



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](#)

공학석사 학위논문

# F-LNG의 효율적인 장비 설치

## 방안에 관한 연구

A Study on Efficient Implementation of Mechanical  
Completion for F-LNG



지도교수 조 권 희

2017 년 02 월

한국해양대학교 대학원

해양플랜트운영학과

유 성 환

본 논문을 유성환의 공학석사 학위논문으로 인준함.



위원장 강 호 근 (인)

위 원 조 권 회 (인)

위 원 이 명 호 (인)

2016년 12월 12일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	v
Abstract .....	vi
<b>1. 서 론 .....</b>	<b>1</b>
<b>2. F-LNG의 장비 설치 일반론 .....</b>	<b>5</b>
2.1 장비 설치(Mechanical Completion, MC)의 개념 .....	5
2.1.1 MC 정의 .....	5
2.1.2 MC 필요성 .....	6
2.2 MC 시스템 구성 요소 .....	7
2.2.1 시스템 세분화(System Breakdown) .....	9
2.2.2 태그(Tagged Item) 일반 .....	10
2.3 MC 수행방법 .....	13
2.3.1 검사 절차 .....	13
2.3.2 검사 준비서류 .....	17
2.3.3 MC 문서관리 .....	18
2.4 F-LNG의 주요 특이사항 .....	19
2.3.1 FMS(Flange Management System) .....	19
2.3.2 방폭 장비(Explosion Equipment) .....	21
2.3.3 RBI(Risk Based Inspection) .....	22
2.3.4 무결함 인도(FPD : Flawless Project Deliver) .....	22
<b>3. F-LNG 공정 중 발생하는 문제점 .....</b>	<b>24</b>
3.1 펀치(Punch) 개요 .....	24
3.1.1 펀치 개념 .....	24

3.1.2	편치 등급 .....	25
3.1.3	편치 처리절차 .....	27
3.1.4	편치 리스트 작성법 .....	27
3.1.5	편치 문제점 .....	29
3.2	HFE(Human Factor Engineering, 인간공학 설계) 일반 .....	30
3.2.1	HFE 개념 .....	30
3.2.2	HFE 중요성 .....	31
3.2.3	HFE 주요 점검 항목 .....	31
3.2.4	HFE 문제점 .....	36
3.3	보존(Preservation) 일반 .....	38
3.3.1	보존 개념 .....	38
3.3.2	보존 진행절차 및 자재 .....	38
3.3.3	보존 주요 활동 .....	41
3.3.4	보존 문제점 .....	45
<b>4.</b>	<b>F-LNG의 효율적인 MC 수행방안 .....</b>	<b>47</b>
4.1	실적선 편치 분석 .....	47
4.1.1	편치 분석 방법 .....	47
4.1.2	실적선 편치 분석 및 고찰 .....	48
4.2	편치 대책방안 .....	57
4.2.1	MC 생산 사전점검 의무화 .....	57
4.2.2	벤더 장비 품질 관리 강화 .....	60
4.2.3	구역별 패트롤 수행 및 벤더장비 사전관리 .....	61
4.3	HFE 대책방안 .....	62
4.3.1	HFE 적용 일반화 .....	62
4.3.2	설치품의 합동 점검을 통해 문제점 조기 발굴 및 조치 .....	63
4.4	보존 대책방안 .....	64
4.4.1.	장비 별 보존 절차 수립 강화 .....	64

4.4.2 보존활동 수행팀의 단일화 .....	67
4.4.3 장비별 보호 커버 사전 제작 .....	68
<b>5. 결 론 .....</b>	<b>71</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>72</b>



## List of Tables

<b>Table 2.1</b>	Component of mechanical completion for F-LNG	8
<b>Table 2.2</b>	Main unit / system of F-LNG	9
<b>Table 2.3</b>	Tag number and material number	11
<b>Table 2.4</b>	Construction stage	14
<b>Table 2.5</b>	Pre-commissioning stage	15
<b>Table 2.6</b>	Commissioning stage	16
<b>Table 2.7</b>	Construction completion discipline document	17
<b>Table 2.8</b>	Flow of MC document	18
<b>Table 2.9</b>	FMS system	19
<b>Table 2.10</b>	High risk pipe flange work procedure	20
<b>Table 2.11</b>	FPD Q-area check point	23
<b>Table 3.1</b>	Punch category	26
<b>Table 3.2</b>	Punch list	28
<b>Table 3.3</b>	Working space for HFE	32
<b>Table 3.4</b>	Escape route and staircases for HFE	33
<b>Table 3.5</b>	Vertical ladder for HFE	34
<b>Table 3.6</b>	Stem valve for HFE	35
<b>Table 3.7</b>	Pipe and flange for HEF	35
<b>Table 3.8</b>	Equipment for HFE	36
<b>Table 3.9</b>	Preservation activity by phase	39
<b>Table 3.10</b>	Preservation materials	40
<b>Table 3.11</b>	Visual check	41
<b>Table 3.12</b>	Electric equipment	42
<b>Table 3.13</b>	Static equipment	43
<b>Table 3.14</b>	Rotating equipment	44
<b>Table 4.1</b>	MC accept ratio and punch ratio	48

<b>Table 4.2</b> Action department punch and lead time .....	51
<b>Table 4.3</b> Vendor punch and lead time .....	52
<b>Table 4.4</b> Discipline worst 5 punch .....	59
<b>Table 4.5</b> MC punch after worst 5 punch check .....	60
<b>Table 4.6</b> Oily water separator preservation check sheet .....	65
<b>Table 4.7</b> Oily water separator preservation procedure .....	66





## List of Figures

<b>Fig. 2.1</b> F-LNG process .....	5
<b>Fig. 2.2</b> System breakdown .....	10
<b>Fig. 2.3</b> Tagged item for emergency G/E .....	12
<b>Fig. 3.1</b> HFE punch .....	37
<b>Fig. 4.1</b> MC accept ratio and punch ratio .....	49
<b>Fig. 4.2</b> Stage and discipline punch .....	50
<b>Fig. 4.3</b> Action department punch lead time .....	51
<b>Fig. 4.4</b> Vendor punch lead time .....	52
<b>Fig. 4.5</b> Pre-inspection punch .....	53
<b>Fig. 4.6</b> Domestic and overseas vendor punch lead time .....	54
<b>Fig. 4.7</b> Cause analysis of punch .....	55
<b>Fig. 4.8</b> Detailed cause analysis of punch .....	56
<b>Fig. 4.9</b> Valve handle and bolt/nut missing .....	58
<b>Fig. 4.10</b> Preservation quality problem .....	68
<b>Fig. 4.11</b> Protection cover damage .....	69
<b>Fig. 4.12</b> Flange protection cover missing .....	70

# **A Study on Efficient Implementation of Mechanical Completion for F-LNG**

Yoo, Sung Hwan

Department of Offshore Plant Management  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University



## **Abstract**

The offshore plant business of the three major shipbuilders shrank considerably due to the global economic downturn, the shale gas shortage in the US and the plunge in oil prices. In addition, For low oil prices, orders are decreasing due to low profitability and losses are increasing due to delays in delivery dates. Therefore, in this study, the internal factors are examined to find ways to make up for losses. In particular, it points out the problems that arise in the drying stage and suggest improvements for this problem in F-LNG.

The part that can reduce the loss in the drying phase of F-LNG is Mechanical Completion. The problems that arise during the execution of this MC are discussed and it suggests ways to solve the problems. This study explains the concept of F-LNG MC and explains how MC system is implemented. In addition, punch, HFE and preservation activities are investigated which are problematic in many problems in F-LNG process. It suggests improvement plan and describes its effect. Therefore, ship owners are willing to deliver the F-LNG on time with satisfactory quality, thereby reducing the unnecessary cost loss and overcoming the difficult situation.

**KEY WORDS:** MC 장비설치; Punch 품질문제; HFE 인간공학설계; Preservation 보존활동.



## 제 1 장 서 론

2000년대 이후 한국 조선 산업은 일본이 조선 산업을 사양 산업으로 규정하고 일본 조선업체들이 하나 둘 손을 떼는 과정에 폭발적인 수요들을 흡수하였고, 중국경제의 급속한 성장과 세계경제의 활성화로 인한 무역규모의 확대로 급격하게 성장하여 세계패권을 차지하기도 하였다. 2000년대 이후 전 세계 조선주문량의 35%~40% 정도를 한국이 담당하였으며, 한국의 수출에서 조선 산업 비중이 2000년 4.8%에서 2009년 11.7%까지 증가하였다<sup>[1]</sup>.

그러나 2008년 하반기부터 시작된 글로벌 금융위기는 조선경기에 막대한 타격을 입혔다. 엄청난 발주물량을 쏟아내던 해운 회사들은 경영난으로 신조선 발주를 대거 중단 및 취소했고, 조선소들은 급격히 얼어붙은 수주량에 직격탄을 맞았다. 여기에 더해 호황기에 무리하게 이뤄진 저가수주는 조선사의 경영난을 한층 더 악화시켰다<sup>[2]</sup>. 이러한 상황에서 국내 주요 조선사들은 해양플랜트에 눈을 돌리기 시작했다. 그 당시에 글로벌 유가는 꾸준히 상승흐름을 타고 있었고, 글로벌 오일메이저와 기업들은 심해 자원개발에 뛰어들던 시기였다.

D조선, S조선, ST조선 등 국내 대표 조선업체는 해양플랜트 수주 전에 적극적으로 참여했으며, 처음에는 상선만 고집했던 H조선도 뒤늦게 해양플랜트 수주에 나섰다. 2010년부터 국내 조선사들은 대형 수주를 연이어 따내며 본격적으로 해양플랜트에 성과를 내기 시작하였고, 드릴십은 거의 100%, 기타 선종도 70% 이상 국내 조선사가 독식하는 등 단 시간 내에 세계 최고의 해양플랜트 건조국으로 발돋움할 수 있었다.

2014년 중반 이후 국제유가가 폭락하여 배럴당 50달러 아래로 떨어지면서 해양플랜트 시장이 크게 위축되었고, 심지어 심해 석유를 채굴하더라도

저유가로 인해 채산성이 맞지 않기 때문에 발주처에서는 설계 변경 등으로 시간을 끌거나 완공된 설비의 인도를 거부하고 있다.

2014년 국제유가 하락의 원인은 일차적으로는 미국발 '셰일가스 혁명'으로 셰일가스 기술이 급격하게 발전하여 채굴비용이 배럴당 70달러 이하로 낮아졌기 때문이라고 할 수 있다. 이전에 많은 매장량을 확인했었지만 채굴과정이 복잡하고 비용이 많이 들어 개발하지 않았다. 미국은 기술개발로 채굴비용이 급격하게 줄어들자, 환경문제가 발생할 가능성이 별로 없고 사람이 거주하지 않는 사막지역 등을 중심으로 셰일가스 개발이 이루어지기 시작했다.

또한 해양플랜트 건조 경험 미숙으로 인한 손익계산 실패도 주요한 원인으로 꼽힌다. 우리 조선사들이 수주했던 해양플랜트 계약의 경우, 대부분 설계를 포함한 엔지니어링은 유럽 등 선진업체들이 도맡고 최종 건조 작업만 우리 조선사의 몫이다. 해양플랜트 기자재들도 일부를 제외하고는 발주사들이 직접 선택하기 때문에 결국 최초 예상했던 건조비용을 초과하는 상황이 발생한 것이다. 당시 고유가와 심해 자원개발의 관심이 높아지는 상황에서 처음 시도되는 프로젝트들이 많아 비용 산정이 어렵고 정확하게 이루어지지 않아 이러한 사태가 나타나게 되었다<sup>[3]</sup>.

더 큰 문제는 우리 조선사들 간의 과당경쟁이다. 드릴십, 부유식 해양생산설비 등 규모가 크고 높은 기술력을 요하는 해양플랜트는 국내 조선사들이 독식하고 있어 발주사보다 낮은 금액을 제시하며 수주를 따내고 있었다. 그리고 수주 초기의 비용 산정 실패 경험을 겪었음에도 불구하고 조선사간 경쟁으로 인해 손해마저 감수하는 저가수주가 지금까지 이어지고 있다.

2016년 상반기 해양플랜트 발주는 전년에 이어 극도의 침체를 겪고 있다<sup>1)</sup>. 이에 따라 우리 조선사들의 수주목표 달성도 힘들 것으로 예상된다. H조선,

---

1) 클락슨에 따르면, 2016년 5월까지의 해양부문 발주액은 총 105억 달러로 2012년 897억 달러, 2013년 288억 달러에 이어 급감하는 상황이다.

S조선, D조선의 2016년 수주목표액은 545억 달러이지만 6월말까지 수주금액은 146억 달러에 그쳤다. 특히 해양비중이 높은 S조선과 D조선은 각각 수주목표액의 26%, 13.1%만을 확보한 상태이다.

마지막으로 가장 큰 문제점은 기술력 부족과 경험 부족으로 인한 인도 지연이 발생하고 있다는 점이다. 계약된 인도일을 지키지 못하면 조선소에서 발주사에게 계약지체보상금을 지불해야 한다. 이 지불금액은 계약에 따라 다르지만 대략 하루에 수억 원이다. 현재 4~5년 전에 계약된 해양플랜트의 인도 시점이 다다르고 있으나 경험 부족으로 적기에 인도시기를 맞추지 못하여 지속적으로 손실이 발생하고 있는 상황이다.

해양플랜트는 운영하는 시스템이 대부분 석유, 가스 및 특정 화학물질 처리 공정 등과 같이 위험하고 유해한 것이 대부분이고 설계·설치·검사가 까다로워 장비 설치(Mechanical Completion, 이하 MC)를 적용하는 배경이 되었다. 특히 F-LNG는 설계·건설·운영 등의 전 단계에 걸쳐 고려해야 할 사항이 매우 많고 건설 과정이 복잡하기 때문에 모든 단계를 문서화 및 시스템화 하여 누락되는 항목이 없이 완벽하게 건조할 수 있도록 MC를 도입하여 시행하고 있다.

본 논문에서는 대내·외적인 요인으로 손실이 발생하는 상황에서 내부적인 요인을 점검하여 손실을 만회할 수 있는 방법에 대하여 알아보하고자 한다. 특히 F-LNG를 중심으로 건조단계에서 발생하는 문제점을 지적하고 이 문제점에 대한 개선점을 제시함으로써 F-LNG를 적기에 인도하여 불필요한 비용 지출을 감소하여 어려운 상황을 극복하기 위한 방안을 제시하고자 한다. F-LNG의 건조단계에서 손실을 줄일 수 있는 부분은 MC이다. 이 MC를 수행하는 과정에서 발생하는 문제점들에 대해 논하고 이 문제점을 해결하기 위한 개선 방안을 제시하고자 한다.

본 연구는 총 5개의 장으로 구성되어 있다. 제1장에서는 연구의 목적 및 방법에 대해 개괄적으로 서술하고, 제2장 F-LNG의 MC에 관한 일반론에서는 MC의 개념 및 MC 수행 방법에 대한 설명을 한다. 제3장 F-LNG

공정 중 발생하는 문제점에서는 편치(Punch), HFE(인간공학 설계, Human Factor Engineering, 이하 HFE), 보존활동(Preservation)에 대하여 조사하고 제기되는 문제점을 논한다. 제4장 F-LNG의 효율적인 MC 수행방안에서는 위에서 논한 편치, HFE, 보존활동의 문제점에 대하여 효율적인 개선방안을 제시하고 그 효과를 서술한다. 제5장은 이 논문의 요약과 결론으로 각 장에서 살펴본 내용을 종합적으로 요약하여 내부적인 요인의 문제점을 지적하고 효과적인 개선방안을 도출하여 발주사들이 만족할 만한 품질로 F-LNG를 적기에 인도하여 손실을 줄이고자 한다.



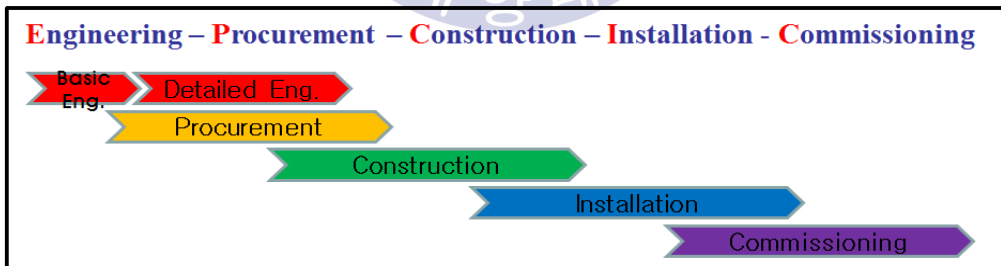
## 제 2 장 F-LNG의 장비 설치 일반론

### 2.1 장비 설치(Mechanical Completion, MC)의 개념

#### 2.1.1 MC 정의

F-LNG에서의 MC란 포괄적 의미와 세부적 의미로 나뉜다. 포괄적 의미의 MC는 모든 장비, 설비, 시스템이 프로젝트가 요구하는 사항·법규 및 규정에 맞게 설계되고 제작·설치·운전·보수가 되는지 확인하고 검증하여 문서화 하는 것을 말한다.

**Fig. 2.1**은 F-LNG의 전반적인 공정 흐름을 나타낸 그림이다. 기본설계 및 상세설계가 진행되면서 구매가 이루어지고, 건조, 설치, 커미셔닝 순으로 공정이 진행된다. 세부적 의미의 MC란 검사의 측면에서 장비 설치부터 커미셔닝 전 단계까지 수행되는 설치 상태 및 교정 등의 정적인 검증과 관련된 일련의 행위를 의미 한다<sup>2)</sup>.



**Fig. 2.1 F-LNG process**

2) 이하 본 논문에서 사용할 MC의 개념은 세부적 MC를 의미한다.



MC 이후에 수행되는 사전 커미셔닝(Pre-Commissioning, PC)은 전원 공급 전 설계 사양에 맞게 설치되어 안전하게 작동 가능한지 초기 성능을 검증한다. 사전 커미셔닝 이후 수행되는 커미셔닝(commissioning)은 장비 및 시스템의 성능을 검증하는 단계로 주요 기능 및 작동 시험을 수행한다. 프로젝트에 따라 CC(Construction Completion)을 MC로 표현하기도 하고 CC와 PC를 포함하여 MC라 부르기도 한다<sup>4)</sup>.

MC는 F-LNG 뿐만 아니라 모든 해양플랜트에 적용되고 있으며, 프로젝트의 계약 조건에 따라 적용범위나 수행 방법은 조금씩 다를 수 있다<sup>3)4)</sup>.

## 2.1.2 MC 필요성

F-LNG와 같은 해양플랜트(Offshore Plant)는 일반상선과 달리 해양유전(Offshore oil field)의 상황에 맞게 최적화로 설계되어 타 해양플랜트와의 대체가 불가능하다. 또한 태풍이나 자연재해로부터 피항을 할 수 없고 문제가 발생했을 때 상선처럼 자유로운 입거가 불가능하다.

해양플랜트는 운영하는 시스템이 대부분 석유, 가스 및 특정 화학물질 처리 공정 등과 같이 위험하고 유해한 것이 대부분 이므로 안전 측면에서 더욱 더 신경 써야 한다. 상기의 이유로 해양플랜트의 설계·설치·검사가 까다로울 수밖에 없어서 MC를 적용하는 배경이 되었다.

즉 해양플랜트는 프로젝트 개발단계에서부터 설계·건설·운영 등의 전 단계에 걸쳐 고려해야 할 사항들이 매우 많고 까다롭기 때문에 모든 단계를 문서화 및 시스템화 하여 누락되는 항목들이 없이 완벽하게 건조할 수 있도록 MC를 도입하여 시행하고 있다.

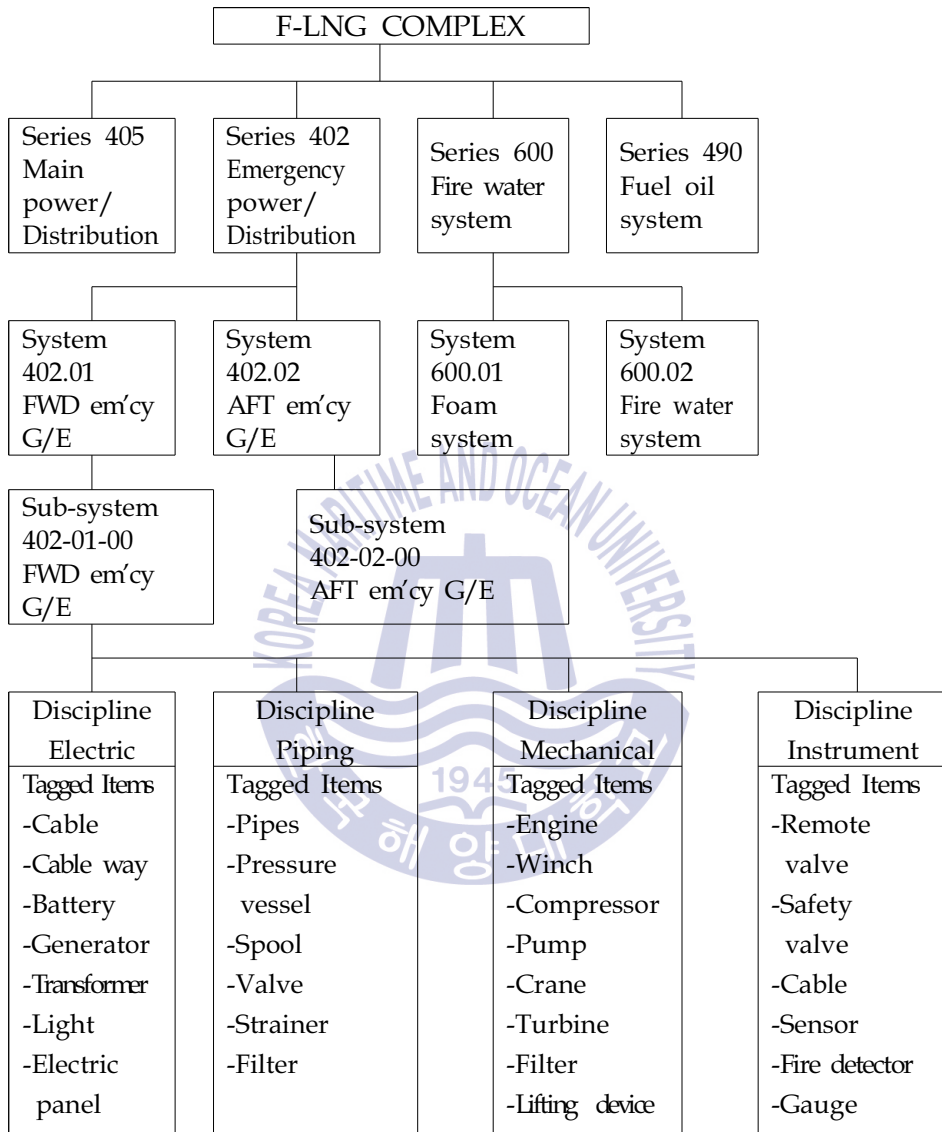
- 
- 3) 본 논문에서는 국내 대형 조선소에서 건조되고 있는 F-LNG의 MC에 대해 다루고 있다.  
4) 일반상선은 일정한 항로를 대상으로 운항하고 그 역사도 오래 되었기 때문에 일정한 부분에서 표준화가 가능하고 축적된 자료가 많다. 또한 특정한 장비나 구조에 손상이 있을 때에는 항구에 정박하여 유지·보수·교체 등의 작업이 해양구조물에 비해 훨씬 자유롭기 때문에 굳이 MC를 적용하지 않아도 된다.

## 2.2 MC 시스템 구성 요소

F-LNG는 방대한 크기의 프로젝트인 만큼 효율적인 관리 및 완료, 인수 인계를 위하여 시리즈(series), 시스템(system), 서브시스템(sub-system), 업무특성(discipline), 태그(tagged item)로 분류하여 구성한다.

**Table 2.1**은 F-LNG를 구성하는 요소를 간략히 나타낸 표이다. F-LNG를 구성하는 최상위 단위는 시리즈이며, 시리즈는 시스템으로 나뉜다. 예를 들어 402번 시리즈의 비상발전은 402-01 선미에 설치되는 비상발전기 및 402-02 선수에 설치되는 비상발전기 두 개의 시스템으로 구성된다. 하나의 시스템에는 또 다시 서브시스템으로 나뉘지고, 하나의 서브시스템은 여러 가지 업무특성으로 구성된다. 업무특성의 종류로는 전장(electric), 배관(piping), 기계(mechanical), 계장(instrument), 공기조화(HVAC : Heating·Ventilation·Air-Conditioning), 구조(structure), 도장(painting), 통신(telecommunication), 안전(safety) 등이 있으며, 서브시스템의 특성에 따라서 구성되는 업무특성은 다르다. 각 업무특성을 구성하는 케이블, 기계장비, 배관 스푼(pipe spool), 밸브 등과 같이 F-LNG를 구성하는 최소단위는 태그로 불린다. 각 태그에는 식별 가능한 번호가 부여되고, 각 태그에는 체크 및 테스트시트(check/test sheet)가 할당되며, 할당된 체크 및 테스트시트를 활용하여 검사가 수행된다.

**Table 2.1 Component of mechanical completion for F-LNG**



**Table 2.2**는 F-LNG의 대표적인 시스템을 나타낸 것이며 프로젝트마다 다르지만, 한 프로젝트에는 시리즈가 39개, 시스템이 86개, 서브시스템은 306개이며, 태그는 약 20만개로 관리되는 항목이 타 해양프로젝트에 비해 월등히 많다.

**Table 2.2 Main unit / system of F-LNG**

Unit No.	System No.	System Description
U31000	310-01-00	LNG storage tanks
U32000	320-01-00	Propane storage
U32000	320-02-00	Butane storage
U33000	330-01-00	Condensate storage
U34000	340-01-00	LNG tank interconnecting
U35000	350-01-00	LPG interconnecting lines
U36000	360-01-00	Condensate interconnecting
U37000	370-01-00	Slop tank & pumps
U40000	400-36-00	Hull lighting
U40200	402-01-00	Emergency diesel generator
U40500	405-01-00	Essential diesel generator package
U42500	425-01-00	Sea water cooling system1
U43000	430-01-00	Potable water system
U43000	430-02-00	Service water System
U45000	450-03-00	Essential close cooling water system 1
U47500	475-02-00	Starting air distribution
U48000	480-01-00	Nitrogen

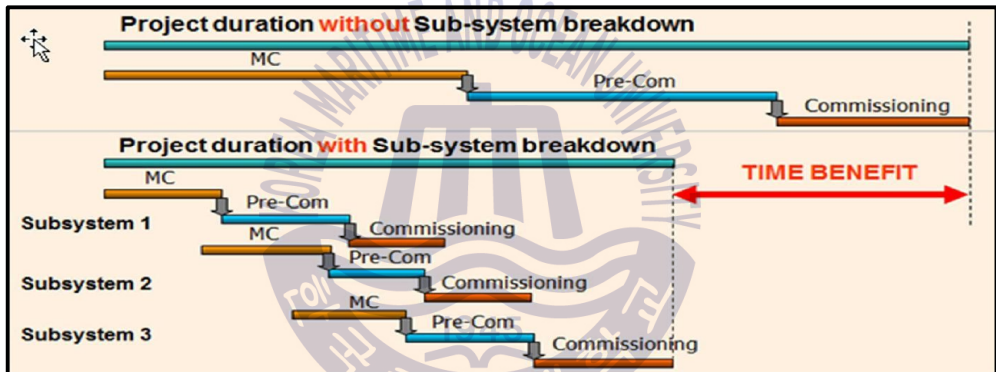
### 2.2.1 시스템 세분화(System Breakdown)

F-LNG는 시스템적인 구분을 통해 순차적으로 프로젝트를 진행함에 있어서 프로젝트 공정 효율을 최적화 및 공정의 현황을 쉽게 추적하며 공정 지연을 방지하고 비용을 절감하기 위해 시스템 세분화를 하고 있다.

시스템 세분화란 하나의 시스템을 서브시스템으로 나뉘는 행위를 말한다. 시스템을 너무 세분화시키게 되면 공정의 완료를 의미하는 커미셔닝 증명서를 발행하기 위한 단계가 증가하여 이로 인한 공정지연이 발생할 수 있다.

이와 반대로 시스템을 세분화시키지 않게 되면 서브시스템 내에서 너무 많은 검사들을 수행해야 하므로 다음 단계로 진행하기 위한 대기시간이 발생한다. 다시 말해, 서브시스템 내의 검사들이 100% 완료 되어야 그 다음 공정으로 넘어갈 수 있는데 포괄적으로 서브시스템이 구성된다면 그 서브시스템의 내의 공정이 지연될 가능성이 높아지게 된다<sup>[5]</sup>.

**Fig. 2.2**와 같이 시스템을 세분화하면 서브시스템 별로 동시에 공정을 진행할 수 있기 때문에 시간이 단축되는 효과가 발생한다. 그러므로 설계 단계부터 시스템 세분화가 적절하게 이뤄져야 하고 커미셔닝 우선순위 스케줄에 맞춰 서브시스템 별로 공정이 진행되어야 한다.



**Fig. 2.2 System breakdown**

### 2.2.2 태그(Tagged Item) 일반

태그(Tagged Item)란 F-LNG의 모든 장비에 대해 숫자와 문자를 혼합하여 만든 유일한 표식으로 시스템 정보와 장비의 사양을 구분하는 최소단위이다. 태그는 프로젝트의 운전과 정비를 시행함에 있어서 유용하게 사용되며, 선주의 요구와 프로젝트 기준에 따라야 한다. 그리고 태그는 독립된 개체가 아닌 상호 유기적인 연결 관계를 갖는 데이터로 구성되어 있어서 하나의 장비 또는 계기의 태그가 변경되면 이와 관련된 케이블, 배관 등의 구성요소 태그도 동시에 변경되어야 한다. 이에 따라 관련부서는 태그

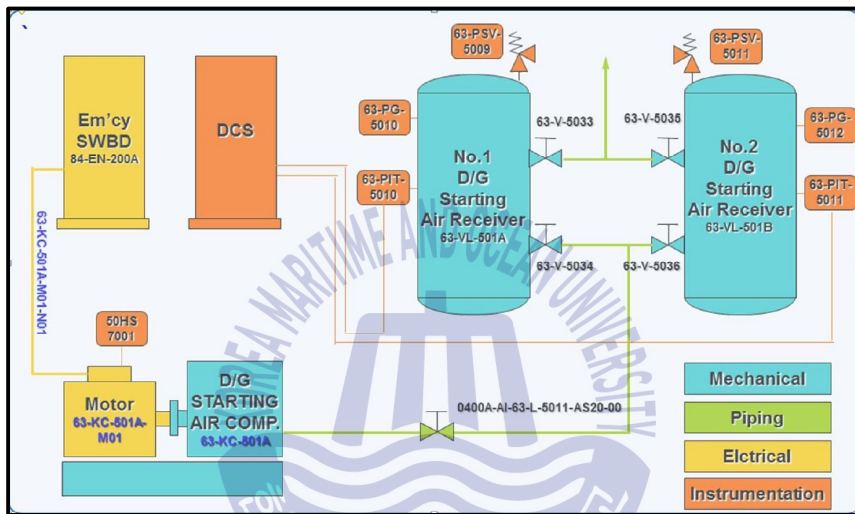
관련 문서가 쉽게 변경 될 수 있도록 시스템으로 관리해야 하며 태그 정보를 공유해야 한다.

**Table 2.3**은 태그 넘버와 자재 넘버를 비교한 표이다. 자재 넘버란 구매팀에서 선박의 건조에 필요한 자재를 발주할 때 사용하는 코드이다. 태그 넘버는 운전 및 정비를 위해 사용되거나 자재 넘버는 자재를 구매하고 설치하는 목적으로 사용된다. 또한 태그 넘버에는 시스템, 자재 종류 및 타입, 크기, 재질 등 많은 정보가 포함되어 있지만 자재 넘버에는 명칭만 표기되어 있다.

**Table 2.3 Tag number and material number**

	Tag number	Material number
Use	Operating and maintenance	Procurement and installation
Numbering unit	Each component	Package
Information	System, kind and type, size, material	Item description
Inspection, commissioning operation and maintenances	Check sheet application	Check sheet inconsistency
Standard	Owner's standard	Yard standard

**Fig. 2.3**은 비상발전기 시스템에서 태그가 도면에 어떻게 표시되는지를 나타낸 그림이다. 모든 태그에는 서브시스템, 자재 종류, 타입 등 많은 정보가 포함되어 각 업무특성 별로 표기되고 도면에서 태그 넘버를 확인하여 MC 관리 프로그램에서 조회하면 설치 및 검사 진행사항을 쉽게 확인할 수 있다.



**Fig. 2.3 Tagged item for emergency G/E<sup>[6]</sup>**

이렇게 태그로 관리하면 단계별 시스템 스케줄 파악 및 MC 시스템 진행 관리가 용이하고, 각 태그별 검사기록 및 데이터를 보관함으로써 실제 F-LNG가 운전을 할 때 이력(history) 파악이 가능하다.

## 2.3 MC 수행방법

### 2.3.1 검사 절차

F-LNG의 설치부터 커미셔닝까지 모든 검사는 각각의 태그에 할당된 체크시트로 검사를 수행하게 된다. 업무특성 별로 설치단계에서 수행되는 검사가 완료되면 DCCC<sup>5)</sup>(Discipline Construction Completion Certificate)가 발행되고, 서브시스템 내의 모든 DCCC가 발행되면 SCCC<sup>6)</sup>(Sub-system Construction Completion Certificate)가 발행된다. 이 때 부터 사전 커미셔닝 테스트를 수행할 수 있으며, 사전 커미셔닝 단계 역시 태그에 할당된 체크시트로 수행하게 된다. 사전 커미셔닝이 완료된 후 커미셔닝은 단계별로 작성되고 승인된 CTP(Commissioning Test Procedure)로 수행하게 된다.

**Table 2.4~2.6**은 F-LNG의 검사 절차를 나타낸 표로 MC부터 커미셔닝까지 진행되는 과정 중 필요한 검사, 서류, 증명서 발행 조건 등을 알 수 있다.

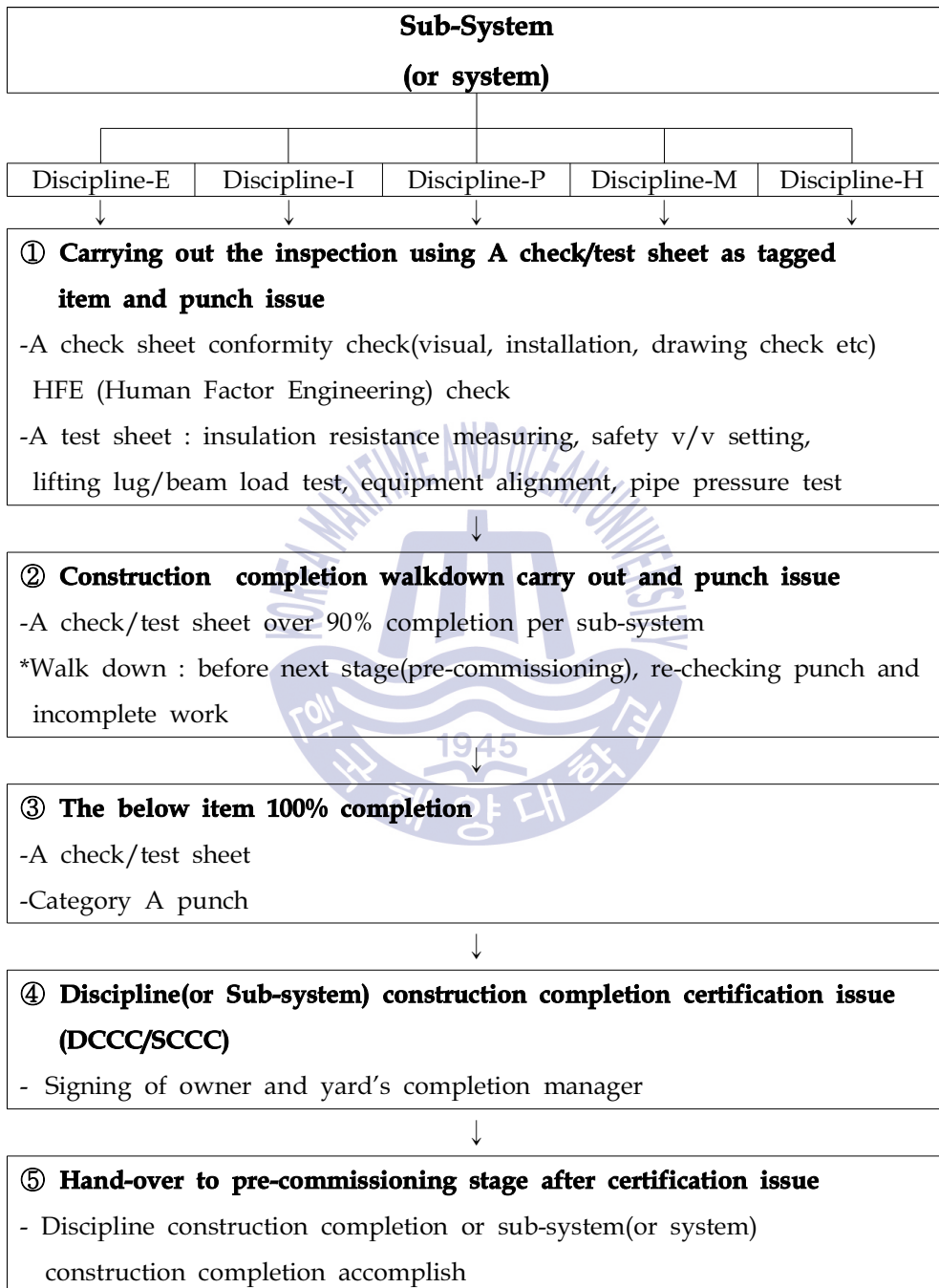
---

5) 업무특성 별로 설치작업 및 검사가 종료되었다는 인증서

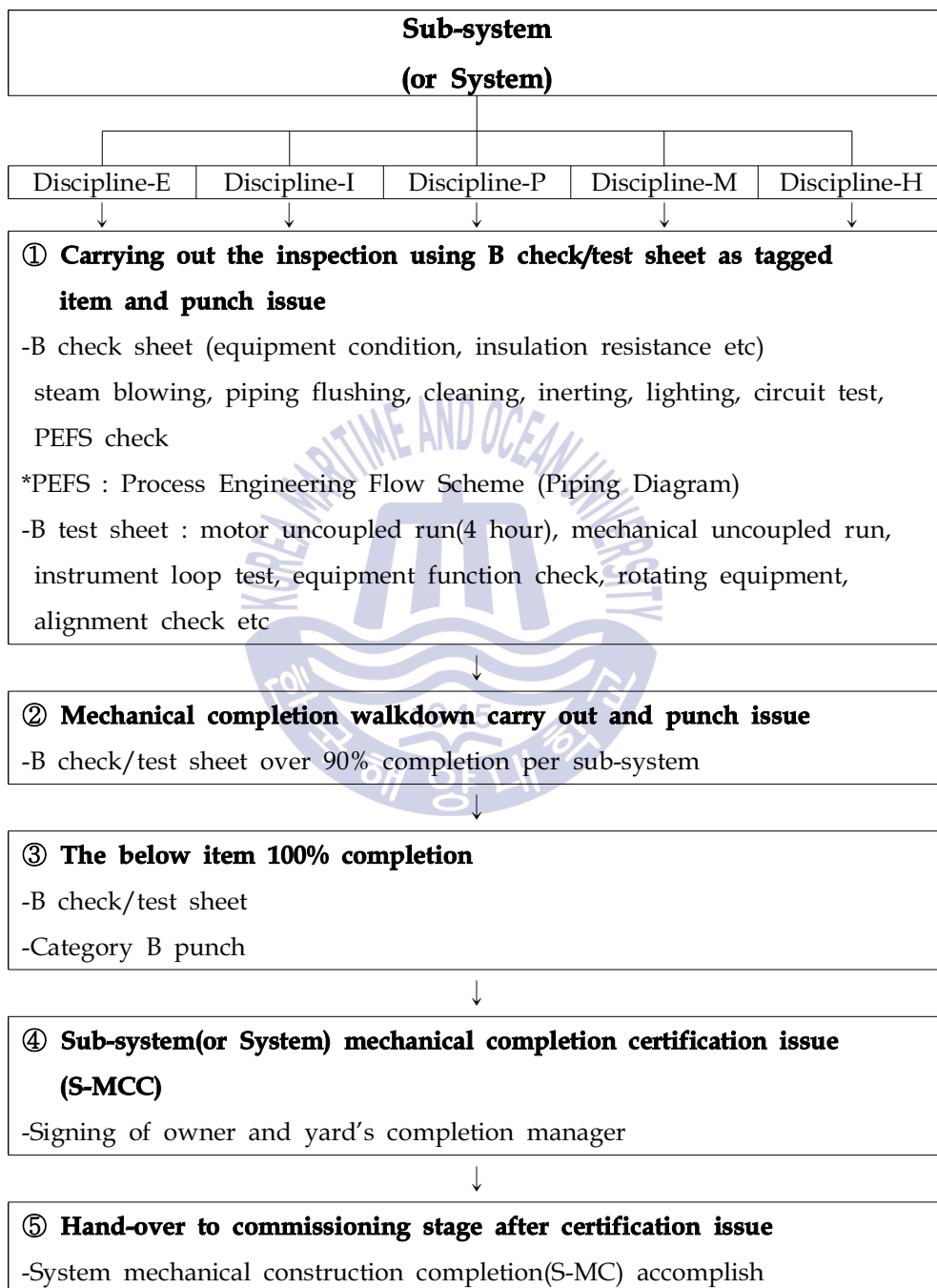
6) 서브시스템 내 설치 작업 및 검사가 종료되었다는 인증서



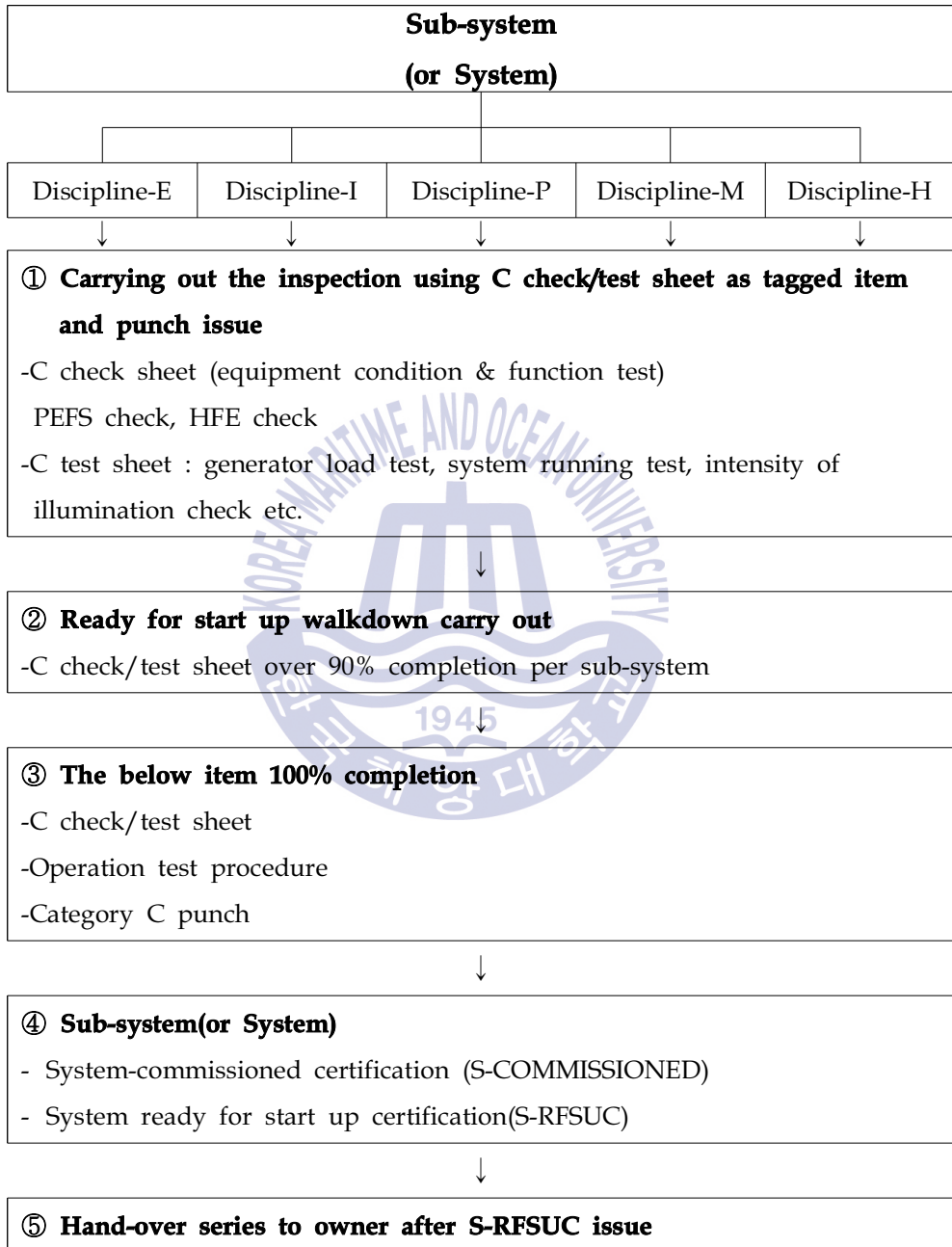
**Table 2.4 Construction stage**



**Table 2.5 Pre-commissioning stage**



**Table 2.6 Commissioning stage**



### 2.3.2 검사 준비서류

MC 검사 수행을 위해서는 체크 시트 항목의 작업이 완료되어야 하고 관련 서류와 도면이 준비되어야 한다. 검사 준비 서류는 업무특성 별로 검사 전 선주와 협의하여 미리 선정하고 장비 발주 시작 전부터 준비되어 있어야 한다.

**Table 2.7**은 MC를 수행할 때 필요한 업무특성 별 준비서류 및 도면을 나타낸 표이다. 각 업무특성 별로 준비서류가 다르며 기본적으로 체크 시트와 테스트 시트, 그리고 GA(General Arrangement)와 P&ID(Piping & Instrument Diagram)가 포함되어 있다.

**Table 2.7 Construction completion discipline document**

Construction completion discipline document			
Electric	Piping	Mechanical	Instrument
-A check sheet	-A check sheet	-A check sheet	-A check sheet
-A test sheet	-A test sheet	-A test sheet	-A test sheet
-Elec. lay out dwg.	-Test pack limit	-Equip arrange.	-Inst. lay out dwg.
-Equip. arrange.	-Mark-up dwg.	-Supplier's P&ID	-Loop diagram
-Supplier's docu.	-P & ID	-Supplier's dwg.	-Termination dwg.
-Termination dwg.	-Valve data sheet	-Installation manual	-Installation manual
-Earthing manual	-Punch list report	-Punch list report	-Punch list report
-Installation manual			
-Punch list report			

### 2.3.3 MC 문서관리

MC는 모든 제작 과정을 확인 및 검증하고 문서화하는 작업이다. 그래서 최종적으로 증명서를 발행하기 위해 관련 서류 및 도면을 문서화하는 작업이 무엇보다 중요하다. MC를 수행하는 과정에서 발생하는 모든 데이터를 일정한 형식으로 문서화하여 그 문서를 선주와 함께 검토한 후 증명서가 발행되어야 다음 공정을 진행할 수 있다. 그리고 문서는 F-LNG를 인도할 때 선주에게 원본을 포함하여 복사본까지 인계되어야 한다.

**Table 2.8**은 증명서를 발급받기 위해 필요한 문서를 나타낸 표이며, 모든 문서의 원본파일은 품질경영팀에 보관 및 관리되고 최종적으로 선주에게 인계된다.

**Table 2.8 Flow of MC document**

Preparation of check/test sheet and supporting document	Preparation of walk down (check/test sheet over 90% completion and punch close)	Preparation of certification's approval (check/test sheet 100% completion and punch close)
↓	↓	↓
Inspection and punch -Construction completion -Mechanical completion -Commissioning	Walk down and punch -Construction C walkdown -Mechanical C walkdown -Ready F.S Up walkdwon	Document/punch sign -D.C.C. certification -S.C.C. certification -P.M.C. certification -S.R.F.S.U. certification -P.R.F.S.U. certification
↓	↓	↓
Keep the inspection original dossier file	Keep the original sign sheet	Keep the original sign sheet

## 2.4 F-LNG의 주요 특이사항

### 2.4.1 FMS(Flange Management System)

FMS란 배관 플랜지 체결부와 관련된 모든 작업에 승인된 작업자를 투입하여 작업하고, 장비 및 자재 사용과 관련된 모든 과정을 문서화하고 전산 시스템을 사용하여 플랜지 체결부에 발생할 수 있는 위험요소를 체계적으로 관리하고 사고 예방을 위한 활동이다. F-LNG의 모든 플랜지 체결 작업자는 FMS 절차서에 따라 교육을 이수하고, 필기시험으로 자격증을 발급받은 후에 작업을 수행할 수 있다. 자격증을 소지하고 있는 작업자는 안전모에 자격스티커가 부착되어 타 작업자와 구분이 가능하다<sup>7)</sup>.

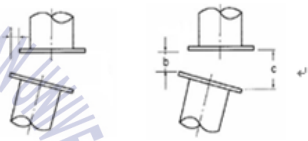
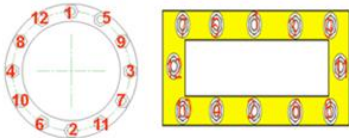

**Table 2.9**는 FMS가 적용되는 배관 시스템으로 고위험(high risk)과 저위험(low risk) 시스템으로 구분된다. 고위험 시스템은 플랜지 체결부마다 태그를 부여하여 승인된 작업자에 의해 토크렌치(torque wrench)나 텐서너(tensioner)를 이용하여 작업 후 체크리스트를 작성해야 한다. 그리고 저위험 시스템은 태그가 부여되지 않고, 체크리스트를 작성할 필요가 없지만 승인된 작업자에 의해 FMS 절차에 의거하여 작업이 이루어져야 한다.

**Table 2.9 FMS system**

Type	System	Method
High risk system	VRC, condensate, LNG/LPG/vapor, topside related chemical, boiler feed water, high pressure steam etc	Marking the tag no. and work using the torque wrench by approved workers and reporting the check list
Low risk system	Besides the above pipe flange	Work by approved workers as approved procedure

**Table 2.10**은 고위험 배관 플랜지 작업 순서이다. 첫 번째로 배관 사이즈에 따라 플랜지 정렬(alignment)이 허용치에 들어오는지 확인 후, 플랜지 표면 손상여부를 확인하고 그 후에 가스켓(gasket)과 볼트·너트를 확인하고 윤활유를 바른다. 그 다음 토크 값을 50%까지 체결순서에 따라 체결한 후 100%까지 체결(tightening)을 실시한다. 모든 플랜지의 볼트·너트를 체결한 후 최종 토크 값을 기록하여 태그에 부착한다<sup>[8]</sup>.

**Table 2.10 High risk pipe flange work procedure**

Stage	Procedure	Remark
1	Alignment check (a: <100A 2 mm, > 100A 3 mm c-b: 250A 2 mm, > 250A 5 mm)	
2	Flange surface check	Cleaning, damage check
3	Gasket, bolt·nut check	
4	Molykote 1000 lub. oil using	
5	Up to 50%, torque, tension tightening	
6	Up to 100%, torque, tension tightening	
7	Marking the actual torque, tension, attaching the tag	

## 2.4.2 방폭 장비(Explosion Equipment)

방폭 장비란 폭발성 물질이 존재하거나 존재할 수 있는 구역에 설치되어 폭발을 방지하는 전기 장비이다. 불안전한 조건에서는 다른 일반장비와 동일하게 폭발을 유발할 수 있으나 설치 및 유지가 제대로 이루어지면 안전하게 사용되어 폭발을 방지하는 기능을 실현한다.

2010년 4월 20일 멕시코 만에서 BP의 석유시추선 Deepwater Horizon호의 폭발 사고 이후 해양 및 석유·가스 산업에서는 방폭 장비에 대한 점검 및 관리가 강화되었다. 대부분의 해양플랜트는 자국 해역에서 시추를 위해 해당 정부의 승인이 필요한데 이 과정에서 방폭 장비로 인한 승인이 나지 않은 경우가 종종 발생하고 있다. 승인이 나지 않은 경우를 대비하여 방폭 장비는 설계단계부터 관리가 이루어져야 한다.

폭발 위험구역은 폭발성 가스가 존재할 수 있는 시간에 따라 Zone 으로 구분한다. Zone0은 폭발성 가스가 항상 존재하고, Zone1은 정상 작동 중 폭발가스가 존재할 가능성이 있는 구역이며, Zone2는 비정상 작동 중 짧은 시간 동안 폭발가스가 존재할 가능성이 있는 구역이다. 위험구역에 따라 사용되어지는 방폭 장비의 등급이 달라진다. 방폭 장비는 장비가 요구되는 표준 규정 등을 만족하여 설계·제작·검사 되었다고 인증기관에서 검증 후 증명서가 발행된다<sup>7)</sup>.

F-LNG의 위험구역(Hazardous Area)에 설치되는 전기 장비는 반드시 IECEx<sup>7)</sup>로 인증된 제품을 사용해야 하며, 방폭 장비는 인증된 작업자에 의해 설치되고 인증된 검사원에 의해 검증이 이뤄져야 한다.

---

7) IECEx(국제방폭인증) : 1997년 국제전기기술위원회(International Electrotechnical Commission Technical Committee)에서 제정한 방폭 전기기기에 대한 국제적인 상호 인증제도로 방폭전기기가 국제규격(IEC)의 요구사항에 적합함을 입증하는 국제적인 인증제도이다. 유럽의 CE인증인 ATEX(유럽방폭지침)인증과 함께 대표적인 국제 방폭인증제도이다.



### 2.4.3 RBI(Risk Based Inspection)

RBI란 유체 용기(vessel) 및 배관의 부식여부를 수명(life time)까지 주기적으로 계측하여 부식여부를 관찰하는 활동을 말하며, 기준 두께는 설치 후 건조 중에 계측된 값으로 한다<sup>10)</sup>. 두께측정위치(WTMP : Wall Thickness Measurement Point)는 배관의 경우 유체의 흐름이 빨라지는 L자(elbow)나 이경관(reducer)으로 정하고, 수평(horizontal) 배관은 가장 아랫부분으로 유체가 고여 있을만한 곳으로 지정한다. 그리고 수직(vertical) 배관은 가장 접근하기 편한 곳으로 하고, L자(elbow) 부분은 유체가 가장 많이 닿는 부분으로 선정한다. 수직용기(vertical vessel)와 수평용기(horizontal vessel)는 바닥부분에서 가장 쉽게 접근할 수 있는 곳으로 지정한다.

RBI 수행은 WTMP의 위치를 선정한 후 64 mm의 원으로 표시하고, 표시된 원 옆에 30 mm 높이로 WTMP No.로 표기한다. 두께 측정은 ASNT<sup>8)</sup> Level 2 자격을 가진 자가 수행할 수 있으며 페인트를 통과해서 자재 두께를 측정할 수 있는 장비로 표시된 64 mm의 원 내의 4 Point를 측정한다. 측정값은 일정한 형식을 가진 리포트에 최소값·최대값·평균값을 기록하고, 측정 장비의 교정 정보도 포함하여 문서로 작성한 후 F-LNG 인도 전에 선주에게 제출해야 한다.

### 2.4.4 무결함 인도(FPD : Flawless Project Deliver)

FPD란 잠재되어 있는 위험 요소나 결함을 사전에 식별하고 예방하여 커미셔닝 및 운전 중에 공정 지연을 방지하기 위한 활동으로 인도 후 운전 중에 크고 작은 품질문제가 발생하여 작업이 지연되고 비용이 증가하는 사례가 빈번하게 발생하여 추진하는 배경이 되었다<sup>11)</sup>.

8) 미국 비파괴시험 협회(American Society for Nondestructive Testing)

**Table 2.11**과 같이 FPD를 수행하기 위해선 Q-Area 즉 점검 항목을 나누고 인도전까지 주기적으로 선주와 함께 점검을 수행해야 한다.

**Table 2.11 FPD Q-area check point**

Q-Area	Title	Check Point
Q01	Tightness	Pipe, valve and flange leakage
Q02	Cleanliness	Inside contamination of pipe and valve, protection covering
Q03B	Integrity-static equipment	Potential defect for boiler, heat exchanger, static equipment
Q03C	Integrity-rotating equipment	Potential defect for shaft, pump, fan, rotating equipment
Q03D	Integrity-instrumentation	Potential defect for instrument and sensor
Q03E	Integrity-electrical	Potential defect for electric, lighting
Q03G1	Integrity-marine	Potential defect for structure, painting, steel outfitting, hvac
Q04	Operability and maintenance	Potential defect for installation, maintenance
Q05	HSE in transition	Safety
Q06	Novelty and complexity	Potential defect for complex product
Q08	Testing	Potential defect for material test
Q11	Information and data	Potential defect for information provide

## 제 3 장 F-LNG 공정 중 발생하는 문제점

### 3.1 편치(Punch) 개요

#### 3.1.1 편치 개념

편치란 MC가 적용되는 프로젝트에서 태그 별로 발생하는 품질 문제를 말한다. 편치는 장비 손상, 현장과 설계 도면과의 불일치, 작업 미완 등의 모든 부적합 사항에 대하여 선주나 선급 그리고 조선소에서 품질 업무를 담당하는 검사관이 발행을 하며 발행된 편치는 품질 시스템에 등록된 후 관리된다.

편치 이외에도 품질 문제의 종류로는 NCR(Non-Conformance Report, 부적합사항)과 코멘트(comment)가 있다. NCR은 검사관이 검사 혹은 순찰할 때 발견한 현장과 도면의 불일치 사항을 기록한 리포트로써 설계 변경이 필요한 경우 또는 성능에 중대한 영향을 미치는 경우에 한하여 발행되며, 코멘트는 NCR 보다 품질문제의 중요성이 낮고 보다 간단하게 처리할 수 있는 품질문제를 말한다. 편치와 차이점은 편치는 다음 공정을 진행하기 위하여 증명서 발행 시 반드시 처리되어야 하지만 NCR과 코멘트는 태그가 없는 항목에 대한 품질 문제로 증명서 발급 여부와는 관계가 없다.

편치는 태그별로 발행이 되기 때문에 언제든지 쉽고 간단하게 태그 넘버만 조회하면 이력파악을 할 수 있다.

### 3.1.2 편치 등급

편치는 MC 검사와 마찬가지로 증명서를 발행하여 다음 공정을 진행하기 위하여 관리되어야 하는 중요한 항목이다. 즉 해당 서브시스템의 MC 검사가 종료되었어도 그에 해당되는 편치가 종결되지 않았다면 증명서 발행이 되지 않는다. 원활한 증명서 발행을 위해 편치는 등급을 가지고 있다. 조선소에서 처리해야하는 편치의 등급은 총 4가지로 A, B, C, D로 나뉜다. 발행시점과 상관없이 A 편치는 MC 단계, B 편치는 PC 단계, C 편치는 커미셔닝 완료 전까지 처리되어야 다음 공정을 진행할 수 있다. 품질 검사관은 편치를 발행할 때 편치 발행자와 반드시 등급에 대해서 이견이 없도록 협의를 하고 등록을 해야 한다.



**Table 3.1**은 F-LNG의 펀치 등급을 나타낸 표로 발주처와 협의를 하여 정한다. 업무특성 별로 발생하는 주요 펀치를 분석하여 카테고리 A~D로 나누어 관리하고 있으며, 그 외 펀치에 대해서는 증명서를 발행할 때 문제가 없도록 선주와 사전 협의를 하고, 주기적으로 관련부서와 펀치 관련 미팅을 하여 진행사항 및 등급 재조정을 실시하고 있다.

**Table 3.1 Punch category**

Punch category			
Category A	Category B	Category C	Category D
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installation defect</li> <li>- Test incomplete</li> <li>- Not restore after hydro. test</li> <li>- Cable insulation resistance default</li> <li>- Equipment damage</li> <li>*Completion before CC cert.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Function defect</li> <li>- Not supply the power</li> <li>- Loop check incomplete</li> <li>- Safety check incomplete</li> <li>*Completion before MC cert.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operation test incomplete</li> <li>- Mechanical running test incomplete</li> <li>- Tag defect</li> <li>*Completion before R.F.S.U. cert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dwg. modification</li> <li>- Insulation damage</li> <li>- Paint damage</li> <li>*Completion before work accept</li> </ul>

### 3.1.3. 편치 처리절차

모든 편치는 등록부터 종결까지 품질 문제 시스템에 등록되어 관리된다. 편치 발행자가 시스템에 편치를 등록하면, 품질 검사관은 해당 편치의 내용을 확인한 후 관련부서에서 조치할 수 있도록 편치를 이관한다. 관련부서에서는 편치를 조치한 후에 조치 결과와 증빙 자료를 시스템에 입력하면 품질 검사관은 다시 편치 발행자와 협의하여 편치 종결 여부를 결정한다. 만약 조치 결과가 미흡하다면 반력을 하고, 조치가 완료 되었다면 시스템에서 편치를 종결시킬 수 있다. 프로젝트에 따라 시스템의 편치 리스트를 출력하여 편치 발행자의 서명을 받은 후 종결하고 서명된 편치 리스트는 스캔 후 파일 형태로 시스템에 등록하여 종결시키기도 한다.

### 3.1.4. 편치 리스트 작성법

편치 리스트는 MC 검사 중에 발견된 편치를 품질 검사관이 작성하며 작성된 편치 리스트는 선주, 검사를 수행하는 생산 부서 담당자, 품질 검사관의 서명을 한 후 MC 체크리스트와 함께 문서화 한 후 선주에게 전달된다. 편치 리스트에 작성된 편치는 품질관리 시스템에 등록하여 관리된다. 편치 리스트는 프로젝트에 따라 구성 내용을 추가하거나 삭제할 수 있다.

**Table 3.2**는 실무에서 MC 검사에 사용되는 펀치 리스트이다. 1)은 체크 시트 점검 항목 중 해당되는 번호를 기입하고, 2)에는 태그 번호를, 3)에는 해당 태그의 서브시스템 번호를 기입한다. 4)에는 펀치 발행 위치를 기입하고, 5)에는 펀치 내용을 누구나 알기 쉽게 자세하게 기입해야 한다. 6)에는 펀치 등급을 기록하고, 7)에는 펀치 내용을 담당할 업무특성을 기입하고, 9)에는 펀치를 조치할 때 참고할 수 있도록 펀치 관련 도면 번호를 기입한다. 모든 내용을 정확히 자세하게 기입해야 시간이 지나고 담당자가 변경되더라도 쉽게 내용을 파악하고 조치할 수 있다.

**Table 3.2** Punch list

Punch Category				Discipline					
A : To be cleared before CC				M Mechanical		P Piping			
B : To be cleared before MC				I Instrumentation		T Telecom			
C : To be cleared before RFSU				E Electric		S Structural			
D : To be cleared before Accept work				H HVAC		PT Painting			
Item No.	Tag No.	Sub-system	Area	Description	Cate.	Disc.	Action By	DWG	Date
1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)
Organizations			Date	Name		Signature			
QM									
Class									
CPY									

### 3.1.5 편치 문제점

#### (1) 편치 과다 발생

MC 검사는 검사 신청 전 생산 담당자가 사전 점검을 실시해야 하나 검사결과 기록도 없이 형식적으로 운영하여 현장관리 미흡에 따른 MC 검사 불합격이 많고 편치가 다량 발생하고 있다.

MC 불합격 원인은 현장관리 미흡이 약 80%로 공정 지연을 방지하기 위한 사전 품질확인 없이 MC 검사를 신청하는 관행이 만연하고 있으며, 현장 작업자의 작업 표준 미준수 및 부주의에 의한 설치 수정작업이 늘어나고 있는 실정이다.

#### (2) 편치 조치 지연

MC 검사를 수행한다는 의미는 작업이 완료되었고, 그 다음공정을 진행하고자 하는 의미이다. 다음 공정 진행을 위한 증명서 발행 조건은 MC 검사 100% 완료와 해당 등급 편치의 100% 조치이므로 편치가 하나라도 남아있으면 증명서 발급이 되지 않고 공정이 지연될 수밖에 없다.

편치가 발행되어 조치부서가 지정된 이후부터 편치가 완료될 때까지 소요되는 시간은 평균 20일 이상 소요된다. 보통 증명서 발행 요청서는 품질 검사팀에서 3~4일 전에 발주처로 제출되고, 선주가 관련 서류를 검토해야 한다. 편치 조치가 되지 않아 증명서 발행이 지연되는 경우가 빈번히 발생하여 이 문제를 해결하기 위해 편치 관리 전담팀을 두기도 하지만, 근본적으로 편치 발생을 줄이지 않는 한 이 문제를 해결하기 힘들다.

#### (3) 벤더 장비 품질 관리 미흡

FAT 와 입고검사, 그리고 MC 편치 중 구매팀으로 지정된 편치는 장비 공급업체인 벤더에서 처리해야 하는 편치이다. 벤더 장비 편치는 개런티



및 기술적인 문제로 벤더 서비스 엔지니어가 방문해서 처리하거나, 자재를 수급하여 처리해야 하기 때문에 조선소 생산부서로 지정된 편치보다 조치 기간이 길고 처리하는데 많은 어려움이 있다.

보통 벤더 공급 장비는 업체에서 FAT나 출고검사(Final Inspection)를 수행하고, 조선소에 도착하면 입고검사(Receiving Inspection)를 수행한다. 그리고 장비 설치 후 MC를 수행하는데, 장비 설치 전 FAT나 입고검사에서 충분히 편치를 발견하고 조치할 수 있는 시간이 있으나, MC 검사 때 대부분의 편치가 발견되어 증명서 발급이 지연되고 있다.

## 3.2 HFE(Human Factor Engineering, 인간공학 설계) 일반

### 3.2.1 HFE 개념

HFE란 인간이 사용하는 기계, 장치 그리고 인간을 둘러싸고 있는 작업 환경 등을 인간의 신체적, 정신적 특징이나 능력의 한계에 적합하게 설계·제작·배치·조정하기 위한 연구 활동을 말한다. 이 HFE를 해양프로젝트에 적용하여 작업자 관점에서 사람과 작업시스템 간의 상호작용을 최대화하기 위하여, 안전한 유지보수 및 효율적인 업무 수행을 위해 최적화된 설계를 해야 한다. 다시 말해 작업자의 육체적 및 정신적 건강을 보장하기 위해 영향을 미치는 물리적·화학적·생물학적·심리학적 요소들을 총칭하는 말이다. 예를 들어 물리적 요소란 ‘벨브 작동 공간이 확보되지 않아 손이 압착될 수도 있다.’ 라는 것이며, 화학적 요소란 ‘인체에 유해한 유체가 흐르는 곳은 작업자의 접근을 막아야 된다.’라는 개념이다. 생물학적 요소란 ‘일정 이상 소음에 노출되면 고막을 손상시킨다.’는 의미이고, 심리학적 요소란 ‘긴급 상황 시 사람은 공황상태가 되므로 비상탈출로를 눈에 띄도록 화살표를 그린다.’는 개념으로 이해할 수 있다. 상기 요소들은 시스템화여 체계적으로 관리 되어야 하고, 발주처에서는 단지 점검만 수행

하는 것이 아닌 HFE를 관리하기 위한 절차와 조직이 갖추어져 있을 것을 요구하고 있다.

### 3.2.2 HFE 중요성

선박은 국제해사기구<sup>9)</sup>의 건조기준을 준수해야 하고, 선박이 국제 기준에 맞게 건조가 되었다면 각 선급에서 보증하고 이 후 각 국가는 자국 해역에서 운항을 허락한다. 하지만 해양 프로젝트는 국제적으로 통용되는 건조기준이 없어 선주 자체 기준을 따르도록 되어 있다. 대부분 국제 스탠다드를 차용하고 더 엄격하게 자체 기준을 만들어 놓았다. 선주의 자체 기준 중 HFE 도 중요한 대상 중의 하나이며, 이를 충족하지 못하면 자국 해역에 출입을 금지시킨다. 이로 인해 선주 측에 피해가 발생한 경우에는 조선소에 엄청난 보상을 요구하게 되며, 이러한 문제는 현재 조선소에서 해양 프로젝트가 막대한 손실을 끼친 여러 원인 중에 하나이다.

### 3.2.3 HFE 주요 점검 항목

HFE 주요 점검 항목은 작업 공간(work space), 통로와 계단(passage way and stairs), 사다리(ladder), 밸브(valve), 배관과 플랜지(pipe and flange), 장비(equipment) 등으로 나뉘어져 있고, 세부 항목에 대해서는 아래와 같다<sup>12)</sup>.

#### (1) 작업 공간

**Table 3.3**과 같이 작업자가 일을 하거나 정비를 하기 위해서는 최소 가로 세로 600 mm, 높이 2,000 mm의 공간이 확보되어야 한다. 그리고 서있거나 앉아서 장비를 수동으로 작동 또는 모니터링하기 위해선 간격 600 mm가 확보되고 위 사진과 같이 설치 위치가 허용치에 들어와야 된다.

9) 1958년에 협약에 의해서 설립된 유엔 산하 전문기구로서 해운에 영향을 미치는 제반 기술사항에 대하여 정부 간의 협력을 촉진하고, 해상안전과 해양오염을 방지하고 해상보안을 강화하기 위한 실질적인 기준을 채택하고 있다. 이윤철, 「국제해사협약」(부산 : 다솜출판사, 2007), pp.67~68.

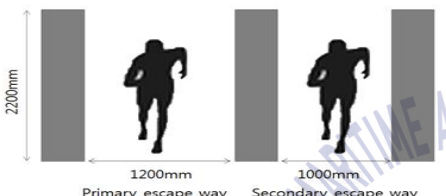
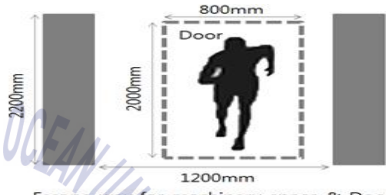
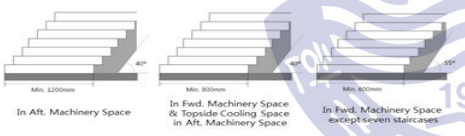
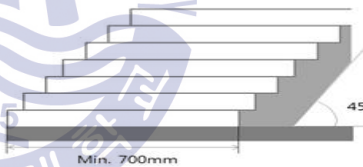
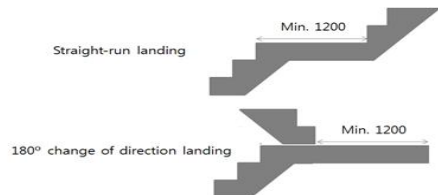

**Table 3.3 Working space for HFE**

<p>Adequate working space shall be provided for work or maintenance</p>	<p>Adequate distance of controls for manual operation (for standing personnel)</p>
<p>Adequate distance of controls for manual operation (for squatting personnel)</p>	<p>Adequate height of visual information (for standing personnel)</p>
<p>Adequate height of visual information (for squatting personnel)</p>	

## (2) 통로 & 계단

**Table 3.4**는 비상통로 또는 일반 통로는 구역과 용도에 따라 높이는 2,000 mm~2,200 mm, 폭은 600 mm~1,200 mm의 공간이 확보되어야 하고, 계단과 핸드레일 또한 설치 위치에 따라 경사각, 높이, 계단참(Landing Space) 등 절차서에 의거하여 설치되었는지 확인해야 한다.

**Table 3.4 Escape route and staircases for HFE**

 <p>2200mm 1200mm Primary escape way 1000mm Secondary escape way</p>	 <p>800mm 2200mm 2000mm 1200mm Escape way for machinery space &amp; Door</p>
<p>Minimum escape route size on hull deck</p>	<p>Minimum escape route size within machinery space</p>
 <p>Min. 1200mm In Aft. Machinery Space Min. 800mm In Fwd. Machinery Space &amp; Topside Cooling Space in Aft. Machinery Space Min. 800mm In Fwd. Machinery Space except seven staircases</p>	 <p>45° Min. 700mm</p>
<p>Adequate size of seven staircases in machinery space (Min. head room: 2,200 mm)</p>	<p>Adequate size of staircases in fwd. machinery space and topside cooling space in aft. machinery space</p>
 <p>Straight-run landing Min. 1200 180° change of direction landing Min. 1200</p>	 <p>Min. 1200mm (LQ outside, hulldeck, etc) Min. 600mm (Possible space to fall) Min. 1000mm (machinery space) 75mm</p>
<p>Landings</p>	<p>Top rail height of handrails</p>

(3) 사다리

**Table 3.5**는 높이 6 m가 초과하는 사다리는 중간에 플랫폼을 설치해야 하고, 수직 사다리는 추락방지를 위해 안전문(Safety Gate), 안전 펜스 등이 설치되어야 한다.

**Table 3.5 Vertical ladder for HFE**

<p>6,000mm</p>	<p>Safety gate      Side step      Safety hoop</p>
<p>If total height of vertical ladder exceeds 6,000 mm, intermediate platform shall be provided except vertical ladder for mast/post</p>	<p>Safety system for vertical ladder</p>

(4) 밸브

**Table 3.6**은 스템이 수평방향으로 된 밸브는 500 mm 간격, 최소 200 mm ~1,800 mm 높이에 설치되어야 하며, 스템이 수직으로 된 밸브는 간격이 610 mm가 확보되고, 높이는 200 mm~1,600 mm 사이에 설치되어야 한다. 쉽게 말해 아무런 간섭 없이 밸브를 작동할 수 있는 공간이 확보되고 밸브가 적당한 위치에 설치되었는지를 점검해야 한다.

**Table 3.6 Stem valve for HFE**

<p>Acceptable height for horizontal stem valve control</p>	<p>Acceptable height for vertical stem valve control</p>

(5) 배관 & 플랜지

**Table 3.7**은 배관 간격은 평행으로 설치되었을 때 최소 75 mm, 교차로 설치되었을 때는 최소 50 mm가 확보되어야 하고, 플랜지 간격은 최소 30 mm, 그리고 플랜지와 격벽의 최소 간격은 설치 장소에 따라 표 그림과 같이 최소 공간이 확보되어야 한다.

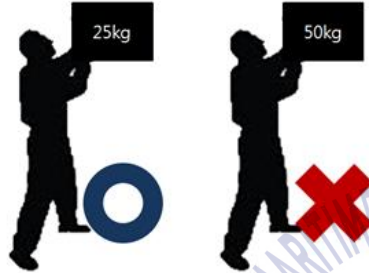
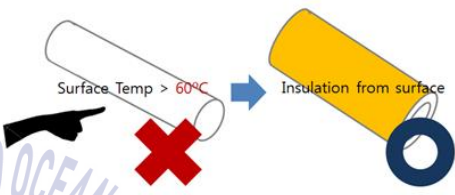
**Table 3.7 Pipe and flange for HEF**

<p>Between pipe and pipe or other object (Same as insulated two pipes)</p> <p>Between multi-level cross pipes</p>	<p>Wall / Deck</p> <p>Min. 150mm</p> <p>30mm</p>
<p>Minimum distance between pipe and other object</p>	<p>Minimum distance between flanges, flange and wall(except LQ area)</p>
<p>Wall / Deck</p> <p>Min. 100mm</p> <p>30mm</p>	<p>Inside steel wall</p> <p>Min. 75mm</p> <p>30mm</p>
<p>Minimum distance between flanges, flange and wall within LQ area</p>	

(6) 장비

**Table 3.8**은 25 kgf 초과와 장비는 적절한 리프팅 도구를 사용하여 이동시킬 수 있는 설비가 있어야 하며, 배관 표면 온도가 60°C가 넘을 경우에는 화상 방지 및 온도 유지를 위해 적절한 보온재를 씌어야 한다.

**Table 3.8 Equipment for HFE**

	
<p>Maximum manual handling weight for single person lifting item from standing position without assistance shall be 25 kgf</p>	<p>All surface having normal temp. above 60°C shall be insulated</p>

**3.2.4 HFE 문제점**

(1) HFE 설계 도면 반영 미흡

**Fig.3.1**은 HFE 관련 품질 문제 사진이다. 대부분의 품질문제는 설계 단계에서 HFE가 적용되지 않아 발생한 품질 문제로 설치 부주의보다 80% 이상으로 훨씬 많은 걸 알 수 있다. 해양프로젝트 초기 HFE가 적용된 프로젝트의 경우 인도 직전 다수의 개정도 발생 및 수정 작업이 진행되어 공정지연으로 인한 막대한 손실이 발생하였다. 이 문제를 해결하기 위해 설계 초기단계 부터 HFE를 적용하여 3D 모델링 등 다양한 활동을 수행하고 있으나, 100% 반영이 되지 않아 여전히 품질 문제가 발생하고 있고

F-LNG의 공정 지연을 끼치는 주요 원인 중의 하나이다.



**Fig. 3.1 HFE punch**

(2) 현장 작업자 및 검사관 HFE 인식 부족

현장작업자와 검사관은 야드에서 절차서를 기준으로 업무를 수행한다. 그러나 HFE의 경우에는 수치화 및 명문화 된 기준이 있지만 선주의 사견이 많이 반영된다. 예를 들면, '문 높이가 낮아서 작업자가 이동하는데 불편하겠는데', '이건 눈에 잘 띄지 않아서 잘못하면 부딪히겠는데' 등의 접근 방식을 사용하므로 HFE 인식이 부족한 현장 작업자와 검사관들은 부당하다고 느끼게 되는 경우가 많다. 그리고 작업 중에 충분히 HFE 관련 품질 문제를 발견하고 수정할 수 있는데도 놓치는 경우가 자주 발생한다. 각 조선소에서는 주기적으로 HFE 관련 내용을 공유하고 교육을 하고 있지만, 조선소 특성상 작업자의 프로젝트 이동이 빈번하고, 어떻게든 작업을 빨리 수행하고 마치려는 경향이 있어 모든 작업자에게 HFE를 인식시키는데 어려움이 있다.



### 3.3 보존(Preservation) 일반

#### 3.3.1 보존 개념

보존이란 장비와 모든 시스템을 잠재적인 내·외부 악화 요인으로부터 보호하는 것을 의미하고, 장비가 조선소 도착 후에 공급업체의 권장사항을 준수하고 체크시트에 따라 보존 상태를 확인하기 위한 정기 활동을 말한다. 초기 보존활동은 공급업체에서 권장하는 유지보수를 포함하여 내·외부 보호코팅, 먼지나 부스러기에 대한 보호, 대기 중 부식작용과 습기로부터의 보호 등 많은 활동을 포함하고 있다. 즉 보존이란 장비의 현재 상태를 운전 전까지 지속·유지하기 위한 모든 활동을 의미한다<sup>[13]</sup>.

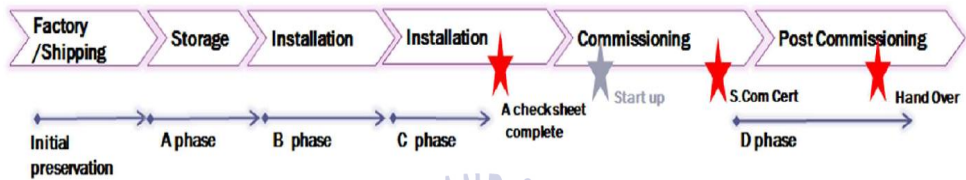
F-LNG는 진수 이후 인도까지 최소 2년 이상 소요되는 장기 프로젝트로 무엇보다 장비 보존의 중요성이 대두되고 있다. 장기간 사용하지 않은 장비가 보호커버를 완벽히 설치했을지라도, 기온·습도 등의 변화에 따라 장비에 영향을 끼치고 심한 경우에는 장비의 성능을 감소시킬 수 있다. 이러한 이유로 선주는 보존의 중요성을 사전에 인식하고 대비하기 위해 점검 활동을 강화하고, 조선소에서도 별도의 보존팀을 운영하여 보존 활동을 수행하고 있다.

#### 3.3.2 보존 진행절차 및 자재

보존의 진행절차는 먼저 설계 담당자가 장비별 상세 보존 절차서를 공급업체로부터 접수 받은 다음, 접수한 자료를 모두 취합하여 통합 보존 절차서를 작성한다. 적용 장비 및 점검 주기 등의 점검 리스트가 포함되어 작성된 절차서는 선주에게 승인을 득한 다음 태그별로 보존 점검 리스트를 할당하여 주기적으로 점검을 수행한다. 점검 결과는 MC 프로그램에 등록 및 관리되며, 점검 중 발생한 보존 문제는 품질문제로 취급하여 편치로 등록되어 관리된다<sup>[14]</sup>.

**Table 3.9**는 공정 단계별로 진행되는 보존 활동을 나타낸 표이다. 장비 입고검사 전까지는 장비 공급업체에서 수행되고 점검 결과가 제출되어야 하며, 입고검사 이후에는 조선소에서 보존 절차서에 의해 점검되고 수행되어야 한다.







**Table 3.9 Preservation activity by phase**



Phase	Description	Responsibility
Initial preservation	Before shipping, vendor preserve equipment for min. 1 year and submit result. If problem is found at receiving inspection, vendor needs to fix.	By vendor
A phase	After RI Shipyard to preserve it as per vendor's preservation procedure.	By shipyard
B phase	After installation, shipyard to preserve it as per vendor's preservation procedure. (Idle stand, no connection)	By shipyard
C phase	After installation, shipyard to preserve it as per vendor's preservation procedure. (after connection)	By shipyard
D phase	After commissioning shipyard to preserve it as per vendor's preservation procedure.	By shipyard

**Table 3.10**은 주요 보존 자재 리스트이다. 전기 계통의 수분 방지를 위한 습기제거제와 장비나 배관 내부 부식 발생을 억제하기 위한 부식방지제가 사용 방법 및 주기에 따라 여러 종류가 있다.

**Table 3.10 Preservation materials**

Picture	Item	Capacity	Period	Usage
	CORTEC 101	28 L (35 cm × 35 cm × 20 cm)		
	VC2-2	1,000 L (1.8 m × 1 m × 0.5 m)		
	Vpci-337	1 L/m <sup>3</sup> fog or mist without dilution into containers, crates, boxes and shrouded packages at a rate of 1 oz.(1 L/m <sup>3</sup> ) of enclosed space.	12 months protection	Water based vapor phase corrosion inhibitor
	Vpci-322	Add VpCI-322 to oil at a ratio of 1 part VpCI-322 to 9parts oil 2 fog cavity interior with VpCI-322 using 1 quart(1 L) per 35 ft <sup>3</sup> (1.1 m) of enclosed space.	24 months protection	Oil based vapor phase corrosion inhibitor
	Vpci-368		Up to 5 years	Wax type corrosion inhibitor
	Vpci-369		Up to 5 years	Grease type corrosion inhibitor

### 3.3.3 보존 주요 활동

보존활동은 크게 모든 장비의 외관 점검(visual check), 전장 장비(electric equipment), 고정 장비(static equipment), 회전 장비(rotating equipment) 4가지로 나눌 수 있으며, 각각의 점검 항목은 **Table 3.11~3.14**와 같다.



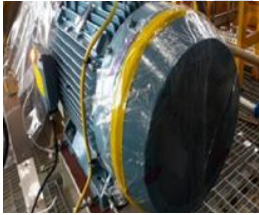

**Table 3.11**은 모든 장비에 대한 외관상 보존 활동으로 먼지나 이물질을 제거하고, 손상되기 쉬운 자재가 있으면 적당한 보호커버를 씌어야 하며, 장비나 배관의 구멍은 이물질 유입 방지를 위해 막아야 한다. 그리고 모든 장비는 화재가 났을 때를 대비하여 타지 않은 재질의 커버로 보호가 되어야 한다.

**Table 3.11 Visual check**

No.	Picture	Activities	Action by
1		Rust/dust check and cleaning if necessary	Preservation team
2		Fragile component to be protected if necessary	Preservation team
3		Nozzle/flange/hole to be protected with cover if necessary	Preservation team
4		Fire retardant custom covers to be fitted if necessary	Construction team



**Table 3.12**는 전장 장비의 보존 활동이다. 전기 판넬 내부에 습기 제거를 위한 제습제를 투입하고, 녹이나 먼지가 있는지 점검해야 하며, 모터와 같이 히터(Space Heater)가 설치되는 장비는 장비 탑재 이후 전원이 연결되기 전까지 절연을 위해 임시로 전원을 공급해 주고 주기적으로 절연저항을 체크해야 한다.

**Table 3.12 Electric equipment**

No.	Picture	Activities	Action by
1		Check inside of panel. If rusty or dusty, repair it.	Preservation Team
2		Apply Vpci capsule and replace it if necessary.	Preservation Team
3		Measure insulation resistance. (Above 1,000 V by 2500 DC, below 1000 V by 500 DC)	Preservation Team
4		Energize space heater and check	Preservation Team






**Table 3.13**은 고정 장비의 보존 활동이다. 탱크나 열교환기 등 내부에 습기를 제거하고 녹 방지를 위해 질소나 건조 공기(dry air)를 충전하여 주기적으로 압력 변화를 점검하거나, 습기제거제를 투입한다.

**Table 3.13 Static equipment**

No.	Picture	Activities	Action by
1		<p>To preserve it by filling nitrogen or dry air, fill up nitrogen or dry air and monitor pressure. (0.5 bar)</p> <p>Once pressure drops below 0.2 bar, top up nitrogen or dry air to 0.5 bar.</p>	Preservation team
2		<p>To preserve it by using VPCI powder, spray it inside of vessel.</p> <p>Once open, check VPCI condition and replace it if necessary.</p>	Preservation team

**Table 3.14**는 회전 장비의 보존 활동이다. 펌프 회전부에 윤활유나 그리스를 주입하고, 매2개월마다 회전축이 고착되지 않도록 핸드터닝을 실시해야 한다. 그리고 외부에 노출되는 축과 커플링에는 부식방지제를 바르고, 입·출구 연결부는 보호 커버링을 씌어 이물질 유입을 막아야 한다.

**Table 3.14 Rotating equipment**

No.	Picture	Activities	Action by
1		Fill up preservation oil or grease and top up if necessary. (Preservation oil : lubricant mixed with corrosion inhibitor.)	Preservation team
2		Check oil condition and replace it if necessary.	Preservation team
3		Turn shaft by hand every 2 months if required by vendor preservation procedure.	Preservation team
4		Protect external machined surface by applying corrosion inhibitor&custom cover.	Preservation team
5		Keep close in/out connections.	Preservation team

### 3.3.4 보존 문제점

#### (1) 보호커버 불량으로 장비 손상 발생

장비별로 보존 방법이 여러 가지 있지만, 공통적인 항목으로 모든 장비는 이물질·먼지 유입 및 장비 손상 방지를 위해 보호 커버가 덮여져야 한다. 보호커버는 장비 공급업체에서 출고될 때부터 덮여져 있거나, F-LNG에 탑재 이후에 따로 제작하여 덮어진다. 그러나 F-LNG 등의 해양프로젝트는 설치 공정이 최소 2년 이상인 장기 프로젝트이므로 그 기간 동안 작업이라든지 검사로 인해 수십 번 씩 보호커버가 벗겨지고 덮어지는 일이 반복된다. 이로 인해 보호커버가 손상되는 일이 비일비재하며, 보호커버가 벗겨지거나 손상되면 장비 내에 이물질이 유입되어 장비 손상을 야기할 수 있다. 또한 보호커버 관리부서는 보존팀이 아닌 장비 담당 생산부서로 지정되어 있어서 즉각적 조치가 힘들고 철저하게 관리가 되지 않는 경우가 발생한다. 그리고 보존팀에서 주기적으로 점검하더라도 프로젝트에 워낙 많은 장비가 설치되어 있고 각 장비마다 보존 방법이 달라 보존팀만으로 완벽하게 관리하기는 사실상 불가능하다.

#### (2) 벤더 장비 보존 절차서 미흡

기본적으로 벤더 장비는 장비 제작업체에서 요구되는 보존 활동이 출고 전에 수행되어 지고, 보존 점검 리포트가 제출된 상태에서 야드로 공급되어 진다. 대부분 장비 공급업체의 보존 절차서를 보면, 최대 1년까지 수행되는 활동만 고려되어 작성되어 있다. 왜냐하면 일반상선은 장비 설치 이후 6개월 이내에 시운전 작업이 수행되기 때문에 보존 활동 절차서는 문제가 되지 않았다. 그러나 시운전까지 2년 이상 소요되는 F-LNG는 장비 제작업체에서 작성한 보존 절차서만 적용하기에는 미흡한 점이 많다. 예를 들어 원심펌프의 보존활동은 보호커버를 씌우고 모터에 히터를 연결하고, 한 달에 한 번씩 핸드터닝을 실시하라고 장비 제작업체에서 요구한다.



실제로 2년 이상 설치된 상태에서 원심펌프를 보관해야 하는 경우에는, 위 보존 활동뿐만 아니라, 기계 밀봉(mechanical seal), 오일실(oil seal), 그리고 가스켓 등이 경화되었는지, 펌프 내부에 발청이 생겼는지 등 장기간 수행되는 보존 활동이 이루어져야 한다.



## 제 4 장 F-LNG의 효율적인 MC 수행방안

### 4.1 실적선 편치 분석

#### 4.1.1 편치 분석 방법

F-LNG의 MC 수행 중 장비 설치 포함하여 HFE, 보존활동 중에 발생하는 모든 품질 문제는 편치로 등록되고 관리된다. 그래서 세계 최초로 발주되어 내년 여름 인도 예정인 S사 F-LNG의 편치 약 10만개에 대해 분석을 하여 편치 발생을 최소화 하고자 한다<sup>10)</sup>. 이로 인해 편치로 인한 MC 공정 지연을 예방하고, 금전적 손실을 최소화 할 수 있다.

분석방법은 약 10만개에 대한 편치를 업무특성별·단계별·조치부서별·처리기한별 등으로 분류·분석하여 편치가 MC 수행과정에 미치는 영향을 알아보고, 편치 발생 원인을 세부적으로 분석하고 해석하여 편치를 줄일 수 있는 방안을 제시할 수 있다.

---

10) F-LNG는 가스 전처리 공정과 액화 공정 등이 이루어지는 Topside와 가스 저장설비, 엔진룸, 거주 시설 등의 공정이 이루어지는 Hullside로 나눌 수 있다. 본 논문에서의 편치 분석은 Topside와 Hullside 모두 포함한다.

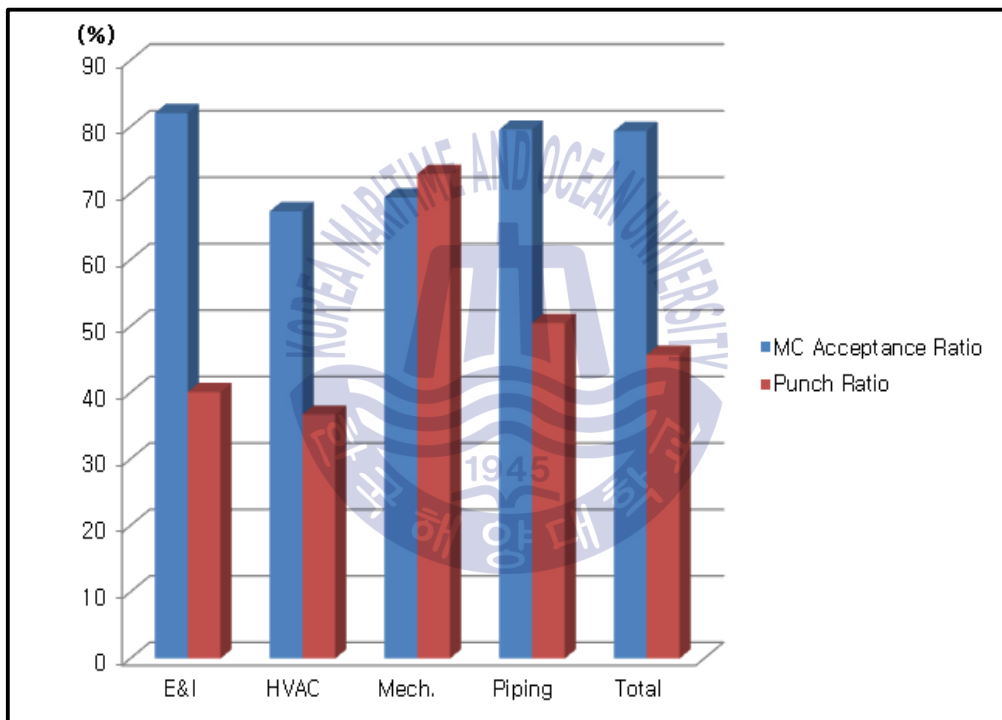
#### 4.1.2 실적선 편치 분석 및 고찰

**Table 4.1**은 업무특성별로 MC 검사의 합격률 및 MC 검사 건수에 대한 편치 발생률을 나타낸 표이다. MC 합격률은 약 80%이고, 불합격의 주요 원인은 현장관리 미흡, 작업 미완, 품질 문제 등으로 다양하며, 불합격의 원인 또한 편치로 등록되고 관리된다. 편치 발생률은 약 46%로 검사 2건 당 편치 1건 정도가 발생하고 있다. MC 검사 포함하여 F-LNG의 총 검사 건수는 약 20만 건이 넘기 때문에 편치 또한 10만 건이 넘게 발생한다는 의미이다.

**Table 4.1 MC accept ratio and punch ratio**

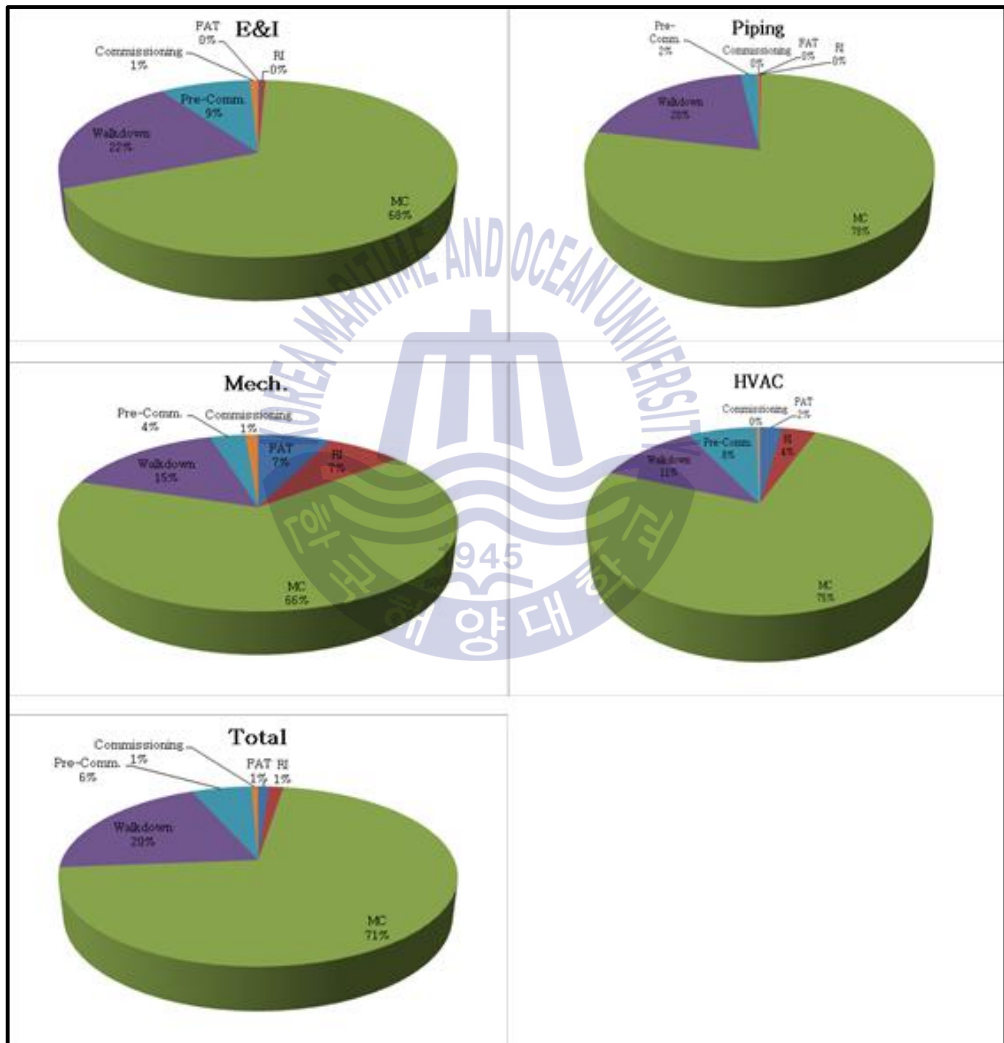
Discipline	MC Total (EA)	MC Accept (EA)	MC Reject (EA)	MC Acceptance Ratio(%)	Punch (EA)	Punch Ratio (%)
E&I	122,539	84,096	18,335	82.1	33,683	40.1
HVAC	7,168	7,116	3,458	67.3	2,609	36.7
Mech.	12,472	11,050	4,872	69.4	8,057	72.9
Piping	50,529	49,133	12,592	79.6	24,806	50.5
Total	192,708	151,395	39,257	79.4	69,155	45.7

**Fig. 4.1**은 업무특성별로 MC 합격률 및 펀치 발생률을 나타낸 그래프이다. 전계장(E&I)은 상대적으로 펀치 발생률이 적다는 것을 알 수 있지만, MC 검사 수량이 약 12만 건 이상으로 다른 업무특성보다 훨씬 많기 때문에 펀치 또한 발생량이 많다는 것을 알 수 있다. 그리고 기계의 펀치 발생률이 70% 이상으로 높은 이유는 MC 검사 항목이 벤더 장비로 점검 항목이 상대적으로 많기 때문이다.



**Fig. 4.1 MC accept ratio and punch ratio**

**Fig. 4.2**는 각 단계별로 Punch 발행 개수를 나타낸 그래프로, 업무특성에 따라 약간 상이하지만 90% 정도가 MC 검사와 증명서 발행 전 이루어지는 현장 실사(Walkdown) 중에 발생하는 것을 알 수 있다. 증명서 발행 전 편치가 집중적으로 발생하기 때문에 편치를 처리하지 못해 증명서 발행이 되지 않고 공정이 지연되는 것을 확인할 수 있다.

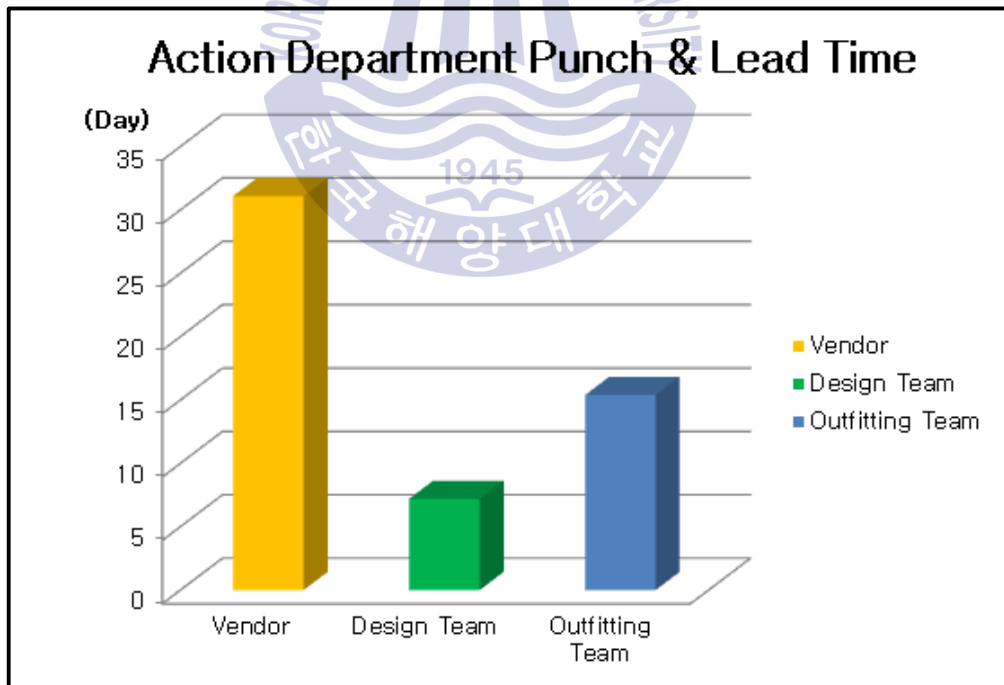


**Fig. 4.2 Stage and discipline punch**

**Table 4.2**와 **Fig. 4.3**은 조치부서별로 펀치 개수와 조치 기간을 나타낸 표와 그래프이다. 설계나 생산에 비해 벤더에서 조치해야 하는 펀치는 서비스 엔지니어가 방문하거나 자재를 공급해야 하기 때문에 조치 기간이 평균 30일 이상 소요되는 것을 알 수 있다. 벤더에서 조치해야 할 펀치를 사전에 식별하여 조치 기한을 확보하는 것이 공정 지연을 예방하는 방법이라 할 수 있다.

**Table 4.2 Action department punch and lead time**

Action department	Punch (ea)	Lead Time (day)
Vendor	14,493	31.1
Design team	18,604	7.2
Outfitting team	64,426	15.4

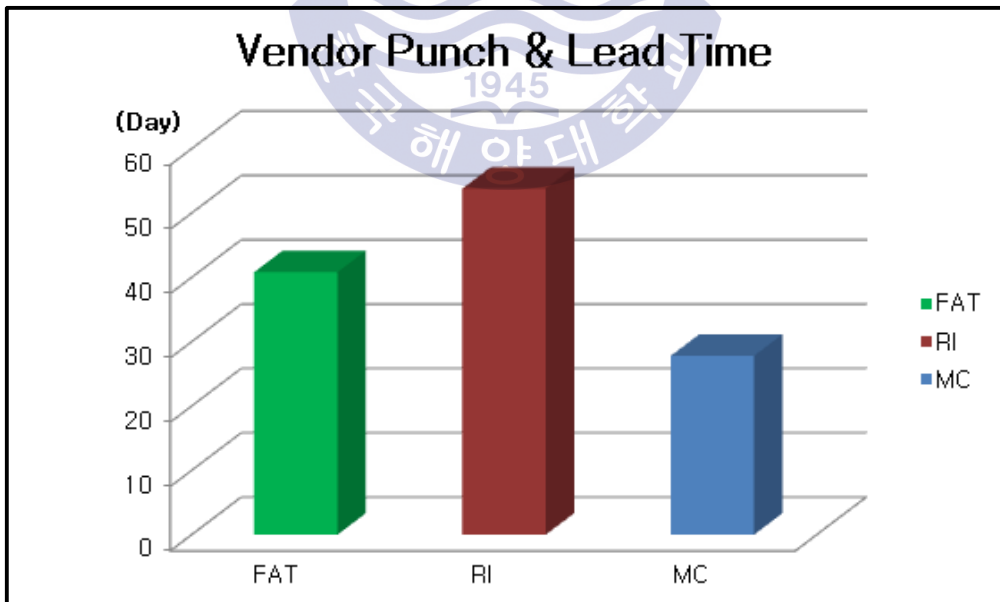


**Fig. 4.3 Action department punch lead time**

**Table 4.3**과 **Fig. 4.4**는 벤더에서 조치해야 편치를 각 단계별로 나타낸 표와 그래프이다. 같은 장비를 FAT, 입고검사, MC 검사로 중복 수행하지만 FAT 및 입고검사가 미흡하고 사전 품질 관리가 되지 않아 MC 검사 때 10배 정도 편치가 발생하는 것을 확인하였다. 그리고 편치 조치 기한은 약 30일 이상 장기간 소요되는 것을 알 수 있다.

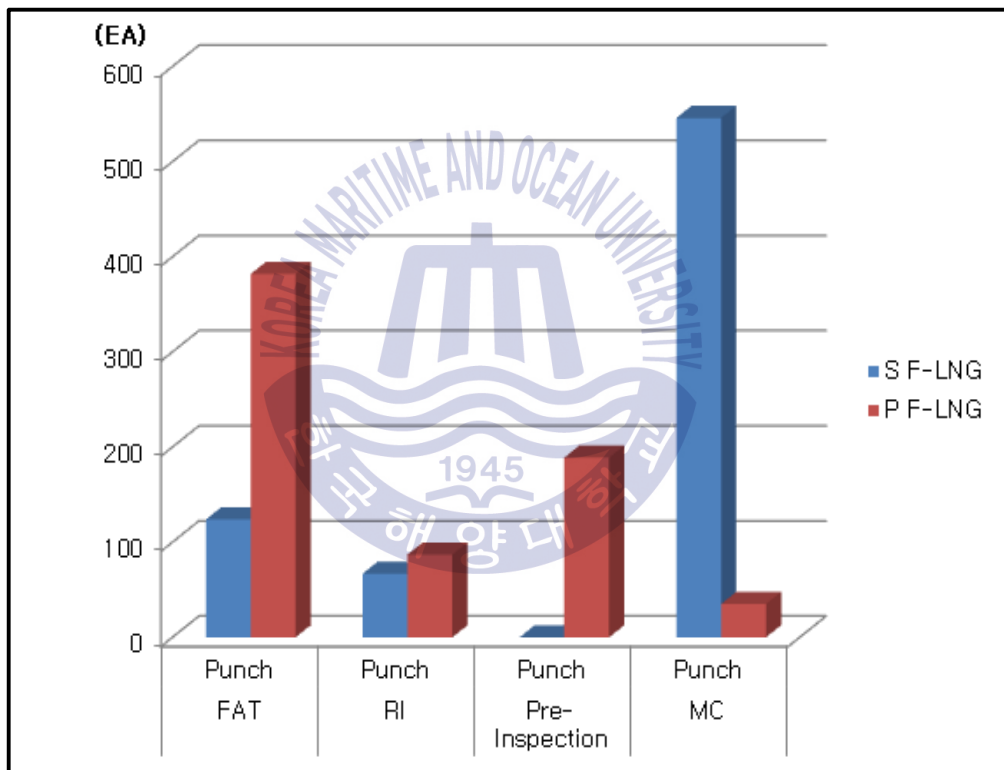
**Table 4.3 Vendor punch and lead time**

Vendor Punch	Punch (EA)	Lead Time (Day)
FAT	1,031	40.8
RI	1,352	53.8
MC	12,110	27.8



**Fig. 4.4 Vendor punch lead time**

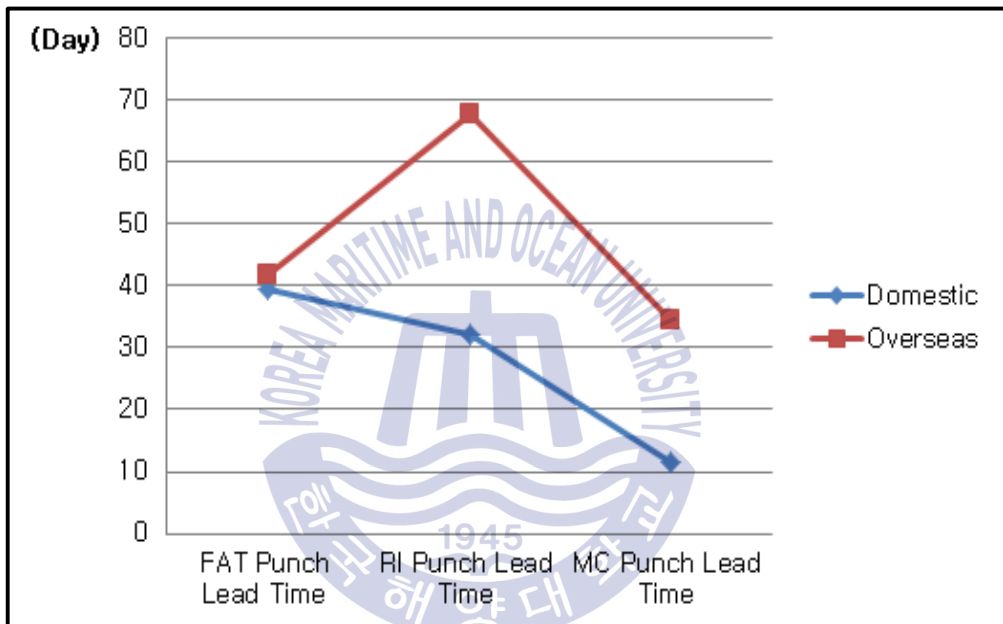
**Fig. 4.5**는 벤더장비 사전점검 실시 여부에 따른 펀치 발생량 차이를 나타낸 그래프이다. 현재 프로젝트가 진행 중인 관계로 전 장비를 비교하지 못하였지만, P F-LNG 장비 중 비상발전기 포함하여 대략 10개 정도 장비를 사전점검 실시하였고, 그 결과 MC 펀치가 90% 이상 감소되는 효과를 얻을 수 있었다. 사전점검으로 인해 펀치를 조기에 식별하였고, 증명서 발행 전 펀치를 조치하여 공정 지연을 예방할 수 있었다.



**Fig. 4.5 Pre-inspection punch**

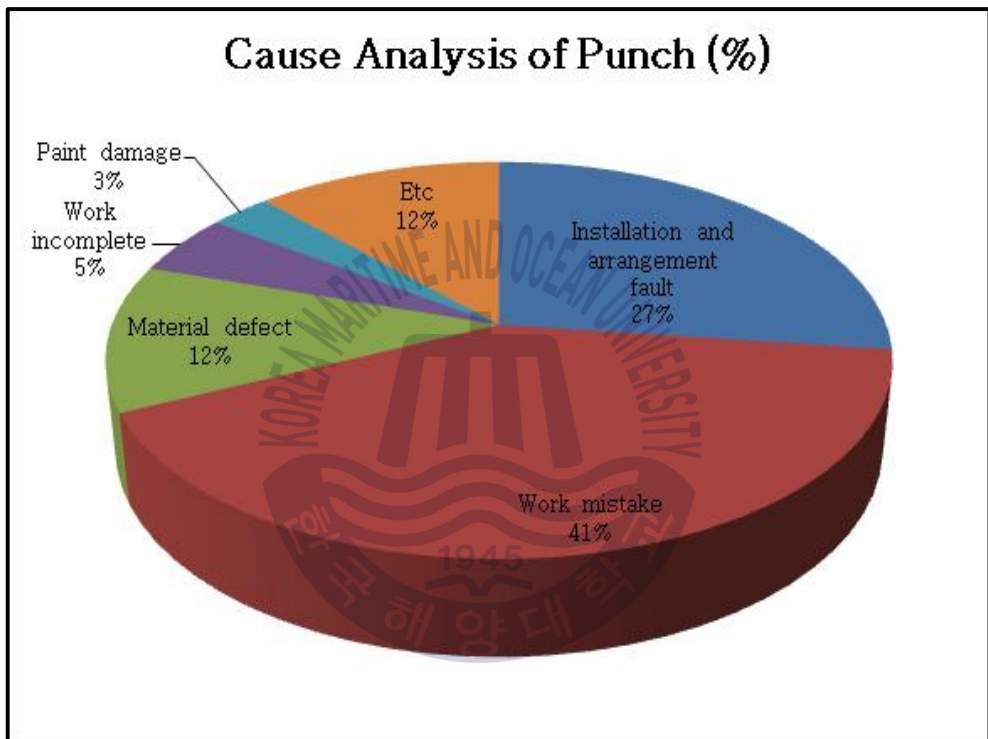


**Fig. 4.6**은 국내와 국외 벤더 펀치의 조지기한을 나타낸 그래프이다. 벤더에서 수행되고 출고 전에 펀치가 조치되어야 하는 FAT는 크게 차이가 없지만, 야드에 입고되어 수행되는 입고검사와 MC 검사는 30일 정도 차이가 발생하고 있다. F-LNG의 대부분 벤더는 유럽에 위치하고 있기 때문에, FAT를 강화하여 벤더 펀치를 사전에 식별할 수 있는 방안이 필요하다.



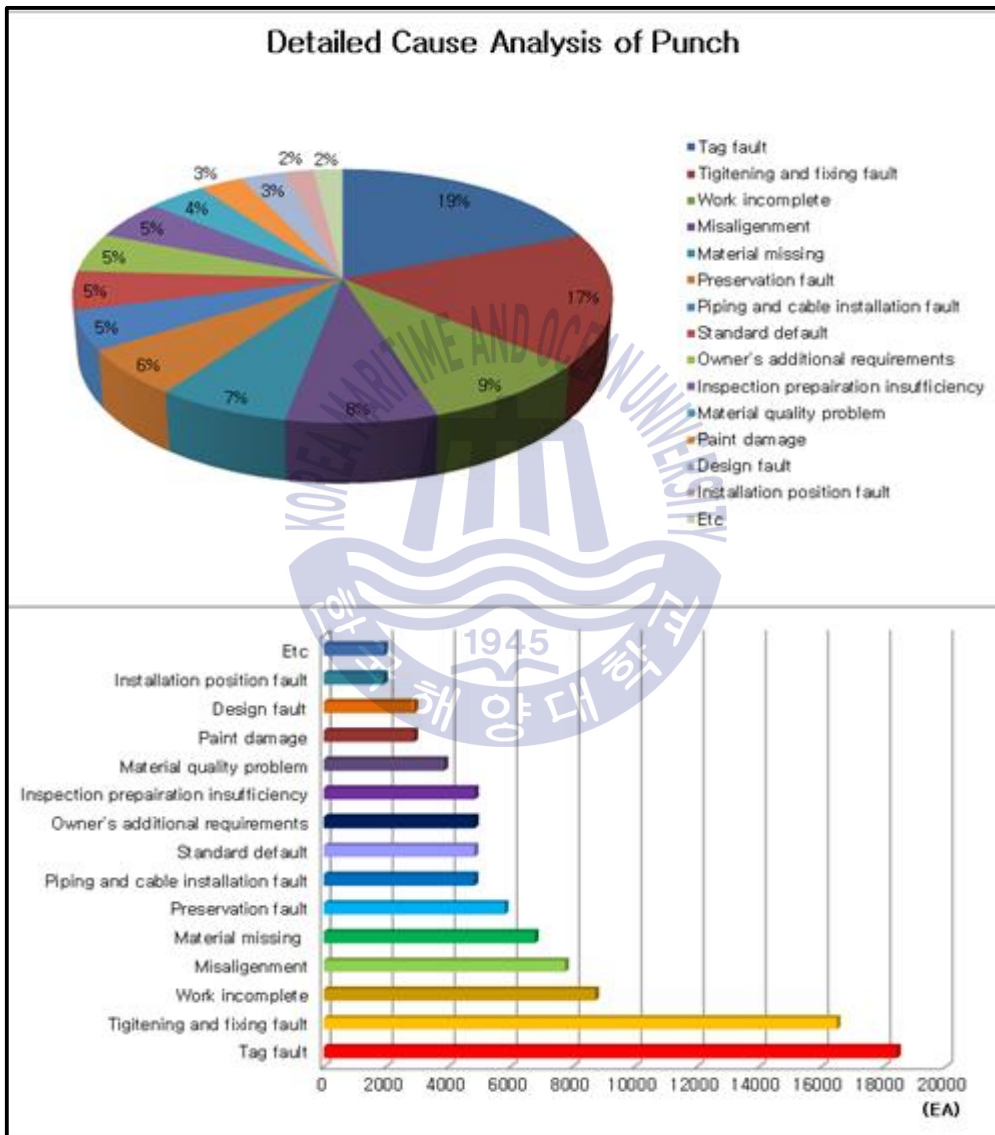
**Fig. 4.6 Domestic and overseas vendor punch lead time**

**Fig. 4.7**은 F-LNG의 펀치 발생 원인을 분석한 그래프이다. 생산 작업 오류로 인한 원인이 41%였으며, 설치·배치 불량 27%로 대부분 설치 작업 중에 펀치가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 분석한 펀치 개수는 10만개 정도로 많지만, 펀치 발생 원인은 5가지로 정도로 요약할 수 있었다.



**Fig. 4.7 Cause analysis of punch**

**Fig. 4.8**은 펀치 원인을 좀 더 세부적으로 분석한 그래프이다. 약 10만 개의 펀치는 태그 불량이나 체결상태 불량, 자재 손상 등 비슷한 유형의 펀치가 많았으며, 이를 바탕으로 업무특성 별 주요 펀치를 선정하여 예방한다면 펀치를 50%이상 감소할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

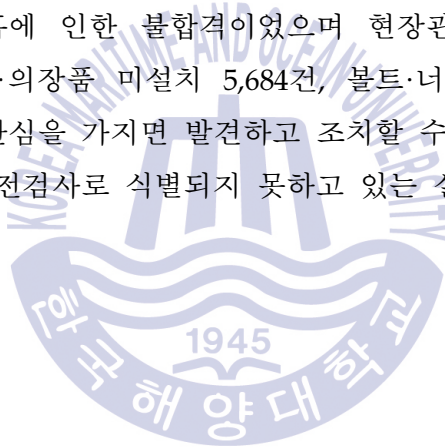


**Fig. 4.8 Detailed cause analysis of punch**

## 4.2 편치 대책방안

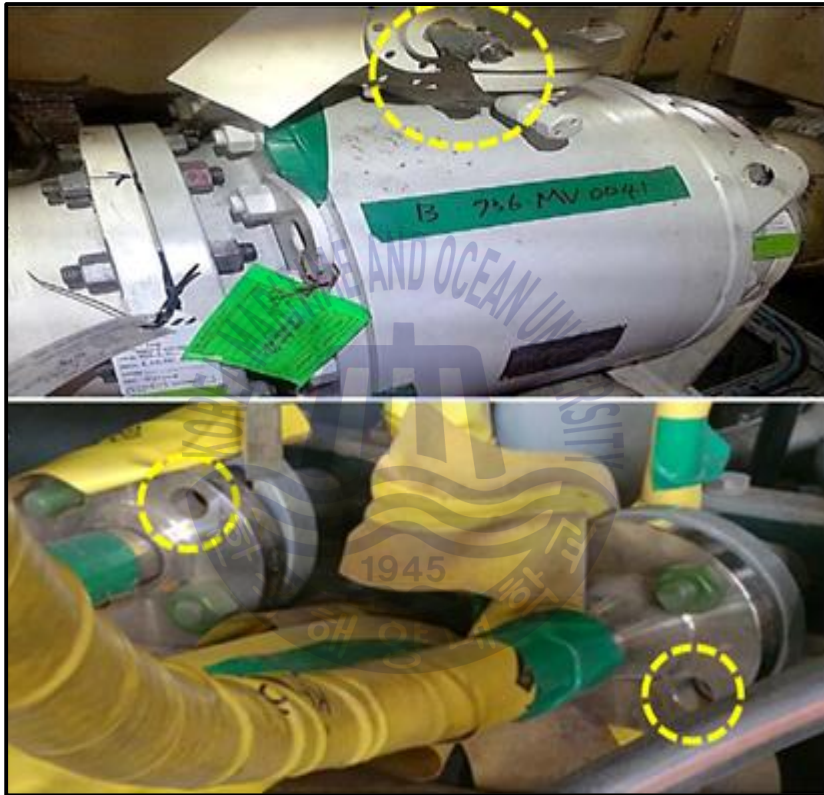
### 4.2.1 MC 생산 사전점검 의무화

MC검사는 검사 신청 전 담당 생산부서에서 사전점검을 실시하고 미리 식별한 품질 문제를 조치한 후 검사를 신청해야 한다. 하지만 일정을 맞추기 위해 사전점검을 하지 않거나 형식적으로 수행한 후 MC 검사를 신청하는 관행이 만연하고 있다. 이로 인해 MC 검사 불합격률은 2014년 17.3%, 2015년 11.4%로 목표치인 8%<sup>11)</sup>에 미치지 못하고 있다. 불합격 요인을 분석한 결과, 현장관리 미흡이 84%, 설치 오작 13%, 기타 3%로 대부분 현장관리 미흡에 인한 불합격이었으며 현장관리 미흡 불합격 약 21,400건 중 전계장·의장품 미설치 5,684건, 볼트·너트 체결미완 1,927건 등 대부분 조금만 관심을 가지면 발견하고 조치할 수 있는 기본적인 사항인데도 불구하고 사전검사로 식별되지 못하고 있는 실정이다.



11) MC검사 합격률은 조선소나 프로젝트에 따라 목표치를 설정하므로 상이할 수 있다.

**Fig. 4.9**는 의장품 설치 누락으로 인한 불합격 사진이며, 밸브 핸들이 미설치 되었고, 배관 플랜지에 볼트·너트가 누락되었는데, 사전점검을 실시하지 않고 검사 신청하여 불합격 되었다. 이로 인해 검사는 다시 수행 되고 편지도 발행되었으며, 추가적으로 인력과 시간이 소모되었다.



**Fig. 4.9 Valve handle and bolt/nut missing**

**Table 4.4**는 4.1.2항에서 실적선 편치 분석한 결과를 바탕으로 각 업무 특성 별로 주요 편치 5가지를 선정된 표이다. 상기 분석한 편치에 대해서 품질검사관은 생산 작업자 대상으로 주기적으로 교육을 실시하고, 생산부서에서는 MC 검사 신청 전 사전점검을 실시하여 만약 편치가 발생하였다면 조치 후에 검사가 신청될 수 있도록 의무화해야 한다. 그리고 MC 검사 중 상기 편치가 발행되었다면 검사를 즉각 중지하고 편치 조치 후 검사를 재 수행한다면 MC 불합격률은 감소될 것이다. 또한 생산부서에 사전점검의 중요성에 대한 경각심을 일깨워주고, MC 전 편치를 식별하고 조치함으로써 편치를 시스템에 등록하고 관리하는 업무를 줄일 수 있다.

**Table 4.4 Discipline worst 5 punch**

Discipline	Piping	Mechanical and HVAC	E&I
Worst 5 punch	Tag missing	Material damage	Tag missing
	Tightening fault	Incomplete work	Cable work fault
	Material damage	Preservation fault	Installation fault
	Interference	Interference	Connection work fault
	Installation fault	Installation fault	Material damage

**Table 4.5**는 MC 검사 전 주요 펀치 발생 원인을 사전 점검한 후 MC 펀치 발생 개수를 비교한 표이다. 현재 두 프로젝트의 F-LNG 공정이 진행 중인 관계로 MC 검사 전부를 비교하진 못하였지만, 주감독 상부에 설치되어 있는 장비를 대상으로 비교한 결과, 약 65% 정도 감소된 걸 확인할 수 있었다.

**Table 4.5 MC punch after worst 5 punch check**

Project	Inspection item	Worst 5 punch check	MC punch (EA)
S F-LNG	QRH, davit, crane etc, 18 equipments	X	74
P F-LNG		O	25

#### 4.1.2 벤더 장비 품질 관리 강화

F-LNG에 탑재되어 설치하거나 장비에 배관 및 케이블 연결 작업 등 조선소의 작업과 관련된 벤더장비의 품질 문제는 조선소에서 조치가 가능하지만, 벤더장비 자체 품질 문제는 개런티 및 기술적인 이유로 장비 제작업체에서 조치해야 한다. 그러므로 조선소의 펀치보다 많은 시일이 소요되고, 특히 장비 제작업체가 국내가 아닌 국외가 있는 경우에는 간단한 펀치라 할지라도 펀치를 처리하는데 한 달 이상 걸리는 경우가 비일비재하다.

벤더장비는 장비의 특성과 중요도에 따라 검사 종류 및 검사 입회여부가 정해진다. 보통 제작업체에서 선주, 선급, 조선소 품질검사관 입회하여 FAT가 수행되고, 조선소로 출고 전 벤더 품질 담당자에 의해 출고 검사가 수행된 후 조선소에 입고된다. 입고 후 선주와 품질검사관이 입회하여 입고검사가 수행되고 설치 완료 후에도 선주 및 품질검사관에 의해 MC검사가 수행된다. 하지만 MC검사의 펀치가 FAT, 입고검사 펀치 보다 10배

가까이 많이 발생한 것을 알 수 있다. 장비 탑재 이후 MC 검사까지 장기간 방치되어 공정 중 보존 보관 미흡으로 편치가 발생할 수도 있겠지만, 대부분 FAT나 입고검사 때 사전식별이 가능한 편치이다.

여러 이유가 있겠지만, FAT는 장비의 외관검사보다 성능 위주로 검사가 진행되고, 입고검사는 자재 리스트와 비교하여 장비명, 수량 등을 체크한다. 이로 인해 장비 자체 GA나 P&ID 점검이 제대로 이루어지지 않는 경우가 발생하며, 특히 장비 특성에 따라 도장이나 장비 의장품이 설치되지 않는 상태에서 FAT를 진행하는 경우도 있어 더더욱 장비 외관 상태를 점검하지 못한다. 또 선주나 품질검사관도 검사 종류별로 담당자가 나뉘어져 있어 검사관의 성향이나 자질에 따라 검사 결과나 편치 발생에 차이가 난다.

MC 검사에서 벤더장비 편치를 최소화하기 위해서는 FAT 때 GA와 P&ID 점검을 반드시 해야 한다. 만약 불가능하다면 선주와 품질검사관이 출고 검사에 입회하여 검사를 수행하여 장비 출고 전 최대한 많은 편치를 식별하여 제작업체에서 조치 후 조선소에 입고 될 수 있도록 해야 한다. 또한 입고검사는 MC 검사 항목에 준하여 MC 담당 선주 및 품질 검사관 입회하여 세부적으로 검사가 이루어져야 한다.

#### 4.2.3 구역별 패트를 수행 및 벤더장비 사전관리

선주의 입장에서 F-LNG가 편치 발생 없이 무결함 상태로 인도받는 것이 가장 이상적이지만, 모든 품질 문제를 사전에 식별하고 편치 발생을 제로화 하는 것은 현실적으로 불가능하다. MC 검사는 설치 완료 개념으로 보통 작업이 완료되었을 때 수행되고, 서브시스템 내의 MC검사가 모두 완료되면, 후 공정을 진행하기 위해 증명서 발행을 준비해야 한다. MC 검사 완료 후 적기에 증명서 발행이 공정지연을 예방하고 프로젝트 성공을 좌지우지한다고 해도 과언이 아니다.

그래서 편치를 사전에 식별하고 편치를 조치할 수 있는 시간을 확보하는



방안으로 제시할 수 있는 것이 구역별 패트롤 수행과 벤더 장비의 사전 관리이다. 공정이 진행되는 동안 설치 완료와 상관없이 주기적으로 품질 검사관이 패트롤을 수행하여 사전에 품질문제를 식별한다면, 편치를 발행하지 않고 품질 문제를 처리할 수 있는 시간이 확보된다.

그리고 벤더장비의 MC 검사는 설치상태 및 케이블/배관 연결 상태 등 조선소에서 작업하는 항목도 있지만, 장비 제작업체의 업무 분장인 장비 자체 설치 상태도 포함되므로 MC 검사 전에 설치 여부와 상관없이 장비 자체 점검을 위해 사전 점검을 실시하여야 한다. 품질 문제를 식별 후 편치를 장비 제작업체에 발행하여 조치 요청을 한다면, 국외에 있는 장비 제작업체라도 편치를 조치할 수 있는 충분한 시간이 확보될 수 있다. 그리고 조선소 생산부서의 작업 완료와 관계없이 검사를 진행할 수 있기 때문에 생산부서의 인력과 시간이 소모되지 않고, 선주와 품질검사관이 MC 검사 전 장비를 점검함으로써, 실제 MC 검사 때 소요되는 시간을 줄일 수 있는 효과가 발생한다.

### 4.3 HFE 대책방안

#### 4.3.1 HFE 적용 일반화

현재 HFE는 발주처에서 요구하는 프로젝트에만 적용하고 있으며 주로 해양프로젝트가 대상이고 대부분의 일반상선은 해당이 되지 않는다. 이로 인해 일반상선을 담당하는 작업자는 HFE에 대해 알지 못하고, 해양프로젝트에서도 HFE를 담당하는 설계나 품질부서의 일부 인원만 HFE를 적용하고 검사하는 실정이다. HFE는 설계단계부터 인도까지 모든 부서와 작업자가 인식하고 적용·검증해야 하는 선주의 요구사항으로, 프로젝트의 인력 이동이 빈번한 조선소의 특성상 모든 작업자에게 HFE에 대해 교육하고 중요성을 인식하기에는 한계가 있다.

그러나 시간이 지날수록 작업자 관점에서 공간 확보, 안전한 유지보수 및 효율적인 업무 수행을 위한 최적화 설계의 중요성은 대두될 것이며, 이는 해양 프로젝트뿐만 아니라 일반상선 포함하여 추후 발주될 모든 선박에서 적용이 될 것으로 예상된다.

조선소에서 건조되고 있는 모든 프로젝트에 미리 HFE를 적용 시킨다면, 자연스럽게 모든 작업자들이 HFE를 인식하고 교육을 통해 HFE 관련 사항을 알 수 있게 될 것이며, 이로 인해 효율적인 HFE 관리가 될 수 있다.

특히 설계 단계에서 HFE를 적용한다면 HFE 설계부서와 의장 설계부서가 다르고 의장담당자의 HFE 전문지식 부족으로 설치도나 각종 도면에 HFE 적용이 누락되는 경우를 예방할 수 있다.

#### **4.3.2 설치품의 합동 점검을 통해 문제점 조기 발굴 및 조치**

HFE 관련 현장 점검은 보통 구역별 또는 룸별로 작업이 완료된 시점에서 수행을 한다. 그래서 초기에 발견하면 간단하게 처리할 수 있는 품질 문제도 수정작업이 불가피하고 많은 인력과 시간이 소모된다. 예를 들어, 통행에 지장을 주는 철 의장품 지지대를 초기에 발견하면 위치 수정하여 용접만 하면 된다. 하지만 해당 구역의 작업이 완료되고 시운전팀으로 인계되었을 때 문제를 발견했다면 지지대 수정을 하기 위해서 시운전 작업이 중지되며 용접 작업을 하기 위해서 작업 허가서 발행 및 안전 조치를 취해야 하고, 작업 완료 후에는 재도장을 해야 하는 등 훨씬 많은 시간과 인력이 소모된다. 해양프로젝트 초기에 HFE로 인한 막대한 피해를 입은 이유가 대부분 HFE 품질 문제를 인도 직전에 발견했기 때문이다.

HFE 관련 품질문제도 MC검사와 마찬가지로 초기에 식별하는 것이 무엇보다 중요하다. 그래서 선행의장 단계부터 설계, 생산, 품질, 선주 등을 포함한 점검팀을 구성하여 인도될 때까지 주기적으로 점검을 수행하고, 발견된 품질문제에 대해선 즉각 조치 요청 및 현장 교육 등을 실시하여 작업자의 HFE 인식을 고취하고 HFE 관련 품질 문제를 예방해야 한다.

점검 주기는 공정 진행률에 따라 유동적일 수 있지만, 보통 진수 이후부터는 한 달에 두 번 격주로 진행한다면 충분히 HFE 점검을 수행할 수 있을 것이다.

추가로 HFE 점검은 구역별로 한 번만 수행하고 마치는 것이 아니라 인도까지 지속적으로 중복 검사를 수행해야 하기 때문에, MC 검사와 연관하여 수행하는 것도 품질문제 예방을 위한 하나의 대안이 될 수 있다. 프로젝트 초기 MC 체크시트를 만들 때, HFE 관련 점검 내용을 추가한다면, 좀 더 효율적인 HFE 관리방안이 될 수 있다.

## 4.4 보존 대책방안

### 4.4.1. 장비 별 보존 절차 수립 강화

보존활동은 외관점검, 전기 장비, 회전 장비, 고정 장비 등으로 나뉘어 수행한다. 하지만 같은 종류의 장비라도 장비 특성 및 장비 제작업체에 따라 보존활동이 다를 수 있으며 벤더에서 요구하는 보존활동을 보면 2년 이상 적치되어 있는 걸 고려하지 않는 경우가 대부분이다.

**Table 4.6**은 조선소에서 수행하는 유수분리기의 보존활동 점검 항목이며, **Table 4.7**은 벤더에서 요구하는 보존활동 절차서이다. 벤더에서는 밸브 고착 방지를 위해 4주마다 수동 밸브를 완전히 열고 닫는 행위를 요구하고 있지만 실제 조선소의 점검항목에는 반영되지 않아 수행하지 않고 있다. 그리고 벤더 보존 활동 절차서에는 1년 이상 보존활동에 대해선 언급이 되지 않고, 펌프의 핸드터닝, 모터의 히터 연결 등이 누락되어 있다. 이로 인해 커미셔닝 전 장비를 작동하기 위한 내부 점검 시 발청이나 장비 손상 등이 발생하여 많은 문제가 발생하고 있는 실정이다.

**Table 4.6 Oily water separator preservation check sheet**

Check type / Activity		Result			Requirement				
Visual Check : All Component		OK	NR	NA	A	B	C	D	Period
1.1	Check damage and report to construction/commissioning team.								
1.2	Rust / Dust check and cleaning if necessary.								
1.3	Fragile component to be protected if necessary.								
1.4	Nozzle / flange / hole to be protected with cover if necessary.								
1.5	Protection cover / Tarpaulin Cover to be fitted if necessary								
Electrical Equipment : Cabinet, Transformer, SWBD, CP, JB, DB, LP etc		OK	NR	NA	A	B	C	D	Period
2.1	Install desiccant / VPCI inside and replace it if necessary.								
Rotating Equipment : Motor, Pump, Compressor, Generator etc		OK	NR	NA	A	B	C	D	Period
3.4	Measure insulation resistance if necessary.								
Instrument on Skid / Equipment : Valve etc		OK	NR	NA	A	B	C	D	Period
4.1	Check the condition of uncoated machined surface. Spray VPCI:368 or eq on uncoated machine.								
Special Activity		OK	NR	NA	A	B	C	D	Period
5.2	Spray VPCI or Grease on the stem / Spindle of valves and wrap it with protection film if necessary.								

**Table 4.7 Oily water separator preservation procedure**

<p><b>1. Preservation/packing condition of equipment at JOWA factory for delivery.</b></p> <p>1-1. Bridging shall be installed in bottom of OWS skid frame. 1-2. VpCI shall be adapted inside of electric equipments. 1-3. Main equipments &amp; instruments shall be packed by covering. 1-4. The covering shall be adapted in flanges. 1-5. The covering shall be adapted in edge side. 1-6. The waterproof cover shall be adapted in OWS.</p>
<p><b>2. Storage instruction for period of shipping</b></p> <p>2-1. Keep the unit in its original package during storage. 2-2. Keep the unit indoors, avoid direct sunlight. 2-3. Avoid stacking anything on top of the unit. 2-4. Keep cover with full protection against physical damage and fire damage. 2-5. Avoid freezing temperature. 2-6. Avoid temperatures above 40 degrees. 2-7. Avoid excessive humidity. 2-8. Avoid damage for equipment.</p>
<p><b>3. Storage instruction for period of outdoor/indoor storage.</b></p> <p>3-1. It's same with section 2.</p>
<p><b>4. Preservation instruction for period after installation on block stage and or onboard.</b></p> <p>4-1. Electric Instrument Keep cover with full protection against atmospheric attack damage. Keep cover with full protection against physical damage and fire damage. Keep cover with full protection against dust and other particles.</p> <p>4-2. Valve Keep cover with full protection against physical damage and fire damage. Keep maintain valve position for normal operation. Check the manual valve from fully open to fully closed every 4weeks.</p>

장비를 발주하기 위해 업체를 선정된 이후부터는 각 설계 담당자는 장비 특성에 맞게 보존활동 절차서가 작성되었는지 충분히 검토가 이뤄져야 하며, 유관부서 및 선주와 협의하여 부족한 사항에 대해서는 추가 요청을 해야 한다. 그리고 보존 팀에서는 벤더 보존활동 절차서를 바탕으로 누락되는 항목이 없도록 보존활동을 만들고 수행해야 한다.

#### 4.4.2 보존활동 수행팀의 단일화

현재 F-LNG의 보존활동 업무 분장은 공정 단계별, 또는 구역별 담당하는 생산부서에서 정리정돈 및 청소를 포함해서 보호커버를 담당하고, 보존팀은 선행의장 이후에 장비 특성별로 수행되는 보존활동을 담당하고 있다. 예를 들어 조립 단계에서는 가공팀, 진수 이후 안벽의장에서는 선장과 나 기장과, 시운전 단계에서는 시운전팀에서 해당 구역 정리정돈 및 청소, 보호커버를 담당하게 된다. 이렇게 보존 활동은 업무 분장이나 담당부서가 나뉘어져 있어서 여러 문제점이 발생하고 있다. 특히 선행 공정이 완료되고 후 공정을 진행할 때 보존활동 업무가 인수인계 되어야 하는데, 대부분 선행부서에서는 보존활동의 가장 기본인 정리정돈 및 청소, 보호커버 등이 제대로 이루어지지 않은 경우가 허다하다. 이로 인해 후행부서도 선행부서를 핑계로 제대로 인계를 하지 않고, 결국 인도 전 마지막 단계인 시운전 단계에서 장비 손상 등 많은 문제점이 발견되고 있다.

**Fig. 4.10**은 보존 관련 품질 문제로 대부분 정리정돈 불량, 보호커버 손상인 것을 알 수 있다. 이렇게 보존 활동의 업무 분장이 나뉘져 있어서 제대로 관리가 되지 않고 있기 때문에 보존 팀을 일원화하여 선행 의장부터 인도까지 관리가 이뤄져야 효율적인 보존 활동이 가능하고 무결함 상태로 인도될 수 있다.



**Fig. 4.10 Preservation quality problem**

#### 4.4.3 장비별 보호 커버 사전 제작

보존 활동의 가장 기본은 장비 보호 커버이다. 대부분 장비 보호 커버는 난연성 재질로 장비 제작업체에서 출고 전에 제작되어 덮어지거나, F-LNG에 탑재되어 장비 크기에 따라 제작하여 덮어진다. 커미셔닝 전까지 장비 커버는 작업 및 검사 등으로 인해 수십 번 벗겨지고 덮어지는 행위를 반복하는데, 장비 주위에 족장, 철의장품 등 여러 간섭 요인으로 장비 커버가 손상되기도 한다. 그리고 장비 특성 및 작업 사항을 고려하여 보호커버가 제작되지 않고, 장비 전체 크기에 맞춰 제작된 경우가 대부분이라서 간단하게 게이지를 교환한다거나, 장비 일부 부분 점검을 위해서라도 장비 커버는 모두 벗겨져야 하고, 특히 대형장비 같은 경우에는

보호커버를 벗기고 덮는데 몇 시간이 소요되기도 한다.

장비 커버 손상으로 장비 내부에 이물질이나 먼지 유입으로 인한 발청, 그리고 손상 등이 발생하여 프로젝트 공정 지연을 유발하고 막대한 손실을 끼치고 있다. **Fig. 4.11**은 장비 커버가 손상된 사진으로, 오랫동안 방치되어 장비 발청 및 손상을 일으켰다.



**Fig. 4.11 Protection cover damage**





**Fig. 4.12**는 배관 내부에 이물질 및 수분 유입으로 부식이 발생한 사진이다. 장비를 수급하고 F-LNG에 탑재했을 당시 내부 상태는 양호하였으나, 장기간 보존관리가 제대로 이루어지지 않아 내부에 이물질이 유입되었다.



**Fig. 4.12 Flange protection cover missing**

좀 더 효율적으로 장비를 보호하고, 작업 및 검사를 진행하기 위해서 설계 단계에서 장비 특성 및 작업 종류에 따라 지퍼 등을 이용하여 일부 구역만 쉽고 편리하게 커버를 벗길 수 있도록 제작 요청을 한다며, 장비 커버를 벗기고 다시 덮기 위한 시간을 절약할 뿐만 아니라, 장비를 장기간 보호할 수 있다.

## 제 5 장 결 론

본 논문에서는 F-LNG의 효율적인 MC 수행방안을 제시하기 위해 실적선 품질문제를 발생원인 및 조치부서, 조치기한 등으로 분류 및 분석하였다. 그리고 MC 수행 중 발생하는 편차, HFE, 보존활동의 문제점을 지적하고 그 문제점에 대한 해결방안을 제시하였다.

본 논문의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 실적선 품질문제의 분석을 통해 편차 발생 원인의 공통점을 찾아 업무특성별로 주요 편차 5가지를 선정하였다. 선정된 편차의 원인을 MC 검사 전 적용하니 편차가 60% 이상 감소되는 효과를 확인하였다.
2. MC 생산 사전점검 의무화를 통해 편차를 미리 식별하면 편차 발생률을 줄이고 MC 검사 합격률을 높일 수 있었다. FAT를 강화하여 장비 제작 업체에서 많은 품질 문제를 식별하고, MC 검사 수준으로 입고검사를 수행한다면 편차 조치기간을 확보하고 공정 지연을 방지할 수 있었다.
3. 전 프로젝트에 HFE를 적용하여 HFE 관련 품질 문제를 사전에 예방하고, 프로젝트 초기부터 HFE 점검팀을 구성하여 주기적으로 점검을 수행하면 발생된 품질 문제를 적기에 조치할 수 있을 것으로 판단된다.
4. 장비 특성에 맞게 보존 절차서가 작성되었는지 검토하여 점검항목이 누락되지 않도록 하고, 보존활동을 효율적으로 수행하기 위해서 보존 활동 수행팀을 일원화 한다. 그리고 설계 단계에서 장비 특성 및 크기별로 보호커버를 제작하여 덮음으로써 장비 내부 이물질 유입 등을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

품질문제 분석 및 각각의 해결방안에 대한 효과를 정확히 산출하기 위해서는 현재 진행되고 있는 F-LNG의 공정이 완료된 다음 비교 분석을 통한 추가적인 연구가 요구된다.

## 참고문헌

- [1] 서기웅, 주현동, 박상진, 2012. 해양플랜트산업 발전 방안. *대한기계학회논문집*, 52(10), pp.30-32.
- [2] 김동준, 2013. 해양플랜트 산업. *한국동력기계학회논문집*, pp.12-15.
- [3] 김승섭, 2014. *해양플랜트 저가 수주 '부메랑' 되어 돌아오다*. 해양한국, pp.38-40.
- [4] Norsok Standard, 1999. Mechanical Completion and Commissioning, pp.3-12.
- [5] Mustang Engineering, 2008. Mustang Brings Experience to Mechanical Completion-Critical to a Successful Offshore Startup.
- [6] Samsung Heavy Industries Co., Ltd, 2010. Offshore Project Tag and MC.
- [7] James Walker moorflex, 2011. Total flange management.
- [8] ConocoPhillips, 2012. Flange Management Procedure, pp.3-12.
- [9] Patrick Leroux Total, Area Classification, pp.2-16.
- [10] RBI {Online} Available at:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Risk-based\\_inspection](https://en.wikipedia.org/wiki/Risk-based_inspection)

[11] Shell Global Solution, Flawless Project Delivery Program, pp.2-22.

[12] International Association of Oil & Gas Producers, 2011. Human Factors Engineering in Projects.

[13] Norsok Standard, 1997. Preservation, pp.3-8.

[14] Offshore Technology, 2015. Long-Term Preservation Lay-Up and Mothballing of Installed Equipment on Drilling Rigs and Platforms.

