

Dynamic Positioning System의 IMO Class 변경 요건에 관한 연구

† 채종주

† 한국해양수산연수원 교수

A Study on Dynamic Positioning System IMO class upgrade requirements

† Chong-Ju Chae

† Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 606-080, Korea

요 약 : Dynamic Positioning System(DPS)은 그 신뢰성 및 redundancy(대체) 시스템에 따라 IMO 및 각 선급에서 3개의 class(등급)로 나누고 있다. IMO MSC/Circ 645에 의하면 DPS는 Class 1, 2, 및 3로 나누고 있으며 등급이 높을수록 좀 더 신뢰성 있고 안전하게 DP 선박을 운용할 수 있다. 국내에서 많은 DP Class 선박들이 건조되고 있는 상황에서 DP Class 1선박의 개조를 통해서 DP Class 2로 변경하거나 DP Class 2선박을 신조 또는 중고선으로 구입하는 경우 무엇을 검토하고 확인해야 하는지에 대한 구체적인 실무 자료가 부족하고, DP Class 1 선박을 Class 2로 변경하여 다시 매도하는 새로운 산업분야의 개척에 있어 국내 사례를 바탕으로 한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 DP Class 1선박을 DP Class 2 선박으로 변경하기 위해서는 어떠한 IMO 및 선급의 DP class 요건의 충족이 필요하며 이를 위해서 어떠한 설비의 변경 및 추가가 필요한지를 국내에서 있었던 실제 사례를 통해서 연구해 보았다. DP 선박 Class 변경을 위해서는 FMEA를 통해서 파악되는 DP 선박의 동력 시스템, thruster 시스템 및 제어 시스템 3가지의 주요 시스템에 대체(redundancy)기능을 갖추어야 한다. 동력 시스템은 단일의 발전기, 배전반등에 문제가 발생해도 DP 기능을 유지할 수 있어야 하며, 더불어 PMS기능을 갖추고 있어야 한다. thruster 시스템은 단일의 고장이 발생하더라도 선박의 Surge, Sway 및 Yaw를 남은 thruster 시스템으로 자동 제어 할 수 있어야 한다. 각종 제어 시스템, PRS 및 센서는 여러개를 설치하여 단일의 장비고장에도 DP 기능을 유지 할 수 있어야 한다.

핵심용어 : DP, DPS, IMO DP Class, 선급 DP Class, 위치참조시스템, thruster 시스템, DP 제어 시스템, 동적위치제어 시스템

Abstract : The class of Dynamic Positioning System is divided in 3 classes depending on its redundancy and reliability according to IMO and classification society. There are 3 DP classes such as DP Class 1, 2 and 3 according to IMO MSC/Circ. 645. Higher DP class vessel has higher reliability, since redundancy concept is applied to the DP vessel depending on its DP class and can operate more safely. There are not enough information about DP class notation, which are needed when a company builds a new or buys second hand DP vessel or modifies DP classes, even the Korean shipyard is building a lot of DP vessels now. Also, the practical case of DP vessel modification, which had been done in Korea, to meet DP notation of IMO and classification society, will be helpful for DP vessel modification and sales industry development in Korea as a new business. As such this research identified what kind of requirements need to be taken into account to be from DP class 1 to DP class 2. The real DP class modification case is used to identify the requirements of DP class upgrade. Through the FMEA the redundancy concept on power system, thruster system and DP control system need to apply for DP class upgrade. The power system have to keep its DP function even if just a single fault happens on the generator or switchboard. Also, the PMS is required to monitor and control power system. Ship's Surge, Sway and Yaw movements can be controlled by the remaining thruster system after a single thruster fails. Lastly, multiple installation of PRS, sensors and DP control system are required to keep DP ability after a single fault on the DP control systems.

Key words : Dynamic Positioning System, DP, DPS, IMO DP Class, Classification society DP Class requirement, DP Power System, Position Reference System, thruster system, DP control system

1. 서 론

Dynamically Positioned Ship(이하 'DP 선박'이라 한다)은 thruster힘을 이용하여 unit 또는 선박의 위치를 자동으로 유지시키는 시스템을 말하며, Dynamic Positioning System(이하 'DPS'이라 한다)은 선박이 동력시스템, thruster 시스템 및

DP 제어 시스템에 따라 dynamically positioning을 하기 위해 필요한 모든 장비를 말한다.(IMO, 1994) 이러한 DP 시스템은 주로 Offshore 분야의 Drillship, Offshore Supply Vessel, 여객선, FPSO선등에 설치되어 그 목적에 맞게 사용되고 있다.

근래에는 좀 더 안전하고 신뢰성 있는 DP 선박 운용을 위해 offshore 분야의 선주 및 관련 기업이 DP Class(등급) 2 이

† Corresponding author : 종신회원, katheshe76@naver.com 051)620-5805

주) 이 논문은 "Dynamic Positioning System 등급 변경 요건에 관한 연구"란 제목으로 "2014 추계학술대회 한국항해항만학회논문집 (동명대학교, 2014. 10. 23-24, pp. 101-103)"에 발표되었음.

상의 선박을 선호 하고 있다. 이러한 DP 선박의 등급을 나누는 기준 문서는 1994년 IMO에서 만들어진 IMO MSC/Circ 645¹⁾이고 이와 비슷하게 각 선급에서도 관련 규정을 만들어 DP 선박의 등급을 나누고 있다.

국내에는 DP Class 2이상의 선박이 많이 운용하고 있지는 않지만 조선소에서는 외국선주의 DP Class 2이상의 선박을 세계에서 가장 많이 건조하고 있고 관련 산업의 점진적인 확대가 예상되고 있기 때문에 DP Class 2 선박을 신조하거나 중고선으로 구입 또는 DP Class 1인 선박의 개조를 통해 DP Class 2로 변경하고자 하는 경우 각 등급의 요건의 이해와 개조 실무가 산업계에 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다. 이에 본 연구에서는 IMO 및 선급에서 언급하고 있는 DPS의 등급을 상향 변경하고자 할 경우 IMO 지침 및 관련 선급 규정에 의해서 어떠한 DP 관련 시스템의 추가 및 변경이 필요한지를 국내에서 있었던 실제 DP 선박 개조 사례를 통해서 살펴보고 DPS의 등급을 상향 변경하고자 할 때 중점적으로 확인해야 할 사항이 무엇인지 연구하고자 한다.

2. IMO 및 선급 DP Class 요건

DPS를 설치하고 있는 선박은 IMO MSC/Circ 645 및 선급 규정에 의해서 그 등급을 나누고 있다. MSC/Circ 645 제2장의 장비등급 내용에 의하면 DP 등급은 DP 등급 1, 2, 3로 나뉘며 그 내용은 다음과 같다.

2.1 IMO 및 선급의 DP Class(등급)

DPS를 설치하고 있는 선박이 어느 정도의 신뢰도를 보유하고 있어야 하는지는 동 선박이 작업 중 위치유지능력의 상실로 인해 발생하는 문제의 중요도나 위험도에 따라서 정해지며 선주 또는 용선주는 작업의 중요도 혹은 위험도가 크다고 분석되면 더 큰 신뢰성을 담보 할 수 있는 DPS를 설치한 선박을 요구하게 된다.(DNV, 2012) IMO MSC/Circ 645에서는 DPS의 신뢰성 또는 대체(redundancy)개념에 따라 3단계의 DP 장비 등급을 정의하고 있다. 등급은 DPS를 설치한 선박의 최악의 고장 상태(worst case failure)와 연관되어 있으며 이 고장이 발생했을 때 동 선박이 DP 기능을 유지 할 수 있는지에 따라 나뉘고 있다. 이러한 DP 선박 장비 등급의 결정은 위치 상실로 인해 발생할 수 있는 문제의 중요도에 대한 위험 분석(risk analysis)을 기반으로 결정되는데 MSC/Circ. 645의 DPS 장비 등급은 다음과 같이 나뉜다.(IMO, 1994)

○ DP Class 1 : 단일의 고장에 의해서 DP 기능을 상실할 수 있는 등급을 말하며, 이러한 단일 고장의 예로는 wind 센서의 고장, 발전기 1기의 고장, thruster 1기의 고장 등이 있다.(IMO, 1994)

- DP Class 2 : DPS의 구성요소나 시스템의 단일 고장사고에 의해서는 DP 기능을 상실하지 않는 등급을 말하며 다음과 같은 DP 선박의 동적 구성요소의 단일 고장을 고려한다.
 - 발전기, 원격제어밸브, thrusters, switchboards등과 같은 요소 또는 시스템
 - 보호 및 신뢰성을 위해서 적절히 문서화 되지 않는 선박의 일반적인 정적 구성요소의 고장(케이블, 파이프, 수동 밸브 등)(IMO, 1994)
- DP Class 3 : DP Class 3에서 단일의 고장은 다음을 포함한다.
 - DP 장비 등급 2에 언급된 사항 및 일반적으로 정적인 구성요소 중 고장이 예측되는 것
 - 화재나 침수로부터 방화 및 방수가 되어야 하는 모든 구성요소의 고장
 - 화재나 침수로부터 방화 및 방수가 되어야 하는 구역의 고장(IMO, 1994)

이러한 기준으로 DP선박의 등급을 분류하는 기준은 대체(redundancy)의 가능 여부에 있다. Redundancy는 단일의 고장이 발생했을 때 그것의 기능을 유지하거나 회복시키는 장치나 시스템의 능력을 말하며, 이러한 redundancy를 위해서 동일 장비를 다수 설치하는 방법을 사용하고 있다(IMO, 1994).

이러한 DP 선박의 시스템 구성요소는 MSC/Circ. 645의 제1장에 의하면 크게 동력시스템, thruster 및 DP 제어시스템으로 나뉜다(IMO, 1994). 즉, DP 선박의 등급은 동 3가지 구성요소의 배치와 redundancy 여부에 따라서 달라지는 것이고, 이는 DP 선박의 등급을 변경하기 위해서는 동 3가지 시스템에 대한 변경이 필요하다는 것을 말한다. 다시 DP 제어시스템은 DP 컴퓨터, PRS, 센서 및 케이블 등으로 나뉜다.

2.1.1 DPS 선박 동력 시스템

IMO MSC/Circ. 645의 정의에 의하면 DP Class 1에서는 대체 동력시스템이 필요 없고, DP Class 2에서 동력시스템의 switchboard는 하나의 시스템에 고장이 발생하였을 경우 다른 시스템을 사용할 수 있도록 bus-tie로 두 개 이상으로 분리 되어야 함을 요구하고 있다(IMO, 1994). 즉, DP Class 2에서는 일반적인 DP 운용 증서는 동 switchboard가 하나의 시스템으로 작동하지만 동력시스템에 문제가 발생하면 bus-tie breaker에 의해서 고장이 발생한 부분을 자동으로 분리되도록 배치하여야 한다. 이러한 배치를 통하여 DP Class 2 선박은 관련 장치의 과부하 또는 전기 시스템의 단락이 다른 시스템에 영향을 미치지 못하도록 되어 있어야 한다. DP Class 3에서는 메인 운용 장소에 화재나 침수로 문제가 발생하였을 경우 다른 운용 장소에서 DP 선박을 운용할 수 있도록 두 개 이

1) GUIDELINES FOR VESSELS WITH DYNAMIC POSITIONING SYSTEMS

상으로 분리 되어 있어야 하며 이렇게 분리된 동력 시스템은 SOLAS 국제 협약에 의한 A-60 class 구획²⁾으로 분리되어야 한다. 또한 동력 시스템이 수면 하에 위치하는 경우에는 그 구획은 수밀이 되어야 한다고 요구하고 있다(IMO, 1994).

DP Class 2와 3에서는 worst case failure후에도 선박의 위치를 유지하기 위해서 충분한 동력이 가능해야 하며 이를 위해서 DP 선박에 Power Management System(이하 'PMS' 이라한다)이 설치되었을 경우에는 정부가 만족할 수 있는 적절한 대체가 가능 여부가 증명되어야 한다(IMO, 1994). IMO에서는 동 PMS의 요건에 대해서 명확히 언급하고 있지 않지만 각 선급에서는 DP Class 2이상에서 PMS의 설치를 의무화하고 있다. 더불어 DP Class 2이상의 선박에는 주동력 공급에 문제가 발생하면 최소 30분 이상 DP 컴퓨터에 동력을 공급해야 하는 UPS³⁾를 요구하고 있다(IMO, 1994).

2.1.2 Thruster 시스템

DPS를 설치한 선박은 Surge, Sway 및 Yaw 방향으로의 선박 이동하는 것을 제어하기 위해 적절한 thruster가 설치되어야 한다. DP Class 2와 3에서는 본선에 설치된 thruster 시스템 중 특정 thruster 1기에 고장이 발생(single fault)하더라도 외력에 의한 선박의 Surge, Sway 및 Yaw 방향으로의 이동 모멘트를 보상 할 수 있도록 thruster가 설치되어 있어야 한다.

2.1.3 DP 제어시스템

DP 제어시스템은 동력시스템, thruster 시스템 및 제어시스템 자체의 기능이 수행되고 있다는 것을 확인하기 위해서 관련정보가 표시되는 장치이다. 특히 DP Class 2와 3에서는 제어화면에서 운용자의 어떠한 부주의한 행동이 DP 시스템 운용에 심각한 상황으로 진행되지 않도록 설계되어야 한다(IMO, 1994).

2.1.4 DP 컴퓨터

DP Class 1에서는 DP 컴퓨터의 대체(redundancy)가 필요 없다. 그러나 DP Class 2에서는 최소한 두 개의 독립된 컴퓨터 시스템으로 구성되어야 하고, DP Class 3에서는 자가진단 장치를 포함한 최소 두 개의 독립된 컴퓨터 시스템으로 구성되어야 하며 추가적으로 하나의 back-up DP 컴퓨터가 A-60로 분리된 구역에 설치되어야 한다(IMO, 1994). 더불어 DP Class 2 및 3의 DP 컴퓨터 시스템에는 consequence analysis 라는 소프트웨어 기능을 포함하고 있어야 한다. 이것은 선박에 미리 정의한 worst case failure가 발생하더라도 본선이

DP 기능을 유지할 수 있는지를 검증하는 기능을 말하는 것으로, 예를 들어 worst case failure가 발생 한 후 남아 있는 thruster들이 동 고장이 발생하기 전에 사용되었던 것과 같은 thruster force와 모멘트를 만들어 낼 수 있는지 검증하는 기능이다(IMO, 1994).

DP Class 2 이상 선박의 대체 컴퓨터 시스템은 하나의 컴퓨터에서 고장이 감지되면 자동으로 제어를 다른 컴퓨터로 넘기도록 배치되어야 한다(IMO, 1994).

2.1.5 위치 참조 시스템(Position Reference System, PRS)

DP 선박에는 본선의 위치를 확인하는 역할을 하는 GPS(DGPS), Fanbeam, Taut wire, Cyscan, HPR, Artemis, RADIUS 등 다양한 위치참조시스템(이하 'PRS' 이라한다)이 설치되어 있다. 이들 중 GPS가 가장 일반적으로 많이 쓰이는 PRS이며, 특정 위치를 경/위도로 표시하는 절대 위치참조시스템이다. GPS이외에 다른 PRS들은 모두 DP 선박이 운용되는 작업 현장에서 목표물의 상대 방위 및 거리를 이용하여 DP 선박의 위치를 확인하는 원리를 이용하는 PRS 들이다. DP 선박은 기본적으로 본선의 위치를 신뢰성 있게 지속적으로 확인할 수 있어야 하므로 여러 종류의 PRS를 설치하여 다수의 PRS를 동시에 사용한다. 선급 요건에 의하면 DP Class 2 및 3에서는 최소한 3종류(IMO는 2종류 이상 요구) 이상의 PRS가 설치되어 있어야 하고, 이 모두를 선박 운용 중 DP 제어 시스템에서 동시에 사용할 수 있어야 한다.

DP Class 3에서는 최소 한 개의 PRS가 다른 PRS으로부터 A-60 class 구획에 의해 분리된 back-up 제어 시스템에 직접 연결되어 설치 되도록 요구하고 있다(IMO, 1994).

2.1.6 DP 선박의 센서

DP 선박은 센서(wind sensor, gyro, Vertical Reference System를 말함)들로부터 오는 정확한 신호에 전적으로 의지하기 때문에 각 센서들에 문제가 발생할 것을 대비하여 DP Class 2 또는 3선박에는 이러한 센서들을 각 종류마다 3개 이상 설치해야 한다. 기본적으로 DP 선박에서 중요한 센서는 3개를 말할 수 있는데 gyro, wind 센서 및 VRS⁴⁾(또는 MRU)가 그것이다. DP 시스템에 연결된 같은 종류의 센서들은 독립적으로 배치되도록 하여 하나의 고장이 다른 것에 영향을 미치지 않도록 해야 하고, DP Class 3에서는 각기 다른 종류의 센서들 중 하나는 A-60 class 구획에 의해 분리된 back-up 제어 시스템에 직접 연결되어 설치 되도록 요구하고 있다(IMO, 1994).

2) 60분 내에 화염에 노출되지 아니한 쪽의 평균 온도가 최초의 온도보다 섭씨 140도를 초과 상승하지 아니하도록 승인되고 또 이음매를 포함한 어느 한 점에서 온도가 최초의 온도보다 섭씨 180도를 초과 상승하지 아니하도록 승인된 불연성 재료로 방열이 시공된 격벽 또는 갑판의 구획

3) Un-interruptable Power Supply

4) Vessel Reference Sensor(또는 MRU : Motion Reference Unit) : 선박의 rolling, pitching 및 heave를 측정하여 DPS에 전달하는 장치

2.1.7 케이블 및 파이프 시스템

IMO 및 선급 규정에 의하면 DP Class 3에서는 대체 (redundancy) 장치나 시스템의 케이블이 같은 구획을 통과하도록 함께 설치해서는 안 된다. 이것을 피할 수 없다면 이러한 케이블은 A-60 class 케이블 덕트를 통해 지나갈 수 있도록 해야 하고, 이러한 경우 케이블 자체를 제외하고 덕트의 끝단을 포함한 구역은 모든 화재 위험으로부터 효과적으로 보호되도록 설치되어야 한다. 이러한 덕트 안에는 케이블 연결 박스를 설치하지 못하도록 요구하고 있다(IMO, 1994).

DP Class 2에서는 연료, 윤활유, 유압유, 냉각수를 위한 파이프 시스템 및 케이블은 화재 위험과 기계적 손상을 고려해서 배치되어야 한다. DP Class 3에서는 연료유, 냉각수, 윤활유, 유압유등을 위한 대체 파이프 시스템을 같은 구획을 통해 함께 설치되지 않아야 하고, 이것을 피할 수 없다면 이러한 파이프는 A-60 class 구획으로 나뉜 덕트를 통해 지나갈 수 있다. 이러한 경우 파이프 자체를 제외하고 덕트의 끝단을 포함한 구역은 모든 화재 위험으로부터 효과적으로 보호되어야 하도록 요구하고 있다(IMO, 1994).

2.2 선급 DP Class 요건

선급의 DP Class 요건은 IMO MSC/Circ 645와 약간 다른 부분이 있지만 기본적으로 MSC/Circ 645에 기초하고 있기 때문에 비슷하다. 주요 선급인 미국선급(ABS), 노르웨이 선급(DNV), 영국선급(LR)에서는 DP 등급에 대한 명칭을 Table 1에서와 같이 상이 하게 사용하고 있지만 기본적으로 각 등급에 대해 필요한 등급 요건은 비슷하다. Table 1은 IMO, DNV, LR, ABS의 DP 등급 요건을 정리한 것이다.

Table 1 IMO, DNV, LR, ABS DP class requirements

System		Minimum requirements		
Class notations	IMO Class	1	2	3
	DNV	AUT	AURT	AUTRO
	LR	DP(AAD)	DP(AAA)	DP(AAAA)
	ABS	DPS-1	DPS-2	DPS-3
Power System	Generators and Prime movers	non-redundant	redundant	redundant, separate compartments
	Main Switchboard	1	1 with bus tie	2 with normally open bus-tie in separate compartments
	Bus Tie Breaker	0	1	2
	Distribution system	non-redundant	redundant	redundant, separate compartments
	Power management	no	yes	yes
Thrusters System	Arrangement of thrusters	non-redundant	redundant	redundant in separate compartments
Control System	Auto control no. of control computers	1	2	2+1 in alternative control station
	Manual control : joystick	yes	yes	yes with auto heading
	Single levers for each thruster	yes	yes	yes
Sensors and PRS	PRS	2	3	3 include 1 in alternative control station
	External Sensors			
	Wind	1(ABS 2)	3(IMO 2)	3
	VRS	1	3	3
	Gyro	1(ABS 2)	3	3
other	1	2	2	
UPS		1	2	2+1 in separate compartment
A-60 division		No	No	Yes

표를 보면 선급들은 DP 등급에 따라 동력 시스템, thruster 시스템, DP 제어 시스템, 위치참조 시스템의 및 센서의 요건을 다음과 같이 정리하고 있다.

2.2.1 동력 시스템

동력 시스템에서는 DP Class 2 이상의 선박에서 대체 발전기, main switchboard의 bus tie에 의한 분리, bus-tie breaker 1개 이상, 대체 배전반 및 동력관리시스템(PMS)의 설치를 요구하고 있다. DP Class 3에서는 여기에 추가하여 A-60 구획으로 나뉜 별도의 구역에 대체 장치의 설치하도록 요구하고 있다. UPS도 동력의 일부로 보기 때문에 DP Class 2 이상에서는 2개 이상의 UPS의 설치를 의무화 하고 있다.

2.2.2 Thruster 시스템

Table 1에서 보는 바와 같이 thruster 시스템도 DP Class 2 이상에서는 대체가 있어야 하고 DP Class 3에서는 별도의 구획에 설치해야 함을 요구하고 있다.

2.2.3 DP 제어 시스템

DP Class 2 이상에서는 DP 제어를 위한 운용 장치를 2개 이상 요구하고 있고 본선에 설치되어 있는 thruster를 제어하기 위한 레버가 각기 별도로 하나씩 설치되어 있어야 한다.

2.2.4 위치참조시스템 및 센서

각 선급에서는 DP Class 2 이상의 선박에서는 PRS가 3종류 이상이 설치되어야 하고 센서도 같은 용도의 센서가 기본적으로 3개 이상 설치되도록 요구하고 있다. 전체적으로 선급에서는 PRS 및 센서의 설치 요건을 IMO의 요건보다는 약간 강하게 요구하고 있다고 할 수 있다.

3. DP Class 1 "A" 선박 설비

앞서 언급한 DP 선박의 등급에 따른 동력 시스템, thruster 시스템 및 DP 제어 시스템을 바탕으로 DP Class 1인 선박을 DP Class 2로 변경하기 위해서는 FMEA⁵⁾를 통해 기존 선박의 시스템을 분석하여 단일의 고장에도 DP 기능을 유지할 수 있도록 하기 위해서 무엇을 추가하거나 또는 변경해야 하는지 분석해야 한다. FMEA는 잠재적 고장 모드 및 이것의 원인을 식별하고 worst case failure mode의 검증을 통하여 DP 등급의 redundancy 요건을 만족하는지 검증하는 분석을 말한다(IMCA, 2002).

FMEA는 DP 선박의 등급을 변경하기 위해서 가장 먼저 해야 할 분석으로 보통 선급이나 조선소가 아닌 동 분석을 수행할 수 있는 제3의 전문회사가 시행하는 것이 좋다. DP Class 1 "A" 선박에 대해 FMEA를 수행하고 그 결과로 나타난 동 선박의 DP 시스템 구성 및 상황은 다음과 같다.

5) Fail Mode Effect Analysis : 고장 모드 영향 분석

3.1 DP Class 1 "A" 선박 동력 시스템 분석

"A" 선박의 주동력은 440V AC 60Hz가 전체 선박의 주요한 동력 사용처에 공급되도록 되어 있고 컴퓨터와 같은 작은 규모의 전원 사용처에는 변압기를 통해 220VAC로 전원이 공급되도록 설계되어 있다. 선박에는 24V DC 배터리 전원이 220V AC 시스템에서 정류기를 통해 공급된다(KR, 2014).

비상 switchboard는 440VAC 및 220VAC부분으로 되어 있어 blackout발생 시 비상발전기로부터 전원을 공급받아 기본적인 기기들에 전원을 공급하도록 되어 있다. 전기는 각 650kW 3개의 디젤발전기에 의해서 공급되고 440V switchboard는 한 개의 bus tie에 의해서 두 부분으로 나뉘도록 되어 있으며 동 bus tie는 발전기 작동 중에는 보통 closed 되어 운용되도록 되어 있다. 더불어 전기 부하에 따라 한 개의 발전기를 standby mode로 두어 필요시 자동으로 기동하여 switchboard를 연결하도록 되어 있다(KR, 2014).

비상 switchboard는 440VAC MSB B에서 공급받고 MSB B는 비상발전기와 interlock 되어 있다. 비상발전기는 440VAC MSB B에 blackout이 발생하면 자동으로 기동하여 비상 switchboard를 연결하도록 되어 있다. Fig. 1 및 Fig. 2는 DP Class 1 "A" 선박의 동력 시스템 개략도 이다.

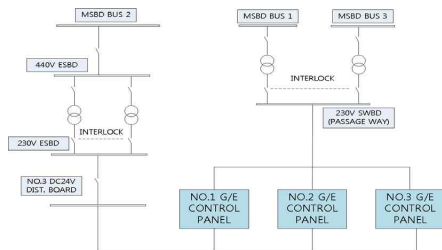


Fig. 1 DP class 1 "A" ship power system

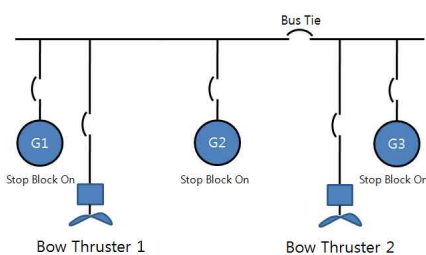


Fig. 2 DP class 1 "A" ship bus-tie connection status

Fig. 1 및 Fig 2에서 보는 바와 같이 동 선박의 경우 G1에 문제가 발생하면 G2에도 영향을 미치게 되며 bus-tie breaker가 open되더라도 G3하나로 본선의 모든 동력을 커버해야하는 상황이 발생할 수 있다. 본선 선수에 설치된 2개의 tunnel thrusters 중 1기의 용량이 590kw이기 때문에 이 상태로는 DP 선박의 기능을 유지 할 수 없게 되는 문제가 발생할 수 있다.

3.2 DP 등급 1 "A" 선박의 thruster 시스템 분석

"A"선박의 추진 시스템은 다음과 같다. 각 2,560kw의 M/E 2개가 선미에 있는 2개의 azimuth thruster에 1개씩에 동력을 공급하고 있고, 각 650kw의 발전기 3대가 선수에 있는 2대의 tunnel thruster(각 590Kw)에 동력을 공급하고 있는 구조를 가지고 있다. 동 선박은 DP Class 1이기는 하나 thruster 시스템 자체는 DP Class 2의 요건을 만족할 수 있는 배치를 기본적으로 갖추고 있기 때문에 DP Class 2로의 개조 작업이 가능한 것이다. 즉, 선수의 tunnel thruster 1기에 고장이 발생하더라도 남은 tunnel thruster 1기로 선박의 heading 제어가 가능하며 선미의 azimuth thruster 1기에 고장이 발생하더라도 남은 azimuth thruster로 선박의 surge 및 sway 제어가 가능한 구조를 가지고 있다. 따라서 동 선박은 동력부분만 앞서 설명된 DP Class 2의 요건에 만족되면 되는 구조를 가지고 있다고 할 수 있다.



Fig. 3 Diagram of "A" ship thruster system

3.3 DP 등급 1 "A" 선박 DP 제어 시스템 분석

"A"선박의 DP 제어 시스템 구성도는 Fig. 4와 같다. DP 제어 station 1개, GPS 2 sets, Gyro 2 sets, Wind sensor 2 sets, UPS 1 set, Independent Joystick 1 set, MRU 1 set 및 single network로 구성되어 있다. 따라서 앞서 설명된 DP Class관련 IMO 및 선급 기준에 따르면 이러한 장비들은 요건에 따라 추가설치가 필요하다. 기본적으로 운용 station 1 set, GPS를 제외한 PRS 2종류, gyro 1 set, wind sensor 1set, UPS 1set, MRU 2sets 추가 및 dual network로 변경해야 한다.

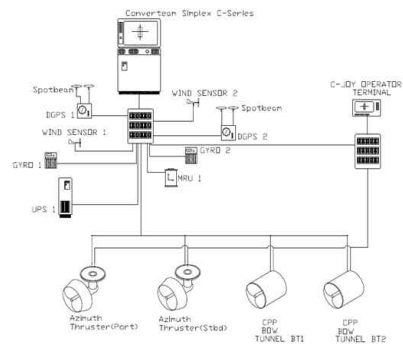


Fig 4 Diagram of "A" ship DP control system

3.4 DP 등급 1 "A"선박의 연료 공급 시스템 분석

아래 그림을 보면 본선에는 2개의 F.O. day service 탱크가

설치되어 있어 이 탱크가 두 개의 M/E와 3개의 D/G에 연료를 공급하도록 되어 있다. M/E는 한 개의 연료공급 line으로 연료가 공급되도록 되어 있고 발전기로 분리된 line을 통해 연료가 공급되도록 되어 있다. 더불어 두 개의 연료 공급 line은 두 개의 day service 탱크에서 연료를 공급받도록 되어 있다.

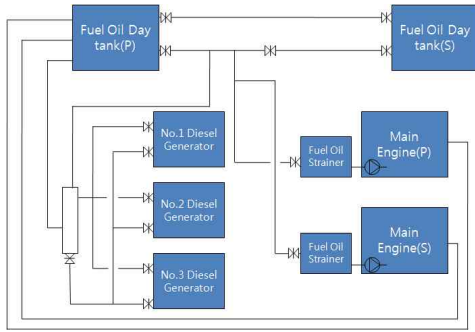


Fig. 5 DP Class 1 “A” ship fuel supply system

동 구조의 연료 공급 시스템은 Fuel oil day tank(P)나 Fuel Oil Day tank(S)에 공급되는 line이 막히거나 밸브에 문제가 발생하면 이 문제로 인해 발전기를 구동할 수 없는 구조를 가지고 있다. 따라서 연료 공급 시스템의 redundancy가 필요하다.

4. DP Class 2 “A” 선박 변경

4.1 FMEA 시행

DP Class 변경을 위해서는 우선적으로 FMEA를 수행해야 한다(DNV, 2012). FMEA는 IMCA M166, M178 및 M04/04에 그 절차 및 내용이 설명되어 있으며 이를 기본 문서로 하여 선급, Global Maritime 등과 같은 전문기관에서 FMEA를 수행한다. 선박이 DP Class 1으로 유지되는 경우에는 FMEA를 반드시 수행해야 하는 것은 아니지만 수행할 것을 권장하고 있다. 동 선박은 요건에 따라 DP Class 2로의 변경을 위해서 FMEA를 먼저 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

4.2 동력 시스템 분석 및 변경

앞선 간단히 설명한 바와 같이 동 선박의 발전기 용량은 각 650Kw로 3기가 있으며 590Kw 2대의 tunnel thruster에 동력을 공급하기 위해서는 DP 운용 중에는 항상 최소 2개의 발전기가 기동되어야 한다. 그러나 Fig. 2에서 보는바와 같이 동 선박의 동력 시스템은 특정 발전기에 문제가 발생하면 남은 발전기에 영향을 줄 수 있는 구조로 되어 있다. 이는 발전기 고장이라는 단일의 고장이 2개의 tunnel thruster중 1개 또는 2개 모두의 사용 불가 상태를 만들 수 있는 원인이 될 수 있기 때문에 선급의 DP Class 2의 요건에 만족하지 못한다. 따라서 동 선박은 FMEA 수행을 통해서 동력 시스템을 다음과 같이 변경할 필요가 있다는 것이 확인 되었다.

Fig. 6 보면 440V main switchboard를 디젤 발전기 1, 2 및 3 세 개 부분으로 나누었다. 각 section은 각 650kW의 출력을 내는 발전기 3대와 연결되어 총 1,950kW의 출력을 가지고 있는데 동 동력은 주로 No. 1 및 No. 2 bow tunnel thruster를 기동하는데 사용되도록 되어 있다.

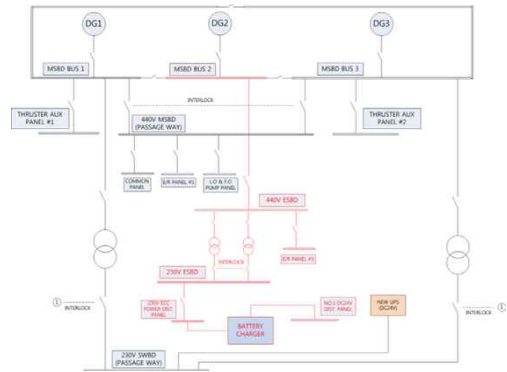


Fig. 6 “A” ship power system(upgraded to DP class 2) (KR, 2014)

FMEA 분석을 통해 동 선박의 440V MSBD 시스템에서 가장 중요한 고장 상태로 분석된 것이 bus 1 또는 bus 2에 문제가 발생하여 사용 불가능한 상태가 되는 것이고 이렇게 되면 최악의 경우 2개의 발전기가 사용 불가능한 상태가 될 수 있고 그렇게 되면 2개의 bow thruster의 사용 불능 상태를 야기하게 된다. 이에 동력 시스템을 Fig. 6 및 Fig. 7과 같이 변경하였고 변경 후에는 이러한 상황이 발생하더라도 남아 있는 발전기, bow thruster 및 azimuth thruster로 본선의 DP 기능이 가능하도록 되어 DP Class 2 요건을 만족한다. 동 선박은 DP 운용 중 모든 디젤 발전기가 연결되어야 하고 No. 1, 2, 3 Bus-tie는 Closed 상태로 운용한다. 더불어 선급의 요건에 따라 동 선박의 동력 상태를 감시, 제어 및 black-out시 회복 기능을 수행할 수 있는 PMS를 본선에 추가로 설치하였다.

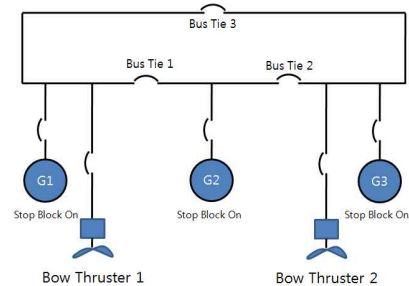


Fig. 7 “A” ship bus-tie system(upgraded to DP class 2)

4.2.1 UPS 시스템 변경

앞서 설명한 바와 같이 동 선박은 DP Class 2로 만들기 위해 2sets의 UPS를 추가로 설치하여 여러 가지 DP 제어 시스템에 uninterrupted power를 공급되도록 해야 한다. 이에 UPS를 Fig. 8과 같이 설치하여 UPS 1은 No. 1 DP controller

에 비상시 전원을 공급하고 UPS 2는 No. 2 DP controller에 비상시 전원을 공급 하도록 변경 하였다.

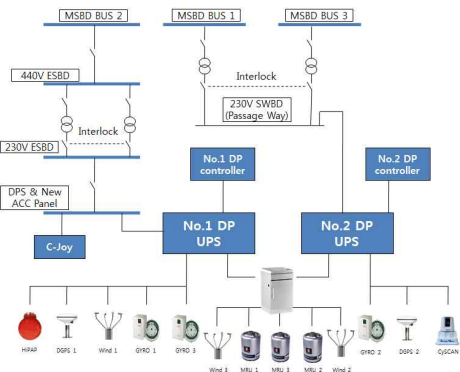


Fig. 8 UPS connection status of sensors and PRS

4.3 DP Class 2 thruster 시스템 변경

Fig. 3에서 보는바와 같이 동 선박의 주 추진 시스템은 두 개의 메인 엔진으로 두 개의 azimuth thrusters를 구동하도록 되어 있으며, 엔진이 각 azimuth thruster를 구동하도록 기어 박스 및 shaft가 배치되어 있다. 이러한 배치 자체는 DP Class 2요건을 만족하는 배치라고 할 수 있다. 즉, 각 메인 엔진은 2,560kW의 힘을 보유하고 있으며 No. 1 엔진은 Port azimuth thruster를 No. 2 엔진인 stbd azimuth thruster에 동력을 공급하도록 되어 있는데 FMEA 분석을 통한 동 주 추진 장치의 중대한 단일 고장 상태는 두 개의 엔진중에 하나의 엔진에 고장이 발생하는 것이고, 이렇게 되면 1개의 azimuth thruster를 사용할 수 없게 되며 이는 위치 유지 능력의 감소를 가져온다. 그러나 남아 있는 azimuth thruster는 위치 유지 역할을 수행할 수 있어 DP Class 2 요건을 만족한다. 다만 동 선박의 azimuth thruster 원격제어시스템을 dual network로 변경하여 하나의 network에 문제가 발생하더라도 남은 network로 제어할 수 있도록 변경해야 한다.

동 선박에는 두 개의 tunnel bow thruster가 설치되어 있고 각 bow thruster는 독립된 motor에 의해서 구동된다. 각 motor의 출력은 590kW이며 각 bow thruster는 선교에서 원격으로 제어할 수 있도록 되어있다. FMEA 분석을 통한 tunnel bow thruster에서 중대한 단일고장상태는 1개의 bow tunnel thruster의 상실이고 이러한 고장에는 thruster 모터의 고장, thruster의 유압 pitch pump의 고장, pitch 지시 신호 문제등이 있을 수 있다. 이러한 경우 tunnel thruster의 고장은 본선의 위치 유지 능력을 상실 시킬 수 있으나 남아 있는 1개의 bow tunnel thruster 및 azimuth thruster로 DP 위치 유지 기능이 가능하므로 DP Class 2의 요건을 만족한다.

4.4 DP 제어 시스템 및 관련 장비 변경

6) 레이저의 수/발신을 통해 물표와의 방위와 거리를 확인할 수 있는 위치참조시스템

7) Hydro-acoustic Position Reference : 음파의 수/발신을 통하여 방위가 거리를 확인할 수 있는 위치참조시스템

“A”선박은 미국 선급인 ABS에 등록되기 때문에 table 1에 의한 DP Class 2요건을 만족시키기 위해 다음의 장비가 설치되어야 한다.

- DP Operator Station 2 sets
- DP-Alert system(Alert control system 1set, Alert panel 4 set, Alert Light & horn 1set)
- C-wing(Potabel DP-joystick) 1set(junction box 3 set)
- Remote Diagnostic 1 set(DP 시스템 원격 검사 시스템)
- DP printer 1 set
- Gyro compass 3 set
- MRU 3 sets
- Wind sensor 3 sets
- GPS 2 sets
- Cyscan⁶⁾ 1 set
- HPR⁷⁾ 1 set
- UPS 2 sets

이들 장비들 중 PRS로 사용되는 Cyscan 및 HPR는 반드시 동 2개의 장비를 설치해야 한다는 것 보다는 선급에서는 전파를 사용하는 GPS와는 다른 방식을 사용하는 PRS를 3개 이상 설치하도록 요구하고 있기 때문에 음파를 이용하는 HPR와 레이저를 이용하는 Cyscan을 설치하였다. 이것 이외에도 wire를 이용하는 taut wire, 전파를 사용하는 RADIUS와 같은 장치를 추가로 설치해도 된다. FMEA 분석 결과에 따라 동 선박에는 Fig. 9과 같이 추가적인 장비들이 설치되었다.

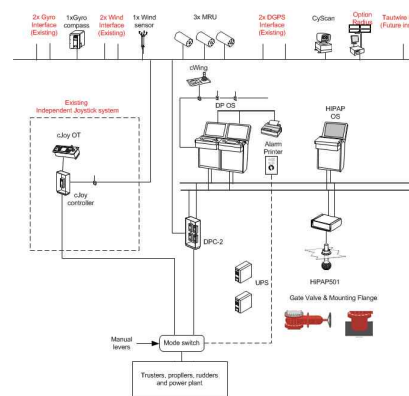


Fig. 9 DP control system after modification

4.5 연료 공급 시스템 변경

동 선박에는 2개의 F.O. day tanks와 3개의 F.O. transfer pumps 및 1개의 F.O. purifier가 설치되어 있었다. 이러한 구조는 연료 공급 line이나 밸브의 고장이 발생하면 M/E 2기를 동시에 사용 못하게 될 수도 있고, D/G 3개를 동시에 사용 못하게 될 수도 있기 때문에 FMEA 분석을 통하여 Fig. 10과 같이 연료공급시스템을 이중화 하였다.

즉, 연료 공급은 시스템 사이에 완전히 분리되도록 배치되어 있어서 연료가 혼합될 가능성이 없도록 하였고, 다양한 isolation 밸브와 cross-over 설비를 설치하여 단일의 고장이 발전기와 M/E 전체에 영향이 미치지 않도록 하였다. 연료 공급 라인과 회수 라인이 분리되어 있어 Port day tank는 연료를 No. 1 M/E와 No. 1 및 No. 2 디젤 발전기에 공급하고 Stbd day tank는 No. 2 M/E 및 No. 3 디젤 발전기에 연료를 공급하도록 하였다. 따라서 1개의 day tank 연료의 오염이 M/E 전체와 3번 디젤 발전기의 상실을 가져오지 않도록 하였다. 그리고 이러한 상황에서는 일반적인 운용 상태에서는 닫혀있던 각 isolation 밸브들이 열려 Port day tank가 오염되었을 경우 연료를 stbd tank에서 No. 2 디젤 발전기로 공급하도록 했다. 따라서 어떠한 경우에도 분리되어 있는 연료 공급 및 회수 라인이 한 개 이상의 디젤 발전기의 고장으로 야기시킬 수 없도록 하여 선급의 DP Class 2 요건을 만족하도록 했다.

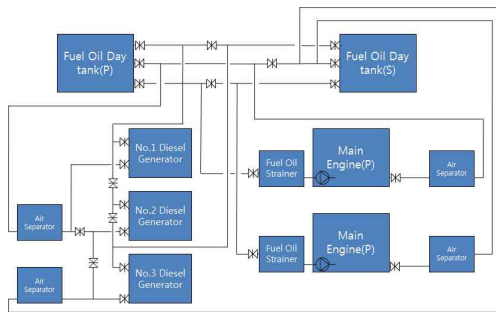


Fig. 10 Fuel supply system after modification

5. 결론

IMO 및 선급의 DP Class는 대체(redundancy) 개념의 충족을 위한 시스템의 유무에 따라 DP Class 1, 2, 3로 나눈다. DP 선박의 대체 유무를 확인하기 위해서 검토해야하는 사항에는 크게 DP 선박의 동력시스템, thruster 시스템 및 DP 제어시스템 3가지가 있으며 이를 검토하고 DP Class 요건 만족 여부를 확인하기 위해 FMEA 기법을 사용한다.

이에 DP Class 1인 선박을 Class 2로 변경하기 위해서는 1 DP 선박의 동력시스템, thruster 시스템 및 DP 제어시스템에 대해서 단일 고장에 대한 대체요건의 충족여부를 FMEA를 통해 확인하고 그 결과를 바탕으로 기존 시스템을 변경하거나 새롭게 추가하여야 한다.

DP Class 1 "A"선박은 이러한 과정을 거쳐 동력 시스템을 기존 단일 bus-tie에서 triple ring bus-tie 시스템으로 교체하여 단일의 고장이 다른 발전기에 직접적인 영향이 미치지 못하도록 변경하였다. Thruster 시스템은 기존의 배치가 DP Class 2 요건을 만족하는 구조였기 때문에 특별한 변경을 하지 않았다. 단, 연료공급 시스템 및 관련 배관 시스템이 단일의 고장에 대한 대체가 되지 않도록 배치되어 있어서 이를 이 중으로 변경하였다. DP 제어시스템에 포함되어 있는 PRS는

기존의 GPS에 추가하여 레이저를 이용한 Cyscan과 음파를 이용한 HPR를 설치하여 총 3종류 이상의 다른 형태의 PRS를 설치하여 선급의 요건을 충족 시켰다. 또한 DP Class 2 선박에 설치되어야 하는 센서들의 요건을 충족시키기 위해 wind sensor, MRU, gyro 등을 추가 설치하였다.

국내에서 DP Class를 변경하는 개조 작업은 동 선박이 최초이었기 때문에 동 작업은 국내 관련 산업의 시초가 되는 중요한 사례였다. 많은 부분이 실무적인 내용이지만 이러한 내용이 앞으로 국내에서 DP 선박을 신조 또는 중고선을 도입하는 경우뿐만 아니라 개조를 하는 경우에도 실무적인 측면에서 여러 가지 도움이 될 수 있기를 기대해 본다.

추후 본 연구에 추가하여 DP Class를 충족시키기 위한 새로운 기술의 개발 및 적용에 대해서도 지속적으로 연구할 필요가 있다.

References

- [1] American Bureau of Shipping(2013), "Guide for Dynamic Positioning Systems", Houston : Author.
- [2] Chae, C. J(2014), Practical Operation Introduction of Dynamic Positioning System, Heae Gyang press, p. 81, p. 108, p. 126.
- [3] Det Norske Veritas(2012), "Dynamic Positioning Vessel Design Philosophy Guidelines", Norway : Author.
- [4] Det Norske Veritas(2012), "failure mode and effect analysis(FMEA) of redundant systems", Norway : author.
- [5] International Maritime Contractors Association, IMCA(2002), "Guidance on Failure Modes & Effects Analyses(FMEAs)", IMCA M 166 London : Author.
- [6] International Maritime Contractors Association, IMCA(2005), "FMEA Management Guide", IMCA M 178 London : Author.
- [7] International Maritime Organization, IMO(1994), "Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems", MSC/Circ 645, London : Author.
- [8] Korea Resister(2014), "Failure Modes and Effects Analysis of the Dynamic Positioning System" Busan : Author.
- [9] Korea Resister(2014), "Failure Modes and Effects Analysis of the Dynamic Positioning System" Busan : Author.

Received 10 March 2015

Revised 27 April 2015

Accepted 27 April 2015