2.1.4.7 분해 검사

펌프가 운전하는 동안 유체의 접촉으로 인해 발생하는 이물질의 잔존여부와 부품 표면의 마찰로 인한 소손여부를 확인하는 검사 공정이다. 석유화학용 펌프의 경우, 현장에서 오일을 주로 사용하기 때문에 검사를 통하여 내부에 남아 있는 물기를 완전히 제거해야 하며, Rotor 부위에 대해서는 조립의 불량 또는 고 진동으로 인한 마찰정도를 반드시 확인하는 것이 필요하다. 만약 분해검사 과정에서 소손 정도가 경미한 부위를 발견할 경우, 향후 현장에서 장시간 운전 시 반복적인 마찰로 인해 부품의 안전성을 보장할 수 없으므로 반드시 수정을 통한 재시험을 실시해야 한다.

2.1.4.8 외관, 치수 검사

펌프 외관의 상태를 측정하여 도면과 일치여부를 확인하는 공정으로, 외형적인 측면에서 도면 정보에 기준한 검사와 더불어 향후 운영적 측면까지 고려할 수 있는 검사수준이 요구된다. 최근 급속도로 높아져 가는 고객사의 수준을 만족시키기 위해서는 제품을 직접 사용하는 오퍼레이터의 입장에서 펌프운전과 유지보수의 편의성까지 검증할 수 있는 기준이 필요하다. Fig. 2.4는 펌프 주변의 Aux. Piping 구성과 도면이 일치하고 있음에도 현장에서 유지보수 작업이 불편하다는 사유로 공장으로 반입된 사례의 제품을 나타낸다. 이와 같이 기본적인 검사 항목 외 별도의 기준이 필요한 사항을 살펴보면, 우선 도장의 상태를 꼽을 수 있다. 일반적으로 도장 검사는 도막의 두께와 색상을 확인하여 제품의 품질을 판단하지만, 현장으로 납품된 펌프의 도장 부위가 장기간 양호한 상태를 유지하기 위해서는 도장의 부착상태와 내부의 기공 함유량까지 검증할 수 있는 검사가 필요하다. 다음은 완성품의 상태로, 제품의 가공 면은 제조사에서 설계한 도면에 따라 작업이 실시되므로 대부분 양호한 상태이나, 가공이 적용되지 않는 부위의 경우 특별히 규정된 기준이 없으므로 표면이 심하게 거칠거나 특이한 부위에 대해서는 미관적인 측면에서 매끄럽게 처리하는 것이 필요하다. 마지막으로 유지관리와 안전성의 측면으로, 펌프의 주변에 설치된 보조배관의 경우 현장에서 유지보수 작업 시 취급하기 용이하게 구성되어야 하며, 사용자의 안전을 위해 회전체가 노출된 부위에 대해서는 보호 장치의 검토가 필요하다. 따라서 펌프의 외관검사는 단순히 도면과 상이한 부위만을 찾아내는 공정이 아닌, 실제 사용자의 입장에서 판단할 수 있는 마인드가 요구되는 검사 항목이다.

2.1.4.9 포장 검사

외관 검사가 완료된 제품이 향후 설치될 현장까지 안전하게 납품될 수 있도록 포장하는 과정을 확인하는 공정이다. 통상적으로 펌프 제조사들은 포장 작업의 전체 공정을 전문 업체에 의뢰하여 검사과정까지 위임하는 경우가 많은데, 실제로 제품이 운송되는 과정에서 발생한 부적합 사례들을 살펴보면 작업자가 포장 절차에 명시된 규정을 준수하지 않은 경우가 대부분이다. 특히 해외로 납품되는 제품의 경우 장기간 주위의 혹독한 환경에도 잘 견딜 수 있도록 특수 처리된 포장박스를 사용함에 따라 목재의 상태, 제품의 보호처리, 방습처리와 같은 항목에 집중적인 검사가 요구된다. 그리고 Spare part와 같은 부품들은 고객의 입회검사가 시행되지 않더라도 Packing List를 기준으로 자체적인 검사를 실시하여 누락이 되지 않도록 주의해야 하며, 포장박스 외벽에 기입된 Shipping Mark의 경우 출발지와 도착지의 정보를 정확하게 확인하여 현장에서 분실되지 않도록 하는 것이 중요하겠다. 다음 장에서는 석유화학용 펌프의 검사 공정에서 발생하는 부적합 사례를 살펴보고자 한다.

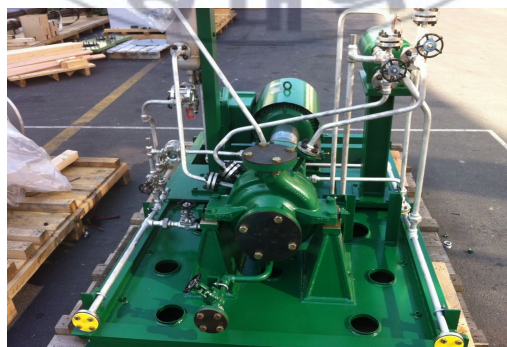


Fig. 2.4 Aux. Piping 구성의 부적합 사례

2.2 석유화학용 펌프의 부적합 사례

2.2.1 검사공정 별 부적합 사례

2.2.1.1 소재, 비파괴 검사

제조업체에서 입고된 부품이 수입검사 공정에서 부적합 사항으로 분류되는 경우는 제품의 재질, 외형, 치수와 도면이 서로 불일치하는 사례가 대부분이며, 가공 부위의 내부 또는 외부에 존재하는 결함들은 비파괴검사를 통해 발견되는 대표적인 부적합 사례이다. 본 검사 공정은 펌프의 조립에 사용되는 부품들의 기본적인 요구사항을 검증하는 단계로써, 제품이 최종 완성되기까지 펌프 품질의 초석이 된다. 예를 들어 UT검사를 실시하여 축의 내부에 존재하는 결함을 발견하였다면, 신속하게 부품을 교체함으로써 향후 펌프가 운전하는 동안 결함부위의 급작스런 균열현상으로 인해 발생할 수 있는 부품소손, 성능미달, 안전사고 위험을 사전에 예방할 수 있다.

2.2.1.2 수압, 바란싱 검사

Pressure Part에 해당하는 케이싱을 규정된 압력과 시간 동안 수압 검사를 수행하여 누수 또는 게이지의 압력이 떨어지는 현상이 발생할 경우 부적합 사항으로 판단하며, 압력과 검사 시간이 합격 기준을 만족 하더라도 고객사가 요구하는 Spec. 조건(케이싱 가스켓 및 사용 액질의 종류 등)을 적용하지 않았다면 합격이라고 할 수 없다. 바란싱 검사는 측정 기계에 올려진 Rotor의 Un-balance 수치를 기준치 이하까지 조정하여 합격 기준을 만족시키는데, 만약 부적합 부위가 존재하는 부품이 조립 공정에 사용된다면 향후 펌프가 운전하는 동안 과도한 진동으로 인해 부품손손, 성능미달, 안전사고 위험이 발생할 수 있다.

2.2.1.3. 성능, 운전, 분해 검사

펌프의 Pumping 능력을 측정하는 성능 및 운전 검사는 대부분의 고객사에서 입회를 요구하는 공정으로, 계약 초기 고객에서 제시한 펌프 규격과 요구사양을 기준하여 부적합 여부를 판단한다. 만약 성능시험을 통해 측정된 유량, 양정, 동력 값이 합격범위⁸⁾를 벗어난다면 고객이 요구하는 성능을 제대로 발휘하지 못함을 의미하므로, 회전체 가공과 같은 수정작업이 요구된다. 그리고 운전시험을 통해 측정된 진동, 소음, 온도 값이 합격범위를 벗어난다면 내부 부품의 마찰, 고 소음, 열화 현상으로 인한 수명저하, 성능미달, 안전사고의 위험이 발생할 수 있으므로, 발견되는 즉시 조치하여 재시험을 통한 검증이 수반되어야 한다.

2.2.1.4 외관, 치수, 도장, 포장검사

펌프의 외관 검사는 현장에서 고객의 Claim이 가장 먼저 발생할 확률이 높은 부위의 공정이므로 도면과 상이한 부위에 대하여 철저한 확인 작업과 향후 펌프의 유지보수 측면까지 고려한 품질수준의 검사가 요구된다. 출하검사 항목 중 외관검사는 펌프의 보조배관 및 보조 장치 부위와 도면의 불일치 여부를 확인하여 부적합 유무를 판별하며, 치수 검사는 베드의 홀 사이, 펌프의 흡입/토출 사이의 거리 등을 측정하여 도면의 공차범위를 벗어나는 정도로 부적합 부위를 선정한다. 그리고 도장검사는 외관상태, 도막두께, 도장색상과 같은 검사항목을 통해 도장의 부적합 사항을 확인하며, 포장검사는 포장박스의 목재상태 또는 Spare Part, Shipping Mark 등의 식별상태가 고객사의 요구사항을 준수하는지 확인하여 합격 여부를 판단한다. Fig. 2.5는 출하검사 항목 별 수행 사진을 나타낸다.

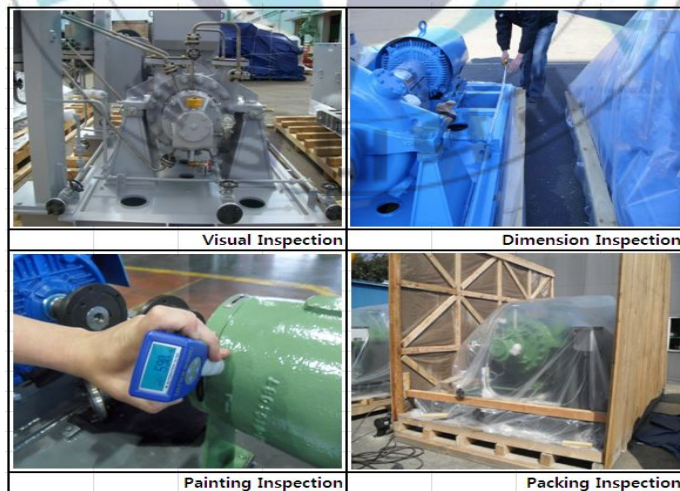


Fig. 2.5 출하검사 항목 별 수행 사진

2.2.2 출하검사의 부적합 사례

2.2.2.1 출하검사의 개요

Final Inspection은 성능검사 이후 출하되기 전까지의 단계에서 수행되는 검사 공정으로 출하검사 또는 최종검사로 불리 운다. 일반적으로 펌프검사의 주요 항목은 소재, 수압, 바란싱, 성능, 운전 검사로 분류되었으나, 최근 Hydro 기술력이 표준화, 정형화되면서 풍부한 양의 실적 데이터를 적용하여 설계된 사양과 실제 검사를 통해 측정된 값의 차이가 크지 않음을 인지하는 고객사들은 다른 검사 단계에서도 성능검사와 상응하는 품질을 요구하기 시작하였다. 그래서 입회검사를 위해 공장을 방문하는 고객사들의 성향을 살펴보면, 성능 시험의 경우 사양 점의 결과만을 확인한 후 펌프의 외관 상태 또는 보조 배관의 구성에서 부적합 사항을 확인하는데 더 많은 시간을 할애하고 있다. 특히 석유화학용 펌프의 경우 현장에서 발견되는 하자 사례들은 그 종류가 다양하고 예측 불가능한 사례들이 대부분이기 때문에, 제품이 현장으로 납품되기 전에 출하공정을 반드시 입회검사로 진행하기를 원하는 고객이 증가하고 있는 추세이다. 또한 펌프의 기술력이 고도화됨에 따라 Fig. 2.6과 같이 펌프의 기능을 보조하는 장치들의 수가 증가함으로 인해 추가적으로 발생하는 부적합 사항들에 대하여 사전에 조치방안을 수립하는 것이 필요하게 되었다.

국내 펌프제조회사 중 H사의 경우, 지난 수년간 성능과 운전 검사의 항목에 많은 연구와 비용을 투자하였지만, 최근 각종 석유화학 Plant에 납품한 펌프에서 발생한 Claim의 증가로 인해 장기간의 A/S 비용과 추가 수주물량이 감소함에 따라 혁신적인 대책방안이 필요하게 되었으며, 현재 출하검사 공정에서 다양한 개선방안¹¹⁾을 시행하고 있다.

출하공정에서 발생하는 부적합 사례에 대하여 체계적인 검사방법을 갖추고 있지 않은 많은 펌프 제조사들은 뚜렷한 개선방안 없이 Case by Case로 조치를 하고 있는 것이 현재의 실정이다. 따라서 본 연구에서는 출하공정에서 발생하는 부적합 사례에 대하여 개선방안을 제시하기 위해 최근 몇 년 간 출하검사 공정에서 발견된 부적합 데이터를 분류하였으며, 주요 부적합 사례들에 대한 상세 항목과 주요 원인을 분석하였다.



Fig. 2.6 보조 장치의 구성 형태

2.2.2.2 출하검사의 부적합 사례

Fig. 2.7은 출하검사 공정에서 발견되는 일반적인 부적합 사례를 나타내며, 검사 부위 별로 다양한 항목들이 존재하고 있음을 알 수 있다.



Fig. 2.7 출하검사 부위 별 부적합 사례

제 3 장 출하검사의 부적합 사례 분석 및 고찰

H사가 관리하는 부적합보고서에서 2007년부터 최근 5년간 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사례 중 불량률이 가장 높은 석유화학용 펌프에 대하여 데이터를 분석하였다. 이 중 부적합 사항이 유사한 항목을 Grouping 하였으며, 각 그룹을 대표할 수 있는 부적합 항목 명을 정의하였다. 그리고 항목 별로 부적합 사항이 중복해서 발생한 건수를 집계하여 높은 수치를 나타내는 사례 11가지를 분류할 수 있었으며, 이 항목들을 출하검사에 의해 발견되는 석유화학용 펌프의 대표적인 부적합 사례로 선정하였다.

본 연구에서는 “Auxiliary Piping, Rust, Bolt/Nut, Driver, Painting, Packing, Document, Main Part, Accessary, Plugging, Auxiliary Part”의 부적합 사례에 대하여 상세항목을 별 주요원인을 분석하여 재발을 방지할 수 있는 개선방안에 대하여 고찰하였다.

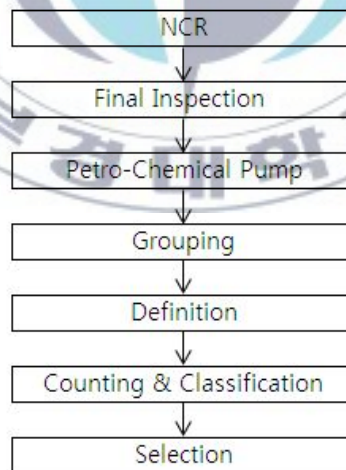


Fig. 3.1 출하검사의 부적합 사례 선정 절차

3.1 Auxiliary Piping

Fig. 3.2는 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사항 3300건 중 부적합보고서에 Auxiliary Piping과 관련하여 401건 등록된 부적합 사례의 상세항목 별 점유율을 나타낸다. 상세항목에서 승인도면과 불일치한 사례가 209건으로 50% 이상의 높은 비율을 차지하고 있으며 직진도, 평형도 불량과 보조배관의 외관오염이 다음을 차지하고 있음을 알 수 있다. Auxiliary Piping은 펌프 내부의 윤활, 냉각, 세척을 담당하는 부위로 Fig. 3.3과 같이 배관도면은 Piping의 끝단부가 Plug로 마감처리 되어있지만, 제품은 Elbow로 연결되어 제작됨에 따라 향후 Maintenance 시 Piping 내부의 액질을 완전히 배수하지 못하는 원인이 될 수 있다.



Fig. 3.2 Auxiliary Piping 부적합 사례의 상세항목 별 점유율

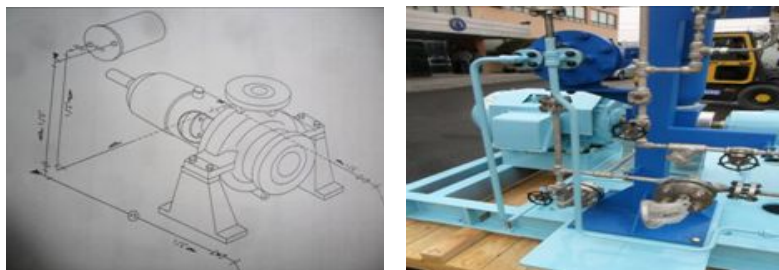


Fig. 3.3 Auxiliary Piping 부적합 사례의 예시

보조배관에서 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인은 Table 3.1과 같다. 작업자가 승인된 도면을 준수하지 않고 임의대로 작업하거나, 미 승인된 도면을 사용하여 작업함에 따라 도면과 불일치하는 제품이 제작될 수 있다. 직진도, 평형도 문제는 작업자의 배관도면 미준수로 인해서 발생할 수 있으며, 외관이 오염되는 사례는 공장으
로 입고된 배관 자재를 체계적으로 관리하지 못한 점이 주된 원인이다. 그리고 밸브 또는 Tag Plate의 누락은 작업자가 도면을 준수하지 않거나, 출하작업 기준을 정확히 인지하지 못하여 발생한 사례이다.

보조배관의 구성에서 도면과 불일치한 부위가 발생하는 가장 큰 원인은 승인된 도면을 준수하지 않고 작업하기 때문이므로, 작업자가 규정된 도면과 상이하게 제작하지 않도록 하기위한 개선책이 요구된다.

Table 3.1 Auxiliary Piping 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인

부적합 사례	상세 항목	주요 원인	비율(%)
Auxiliary Piping	승인도면 불일치	승인도면 미 준수	52
	직진도, 평형도	배관도면 미 준수	12
	보조배관 외관오염	자재관리 부재	10
	밸브 누락, 규격 불일치	승인도면 미 준수	8
	Tag 누락	출하기준 미 준수	5
	과도한 Bending	배관작업 부주의	3
	플랜지 Serration	자재관리 부재	3
	보조배관 구성	승인도면 미 준수	3
	용접 부 불량	용접기준 미 준수	2
	보조배관 Support 누락	출하기준 미 준수	2
			100

3.2 Rust

Fig. 3.4는 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사항 3300건 중 부적합보고서에 Rust와 관련하여 343건 등록된 부적합 사례의 상세항목 별 점유율을 나타낸다. 상세항목에서 펌프의 가공 면에 발생한 사례가 82건으로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며 보조배관 및 볼트/너트 부위, 보조 장치, 전동기, 베드 순으로 비율이 차지하고 있음을 알 수 있다. Fig. 3.5는 펌프의 흡입, 토출부와 현장의 배관과 접촉되는 부위를 장시간 동안 보호 처리를 소홀히 함에 따라 가공 면에 Rust가 발생한 사례로, 향후 깨끗이 세척하여 방청처리를 하지 않는다면 접촉면의 부식으로 인해 펌프 내부가 파손될 위험이 있다.



Fig. 3.4 Rust 부적합 사례의 상세항목 별 점유율

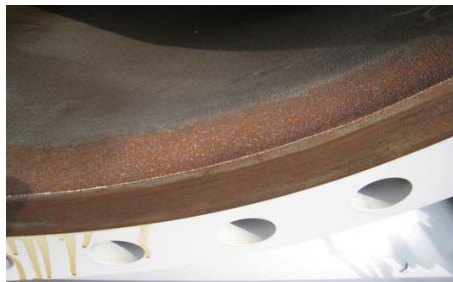


Fig. 3.5 Rust 부적합 사례의 예시

펌프에 Rust가 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인은 Table 3.2와 같다. 펌프의 외부에 노출된 가공부위와 도장 또는 방청 작업이 요구되는 재질의 배관부위는 보호처리를 하지 않는 경우 Rust가 쉽게 발생할 수 있으므로 작업자의 주의가 요구된다. 그리고 보조 장치, 전동기, 베드에 발생하는 Rust는 공장에서 장기간 보관되는 동안 제품의 관리부재가 주된 원인이다.

펌프 또는 주변 제품에서 Rust가 발생할 확률이 높은 부위를 도장 또는 방청 작업과 같은 어떠한 보호처리 없이 장기간 방치되는 문제점에 대하여 근본적인 개선책이 요구된다.

Table 3.2 Rust 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인

부적합 사례	상세 항목	주요 원인	비율(%)
Rust	펌프 가공 면	보호처리 누락	24
	보조배관, 볼트/너트	도장, 방청처리 누락	23
	보조 장치	제품관리 부재	20
	전동기	제품관리 부재	18
	베드	제품관리 부재	15
			100

3.3 Bolt/Nut

Fig. 3.6은 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사항 3300건 중 부적합보고서에 Bolt/Nut와 관련하여 232건 등록된 부적합 사례의 상세항목 별 점유율을 나타낸다. 상세항목에서 체결상태의 부적합 사례가 88건으로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며 승인도면 불일치와 나사산 길이에 대한 사항도 비슷한 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다. Fig. 3.7은 보조배관의 플랜지 부위에서 Bolt/Nut가 양호하게 체결되지 않아 현장에서 운송되는 중 풀림이 발생한 사례로, 이로 인해 향후 펌프 가동 중 배관 내부에서 유체가 누수 되는 사고가 발생할 수 있다.



Fig. 3.6 Bolt/Nut 부적합 사례의 상세항목 별 점유율



Fig. 3.7 Bolt/Nut 부적합 사례의 예시

Boly/Nut에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인은 Table 3.3과 같다. 플랜지 사이 연결부에 발생하는 체결의 품질상태는 작업자의 주의에 따라 크게 좌우되며, 도면에 명기된 Bolt/Nut의 규격과 상이한 자재가 사용되는 경우는 승인도면을 준수하지 않고 작업함에 따른 결과이다. 그리고 Bolt/Nut의 체결부위가 최소 3산 이상을 유지해야 하는 작업 기준에 대하여 작업자가 충분히 인지할 수 있도록 사전 교육이 필요하다.

펌프 연결 부위의 Bolt/Nut에 발생하는 부적합 사례는 대부분 체결 작업 과정에서 작업자의 부주의 또는 작업 기준에 대한 미숙련으로 인해 발생하므로, 체결작업 기준에 대하여 Skill을 향상시킬 수 있는 개선책이 요구된다.

Table 3.3 Bolt/Nut 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인

부적합 사례	상세 항목	주요 원인	비율(%)
Bolt/Nut	플랜지 체결상태	체결작업 부주의	38
	승인도면 불일치	승인도면 미 준수	35
	나사산 길이	체결기준 미 준수	27
			100

3.4 Driver

Fig. 3.8은 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사항 3300건 중 부적합보고서에 Driver와 관련하여 266건 등록된 부적합 사례의 상세항목 별 점유율을 나타낸다. 상세항목에서 윤활제 주입구에서 발생한 사례가 61건으로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며 단자박스에서 발생한 손상과 부착품의 누락 문제가 다음을 차지하고 있음을 알 수 있다. 전동기에서 Grease를 주입하는 부위는 Fig. 3.9와 같이 외부에 쉽게 노출되는 곳이므로 이물질의 유입으로 인한 내부 회전부의 이상이 발생하지 않도록 항상 막음처리에 대한 주의가 요구된다.

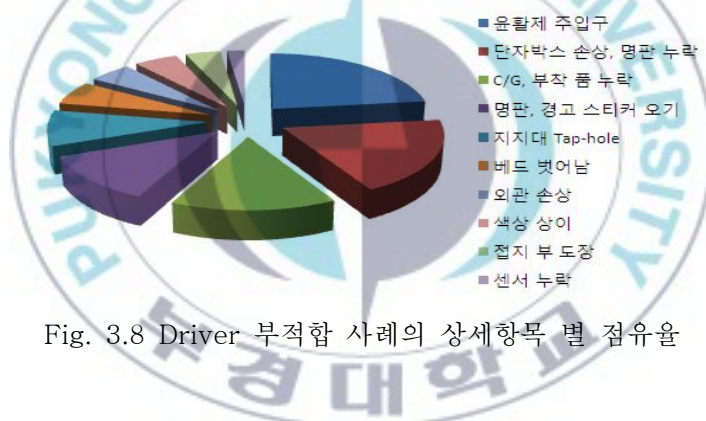


Fig. 3.8 Driver 부적합 사례의 상세항목 별 점유율



Fig. 3.9 Driver 부적합 사례의 예시

Driver에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인은 Table 3.4과 같다. 펌프 운전 후 구동 기의 사용이 완료되면 외부 이물질이 삽입되는 문제를 방지하기 위해 반드시 윤활제 주입구를 Cap으로 막음처리해야 하며, 단자박스 손상 및 명판 누락, Gland Cable 및 부착품 누락, 명판 및 경고 스티커 오기와 같은 사항은 제조업체의 검사누락이 주된 원인이므로 향후 출장검사 또는 입고검사에서 세심한 검사가 요구된다. 그리고 지지대 Tap-hole 부위의 개구부는 작업자가 출하작업 기준을 정확히 인지하지 못하여 발생한 사례이다.

제조업체의 출하검사 공정에서 제품의 손상, 누락, 오기와 같은 부적합사항이 누락되어 납품되지 않도록 제조업체의 품질을 높일 수 있는 개선책이 요구된다.

Table 3.4 Driver 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인

부적합 사례	상세 항목	주요 원인	비율(%)
Driver	윤활제 주입구	사후관리 부재	23
	단자박스 손상, 명판 누락	제조업체 검사누락	19
	C/G, 부착 품 누락	제조업체 검사누락	15
	명판, 경고 스티커 오기	제조업체 검사누락	12
	지지대 Tap-hole	출하준비 부주의	9
	베드 벗어남	출하기준 미 준수	6
	외관 손상	제품관리 부재	5
	색상 상이	제조업체 검사누락	5
	접지 부 도장	제조업체 검사누락	4
	센서 누락	제조업체 검사누락	2
			100

3.5 Painting

Fig. 3.10은 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사항 3300건 중 부적합 보고서에 Painting과 관련하여 329건 등록된 부적합 사례의 상세항목 별 점유율을 나타낸다. 상세항목에서 펌프의 주요자재와 전동기에서 발생한 사례가 191건으로 50% 이상의 높은 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다. 그러나 부적합 사항이 빈번히 발생하는 현상은 특정 부위에 상관없이 도막 두께, 도장 색상, 외관 상태의 불량에 주된 원인으로, Fig. 3.11은 케이싱 부위를 검사한 결과가 절차서에 명시된 합격치보다 높게 측정된 과 도막 상태의 부적합 사례를 나타낸다.

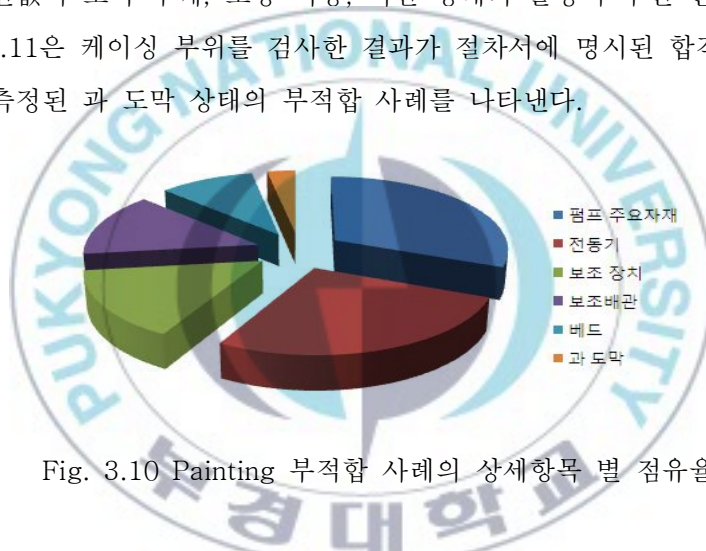


Fig. 3.10 Painting 부적합 사례의 상세항목 별 점유율



Fig. 3.11 Painting 부적합 사례의 예시

Painting 부위에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 및 주요원인은 Table 3.5와 같다. 펌프의 주요자재 또는 보조배관 부위는 작업자가 고객이 요구하는 도장 절차를 준수하지 않고 작업함에 따라 두께 미달, 색상 상이, 홀러내림과 같은 문제점이 발생할 수 있다. 그리고 전동기, 보조 장치, 베드의 경우 제조업체의 검사누락이 주된 원인이므로 향후 출장검사 또는 입고검사 단계에서 세밀한 검사가 필요하다.

부적합 사례가 발생하는 주요 원인은 도장 작업자가 절차를 준수하지 않고 작업함에 따른 미숙련 때문이므로 도장작업 기준에 대하여 Skill을 향상시킬 수 있는 방안이 요구되며, 외주에서 입고되는 제품에 대해서 제조업체의 품질을 높일 수 있는 개선책이 요구된다.

Table 3.5 Painting 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인

부적합 사례	상세 항목	주요 원인	비율(%)
Painting	펌프 주요자재	절차서 미 준수	31
	전동기	제조업체 검사누락	27
	보조 장치	제조업체 검사누락	15
	보조배관	절차서 미 준수	14
	베드	제조업체 검사누락	10
	과 도막	도장작업 부주의	3
			100

3.6 Packing

Fig. 3.12는 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사항 3300건 중 부적합보고서에 Packing과 관련하여 279건 등록된 부적합 사례의 상세항목 별 점유율을 나타낸다. 상세항목에서 포장박스의 외관에서 발생한 사례가 103건으로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며 Shim-plate, Coupling 누락이 다음을 차지하고 있음을 알 수 있다. Packing 과정에서 박스 외벽에 발견되는 웅, 틈새, 곰팡이들은 현장에서 운송 중 박스의 파손으로 인한 제품 및 인명사고의 원인이 될 수 있으므로 Fig. 3.13과 같은 상태가 발견되는 즉시 신규 교체가 요구된다.



Fig. 3.12 Packing 부적합 사례의 상세항목 별 점유율



Fig. 3.13 Packing 부적합 사례의 예시

Packing 과정에서 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인은 Table 3.6과 같다. 웅, 틈새, 표면얼룩, 곰팡이, 파손, 찌름 등의 현상은 포장작업에 사용되는 목재관리의 부재로 인해 발생하며, Packing List에 명시되지 않은 Spare Part들은 출하과정에서 누락되기 쉬우므로 반드시 작성자의 주의가 요구된다. 그리고 포장박스 내부 자재들의 포장상태가 취약하거나 Shipping Mark에 오기가 발견되는 문제는 포장업체 작업자의 부주의가 주된 원인이다.

포장 작업에 사용되는 목재를 장기간 효율적으로 관리할 수 있는 방법과 출하과정에서 Spare Part 및 Loose Part의 누락을 방지할 수 있는 근본적인 개선책이 요구된다.

Table 3.6 Packing 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인

부적합 사례	상세 항목	주요 원인	비율(%)
Packing	포장박스 외관상태	목재관리 부재	37
	Shim-Plate 누락	Packing List 누락	21
	Coupling 누락	Packing List 누락	12
	Spare Part 포장상태	포장기준 미 준수	10
	Shipping Mark 오기	기입작업 부주의	6
	Spare Part 식별	식별 Tag 누락	5
	Liner 누락	Packing List 누락	4
	포장박스 내부 상태	포장기준 미 준수	3
	Orifice 누락	Packing List 누락	2
			100

3.7 Document

Fig. 3.14는 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사항 3300건 중 부적합보고서에 Document와 관련하여 216건 등록된 부적합 사례의 상세항목 별 점유율을 나타낸다. 상세항목에서 도면 승인지연으로 발생한 사례가 65건으로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며 검사, 게이지, 검, 교정 성적서와 관련된 사항도 비슷한 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다. 제품이 현장으로 납품되기 전에 고객의 입회를 받기 위해서는 도면이 반드시 고객으로부터 승인되어야 하나, 관련부서의 승인업무 지연으로 인해 공정진행이 중단되는 사례가 빈번히 발생한다. Fig. 3.15는 고객으로부터 Reject된 Stamp를 받은 도면의 승인상태를 나타낸다.

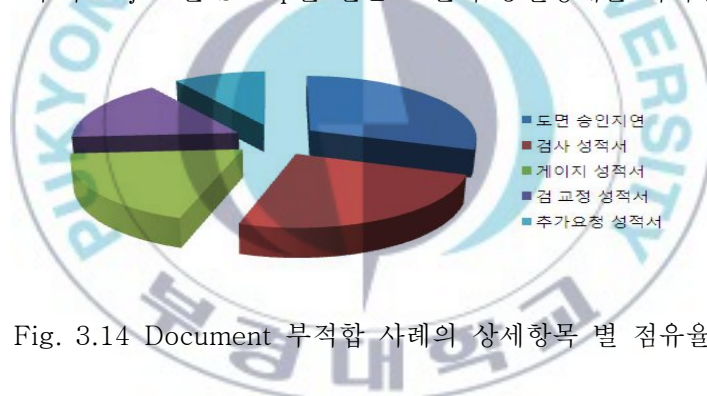


Fig. 3.14 Document 부적합 사례의 상세항목 별 점유율

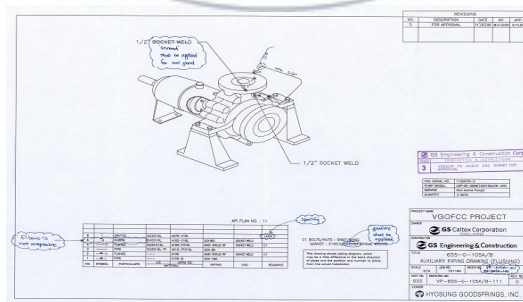


Fig. 3.15 Document 부적합 사례의 예시

Document 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인은 Fig 3.7과 같다. 제품 도면의 승인업무가 지연되는 주된 이유는 설계자가 고객이 요구하는 조건을 정확히 이해하지 못함에 따른 제출의 지연으로 인해 발생한다. 그리고 검사성적서, 게이지 성적서, 검 교정 성적서, 추가요청 성적서의 경우 검사 담당자가 고객의 입회검사 전까지 반드시 준비해야 하는 서류임을 명심해야 한다.

제품이 출하검사 입회를 진행할 수 있는 상태임에도 Document의 고객 승인이 지연되어 검사를 진행할 수 없는 상황이 발생하지 않도록 근본적인 개선책이 요구된다.

Table 3.7 Document 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인

부적합 사례	상세 항목	주요 원인	비율(%)
Document	도면 승인지연	도면 제출지연	30
	검사 성적서	사전 준비지연	25
	게이지 성적서	사전 준비지연	19
	검 교정 성적서	사전 준비지연	16
	추가요청 성적서	사전 준비지연	10
			100

3.8 Main Part

Fig. 3.16은 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사항 3300건 중 부적합보고서에 Main Part와 관련하여 312건 등록된 부적합 사례의 상세항목 별 점유율을 나타낸다. 상세항목에서 케이싱의 Serration 면, 그랜드커버의 도장부위, 베어링하우징의 오일미스트 가공부위, 베드의 Support 용접부위에 발생하는 사례가 전체적으로 고르게 차지하고 있음을 알 수 있다. Main Part에서 발생하는 부적합 사항들은 종류의 수만큼 예측 불가능한 경우가 대부분이나, 사진 관리를 통해 불량량을 감소시킬 수 있는 항목도 다수 존재한다. Fig. 3.17은 케이싱 Serration¹²⁾가공 후 자재관리 부재로 인해 찍힘 손상이 발생한 사례를 나타낸다.

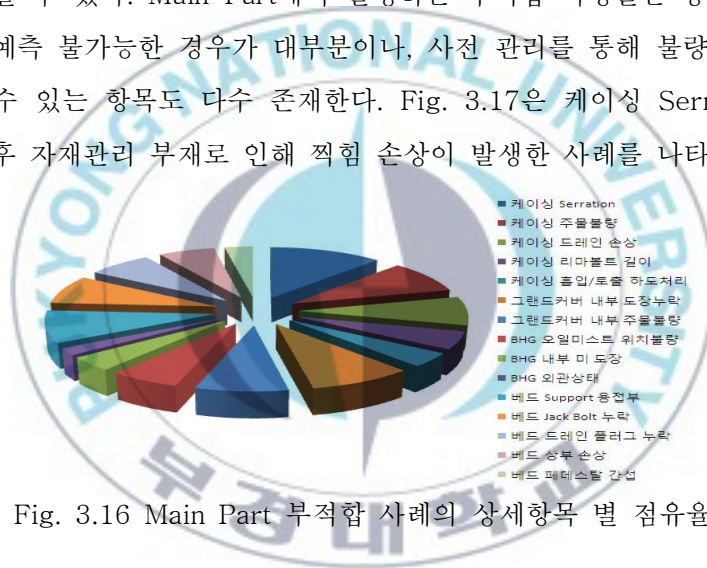


Fig. 3.16 Main Part 부적합 사례의 상세항목 별 점유율



Fig. 3.17 Main Part 부적합 사례의 예시

Main Part에서 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인은 Table 3.8과 같다. 케이싱에서 흡입, 토출 플랜지의 Serration 면에 발생하는 손상문제는 공장 내 이동, 보관되는 자재들에 대한 관리절차의 개선이 필요한 사항이다. 그리고 그랜드커버 특정 부위의 중복적인 도장누락, 베어링하우징의 상부 측 오일미스트 주입부의 위치불량, 베드와 연결되는 용접부의 이물질발생 사례는 각 공정 별 작업기준의 미준수가 주된 원인이다.

부적합 사례들은 대부분 도장작업, 가공작업, 용접작업에 대한 기준을 준수하지 않고 작업함에 따른 미숙련으로 인해 발생하므로, 공정 별 작업 기준에 대하여 Skill을 향상시킬 수 있는 개선책이 요구된다.

Table 3.8 Main part 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인

부적합 사례	상세 항목	주요 원인	비율(%)
Main Part	케이싱 Serration	자재관리 부재	12
	케이싱 주물불량	제조업체 검사누락	9
	케이싱 드레인 손상	자재관리 부재	8
	케이싱 리마볼트 길이	출하기준 미 준수	5
	케이싱 흡입/토출 하도처리	도장작업 누락	4
	그랜드커버 내부 도장누락	도장기준 미 준수	9
	그랜드커버 내부 주물불량	제조업체 검사누락	8
	BHG 오일미스트 위치불량	가공기준 미 준수	6
	BHG 내부 미 도장	도장기준 미 준수	4
	BHG 외관상태	자재관리 부재	2
	베드 Support 용접부	용접기준 미 준수	9
	베드 Jack Bolt 누락	출하기준 미 준수	8
	베드 드레인 플러그 누락	출하기준 미 준수	7
	베드 상부 손상	출하기준 미 준수	6
	베드 페데스탈 간섭	제조업체 검사누락	3
			100

3.9 Accessory

Fig. 3.18은 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사항 3300건 중 부적합보고서에 Accessory와 관련하여 382건 등록된 부적합 사례의 상세항목 별 점유율을 나타낸다. 상세항목에서 명판, Tag, 센서, 게이지 누락이 발생한 사례가 149건으로 전체 비율의 40%를 차지하고 있음을 알 수 있다. Accessory 자재의 누락은 설계 단계에서 발주 누락으로 인한 원인이 대부분이며 향후 재발주로 인해 납기지연의 주요 원인이 될 수 있으므로 설계 엔지니어의 주의가 요구된다. Fig. 3.19는 진동 감지센서에 부착되어야 하는 식별용 Tag가 누락된 사례를 나타낸다.

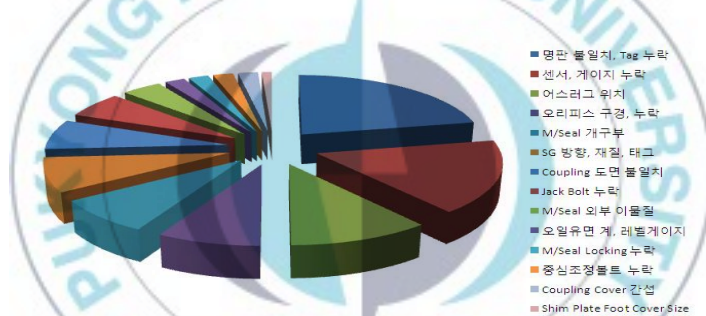


Fig. 3.18 Accessory 부적합 사례의 상세항목 별 점유율



Fig. 3.19 Accessory 부적합 사례의 예시

Accessory에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인은 Table 3.9와 같다. 펌프의 설계 단계에서 발생하는 도면 검토 및 발주 처리 누락은 펌프 주변에 부착되는 명판, Tag, 센서, 게이지, 오리피스 자재에 대한 도면 불일치 불량과 누락 사례의 주요 원인으로 작용한다. 그리고 어스러그, M/Seal, Sight Glass에 발생하는 부적합 사항들은 대부분 작업자가 출하작업 기준을 정확히 준수하지 않아 발생한다.

최근 펌프에 부착되는 Accessory의 종류는 다양해지고 개수는 증가함에 따라 설계처리 누락과 출하작업 누락이 발생할 확률이 높아지고 있으므로, 자재발주의 누락을 방지할 수 있는 시스템 개발과 출하작업 기준에 대하여 Skill을 향상시킬 수 있는 개선책이 요구된다.

Table 3.9 Accessory 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인

부적합 사례	상세 항목	주요 원인	비율(%)
Accessory	명판 불일치, Tag 누락	설계검토 누락	22
	센서, 게이지 누락	설계발주 누락	17
	어스러그 위치	승인도면 미 준수	11
	오리피스 구경, 누락	설계검토 누락	8
	M/Seal 개구부	출하기준 미 준수	8
	SG 방향, 재질, 태그	출하기준 미 준수	8
	Coupling 도면 불일치	설계검토 누락	7
	Jack Bolt 누락	출하기준 미 준수	6
	M/Seal 외부 이물질	출하기준 미 준수	4
	오일유면 계, 레벨게이지	출하기준 미 준수	2
	M/Seal Locking 누락	출하기준 미 준수	2
	중심조정볼트 누락	출하기준 미 준수	2
	Coupling Cover 간섭	설계검토 누락	2
	Shim Plate Foot Cover Size	설계검토 누락	1
			100

3.10 Plugging

Fig. 3.20은 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사항 3300건 중 부적합보고서에 Plugging과 관련하여 255건 등록된 부적합 사례의 상세항목 별 점유율을 나타낸다. 상세항목에서 보조배관의 플랜지, 펌프의 흡입토출 부위, 베드의 드레인 홀에서 발생하는 사례가 242건으로 90% 이상의 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다. Plugging은 외부의 이물질이 들어가는 것을 막아주는 기능을 하는 자재로, 현장에서 장기 보관되는 제품의 보호처리를 위해 필수적인 출하준비 사항이다. Fig. 3.21은 펌프의 케이싱 드레인 부위에서 발견된 개구부를 나타낸다.



Fig. 3.20 Plugging 부적합 사례의 상세항목 별 점유율



Fig. 3.21 Plugging 부적합 사례의 예시

각 주요자재에서 막음처리와 관련한 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인은 Table 3.10과 같다. 보조배관의 플랜지 및 벤트 부위, 펌프의 흡입, 토출, 드레인 부위 그리고 베드의 드레인 홀 부위에 발생하는 개구부는 작업자가 출하작업 기준을 준수하지 않고 작업함에 따라 발생한다. 그리고 보조 장치, 전동기의 경우 제조업체에서 검사누락한 부위에 대하여 출장검사 또는 입고검사 단계에서 세밀한 검사가 필요하다.

개구부에 발생하는 부적합 사례는 출하준비 과정에서 작업 기준을 준수하지 않고 작업함에 따른 미숙련으로 인해 발생하므로, 출하작업 기준에 대하여 Skill을 향상시킬 수 있는 개선책이 요구된다.

Table 3.10 Plugging 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인

부적합 사례	상세 항목	주요 원인	비율(%)
Plugging	보조배관 플랜지, 벤트	출하기준 미 준수	40
	펌프 흡입, 토출, 드레인	출하기준 미 준수	34
	베드 드레인 홀	출하기준 미 준수	21
	보조 장치	제조업체 검사누락	3
	전동기	제조업체 검사누락	2
			100

3.11 Auxiliary Part

Fig. 3.22는 출하검사 공정에서 발견된 부적합 사항 3300건 중 부적합보고서에 Auxiliary Part와 관련하여 285건 등록된 부적합 사례의 상세항목 별 점유율을 나타낸다. 상세항목에서 Reservoir 외관오염과 Tag의 누락 사례가 154건으로 전체의 50% 이상을 차지하고 있음을 알 수 있다. Auxiliary Part에 발견되는 부적합 사항들은 제품이 입고되어 출하되기 전까지 공장 내 관리의 부재로 인해 대부분 발생하는데, Fig. 3.23은 Cooler 장치가 공장에 입고되어 1개월 후에 사용된 경우로 신규 교체가 필요할 정도로 외관이 심하게 손상된 사례를 보여준다.

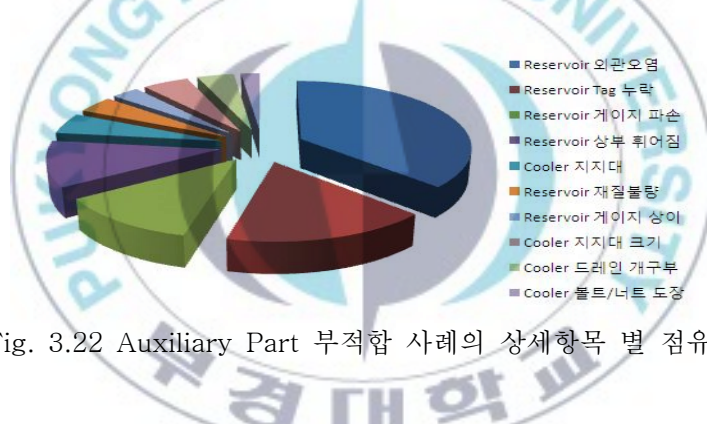


Fig. 3.22 Auxiliary Part 부적합 사례의 상세항목 별 점유율



Fig. 3.23 Auxiliary Part 부적합 사례의 예시

보조 장치에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인은 Table 3.11과 같다. 보조 장치가 공장에 입고되는 시점부터 펌프에 부착되기 전까지 발생하는 외관오염, 파손, 손상 등의 문제는 공장 내 장기 보관되는 제품에 대하여 관리절차의 개선이 필요한 사항이다. 그리고 보조 장치에 부착되는 Tag의 누락 또는 도면과 불일치하는 사례는 제조업체의 검사누락이 주요 원인이므로 출장검사 또는 입고검사 단계에서 세밀한 검사가 필요하다.

Reservoir, Cooler와 같은 보조 장치에 발생하는 부적합 사례는 외부에서 입고되는 제품에 대한 체계적인 관리절차의 부재가 주된 원인이므로, 외주 구매품의 관리 방법에 대한 개선책이 요구된다.

Table 3.11 Auxiliary Part 부적합 사례의 상세항목 별 주요원인

부적합 사례	상세 항목	주요 원인	비율(%)
Auxiliary Part	Reservoir 외관오염	제품관리 부재	37
	Reservoir Tag 누락	제조업체 검사누락	17
	Reservoir 게이지 파손	제품관리 부재	12
	Reservoir 상부 휘어짐	제품관리 부재	11
	Cooler 지지대	제조업체 검사누락	5
	Reservoir 재질불량	제조업체 검사누락	4
	Reservoir 게이지 상이	제조업체 검사누락	3
	Cooler 지지대 크기	설계검토 누락	5
	Cooler 드레인 개구부	제조업체 검사누락	4
	Cooler 볼트/너트 도장	제조업체 검사누락	2
			100

제 4 장 부적합 사례의 개선방안

4.1 후속조치 및 사전조치 개선방안

본 4장에서는 앞서 분석한 11가지 부적합 사례 별 주요원인에 대하여 해결방안을 제시하려고 한다. 우선 각각의 부적합 사례에서 불량 발생률이 높은 상위 5가지 항목에 대하여 즉시 조치할 수 있는 방안과 향후 재발을 방지할 수 있는 방안을 동시에 제시하였으며, 사전조치 개선방안이 실제 펌프회사의 출하검사 공정에 적용한 사례를 통해 연구 결과의 효과를 증명하였다.

4.1.1 Auxiliary Piping

Auxiliary Piping에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안은 Table 4.1과 같다. 규정도면을 준수하지 않고 작업함에 따른 보조배관의 도면 불일치, 직진도/평형도 불량, 외관오염, 밸브누락, Tag누락 사항은 승인 도면을 기준으로 수정 작업을 통해 조치할 수 있다. 그러나 향후 재발을 방지하기 위해 출하준비 작업자를 대상으로 국내 석유화학 Plant 별 규정된 Spec.에 의해 작성된 도면을 정확하게 해석하는 교육을 실시해야 한다. 또한 공장 내 별도의 보관 장소를 확보하여 자재 종류 별 관리를 해야 하며, 보조배관 작업자를 대상으로 직진도, 평형도의 합격 기준에 대한 교육을 실시해야 한다.

Table 4.1 Auxiliary Piping 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안

부적합 사례	상세 항목	후속조치 개선방안	사전조치 개선방안
Auxiliary Piping	승인도면 불일치	도면기준 수정	배관도면 교육
	직진도, 평형도	도면기준 수정	배관도면 교육
	보조배관 외관오염	오염부위 세척	별도 보관 장소 확보
	밸브 누락, 규격 불일치	도면기준 수정	배관도면 교육
	Tag 누락	부착	출하작업 기준 교육
	상위 5개 불량항목 : 87% 점유		

4.1.2 Rust

주요 부품에 Rust 발생으로 인한 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안은 Table 4-2와 같다. 펌프의 가공 면, 보조배관, 볼트/너트, 보조장치, 전동기, 베드에 발생하는 Rust는 세척 작업 후 방청 처리를 통해 조치할 수 있다. 그러나 향후 재발을 방지하기 위해 출하준비 작업자를 대상으로 주요 프로젝트 별 고객이 입회검사에서 지적한 사례를 통해 발청 방지방법 및 방청 기준을 준수하는 교육을 실시해야 하며, 녹이 쉽게 발생하는 부위에 대하여 사전에 별도의 보호처리가 요구된다.

Table 4.2 Rust 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안

부적합 사례	상세 항목	후속조치 개선방안	사전조치 개선방안
Rust	펌프 가공 면	세척 후 방청처리	발청 방지방법 교육
	보조배관, 볼트/너트	세척 후 방청처리	재질 방청기준 교육
	보조 장치	세척 후 방청처리	별도 보호처리
	전동기	세척 후 방청처리	별도 보호처리
	베드	세척 후 방청처리	별도 보호처리
	상위 5개 불량항목 : 100% 점유		

4.1.3 Bolt/Nut

Bolt/Nut에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안은 Table 4.3과 같다. 플랜지의 체결상태, 승인도면 불일치, 나사산의 길이로 인한 부적합 사항은 작업 기준(체결수준, 3산 등)과 도면을 기준으로 수정 작업을 통해 조치할 수 있다. 그러나 향후 재발을 방지하기 위해 출하준비 작업자를 대상으로 배관취부 작업 절차서¹³⁾를 준수하는 교육을 실시해야 한다.

Table 4.3 Bolt/Nut 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안

부적합 사례	상세 항목	후속조치 개선방안	사전조치 개선방안
Bolt/Nut	플랜지 체결상태	체결부위 수정	체결작업 기준 교육
	승인도면 불일치	도면기준 수정	배관도면 교육
	나사산 길이	3산 수정	체결작업 기준 교육
	상위 3개 불량항목 : 100% 점유		

4.1.4 Driver

펌프에 부착되는 Driver에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안은 Table 4.4와 같다. 윤활제 주입구 및 지지대 Tap-hole부 개구부는 발견 즉시 막음처리 해야 하며, 단자박스 손상, 부착 품 누락, 명판/경고 스티커 오기 사항은 제조업체의 A/S를 통해 조치할 수 있다. 그러나 향후 재발을 방지하기 위해 출하준비 작업자를 대상으로 작업 기준에 대한 교육 실시와 주요 제조업체의 전동기 사양 불일치로 인한 불량률 상승을 감소시키기 위해 출장 및 입고검사를 강화해야 한다.

Table 4.4 Driver 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안

부적합 사례	상세 항목	후속조치 개선방안	사전조치 개선방안
Driver	윤활제 주입구	Cap 막음처리	사후관리 기준 교육
	단자박스손상, 명판누락	제조업체 A/S 수정	출장, 입고검사 강화
	C/G, 부착 품 누락	제조업체 A/S 수정	출장, 입고검사 강화
	명판, 경고 스티커 오기	제조업체 A/S 수정	출장, 입고검사 강화
	지지대 Tap-hole	막음처리	출하작업 기준 교육
	상위 5개 불량항목 : 78% 점유		

4.1.5 Painting

펌프 외관의 Painting 부위에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안은 Table 4.5와 같다. 펌프의 주요자재, 전동기, 보조 장치, 보조배관, 베드에 발생하는 부적합 사항은 규정된 도장 절차를 준수하여 수정하고 제조업체의 A/S를 통해 조치할 수 있다. 그러나 향후 재발을 방지하기 위해 도장 작업자를 대상으로 도장검사 절차서¹⁴⁾를 준수하는 교육을 실시해야 하며, 제조업체에 대한 출장 및 입고검사를 강화해야 한다.

Table 4.5 Painting 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안

부적합 사례	상세 항목	후속조치 개선방안	사전조치 개선방안
Painting	펌프 주요자재	절차서 기준 수정	도장절차서 교육
	전동기	제조업체 A/S 수정	출장, 입고검사 강화
	보조 장치	제조업체 A/S 수정	출장, 입고검사 강화
	보조배관	절차서 기준 수정	도장절차서 교육
	베드	제조업체 A/S 수정	출장, 입고검사 강화
	상위 5개 불량항목 : 97% 점유		

4.1.6 Packing

제품을 보호하는 Packing 부위에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안은 Table 4.6과 같다. 포장박스 외관, Spare Part 포장, Shipping Mark에 발생하는 부적합 사항은 목재의 보강과 포장절차를 기준으로 수정 작업을 통해 조치할 수 있다. 그러나 향후 재발을 방지하기 위해 장기 보관에 우수한 재질의 사양으로 목재를 변경해야 하며, Packing List에 모든 Spare Part와 Loose Part 항목을 반드시 기재해야 한다. 또한 Spare Part 포장상태 불량 및 Shipping Mark 오기를 개선하기 위해 포장 작업자를 대상으로 포장 절차서¹⁵⁾를 준수하는 교육을 실시해야 한다.

Table 4.6 Packing 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안

부적합 사례	상세 항목	후속조치 개선방안	사전조치 개선방안
Packing	포장박스 외관상태	목재 보강 or 교체	목재사양 변경
	Shim-Plate 누락	Spare Part 재준비	Packing List 기입
	Coupling 누락	Spare Part 재준비	Packing List 기입
	Spare Part 포장상태	절차서 기준 수정	포장절차서 교육
	Shipping Mark 오기	절차서 기준 수정	포장절차서 교육
	상위 5개 불량항목 : 86% 점유		

4.1.7 Document

Document에서 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안은 Table 4.7과 같다. 펌프와 관련된 모든 사양서와 검사성적서, 게이지, 검 교정 성적서 등은 반드시 출하검사 전에 고객의 승인을 득해야 하며, 미 승인된 서류에 대해서는 최소한 조건부 승인까지 받아 검사를 진행할 수 있도록 해야 한다. 그러나 향후 재발을 방지하기 위해 주요 프로젝트 별 PIM 회의를 통해 고객과 협의한 사항에 따라 제작 및 검사공정이 진행되기 전 반드시 조건부 이상의 승인을 득해야 한다.

Table 4.7 Document 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안

부적합 사례	상세 항목	후속조치 개선방안	사전조치 개선방안
Document	도면 승인지연	조건부 승인 이상	공정 전 도면 승인
	검사 성적서	성적서 준비	공정 전 서류 준비
	게이지 성적서	성적서 준비	공정 전 서류 준비
	검 교정 성적서	성적서 준비	공정 전 서류 준비
	추가요청 성적서	성적서 준비	공정 전 서류 준비
	상위 5개 불량항목 : 100% 점유		

4.1.8 Main Part

제품의 Main Part에서 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안은 Table 4.8과 같다. 케이싱의 Serration 부위, 그랜드커버의 미 도장 부위, 베어링하우징의 미 가공 부위, 베드의 Support 부위에 발생하는 부적합사항은 재가공, 재 도장, 이물질 제거를 통해 조치할 수 있다.

그러나 향후 재발을 방지하기 위해 특정부위에 대한 별도의 보호처리를 해야 하며, 작업자를 대상으로 중복도장누락, 가공부위마킹, 용접작업조건을 개선하기 위해 작업 표준으로 등록된 도장 절차서¹⁴⁾, 가공 절차서¹⁶⁾, 용접 절차서¹⁷⁾를 준수하는 교육을 실시해야 한다.

Table 4.8 Main Part 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안

부적합 사례	상세 항목	후속조치 개선방안	사전조치 개선방안
Main Part	케이싱 Serration	재가공 작업	별도 보호처리
	그랜드커버 내부 도장누락	재도장 작업	도장작업 기준 교육
	BHG 오일미스트 위치불량	재가공 작업	가공작업 기준 교육
	베드 Support 용접 부	이물질 제거 작업	용접작업 기준 교육
	베드 Jack Bolt 누락	부착 작업	출하작업 기준 교육
	상위 5개 불량항목 : 56% 점유		

4.1.9 Accessory

펌프 주변에 부착되는 Accessory에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안은 Table 4.9와 같다. 명판 불일치, Tag누락, 센서누락, 게이지누락, 어스러그 위치불량, 오리피스 구경상이, M/Seal 개구부로 인한 부적합 사항은 설계 담당자의 재 발주 및 출하 작업자의 수정 작업을 통해 조치할 수 있다. 그러나 향후 재발을 방지하기 위해 설계 부서의 Design Error로 인한 불량률 상승을 감소시킬 수 있는 방안으로 설계도면 표준화 시스템 개발이 필요하며, 출하준비 작업자를 대상으로 작업 기준에 대한 교육을 실시해야 한다.

Table 4.9 Accessory 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안

부적합 사례	상세 항목	후속조치 개선방안	사전조치 개선방안
Accessory	명판 불일치, Tag 누락	재 발주 후 수정	설계도면 표준화
	센서, 게이지누락	재 발주 후 수정	설계도면 표준화
	어스러그 위치	도면기준 수정	출하작업 기준 교육
	오리피스 구경, 누락	재 발주 후 수정	설계도면 표준화
	M/Seal 개구부	막음처리	출하작업 기준 교육
	상위 5개 불량항목 : 66% 점유		

4.1.10 Plugging

펌프 주변의 개구부 노출로 인한 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안은 Table 4.10과 같다. 보조배관의 플랜지 및 벤트, 펌프의 흡입/토출 및 드레인 부위, 베드의 드레인 홀 부위, 보조 장치, 전동기의 개구부에 발생하는 개구부는 막음처리 작업과 제조업체의 A/S 수정을 통해 조치할 수 있다. 그러나 향후 재발을 방지하기 위해 출하준비 작업자를 대상으로 출하검사 절차서¹⁸⁾를 준수하는 교육을 실시해야 하며, 제조업체의 출장 및 입고검사를 강화해야 한다.

Table 4.10 Plugging 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안

부적합 사례	상세 항목	후속조치 개선방안	사전조치 개선방안
Plugging	보조배관 플랜지, 벤트	막음처리	출하작업 기준 교육
	펌프 흡입, 토출, 드레인	막음처리	출하작업 기준 교육
	베드 드레인 홀	막음처리	출하작업 기준 교육
	보조 장치	제조업체 A/S 수정	출장, 입고검사 강화
	전동기	제조업체 A/S 수정	출장, 입고검사 강화
	상위 5개 불량항목 : 100% 점유		

4.1.11 Auxiliary Part

펌프의 Auxiliary Part에 발생하는 부적합 사례의 상세항목 별 개선 방안은 Table 4.11과 같다. Reservoir의 외관오염, Tag 누락, 게이지 파손, 상부 휘어짐, Cooler 지지대 불일치로 인한 부적합 사항은 사내 조치 또는 제조업체의 A/S 수정을 통해 조치할 수 있다. 그러나 향후 재발을 방지하기 위해 사외창고 개선을 통한 공장 외 별도의 보관 장소를 확보하여 관리하는 시스템¹⁹⁾ 운영이 필요하며, 제조업체의 출장 및 입고검사를 강화해야 한다.

Table 4.11 Auxiliary Part 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안

부적합 사례	상세 항목	후속조치 개선방안	사전조치 개선방안
Auxiliary Part	Reservoir 외관오염	외관 세척	별도 보관 장소 확보
	Reservoir Tag 누락	제조업체 A/S 수정	출장, 입고검사 강화
	Reservoir 게이지 파손	제조업체 A/S 수정	별도 보관 장소 확보
	Reservoir 상부 휘어짐	제조업체 A/S 수정	별도 보관 장소 확보
	Cooler 지지대	제조업체 A/S 수정	출장, 입고검사 강화
	상위 5개 불량항목 : 82% 점유		

4.2 개선방안의 실무 적용사례

H사는 최근 출하검사 공정에서 급격하게 증가하고 있는 석유화학용 펌프의 불량률을 감소하기 위해 2012년도부터 출하공정 시스템을 강화하고 있으며, 아래와 같은 10가지 항목을 시행하고 있다.

- 1) 출하검사 Check Sheet 작성 (제작 및 검사부서 Cross Check)
- 2) 출하준비조 전담인원 배치
- 3) 출하검사원 전담인원 배치
- 4) 출하검사 자체 전수 실시
- 5) 출하작업 기준에 대한 사내직원 정기교육
- 6) 출하작업 기준에 대한 협력업체 정기교육
(협력업체 : 소재, 가공, 장치, 배관, 용접, 도장, 포장업체 등)
- 7) 별도 보관창고 운영 및 관리
- 8) 출장검사 기준 강화 및 인원보강
- 9) Packing List 항목 전수검사 실시
- 10) Design Error 방지를 위한 도면 표준화 시스템 운영

Table 4.12는 11가지 대표적인 부적합 사례의 상세항목 별 개선방안과 실무 적용사례를 나타낸다. 1)~4)항은 이전부터 출하검사 공정에서 운영되고 있는 기본사항이며, 5)~10)항은 최근에 도입된 개선사항으로 본 연구에서 제시한 개선방안이 실제 공정에서 부적합 사례 별로 적용되고 있음을 알 수 있다. Table 4.13은 2012년 상반기 출하검사 공정에 발견된 제품군 별 불량률을 나타낸다. 전체적으로 불량률이 감소하고 있는 추이를 보이고 있으며, 특히 석유화학용 펌프의 경우 26.19%의 불량률이 감소되는 효과를 가져왔다.

따라서 본 연구에서는 제시한 개선방안이 실무에서 적용된 사례를 통하여 펌프의 품질개선과 F-Cost 절감의 효과에 우수함을 알 수 있었으며, 석유화학용 펌프를 전문으로 하는 제조회사의 출하검사 공정에서 충분히 적용이 가능할 것으로 판단하였다.



Table 4.12 부적합 사례의 상세항목 별 실무 적용사례

부적합 사례	상세 항목	사전조치 개선방안	실무 적용사례
Auxiliary Piping	승인도면 불일치	배관도면 교육	1) 2) 3) 4) 5) 6)
	직진도, 평형도	배관도면 교육	1) 2) 3) 4) 6)
	보조배관 외관오염	별도 보관 장소 확보	1) 2) 3) 4) 7)
Rust	펌프 가공 면	발청 방지방법 교육	1) 2) 3) 4) 5)
	보조배관, 볼트/너트	재질 별 방청기준 교육	1) 2) 3) 4) 5)
	보조 장치	별도 보호처리	1) 2) 3) 4) 7)
Bolt/Nut	플랜지 체결상태	체결작업 기준 교육	1) 2) 3) 4) 5) 6)
	승인도면 불일치	배관도면 교육	1) 2) 3) 4) 5) 6)
	나사산 길이	체결작업 기준 교육	1) 2) 3) 4) 5) 6)
Driver	윤활제 주입구	사후관리 기준 교육	1) 2) 3) 4) 5)
	단자박스 손상, 명판 누락	출장, 입고검사 강화	1) 2) 3) 4) 8)
	C/G, 부작 품 누락	출장, 입고검사 강화	1) 2) 3) 4) 8)
Painting	펌프 주요자재	도장절차서 교육	1) 2) 3) 4) 6)
	전동기	출장, 입고검사 강화	1) 2) 3) 4) 8)
	보조 장치	출장, 입고검사 강화	1) 2) 3) 4) 8)
Packing	포장박스 외관상태	목재사양 변경	1) 2) 3) 4) 6)
	Shim-Plate 누락	Packing List 기입	1) 2) 3) 4) 9)
	Coupling 누락	Packing List 기입	1) 2) 3) 4) 9)
Document	도면 승인지연	공정 전 도면 승인	1) 2) 3) 4) 5)
	검사 성적서	공정 전 서류 준비	1) 2) 3) 4) 5)
	게이지 성적서	공정 전 서류 준비	1) 2) 3) 4) 5)
Main Part	케이싱 Serration	별도 보호처리	1) 2) 3) 4) 7)
	그랜드커버 내부 도장누락	도장작업 기준 교육	1) 2) 3) 4) 6)
	BHG 오일미스트 위치불량	가공작업 기준 교육	1) 2) 3) 4) 6)
Accessory	명판 불일치, Tag 누락	설계도면 표준화	1) 2) 3) 4) 10)
	센서, 게이지 누락	설계도면 표준화	1) 2) 3) 4) 10)
	어스러그 위치	출하작업 기준 교육	1) 2) 3) 4) 5)
Plugging	보조배관 플랜지, 밴드	출하작업 기준 교육	1) 2) 3) 4) 5)
	펌프 흡입, 토출, 드레인	출하작업 기준 교육	1) 2) 3) 4) 5)
	베드 드레인 홀	출하작업 기준 교육	1) 2) 3) 4) 5)
Auxiliary Part	Reservoir 외관오염	별도 보관 장소 확보	1) 2) 3) 4) 7)
	Reservoir Tag 누락	출장, 입고검사 강화	1) 2) 3) 4) 8)
	Reservoir 게이지 파손	별도 보관 장소 확보	1) 2) 3) 4) 7)

Table 4.13 출하검사 제품군 별 불량률

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
대형(%)	0.76	4.63	1.90	16.85	21.03	11.11
고압(%)		0.00	0.00	14.33	20.75	20.00
석유(%)		2.78	0.61	22.10	33.85	7.66

제 5 장 결 론

본 논문에서는 석유화학용 펌프에서 출하검사에 의해 발견된 부적합 사항에 대하여 분석하여 개선방안을 연구하였다. 최근 수년간 축적된 불량 데이터를 통계하여 중복해서 발생하는 항목을 분류할 수 있었으며, 선정된 부적합 사례들에 대한 상세항목과 주요원인을 분석하여 각 항목 별 개선방안을 제시하였다. 그리고 제시한 개선방안이 실제 현업에 적용한 사례를 통하여 연구 결과에 대한 적용 가능성을 평가하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 석유화학용 펌프에서 출하검사에 의해 중복해서 발견되는 부적합 사항을 분류하여 11가지의 대표적인 부적합 사례를 알 수 있었다.
- 2) 부적합 사례 별 상세항목에 대한 주요원인을 분석하여 불량을 즉시 조치할 수 있는 후속조치 개선방안과 향후 재발을 방지할 수 있는 사전조치 개선방안을 도출할 수 있었다.
- 3) 부적합 사례 별 상세항목에 대한 개선방안이 실제 현업에 적용된 사례를 통해 불량률 개선효과가 우수함을 알 수 있었으며, 펌프 제조회사의 출하검사 실무 공정에 적용 가능성을 확인할 수 있었다.
- 4) 본 연구의 연구 방법을 응용하여 출하검사 외 수입, 중간, 성능검사 공정에서 발견된 부적합 데이터를 활용하면 공정 별 부적합 사례에 대한 개선방안을 도출할 수 있을 것으로 판단한다.

참 고 문 헌

1. 박이동, 유호선, 권양구, “원심펌프 설계 소프트웨어 개발”, 태양에너지 Vol. 11, No. 1, 1991, pp. 50-6
2. 김옥, “고효율 펌프의 적용과 개선방안”, ESCO, No. 12, 2001, pp. 44-51
3. 이정우, “펌프의 진단 개론”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, December 2002, pp. 515-523
4. Pump Manufacturer, “Non-Conformity Report”, Company Publication, 2007~2012
5. Pump Manufacturer, “HGS-E-34-0005(협력업체 삼진아웃 처리 절차서)”, Company Publication, April 2011
6. Pump Manufacturer, “HGS-E-34-0007(공정간 중간검사 절차서)”, Company Publication, February 2011
7. W.S. Lim, H.J. Kim, K.C. Jeong, D.H. Kim, “펌프편람”, Company Publication, 2008, pp. 8
8. American Petroleum Institute, “API Standard 610 tenth Edition”, API Publication, October 2004, pp. 9, 10-15, 65, 66
9. Pump Manufacturer, “PROCESS PUMP”, Company Publication
10. International Organization for Standardization, “ISO 1940-1”, ISO Publication, 2003, pp. 11
11. Pump Manufacturer, “Final Inspection Check Sheet”, Company Publication, 2012

12. The American Society of Mechanical Engineer, “ASME Standard B 16.5”, ASME Publication, 1998, pp. 49
13. Pump Manufacturer, “HES-B-77-H148(배관취부 작업 절차서)”, Pump Manufacturer, July 2011
14. Pump Manufacturer, “HES-E-34-0011(도장검사 절차서)”, Company Publication, October 2012
15. Pump Manufacturer “HES-B-84-153(포장작업 절차서)”, Company Publication, October 2012
16. Pump Manufacturer, “HES-B-72-B303(가공작업 절차서)”, Company Publication, July 2011
17. Pump Manufacturer, “HES-B-77-B113(용접작업 절차서)”, Company Publication, December 2010
18. Pump Manufacturer, “HES-E-34-0008(출하검사 절차서)”, Company Publication, August 2012
19. Pump Manufacturer, “사외창고 운영방안 Process”, Company Publication, May 2012

감사의 글

대학원에 입학하여 2년의 기간 동안 많은 것을 배울 수 있었습니다. 수업과정을 통해 학문적으로 깊이 있는 지식을 배울 수 있었으며, 논문을 작성하는 과정은 저에게 창의적인 생각과 능동적인 자세를 길러주었습니다. 대학원생활 동안 회사업무를 병행하면서 어려움도 많았지만, 주위 분들의 도움으로 인하여 이렇게 논문을 완성할 수 있게 되어, 이 글을 빌어 감사의 말씀을 전하고자 합니다.

먼저 대학원 과정을 개설하여 교육 과정이 원활하도록 지원해주신 효성굿스프링스(주) 임직원분과 임우섭 사장님, 정기철 상무님께 감사드립니다. 그리고 품질경영팀 업무와 대학원 수업을 병행할 수 있도록 적극적으로 배려해주신 김병수 팀장님과 김경국 과장님께 깊이 감사드리며, 본 논문에 필요한 자료를 수집하는데 많은 도움을 준 품질경영팀 동료들에게 감사의 말씀 전합니다.

이 논문이 완성되기까지 부족한 저를 위해 학문적으로 아낌없는 충고와 지도를 해주시며 석사과정을 무사히 이끌어주신 김선진 교수님께 진심으로 감사드리며, 바쁘신 업무에도 시간을 내주셔서 논문을 심사해주신 김영식 교수님과 김병탁 교수님께 감사를 드립니다. 또한 대학원 1기 과정을 함께 수료한 동기들인 장준영, 백정근, 박상동, 정래혁 씨에게도 감사하다는 말을 전하고 싶습니다.

하루도 빠짐없이 아들의 건강을 챙기시는 어머니와 뒤에서 묵묵히 성원해주시는 아버지께 감사드리며 사위를 아들처럼 편하게 대해주시고 믿어 주시는 장인어른과 장모님께 감사의 말을 전하고 싶습니다. 또한 처남 성욱과 동생 선주, 매제 홍래 에게도 고맙다는 말을 전합니다.

마지막으로 결혼 후 지금까지 부족한 남편을 위해 힘들 때 마다 용기를 북돋아 주고 업무와 학업으로 밤늦게 퇴근하여도 웃는 모습으로 반겨주고 이해해준 아내 윤경화에게 고맙다는 말 그리고 진심으로 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다.

인생을 살아가면서 배움의 끝은 없다고 하였습니다. 매일 작은 것 하나라도 더 배우려는 자세로, 초심을 잃지 않도록 노력하겠습니다. 주위 모든 분들께 감사드립니다.

2012년 12월 25일

김 두 용 올림