



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.

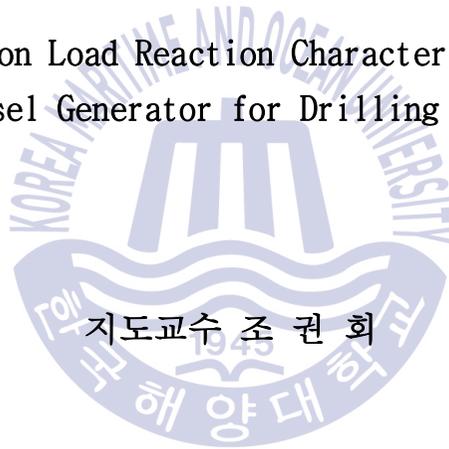
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

시추설비용 디젤 발전기의
부하 반응 특성에 관한 연구

A Study on Load Reaction Characteristics of
Diesel Generator for Drilling Unit



지도교수 조 권 회

2017 년 8 월

한국해양대학교 해사산업대학원

해양플랜트운영학과

설 동 익

본 논문을 설동익의 공학석사 학위논문으로 인준함



위원장 : 이 상 태 (인)

위 원 : 조 권 회 (인)

위 원 : 이 명 호 (인)

2017년 6월 16일

한국해양대학교 해사산업대학원

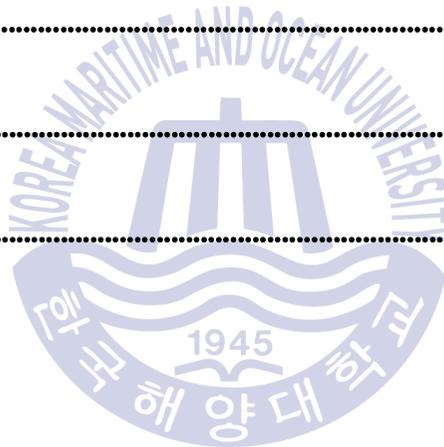
목 차

List of Tables	iv
List of Figures	v
Abstract	viii

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적	2
제 2 장 시추설비의 설계 특성	3
2.1 시추설비의 전력특성	3
2.1.1 로터리 테이블(Rotary table)과 탑 드라이브(Top drive)	3
2.1.2 드로웍스(Drawworks)	4
2.1.3 머드 펌프(Mud pump)	4
2.1.4 크레인(Crane)	5
2.1.5 아지무스 트러스터(Azimuth thruster)	6
2.1.6 잭킹 시스템(Jacking system)	6
2.2 시추선의 운전모드(Operation mode)	8
2.3 시추설비의 시스템 특성	11
2.3.1 경사운전(Inclination operating)	11
2.3.2 위치제어시스템(Dynamic positioning system)	11

2.3.2.1 DP-FMEA(Dynamic Positioning-Failure Mode Effective Analysis)	11
2.3.2.2 추가시스템의 구성(Redundancy system)	13
2.3.2.3 시스템의 분리(System Segregation)	14
2.3.2.4 전력제어시스템(PMS: Power Management System)	15
2.4 시추설비용 디젤 발전기의 시스템 설계	16
2.4.1 연료유 시스템(Fuel oil system)	16
2.4.2 윤활유 시스템(Lubricating oil system)	18
2.4.3 압축공기 시스템(Compressed air system)	19
2.4.4 냉각수 시스템(Cooling water system)	20
2.4.5 연소공기 시스템(Combustion air system)	22
2.4.6 배기가스 시스템(Exhaust gas system)	23
2.4.7 파운데이션(Foundation)	24
2.4.8 자동 제어 시스템(Automatic control system)	25
제 3 장 시추설비용 디젤 발전기의 운전특성 평가	27
3.1 운전특성 확인	27
3.2 운전특성 평가	30
3.2.1 계측속도와 제어속도 평가	30
3.2.2 조속기의 민감도 평가	31
3.3 운전특성 평가 결과	32
3.3.1 계측속도와 제어속도 평가 결과	32
3.3.2 조속기의 민감도 평가 결과	33
제 4 장 시추설비용 디젤 발전기의 성능 개선	40
4.1 성능 개선 방안	40
4.2 성능 개선 방안 평가	40
4.2.1 제트 에어 어시스트 시스템 성능 평가	40

4.2.2 하이브리드 시스템 성능 평가	42
4.3 성능 개선 방안 평가 결과	44
4.3.1 제트 에어 어시스트 시스템 성능 평가 결과	44
4.3.2 하이브리드 시스템 성능 평가 결과	55
4.4 기타 개선 방안 고찰	57
4.4.1 시퀀셜 과급기(Sequential turbocharger)	57
4.4.2 자동 제어 시스템(Automation control system)	57
4.4.3 플라이휠(Fly wheel)	58
4.4.4 선급 규정(Classification regulation) 개정	59
제 5 장 결 론	62
참고문헌	64
감사의 글	66



List of Tables

Table 2.1 Operation mode-1	8
Table 2.2 Operation mode-2	9
Table 2.3 Operation mode-3	10
Table 2.4 DP(Dynamic Positioning System) notation and system	14
Table 2.5 Water quality	21
Table 3.1 Engine governor test(gain70%, isochronous Mode)	33
Table 3.2 Engine governor test(gain80%, isochronous Mode)	36
Table 3.3 Engine governor test(gain87%, isochronous Mode)	38
Table 4.1 Governor test with jet air assist(direction)	45
Table 4.2 Governor test without jet air assist(direction)	47
Table 4.3 Governor test with jet air assist(in-direction)	50
Table 4.4 Governor test without jet air assist(in-direction)	52

List of Figures

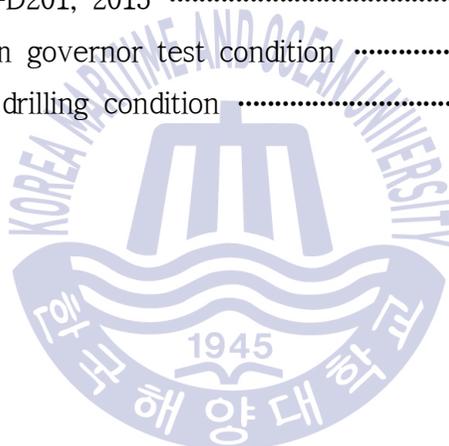
Fig. 2.1 Rotary table	3
Fig. 2.2 Top drive	3
Fig. 2.3 Drawworks	4
Fig. 2.4 Drawworks control	5
Fig. 2.5 Mud pump	5
Fig. 2.6 Pedestal crane	5
Fig. 2.7 Azimuth thruster	7
Fig. 2.8 Jacking system	7
Fig. 2.9 Fuel oil system	17
Fig. 2.10 Lubricating oil system	18
Fig. 2.11 Compressed air system	19
Fig. 2.12 Cooling water system	21
Fig. 2.13 Combustion air system	23
Fig. 2.14 Charge air shut-off valve	23
Fig. 2.15 Exhaust gas system	24
Fig. 2.16 Resilient mount	25
Fig. 2.17 Chock mount(steel)	25
Fig. 2.18 Chock mount(resin)	25
Fig. 2.19 Engine automation system	26
Fig. 3.1 11 kV drilling switch board(port)	28
Fig. 3.2 Activation of power limit function for drilling	28
Fig. 3.3 Activation load and consumption load	29
Fig. 3.4 Engine speed control	30
Fig. 3.5 Engine speed variation vs governor reaction speed	32
Fig. 3.6 Engine governor test(gain70%, 17% → 33%)	34
Fig. 3.7 Engine governor test(gain70%, 33% → 66%)	35

List of Figures

Fig. 3.8 Engine governor test(gain70%, 66% → 100%)	35
Fig. 3.9 Engine governor test(gain70%, 100% → 17%)	35
Fig. 3.10 Engine governor test(gain80%, 17% → 33%)	36
Fig. 3.11 Engine governor test(gain80%, 33% → 66%)	37
Fig. 3.12 Engine governor test(gain80%, 66% → 100%)	37
Fig. 3.13 Engine governor test(gain80%, 100% → 17%)	38
Fig. 3.14 Engine overshooting(gain87%, 7% → 40%)	39
Fig. 4.1 Direction jet air assist(Wartsila)	41
Fig. 4.2 In-direction jet air assist(MAN)	41
Fig. 4.3 Energy saving system	43
Fig. 4.4 Governor test with jet air assist(direction, 17% → 33%)	45
Fig. 4.5 Governor test with jet air assist(direction, 33% → 66%)	46
Fig. 4.6 Governor test with jet air assist(direction, 66% → 100%)	46
Fig. 4.7 Governor test with jet air assist(direction, 100% → 17%)	47
Fig. 4.8 Governor test without jet air assist(direction, 17% → 33%)	48
Fig. 4.9 Governor test without jet air assist(direction, 33% → 66%)	48
Fig. 4.10 Governor test without jet air assist(direction, 66% → 100%)	49
Fig. 4.11 Governor test without jet air assist(direction, 100% → 17%)	49
Fig. 4.12 Governor test with jet air assist(in-direction, 0% → 35%)	50
Fig. 4.13 Governor test with jet air assist(in-direction, 35% → 70%)	51
Fig. 4.14 Governor test with jet air assist(in-direction, 70% → 100%)	51
Fig. 4.15 Governor test with jet air assist(in-direction, 100% → 0%)	52
Fig. 4.16 Governor test without jet air assist(in-direction, 0% → 35%)	53
Fig. 4.17 Governor test without jet air assist(in-direction, 35% → 70%)	53
Fig. 4.18 Governor test without jet air assist(in-direction, 70% → 100%)	54
Fig. 4.19 Governor test without jet air assist(in-direction, 100% → 0%)	54

List of Figures

Fig. 4.20	MAN engine project guide	55
Fig. 4.21	Drawworks test without energy saving system	56
Fig. 4.22	Drawworks test with energy saving system	56
Fig. 4.23	Sequential turbocharger	57
Fig. 4.24	Active engine speed control	58
Fig. 4.25	Additional drilling flywheel system	59
Fig. 4.26	DNVGL-RU-HSLC Pt.4 Ch.2 Sec.4, 2015	60
Fig. 4.27	DNVGL-OS-D201, 2015	60
Fig. 4.28	Classification governor test condition	61
Fig. 4.29	Drawworks drilling condition	61



<영문(국문)초록>

A Study on Load Reaction Characteristics of Diesel Generator for Drilling Unit

Seol, Dong Ik

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

Abstract

Since 2000, the drilling industry has grown up globally for more than a decade and many drilling units have been produced. However compared to the relatively fast-growing drilling industry, the development of related technologies and regulations were slow to respond. Especially most drilling unit manufacturers in Korea had specialized in shipbuilding. So, drilling units have been manufactured based on existing shipbuilding technology. In this study, the power characteristics of the drilling unit which is different from commercial ship, Load response characteristics and problems of diesel generators for drilling units were identified. Then, the solutions for the problems were found and the effectiveness of each solution was identified through test. Lastly the remaining issue and improvement directions were presented and explained.

KEY WORDS: Drilling; Power characteristics; Load response; Diesel generator

<영문(국문)초록>

시추설비용 디젤 발전기의 부하 반응 특성에 관한 연구

설 동 익

한국해양대학교 해사산업대학원
해양플랜트운영학과

초록

2000년 이후 10여 년간 전 세계적으로 시추산업이 폭발적으로 성장하면서 대량의 시추설비가 제작되었다. 그러나 상대적으로 빠르게 성장한 시추 산업에 비하여 관련된 기술의 발달 및 규정의 제정은 느리게 반응하고 있다. 특히, 우리나라의 대부분 시추설비 제작사들은 선박 건조를 전문적으로 하던 업체들로 기존의 조선 기술을 바탕으로 시추설비를 제작함으로써 실제 시추설비 운영에 필요한 기술 및 관련 규정과 괴리가 발생하였다. 본 연구에서는 상선과 다른 시추설비의 전력적 특성을 확인하고 시추설비용 디젤 발전기의 부하 반응 특성과 문제점을 확인하였다. 그리고 문제점에 대한 해결책을 고찰하고 각 방법들의 효과를 실측을 통해 확인하였다. 마지막 결론으로 차후 남은 과제와 개선 방향을 제시하고 설명하였다.

KEY WORDS: 시추; 전력특성; 부하반응; 디젤 발전기

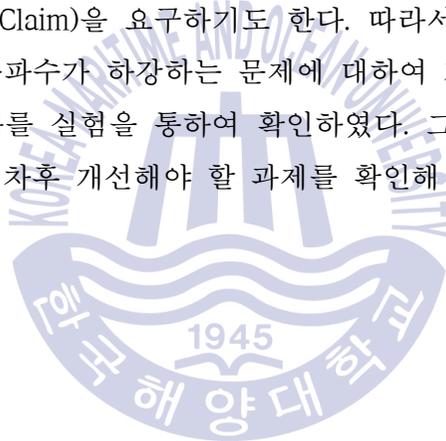
제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

시추산업은 산유국들을 중심으로 성장하였고 석유에너지 자원이 부족한 한국에서 시추산업은 생소하고 기술적 접근에 제한적일 수밖에 없었다. 1984년도에 한국최초로 시추설비인 두성호를 건조하여 지금까지 운영하고 있지만 그 이후 계속적으로 시추산업을 성장시키지 못한 점은 아쉬움이 남는 부분이다. 다행히 고유가와 시추 기술의 발달로 인하여 선박과 유사한 해양원유시추설비(Offshore drilling plant)와 해양원유생산설비(Offshore oil production plant) 제작 산업이 성장하면서 한국은 높은 조선 기술력을 바탕으로 뒤늦게 시추설비 제작에 뛰어 들었고 그 과정에서 많은 시행착오를 겪었다. 2010년 초까지 성장가도를 달리던 해양 원유 개발(Offshore oil industry)산업은 정치, 경제 등 여러 외적 요인으로 배럴당 140달러에 육박하던 유가를 약 30달러대까지 급락 시켰고, 이는 시추산업을 불황으로 이끌었다. 더욱이 당시 생산비용이 배럴당 약 100달러대로 상대적으로 높았던 해양 원유 개발 산업은 그 충격을 직접적으로 받으면서 사양기로 들어섰다. 단기간으로 끝날 것 같았던 저유가 기조가 장기화 되면서 다시는 해양 원유 개발 산업의 회생이 불가능 할 것처럼 보였다. 하지만 이 기간 동안 메이저 정유회사와 시추업체들은 저유가에 맞추어 해양 원유 개발 산업의 생산 원가를 절감하는데 앞장섰고 이제는 해양 원유 생산원가를 배럴당 약 60달러대까지 낮추었다^[1]. 그리고 현재(2017.06)의 국제원유 거래 가는 완만히 상승하여 배럴당 약 40달러 후반 대에 형성하고 있다^[2]. 따라서 신규 시추설비의 발주가 조심스럽게 예상된다. 해양 원유 개발 산업의 재성장 이전에 앞선 호황기 동안 시추설비 제작 시 문제가 되었던 사항들을 다시 검토하고 그에 대한 대책을 구상하여 기술적으로 준비하는 자세를 가져야 할 때이다.

1.2 연구 목적

본 논문에서는 실적 시추설비용 디젤 발전기의 부하반응에 대한 문제점을 확인하고 그에 대한 해결책을 찾아보았다. 특히, 시추 작업 시 사용되는 드로웍스(Drawworks)의 부하가 급격하고 과도하게 변동하는 운전 환경을 충분히 고려하지 않아 발생하는 디젤 발전기의 주파수(Power frequency) 하강 문제를 중점적으로 다루었다. 이 문제는 원활한 시추작업에 영향을 주어 시추설비의 시추성능(Drilling performance)을 저하시킨다. 시추설비를 운영하는 시추업체(Drilling company)와 이를 고용한 정유사(Oil major)는 거액의 용선료를 지불한 시추설비가 이와 같은 문제로 원활한 시추성능을 발휘하지 못하는 것을 계약적, 경제적 문제와 연계시켜 배상(Claim)을 요구하기도 한다. 따라서 이 논문에서는 시추설비용 디젤 발전기의 주파수가 하강하는 문제에 대하여 기술적인 해결책을 찾아보고 각 방법들의 효과를 실험을 통하여 확인하였다. 그리고 이 문제를 규제적으로 접근하는 방법과 차후 개선해야 할 과제를 확인해 보았다.



제 2 장 시추설비의 설계 특성

2.1 시추설비의 전력특성^[3]

시추설비들은 기존의 선박에 설치된 장비와 더불어 시추작업을 위해 필요한 로터리 테이블과 탐 드라이브, 드로웍스, 머드펌프, 크레인, 아지무스 트러스터, 잭킹 시스템을 추가로 갖추고 있으며 각 장비들은 운전 환경에 따라 전력사용의 특성을 가지고 있다.

2.1.1 로터리 테이블(Rotary table)과 탐 드라이브(Top drive)

시추 파이프를 회전시켜 시추 작업을 시행하는 장비로 초기에는 Fig. 2.1과 같은 로터리 테이블을 주로 사용하여 시추 하였고 근래에 들어서는 Fig. 2.2와 같은 탐 드라이브를 사용하여 시추 작업을 시행하고 있다. 최근에 건조된 시추선에는 4대(Main × 2, Aux × 2)의 탐 드라이브가 설치되고 있으며 각 1,000 kW 정도의 전력 용량을 가진다. 시추 작업을 할 경우 일정한 전력 소모 경향을 보이지만 시추 파이프의 연결이나 분리 작업 시 순간적인 전력 변동이 발생한다.



Fig. 2.1 Rotary table

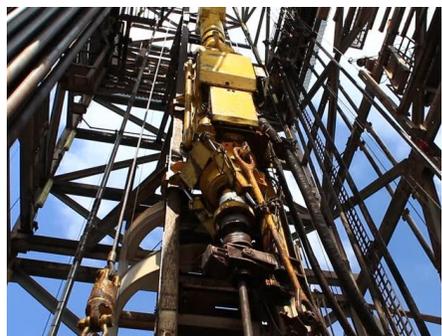


Fig. 2.2 Top drive

2.1.2 드로웍스(Drawworks)

Fig. 2.3과 같이 시추작업 시 드럼(drum)에 감긴 와이어(wire)로 데릭(derrick) 위에 있는 트래블링 블록(traveling block), 시추파이프, 탑 드라이브를 수직 이동 시키는 장비로써 시추 파이프를 설치·분리 작업할 경우에 사용된다. Fig. 2.4와 같이 시추선이 파도 유동에 의한 시추 파이프의 인장응력을 일정하게 유지하는 액티브 히브 컨펜세이터(Active heave compensator) 기능의 자동제어(auto control)와 작업자가 수동(manual)으로 조작하는 제어방법이 있다. 최근 시추선의 경우 1개의 전력 버스(Bus)에 1,200 kW의 드로웍스가 4~5대 정도가 설치되어 있으며 한 시추선(Bus × 3)에 14개 정도의 드로웍스가 구성되어 있다. 시추 작업 시 시추파이프의 설치·분리 작업의 속도와 파도에 의한 선체 수직 운동의 높이와 주기에 따라서 빠르게 전력 사용량이 변화한다.



Fig. 2.3 Drawworks

2.1.3 머드 펌프(Mud pump)

시추 작업 시 시추공과 시추 파이프 사이에 필요한 머드를 계속적으로 순환 공급하는 펌프(Fig. 2.5)이다. 최근 시추선의 경우 900 kW 용량의 머드 펌프 약 10대를 설치한다.

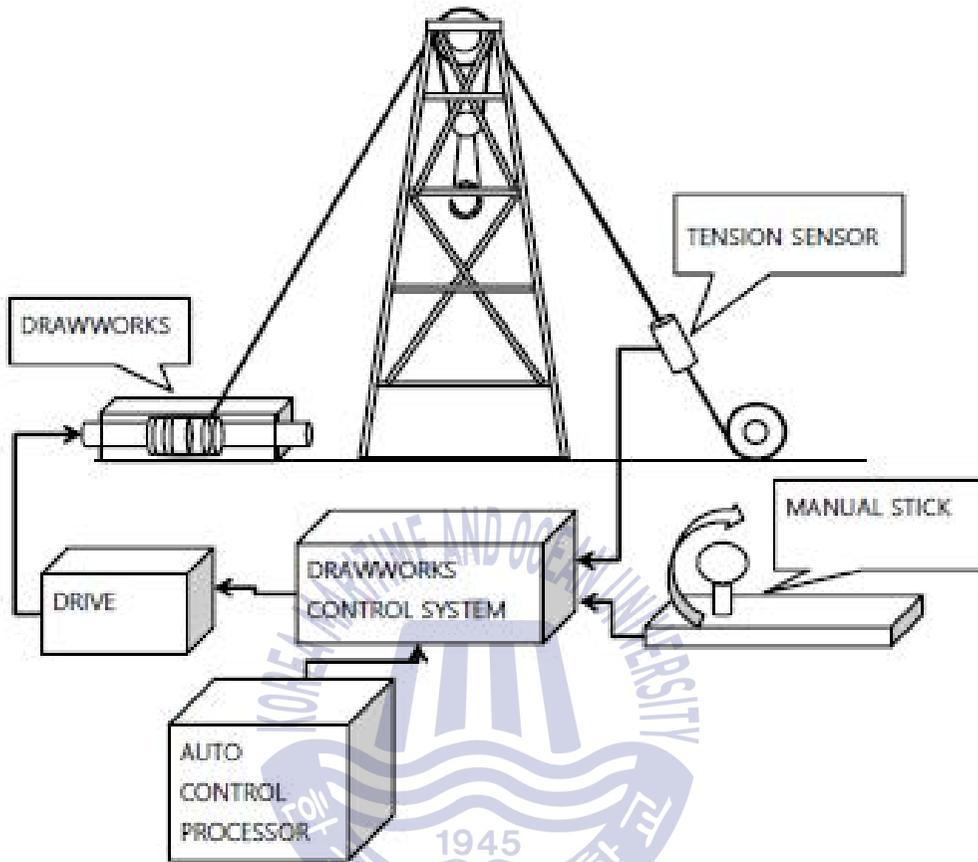


Fig. 2.4 Drawworks control

2.1.4 크레인(Crane)

시추선에는 집 크레인(Jib crane), 라이저 크레인(Riser crane), 페더스탈 (Pedestal crane) 등 여러 종류의 크레인이 배치가 되어 있으며, 해양지원선 (Supply vessel)으로부터 시추작업에 필요한 자재나 물자를 선적·하역하고 시추 파이프와 라이저를 이동·설치하는데 사용된다. 선적·하역 작업의 경우 시간적 제약이 작으나 시추와 관련된 페더스탈 크레인(Fig. 2.6)의 경우 최근의 시추속도 약 9.3 m/h에 맞추어 시추 파이프를 설치·제거해야 하므로 신속한 운전이 요구된다. 통상 4대의 페더스탈 크레인(40 ton, 50 m, 380 kW)의 설치되고

한대를 해저 크레인(Sub-sea Crane, 165 ton, 3,660 m, 820 kW)으로 지정하여 해저 수심 3,600 m 정도에서도 작업이 가능하도록 구성하고 있다.



Fig. 2.5 Mud pump



Fig. 2.6 Pedestal crane

2.1.5 아지무스 트러스터(Azimuth thruster)

이동식(mobile) 해양시추설비에 설치되어 시추선 항해 시 주 추진 장비(Fig. 2.7)로 이용되고 시추작업 시 위치제어시스템(Dynamic position system)과 연동되어 시추선의 위치를 제어한다. 최근의 시추선에는 보통 5,500 kW의 트러스터 6~8기를 설치하고 있다. 항해 시 전력사용량은 많고 전력 부하 변동이 크지 않지만 시추작업 시에는 순간적인 전력 사용과 변동이 발생한다.

2.1.6 잭킹 시스템(Jacking system)

해저면(seabed)에 지지대(leg support)를 고정시켜 잭업(Jacking up unit)선체를 해수면 위로 리프팅 시키는 기어장비(Fig. 2.8)이다. 보통 3개의 지지대로 구성되어 있으며 한 지지대에 24개의 잭킹기어(Jacking gear)가 설치되어 최대 14,880 MT의 하중을 지지한다. 잭킹 작업 시 많은 부하를 소모하지만 잭킹속도가 0.45 m/min 정도의 저속이므로 전력 부하변동이 빠르게 발생하지 않는다.



Fig. 2.7 Azimuth Thruster



Fig. 2.8 Jacking system

2.2 시추선의 운전모드(Operation mode)^[4]

시추설비는 다음 Table 2.1, 2.2, 2.3과 같은 운전 조건으로 나누어 사용전력의 특징을 분석할 수 있다.

Table 2.1 Operation mode-1

Mode	Condition
Dual Derrick Operation during maximum environmental condition	<ul style="list-style-type: none"> - Ship Service and drilling auxiliary transformers are in service - All thrusters are running(34%) - Drilling loads are in service(51%) - Emergency switchboard is fed from 690 V ship service switchboard-Bus - 6 Generator engines are running(88%)
Tripping during maximum environmental condition	<ul style="list-style-type: none"> - Ship Service and drilling auxiliary transformers are in service - All thrusters are running(34%) - Drilling loads are in service(39%) - Emergency switchboard is fed from 690 V ship service switchboard-Bus - 6 Generator engines are running(82%)
Back reaming during maximum environmental condition	<ul style="list-style-type: none"> - Ship Service and drilling auxiliary transformers are in service - All thrusters are running(34%) - Drilling loads are in service(25%) - Emergency switchboard is fed from 690 V ship service switchboard-Bus - 5 Generator engines are running(in each 88%)

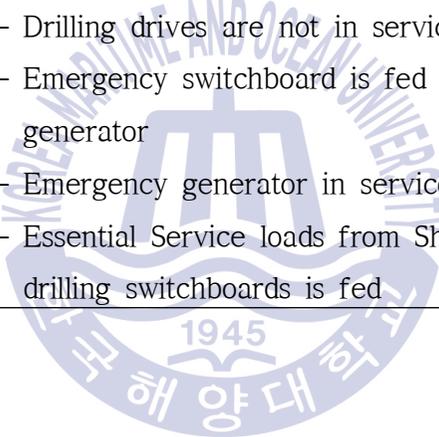
Table 2.2 Operation mode-2

<p>Well circulation after DP max single failure during maximum environmental condition¹⁾</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ship Service and drilling auxiliary transformers are in service - 4 Thrusters are running(in each 51%) - 2 Drilling transformer are running(in each 14%) - Emergency switchboard is fed from 690 V ship service switchboard-Bus - 4 Generator engines are running(in each 80%)
<p>Standby in storm</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ship Service and drilling auxiliary transformers are in service - All thrusters are running(34%) - Drilling loads are not in service(0%) - Emergency switchboard is fed from 690 V ship service switchboard-Bus - 4 Generator engines are running(in each 73%)
<p>Standby in storm with DP Max single failure</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ship Service and drilling auxiliary transformers are in service - 4 thrusters are running(in each 51%) - Drilling drives are not in service - Emergency switchboard is fed from 690 V ship service switchboard-Bus - 4 Generator engines are running(in each 65%)

1) 분리된 3개의 Main Bus중 1개의 Bus(2 × engines, 2 × thrusters, 1 × drilling transformer)가 작동불능상태

Table 2.3 Operation mode-3

<p>Transit</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ship Service and drilling auxiliary transformers are in service - All thrusters are in service(69%) - Drilling drives are not in service(0%) - Emergency switchboard is fed from 690 V ship service switchboard-Bus - 6 Generator engines are running(in each 78%)
<p>Essential Services as defined by Classification</p>	<ul style="list-style-type: none"> - All thruster loads are not in service - Drilling drives are not in service. - Emergency switchboard is fed from emergency generator - Emergency generator in service(86%) - Essential Service loads from Ship service and drilling switchboards is fed



2.3 시추설비의 시스템 특성

2.3.1 경사운전(Inclination operating)^[5]

시추설비용 디젤 발전기는 운영되는 환경을 고려하여 아래와 같은 경사조건에서도 정격부하로 운전될 수 있는 것을 요구하고 있으며 이를 실제로 검증되어야 한다.

(1) 주 디젤 발전기와 각종 보조 기기

반잠수식 해양 설비 : 선체 모든 방향으로 15°

잭업 : 선체 모든 방향으로 10°

드릴십, 상선 : 선체방향으로 15°, 선체와 수직방향으로 5°

(2) 비상 발전기

반잠수식 해양 설비 : 선체 모든 방향으로 25°

잭업 : 선체 모든 방향으로 15°

드릴십, 상선 : 선체방향으로 22.5°, 선체와 수직방향으로 10°

2.3.2 위치제어시스템(Dynamic positioning system)^[6]

해양설비들 중 위치제어시스템을 적용하는 프로젝트에 대하여 각 등급에 따라 요구되는 규정이 있다. 각 등급은 보통 DPS-0, 1, 2, 3로 나뉘며 Table. 2.4와 같이 선급마다 별도의 용어를 사용하기도 한다. 그리고 각 위치제어시스템 등급에 따라 시스템 별 장비의 작동불능상태에 대한 영향성을 평가하고 그에 맞는 추가적인 시스템 구성이나 구역의 분리와 같은 대책을 고려하여 시스템을 구성해야 한다. 이와 같은 활동을 DP-FMEA(Dynamic Positioning-Failure Mode Effective Analysis)라고 한다.

2.3.2.1 DP-FMEA(Dynamic Positioning-Failure Mode Effective Analysis)

(1) DYNPOS-AUTR : 다음 사항이 작동불능상태(Failure mode)에서도 위치제어가 가능해야 한다.

Table 2.4 DP(Dynamic Positioning) notation and system^[7]

IMO		1	2	3
DNV		AUT	AUTR	AUTRO
LR		DP(AM)	DP(AA)	DP(AAA)
ABS		DPS-1	DPS-2	DPS-3
Power system	Generator & Engine	Non-redundant	Redundant	Redundant separate compartment(A60)
	Main switchboard	1	2 with bus tie	2 with NO bus-ties in separate compartment
	Power management	No	Yes	Yes
Thrusters	Arrangement of thrusters	Non-redundant	Redundant	Redundant separate compartment(A60)
Control	No. of DP computers	1	2	2+1 in alternative control station
	Manual control(joystick)	Yes	Yes	Yes with auto heading
	Independent control lever for each thruster	Yes	Yes	Yes
Sensors	Position reference system ²	2	3	3, including 1 in separate compartment
	Wind	1	2	2
	MRU	1	2	3
	Gyro	1	2	3
UPS		1	2	2+1 in separate compartment

- 동적 구성장비(Active component)나 시스템
- 정적 구성장비(Static component)

- 어느 한 장비의 부주의한 운전
- 새로운 작동불능상태 발생 전까지 확인 불가능한 시스템 결함
- 확인된 원인의 일반적인 결함
- 확인된 원인의 외부적인 결함
- 열교환기, 필터, 모터형 밸브, 연료유 관련 서비스 탱크 배관 공급 시스템, 전자식 장비, 배전반

(2) DPS2 : DYNPOS-AUTR의 사항 중 열교환기, 필터, 배관, 탱크의 불능상태는 제외한다.

(3) DYNPOS-AUTRO, DPS3 : DYNPOS-AUTR, DPS3의 사항에 추가적으로 다음 사항도 불능상태로 고려되어야 한다.

- 위치제어시스템과 관련된 모든 정적 구성장비
- 화재와 침수 시 모든 수밀 장비들
- 화재와 침수 시 모든 소방 장비들

2.3.2.2 추가시스템의 구성(Redundancy system)

위와 같이 각 위치제어등급에 따라 시스템 및 장비의 작동불능상태를 대비하여 다음과 같은 추가적인 시스템을 구성해야 한다.

(1) DYNPOS-AUTR, DYNPOS-AUTRO, DPS3

각 등급에 정의된 어느 한 사항이 작동불능상태라도 위치제어가 계속적으로 유지되도록 구성해야 한다. 단, 트러스터가 정지되거나 다른 트러스터가 운전되지 않아야 한다.

(2) DPS2

DYNPOS-AUTR, DYNPOS-AUTRO, DPS3의 조건에서 위치제어를 위해 독립된 다른 단독 트러스터의 운전은 허용된다. 그리고 같은 배관시스템에 설치된 메인펌프와 보조펌프의 자동전환(change-over) 운전도 허용된다.

(3) DYNPOS-AUTR, DYNPOS-AUTRO, DPS3

추가시스템 구성은 운전 중인 장비를 기준으로 고려되어야 한다. 위치제어를 위한 자동이나 수동 조작은 가능하다.

(4) DYNPOS-AUTR, DPS2, DYNPOS-AUTRO, DPS3

추가로 구성된 시스템을 위해 트러스터가 정지되거나 다른 트러스터가 운전되지 않아야 한다. 다음 조건이 모두 충족할 경우 서로 다른 추가적 시스템들을 트러스터에 이중으로 시스템을 구성할 수 있다.

- 이중으로 구성된 시스템의 불능상태가 트러스터에 구성된 두 전원 시스템과 연관되지 않아야 한다.
- 트러스터의 작동불능상태가 발생 후 지정된 전력을 이용하여 수동 조작 없이 완벽하게 위치 제어가 될 수 있어야 한다. 하나의 전력 공급 장치만 구성된 경우 트러스터의 출력을 지정된 수준으로 낮출 수 있다.
- 트러스터에 추가로 구성된 시스템은 불능상태인 구역과 분리되어야 한다.
- 두 가지로 구성된 시스템의 상태를 위치제어시스템에서 모니터링과 제어할 수 있어야 한다.
- 트러스터가 완전히 정지한 후 위치제어시스템에서 운전과 복귀가 가능해야 한다.
- 보조 시스템은 각 트러스터 별로 구성해야 한다.
- 보조 및 제어 시스템은 계속적으로 사용 가능해야 한다.
- 트러스트의 고장이나 트립(Trip)은 자동 복귀되지 않아야 한다.
- 부하별 특성과 전압-답이 분석되어야 한다.
- DYNPOS-AUTRO 및 DPS 3의 경우 : 부하별 특성과 전압-답은 실제 테스트를 통해 검증되어야 한다.

2.3.2.3 시스템의 분리(System Segregation)

위와 같이 각 위치제어 등급에 따라 작동불능상태를 대비하여 다음과 같은 시스템 구성이 필요하다.

(1) DYNPOS-AUTRO, DP3의 경우

추가로 구성되는 시스템은 A-60급 방화벽의 데크(Deck)나 벌크헤드(Bulk-head)로 구분되어 있어야 한다. 침수면 이하의 구역에서는 수밀구조도 적용되어야 한다. 연료유 시스템의 경우 각각의 시스템과 완전히 구분되어야 하며 각 시스템 마다 1개 이상의 별도의 서비스 탱크를 구성하여야 한다. 냉각수 시스템은 DPS-2의 경우 각각의 다른 시스템과 완전히 구분되어야 하면 각 시스템 마다 1개 이상의 별도의 서비스 탱크가 구성되어 있어야 한다.

2.3.2.4 전력제어시스템(PMS: Power Management System)^[6]

전력제어시스템의 작동불능상태가 전력 시스템의 운전에 영향을 주지 않아야 하며 수동이라도 전력 시스템을 사용할 수 있어야 한다. 한 디젤 발전기의 작동불능상태로 과부하가 발생하더라도 블랙아웃(black out)을 발생시키면 안 되며 자동으로 각 부하를 제한(load limit) 하도록 구성해야 한다. 최악의 경우 부분적으로 블랙아웃(partial black out)이 발생하더라도 전체 블랙아웃(total black out)은 발생하지 않도록 해야 한다.

(1) DP Class 1

디젤 발전기의 총 용량은 모든 트러스터 100% 부하이상으로 구성되어야 한다.

(2) DP Class 2

2개 이상의 전력시스템으로 구성되어야 하며 1개의 전력 시스템이 작동불능 상태일 경우 자동으로 bus tie를 분리하여 1개 이상의 전력시스템을 사용할 수 있어야 한다.

(3) DP Class 3

2개 이상의 전력시스템을 구성해야 하고 1개의 전력 시스템이 작동불능 상태 일 경우를 대비하여 각 전력 시스템을 A-60구역으로 완전히 구분하여 나머지 다른 전력 시스템을 사용할 수 있어야 한다. 이 경우 전력 배전 시스템의 bus tie는 평상시 Open 상태로 운전되어야 한다.

(4) DP Class 2, 3 공통사항

비상시를 대비하여 전력 제어 시스템에서 bus tie를 자동으로 Open·Close 할 수 있어야 한다. 전력 사용량에 따라 자동으로 추가 디젤 발전기를 기동·정지 및 브레이커의 On·Off 가능해야 한다. 전력여분에 따라 대용량 장비의 기동을 추가 발전기의 기동까지 정지시킬 수 있어야 한다.

2.4 시추설비용 디젤 발전기의 시스템 설계^[8]

디젤 발전기는 여러 시스템과 복합적으로 연계되어 있으며 각 시스템 설계 시 다음 사항들을 유의해야 한다.

2.4.1 연료유 시스템(Fuel oil system)

시추설비용 디젤 발전기에는 주로 선박용 디젤유(marine diesel oil)를 주 연료(main fuel)로 사용하며 주문주(owner)의 요구에 따라 중질유(heavy fuel oil)를 사용 하는 경우도 있다. 단기간의 연료유 변경은 가능하지만 장기간으로 사용할 경우 연료유 순환계통(fuel return line)의 압력조절 등의 시스템 수정이 필요하다. 연료유 배관(fuel line)에 엔진정비(engine maintenance)를 위한 압축공기를 연결할 수 있는 장치(compressed air connection)를 구성하여 정비 작업 시 플러싱(flushing)을 할 수 있도록 구성한다. 서비스·침전 탱크(Service & Settling tank)는 각각 최소 8시간이상의 사용량을 보유할 수 있는 용량으로 구성한다^[5] 서비스 탱크의 하부를 경사지게 구성하여 드레인(drain)과 흡입(suction)에 효율적이도록 구성한다. 서비스 탱크의 위치는 블랙아웃을 대비하여 크랭크샤프트(crankshaft)보다 15m이상의 높이에 구성한다. 선박용 디젤유를 주 연료로 사용 시 청정기(separator) 대신 응집필터(coalescer filter)로 대체 가능하다. 연료유 순환펌프(circulation pump)의 용량은 엔진의 정격 연료 소모량(engine fuel consumption)의 5배 이상 되도록 구성하여 충분한 연료 공급과 과열에 의한 점도 하락을 방지해야한다. 필요시 엔진의 연료유 순환라인에 Fig. 2.9와 같이 냉각기를 구성한다. 1개의 연료유 계통에 4대 이상의 엔진을 구성하는 것은 피한다.

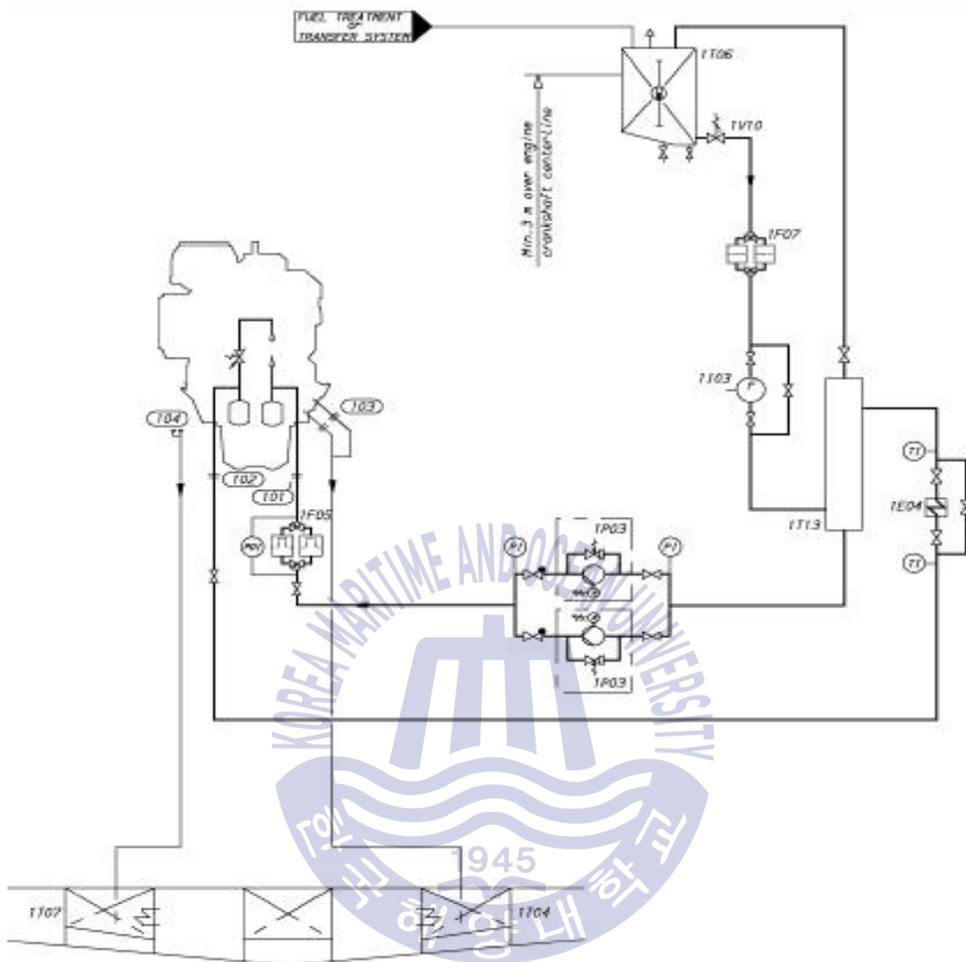


Fig. 2.9 Fuel oil system^[8]

System components

- 1E04 Cooler (MDF)
- 1F05 Fine filter (MDF)
- 1F07 Suction strainer (MDF)
- 1I03 Flow meter (MDF)
- 1P08 Stand-by pump (MDF)
- 1T04 Leak fuel tank (clean fuel)
- 1T06 Day tank (MDF)

Pipe connections

- 101 Fuel inlet
- 102 Fuel outlet
- 103 Leak fuel drain, clean fuel
- 104 Leak fuel drain, dirty fuel
- 106 Fuel to external filter
- 107 Fuel from external filter

- 1T07 Leak fuel tank (dirty fuel)
- 1T13 Return fuel tank
- 1V10 Quick closing valve (fuel oil tank)

2.4.2 윤활유 시스템(Lubricating oil system)

Fig. 2.10과 같이 각 엔진마다 독립된 윤활유 청정시스템을 계속적으로 운전하는 것을 기본으로 하며, 최대 380 cSt/50℃ 이상의 연료를 사용하는 보조엔진의 경우 청정시스템에 2대의 엔진을 결합하여 구성될 수 있으며 4대 이상의 엔진의 경우 최소 2개 이상의 윤활유 시스템으로 구성해야 한다.

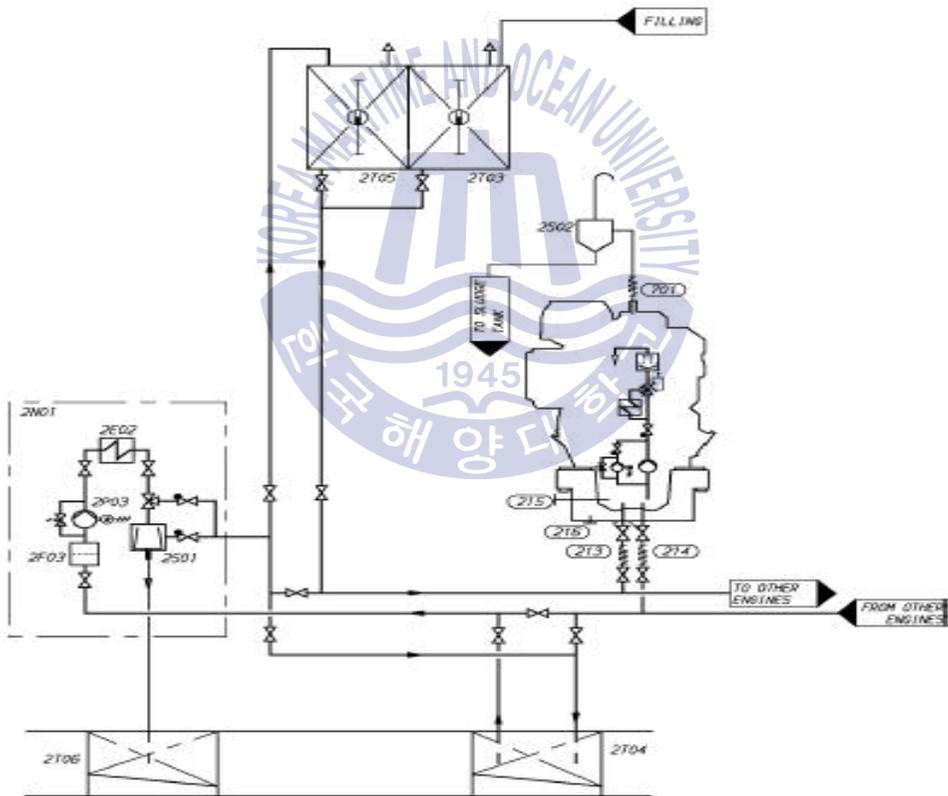


Fig. 2.10 Lubricating oil system^[8]

System components:

2E02 Heater (separator unit)

2S02 Condensate trap

2F03 Suction filter (separator unit)	2T03 New oil tank
2N01 Separator unit	2T04 Renovating oil tank
2P03 Separator pump (separator unit)	2T05 Renovated oil tank
2S01 Separator	2T06 Sludge tank

Pipe connections:

- 213 Lubricating oil from separator and filling
- 214 Lubricating oil to separator and drain
- 215 Lubricating oil filling
- 216 Lubricating oil drain
- 701 Crankcase air vent

2.4.3 압축공기 시스템(Compressed air system)

Fig. 2.11과 같이 최소 2대 이상의 동일한 용량의 압축기(compressor)와 압축 공기 탱크(compressed air reservoir)가 구성되어야 한다. 압축공기 배관은 경사진 구조로 구성하고 가장 아래 부분에 수동이나 자동 드레인(drain) 장치가 구성되어야 한다. 제어용 압축 공기의 경우 엔진에 공급 전 제습 장치를 구성해야 한다.

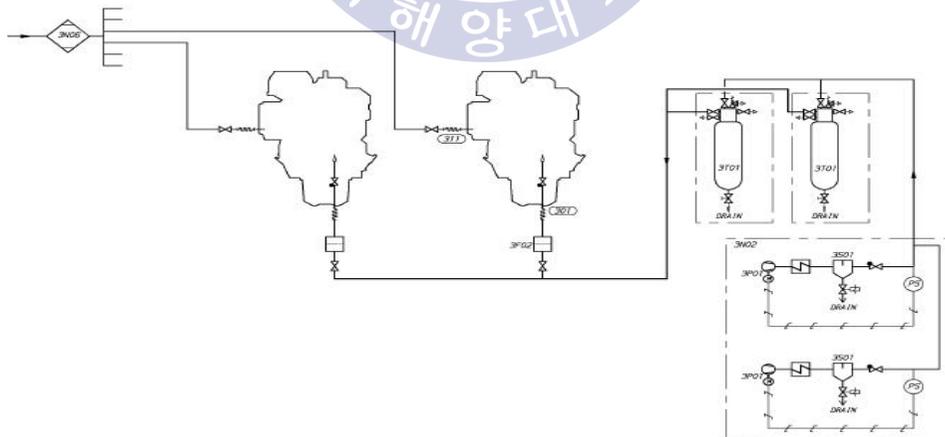


Fig. 2.11 Compressed air system^[8]

System components:

3F02 Air filter (starting air inlet)
3N02 Starting air compressor unit
3N06 Air dryer unit
3P01 Compressor (starting air compressor unit)
3S01 Separator (starting air compressor unit)
3T01 Starting air vessel

Pipe connections:

301 Starting air inlet
311 Control air to wastegate valve

2.4.4 냉각수 시스템(Cooling water system)

냉각수의 각 품질 요구사항은 엔진 메이커에 따라 상이하나 **Table 3.1**과 같은 품질을 요구한다. 증류식 냉각수를 추천하지만 역삼투압식(reverse osmosis)으로 생산된 냉각수도 사용가능 하다. 산소(O₂)와 탄소(C)의 함유가 높은 육상용수 및 우수(rainwater)의 사용은 금한다. 엔진의 운전환경에 따라 결빙 방지용 글리콜(glycol)을 최대 냉각수의 50%까지 적용 가능하며 적용 시 글리콜 1%당 0.23%의 엔진 정격 출력이 감소된다. 엔진 냉각수 시스템에 사용되는 배관은 내부가 아연 도금된 제품의 사용을 금한다. 아연은 냉각수 성분과 반응하여 슬러지(sludge)를 생성할 수 있고, 높은 온도에서 철보다 부식성이 낮아 엔진의 각 부분을 부식시키는 작용을 하기 때문이다. 극지역(Artic-mode, Ice-class) 및 저온구역에서 운영되는 설비는 필히 냉각해수가 재순환 될 수 있도록 구성해야 한다. 엔진 정비 및 자연 증발로 소모되는 냉각수를 보충할 경우 냉각수 내부의 공기(air)를 배출하기 위한 공기 배출라인(venting line)을 구성해야 하고 배출 라인에 공기포켓(air pocket)이 생기지 않도록 경사진 형상으로 팽창탱크의 수면이하로 구성해야 한다. 팽창탱크는 총 냉각수량의 10% 이상의 용량으로 구성하고, 냉각수 펌프 입구까지 약 0.7 bar~1.5 bar의 압력을 형성하되 별도의 펌프가 구성될 경우 엔진에서 요구하는 압력을 초과하지 않도록 구성해야 한다. 예열기(pre-heater)는 5 kW/cyl 이상의 성능(가열)을 가지고 있으며 평상시 2 kW/cyl 이상으로 발열, 유지 시킬 수 있어야 한다. 해양설비용 디젤 발전기의 냉각수 라인은 **Fig. 2.12**와 같이 다른 보조기와 공통으로 사용하지 못하고 다른 디젤 발전기와 별도로 구성되어야 한다.

Table 2.5 Water Quality

Composition	Range
pH	min. 6.5 ~ 8.5
Hardness	max. 10° dH
Chlorides	max. 80 mg/L
Sulphates	max. 150 mg/L

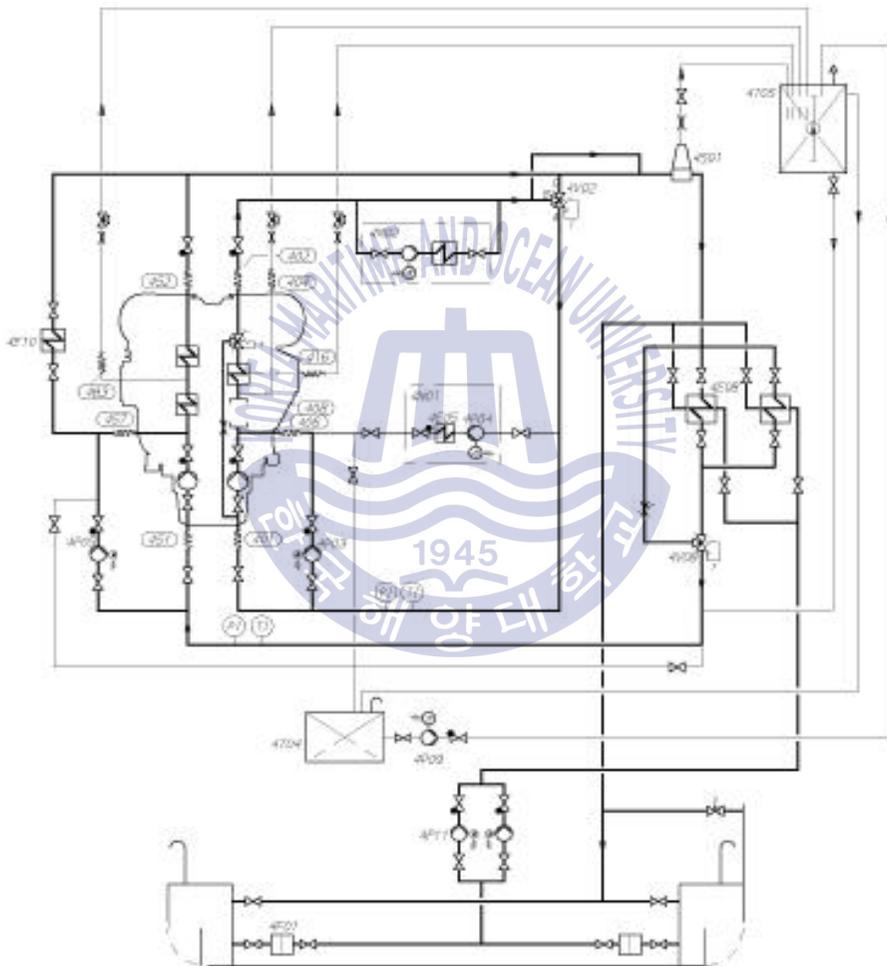


Fig. 2.12 Cooling water system^[8]

System components:

4E05 Heater (preheating unit)

4P05 Stand-by pump (LT)

4E08 Central cooler	4P09 Transfer pump
4E10 Cooler (reduction gear)	4P11 Circulating pump (sea water)
4F01 Suction strainer (sea water)	4S01 Air venting
4N01 Preheating unit	4T04 Drain tank
4N02 Evaporator unit	4T05 Expansion tank
4P03 Stand-by pump (HT)	
4V02 Temperature control valve (heat recovery)	
4P04 Circulating pump (preheater)	
4V08 Temperature control valve (central cooler)	

Pipe connections:

401 HT-water inlet	416 HT-water airvent from air cooler
402 HT-water	451 LT-water inlet
404 HT-water air vent	452 LT-water outlet
406 Water from preheater to HT-circuit	
457 LT-water from stand-by pump	

2.4.5 연소공기 시스템(Combustion air system)

위치제어시스템이 적용된 해양설비의 경우 규정에 따라 엔진용 연소공기 송풍구(Combustion air duct)를 엔진 당 각각 별도로 구성하여 한 엔진의 화재(fire)가 다른 엔진의 운전에 영향을 주지 않도록 구성한다. 송풍구 입구에는 필터를 적용하여 외부로부터 이물질 유입으로 인한 과급기의 손상을 막을 수 있도록 하고 연소공기 송풍구는 비방폭 구역만 경유하도록 배치되어야 한다. 그리고 플랩(flap)을 적용하여 외기온도와 엔진 부하에 따라 연소공기 유입을 외기와 내기로 조절할 수 있어야 한다. 엔진 운전 중 외부로부터 가연성 가스의 유입 가능성이 있는 경우 연소 공기 차단 밸브(charge air shut off valve, Fig. 2.13)를 필히 적용해야 한다. Fig. 2.14와 같은 연소공기 시스템의 총 배압(Backup pressure)은 최대 1.5 kPa를 넘지 않도록 구성한다.

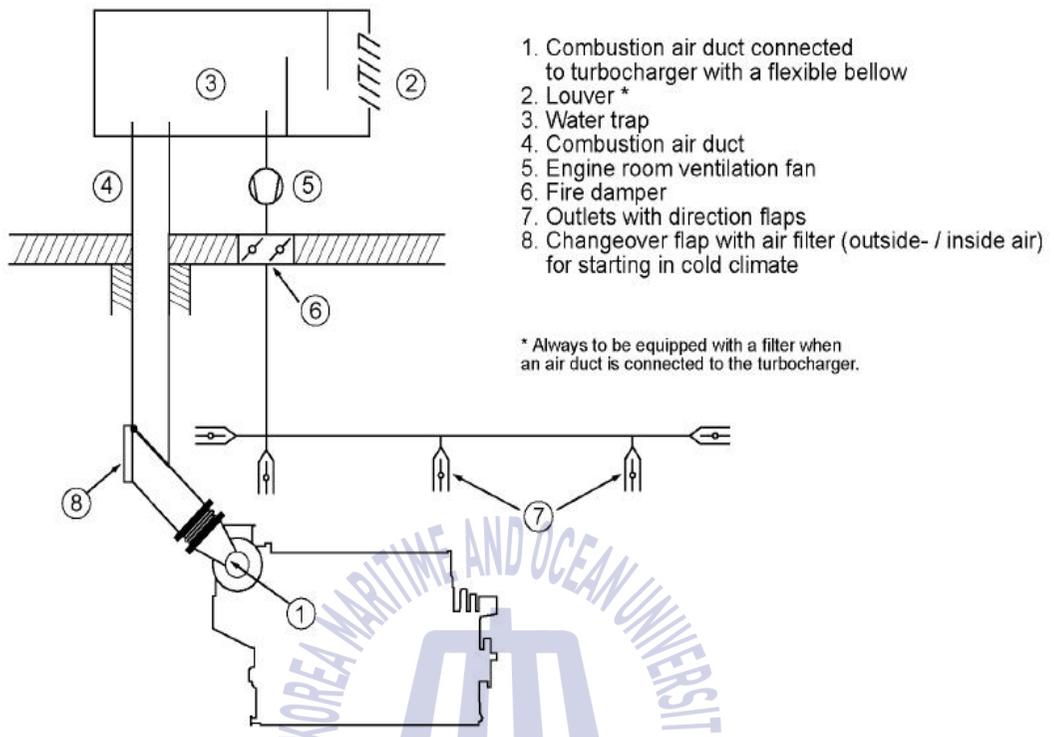


Fig. 2.13 Combustion air system^[8]



Fig. 2.14 Charge air shut-off valve

2.4.6 배기가스 시스템(Exhaust gas system)

Fig. 2.15와 같이 각 엔진의 배기관 배압은 최대 3.0 kPa를 넘지 않도록 구성

해야하고 국제해상인명안전(SOLAS : Safety of Life at Sea)규정에 따라 작업자의 화상을 방지하기 위해 220℃ 이상 고온부에는 절연패드를 적용해야 한다. 배기가스관의 지지(support)는 엔진의 벨로우즈(bellows) 후단의 첫 포인트는 모든 방향으로 견고하게 고정될 수 있도록 구성하고 이후의 지지대는 배기관의 열팽창, 선체의 변형을 고려하여 레질리언트와 같은 유연한 구조로 구성한다. 배기관이 헬리-데크(Helicopter-Deck)와 근접하게 위치할 경우 헬리콥터(helicopter) 운영에 영향을 주지 않도록 배치해야 한다.

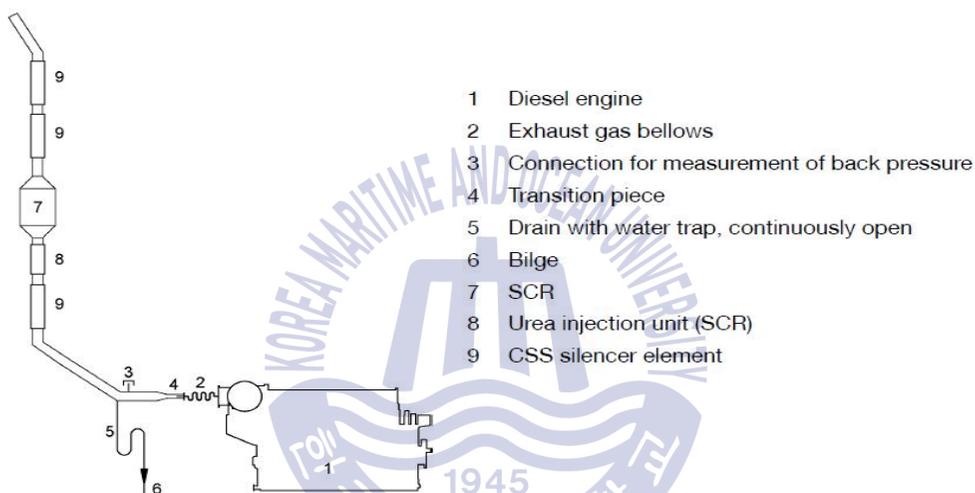


Fig. 2.15 Exhaust gas system^[8]

2.4.7 파운데이션(Foundation)

엔진의 파운데이션의 구성은 견고한 초크(chock)구조와 연성재료의 레질리언트 마운트(resilient mount, Fig. 2.16)구조로 구분되며 초크구조는 다시 스틸초크(steel chock, Fig. 2.17)구조와 레진초크(resin choke, Fig. 2.18)구조로 분류된다. 엔진이 구동시키는 장비(예: 발전기, 프로펠러)의 파운데이션은 엔진 파운데이션과 같이 1개로 결합된 상태로 설치되어야 한다. 레질리언트 마운트의 경우 500 rpm ~ 750 rpm의 엔진에 주로 적용하며 진동문제로 인하여 사용이 제한되기도 한다.(예:18V엔진의 750 rpm, 7L32 엔진). 레질리언트 마운트는 엔진의 진동이 선체로 이동하는 것과 엔진 베어링의 프레팅(fretting)을 막는 효과가 있

다. 레질리언트 마운트 적용 시에는 엔진과 연결되는 배관의 연결부는 연성재 질로 구성되어야 한다.

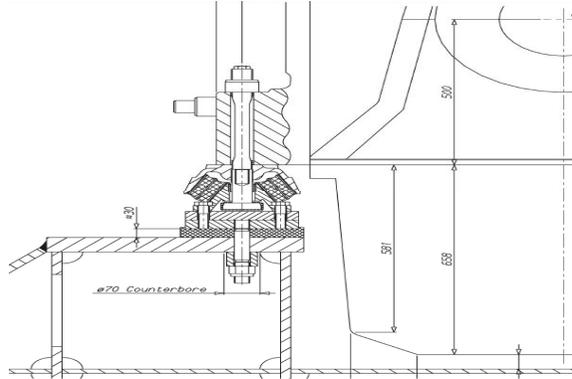


Fig. 2.16 Resilient mount^[8]

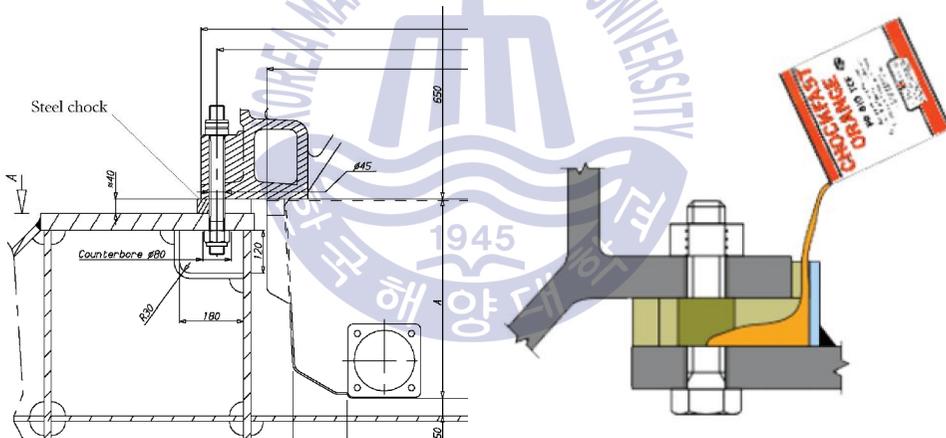


Fig. 2.17 Chock mount(Steel)^[8]

Fig. 2.18 Chock mount(Resin)

2.4.8 자동 제어 시스템(Automation control system)

디젤 발전기의 제어시스템 구성은 각 엔진 제작사마다 약간씩 차이는 있지만 Fig. 2.19와 같이 구성하고 있다. 주전원으로 240V AC를 사용하고 비상전원으로 항상 24V DC를 공급할 수 있도록 구성해야 한다. 엔진 각부의 센서를 통해 측정된 데이터는 엔진 컨트롤 패널에 취합되어 엔진 제어에 사용되거나 선박의

통합제어시스템(IAS: Integrated Automation System), 전력제어시스템으로 Modbus, I/O케이블을 통해 전달된다. 엔진 속도 제어 방식은 엔진 컨트롤 패널에서 직접 속도를 계측·제어하고 조속기는 액추에이터 역할만 하는 구성과 조속기에서 단독으로 직접 엔진 속도를 계측하여 액추에이터까지 모두 제어하는 구성이 있다.

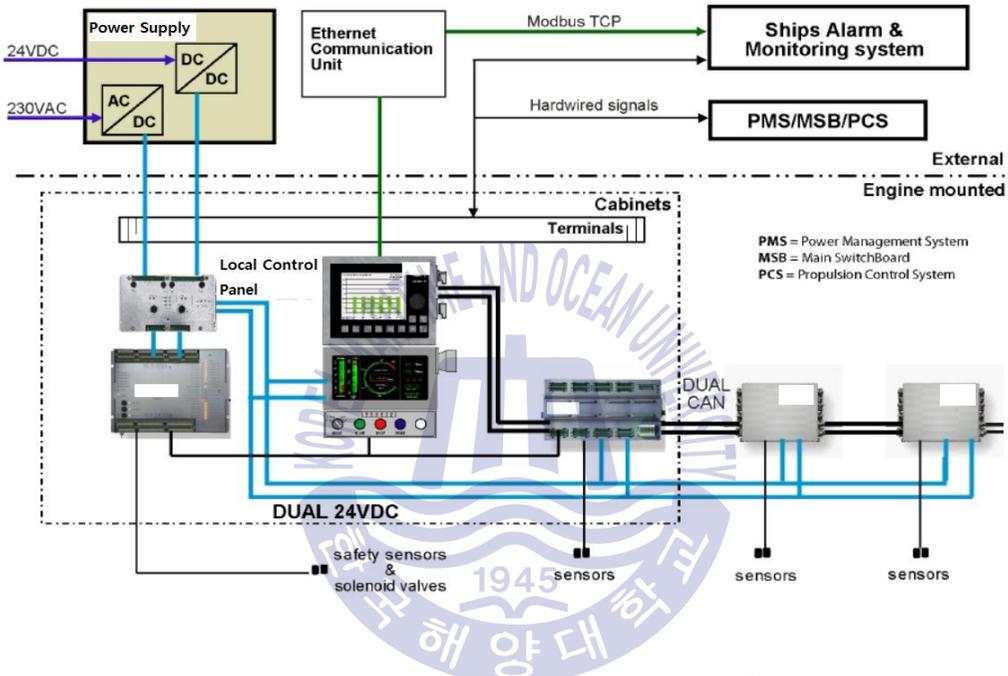


Fig. 2.19 Engine automation system^[8]

제 3 장 시추설비용 디젤 발전기의 운전특성 평가

3.1 운전특성 확인

일반시추설비에서 사용되는 대용량 전력 장비로는 시추 작업용 드로웍스가 있으며, 해양시추설비에서는 추가적으로 이지무스 트러스터가 적용되어 있다. 이 장비들은 대용량 전력을 순간적으로 사용함으로 디젤 발전기의 운전을 가혹하게 한다. 특히 드로웍스는 라이저(riser)와 시추파이프의 위치를 선체 운동으로부터 유지하거나 시추작업 시 라이저와 시추파이프를 설치·분리 할 때 상대적으로 빠른 부하변동(load fluctuation)을 발생시킨다. 이러한 부하변동은 디젤 발전기가 제어할 수 있는 반응보다 빠르기 때문에 디젤 발전기의 회전속도를 감속시켜 발전 전력의 주파수를 하강시킨다. 이는 기존의 선급단체에서 요구하는 디젤 발전기의 반응속도 규정에는 충족하였지만 각각의 전력 장비에서 요구하는 전력 안정조건을 벗어나는 경우가 있다. 그리고 전력 주파수의 하강은 전력 장비들의 제어와 운전에 영향을 주고 특히, 전력에 민감한 시추 장비의 경우 사용할 수 있는 전력을 제한시켜 시추작업을 지연시킨다. 시추장비용 VFD(Variable Frequency Driver), 드로웍스 VFD 등 각 VFD 장비들은 자체적으로 안전기능(Safety function)을 구성하여 전력 주파수의 하강(57, 58 Hz)에 따라 장비의 운전을 단계적으로 제한(load limit)되도록 구성하고 있다. 11 kV drilling switch board port(Fig. 3.1)의 경우는, 순간적으로 발전기 정격용량(generator engine full capacity)의 약 45% 부하를 인가하고 제거하는 과정을 반복하게 된다. 그리고 Fig. 3.2와 Fig. 3.3에서 보이는 그래프와 같이 주파수 하강에 따른 전력 제한(load limit)으로 원활한 장비 사용에 영향을 주게 된다.

11 kV drilling switch board(port)

$$6,750 \text{ kW(D/G capacity)} \times 2(\text{Engine}) = 13,000 \text{ kW}$$

$$1,190 \text{ kW (drawworks Load)} \times 5 = 5,950 \text{ kW}$$

$$5,950 / 13,000 = 45.77\%$$

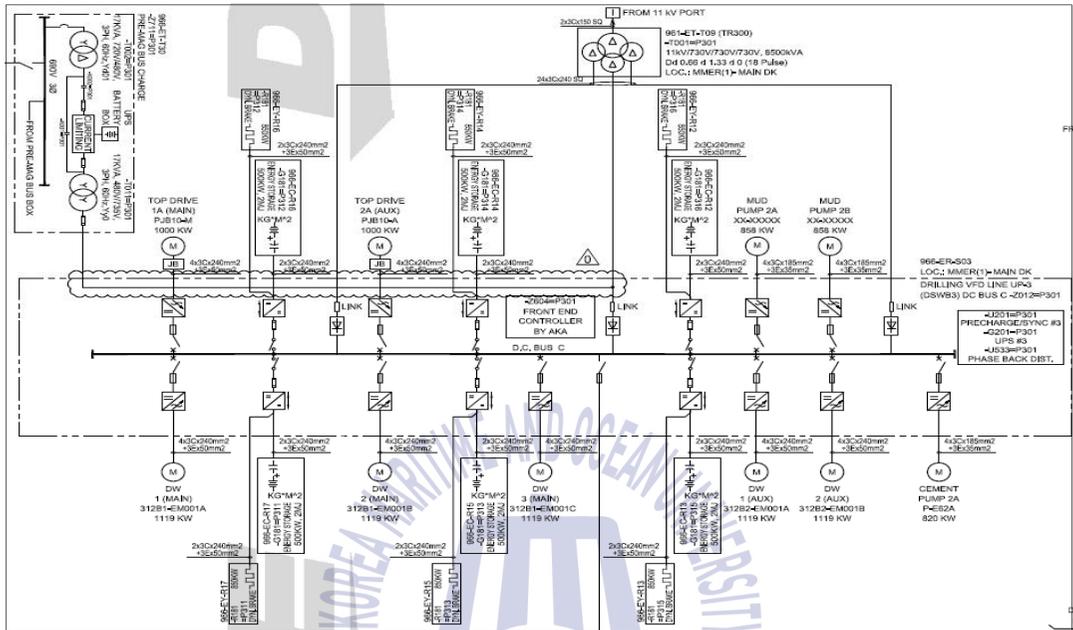


Fig. 3.1 11 kV drilling switch Board(port)^[9]

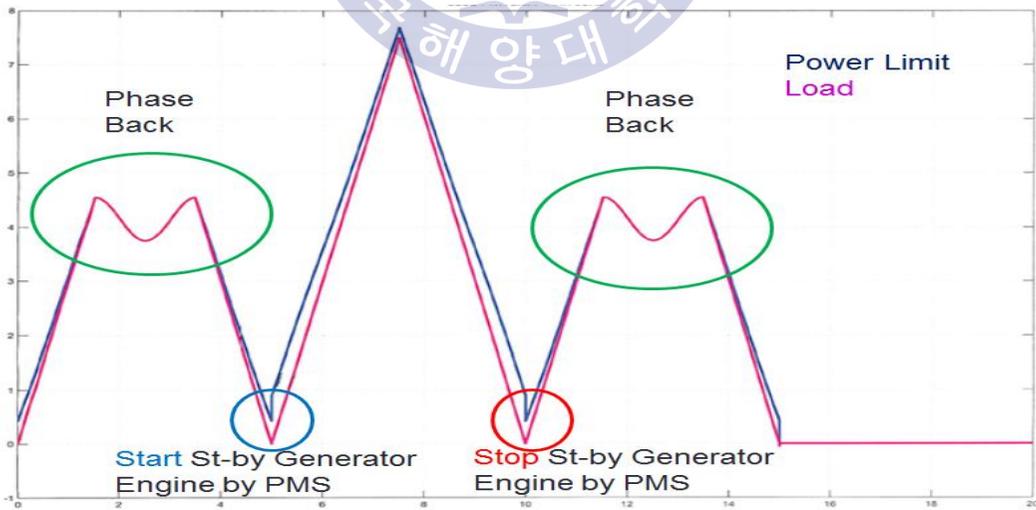


Fig. 3.2 Activation of power limit function for drilling^[10]

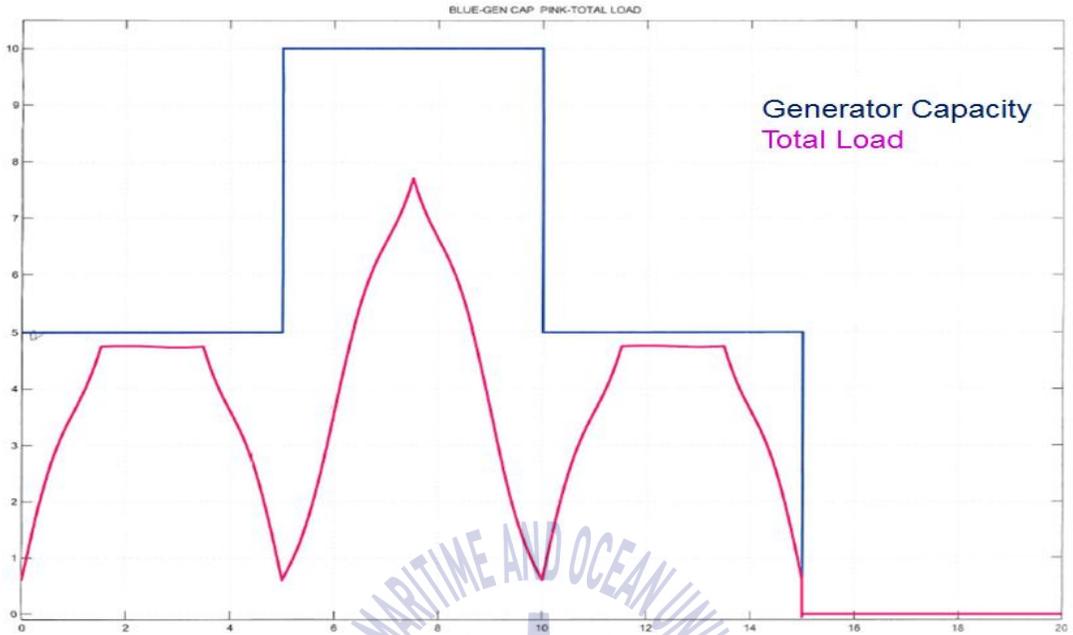
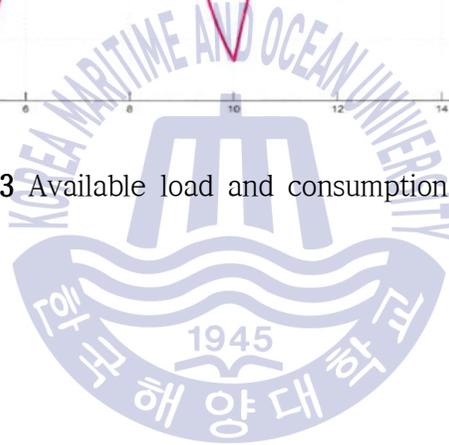


Fig. 3.3 Available load and consumption load^[10]



3.2 운전특성 평가

3.2.1 계측속도와 제어속도 평가

디젤 발전기의 속도 제어는 발전기의 회전 속도를 계속적으로 픽업 센서(pick-up sensor)를 통하여 계측하여 속도의 변화가 감지되면 그에 따라 연료의 주입량을 조절하는 Fig. 3.4와 같은 방식이다. 이와 같은 속도 제어 방식은 수동적인 제어 방식으로 속도 픽업 센서의 측정 시간과 조속기의 제어 시간이 엔진의 속도 제어에 영향을 미칠 수 있다고 예상되었다. 따라서 센서의 측정 속도와 조속기의 제어속도가 엔진의 반응속도에 미치는 영향을 연구 하였다.

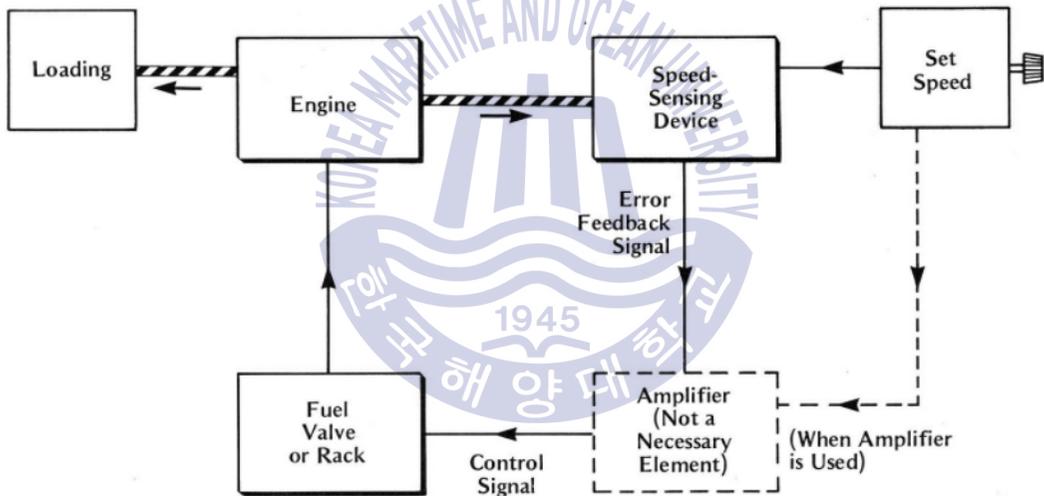


Fig. 3.4 Engine speed control

[Test Engine Specification]

Engine maker : Himsen
Model type : 14V 32/40
Rated power : 7,000 kW
RPM : 720
Governor : Heinzmann

Control mode : isochronous

Gain : 70%

Jet air assist : activated, direction type

Step load : 2,310 kW(33%)

3.2.2 조속기의 민감도 평가

조속기는 변화된 엔진의 속도에 따라 그에 상응하는 출력을 액추에이터로 전달하여 연료량을 링크지(Linkage)로 조작한다. 이와 같은 조속기의 출력에 이득(Gain)을 조절하여 조속기의 민감도를 조절할 수 있다. 따라서 조속기의 민감도 변화가 엔진의 반응속도에 어떤 영향을 주는지를 연구하였다. 실험 방법은 노르웨이 선급의 디젤 발전기의 반응 테스트 방식²⁾을 따랐다.

[Test engine specification]

Engine maker : Himsen

Model type : 14V 32/40

Rated power : 7,000 kW

RPM : 720

Governor : Heinzmann

Control mode : isochronous

Jet air assist : activated, direction type

Step load : 2,310 kW → 4,620 kW → 7,000 kW → 1,190 kW

2) 정격 부하를 3등분하여 단계적 부하(step load)로 인가할 때와 정격 부하를 순간적으로 모두 제거할 때에 정격 주파수의 $\pm 10\%$ 를 벗어나지 않아야 하고, 5초 이내에 정격 주파수의 $\pm 1\%$ 이내로 복귀해야 한다.

3.3 운전특성 평가 결과

3.3.1 계측속도와 제어속도 평가 결과

테스트 결과 Fig. 3.5의 그래프와 같이 전력 부하 변동 시점(Blue line)과 조속기 출력에 의한 엔진의 반응 시점(Red Line)이 거의 동일한 것으로 확인되었다. 따라서 센서의 측정 속도와 조속기 제어속도는 엔진의 반응속도에 크게 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

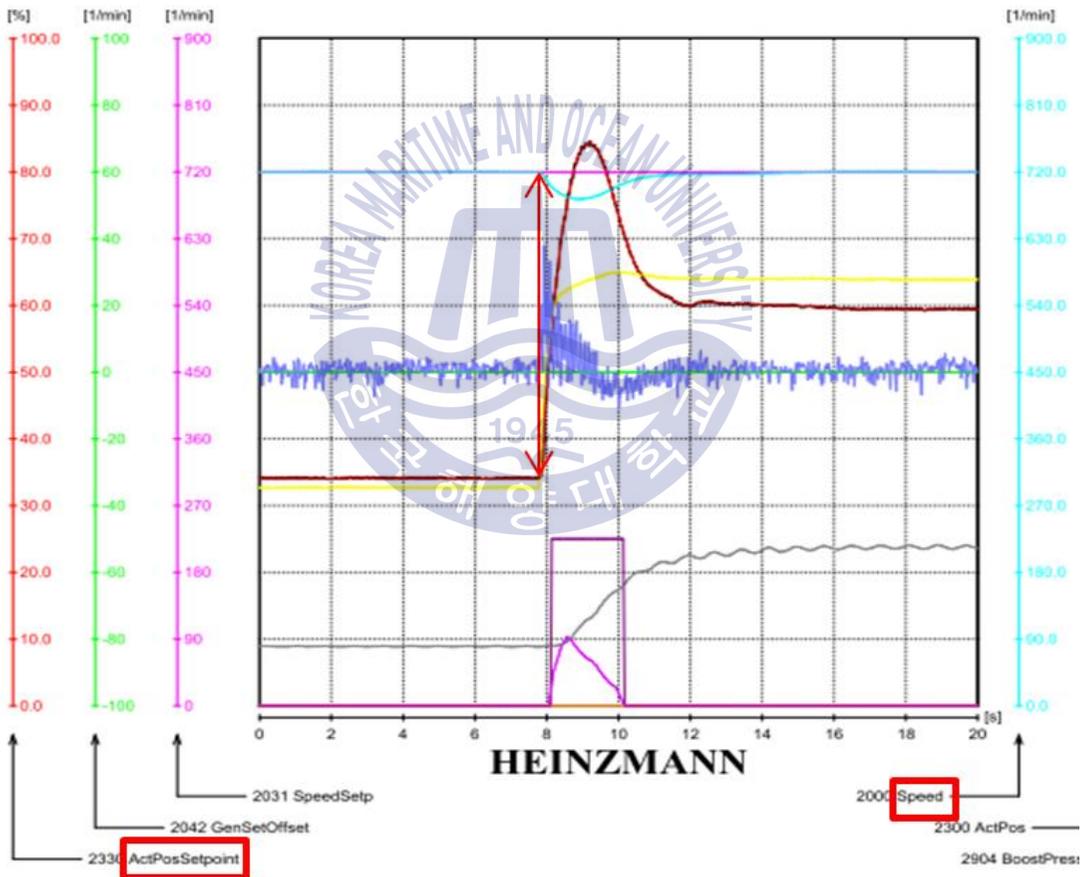


Fig. 3.5 Engine speed variation vs Governor reaction speed

3.3.2 조속기의 민감도 평가 결과

기준 민감도(70%)에서는 Fig. 3.6, 3.7, 3.8, 3.9와 같은 그래프를 기준으로 Table 3.1과 같은 결과를 확인하였다. 그리고 민감도 80%에서는 Fig. 3.10, 3.11, 3.12, 3.13과 같은 그래프를 기준으로 Table 3.2의 결과를 얻을 수 있었고 민감도 70%일 때 보다 빠른 엔진의 반응을 확인하였다. 하지만 Table 3.3, Fig. 3.14와 같이 민감도 87%이상부터는 부하 변동 시 엔진속도가 복귀될 때 정격 속도를 넘어가는 오버슈팅(overshooting) 현상이 발생하였다. 그리고 주파수 안정화 기준인 1%내에 도달하는 시간이 지체되어 복귀 시간(Recovery time)이 증가하였다. 엔진 조속기의 과도한 민감도 적용은 엔진 크랭크축(crankshaft)의 비틀림(torque)응력을 증가 시키고, 특히 엔진의 오버슈팅 현상은 엔진 각 부품의 피로응력을 증가시켜 엔진의 내구성을 저하시킨다. 따라서 엔진 및 조속기 제작사측에서는 조속기의 민감도를 증가 시키는 것을 권장하지 않으며 민감도 조절에도 신중을 기하고 있다.

(1) Gain : 70%

Table 3.1 Engine governor test(gain 70%, isochronous mode)

Load step(%)		17 → 33	33 → 66	66 → 100	100 → 17
Power(%)	Initial	17.1	32.7	63.5	93.4
	Recovery	32.9	64.1	93.7	16.7
Speed(rpm)	Initial	720.0	719.9	719.9	720.0
	Min	703.0	683.6	690.8	769.3
	Drop(Hz)	1.417	3.025	2.425	-4.108
Act. Pos(%)	Initial	20.5	34.1	59.3	86
	Reaction	-	84.6	96.9	0.3
	Reaction Time(s)	-	1.363	0.949	0.352
Recovery time		-	2.802	3.966	1.041

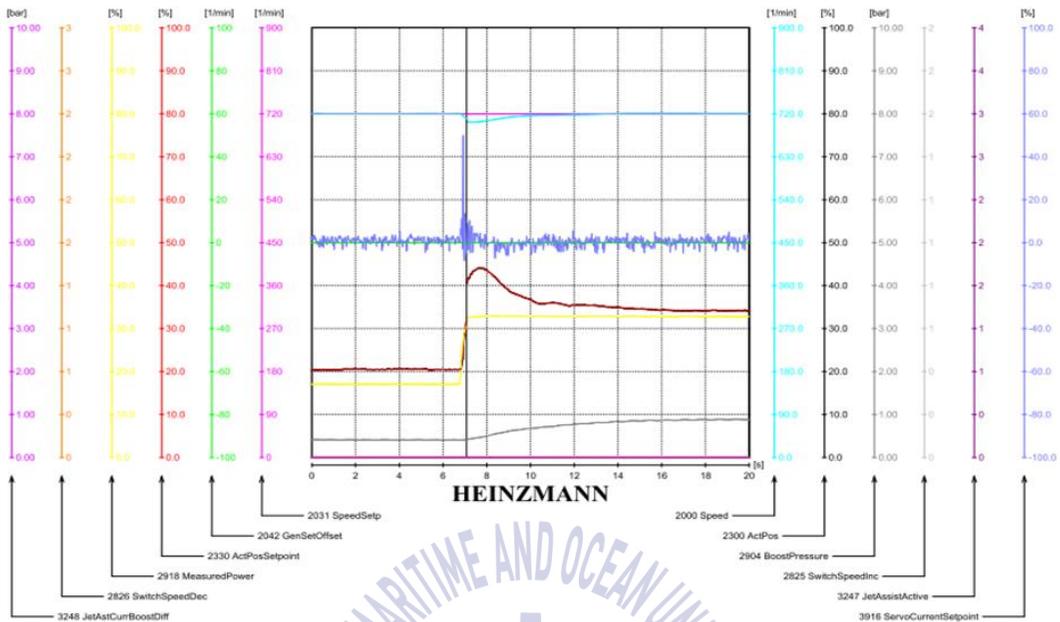


Fig. 3.6 Engine governor test(gain 70%, 17% → 33%)

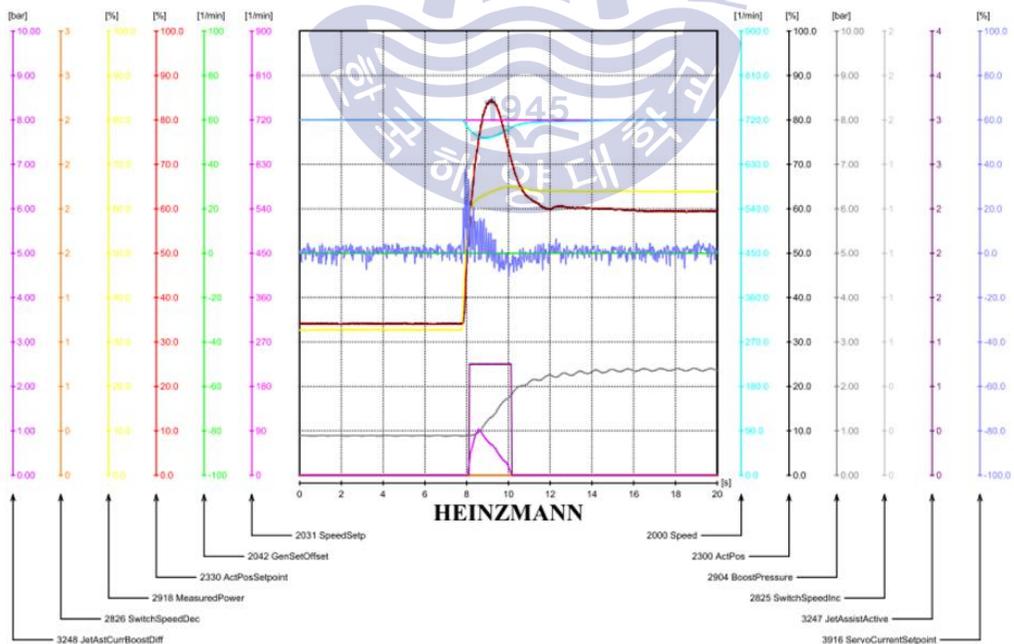


Fig. 3.7 Engine governor test(gain 70%, 33% → 66%)

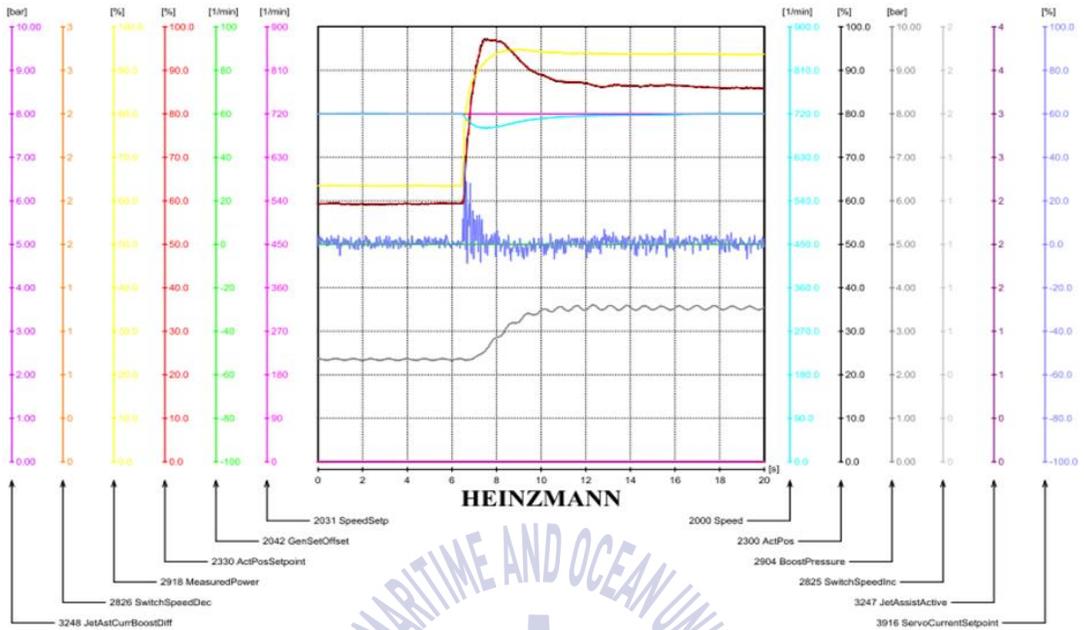


Fig. 3.8 Engine governor test(gain 70%, 66% → 100%)

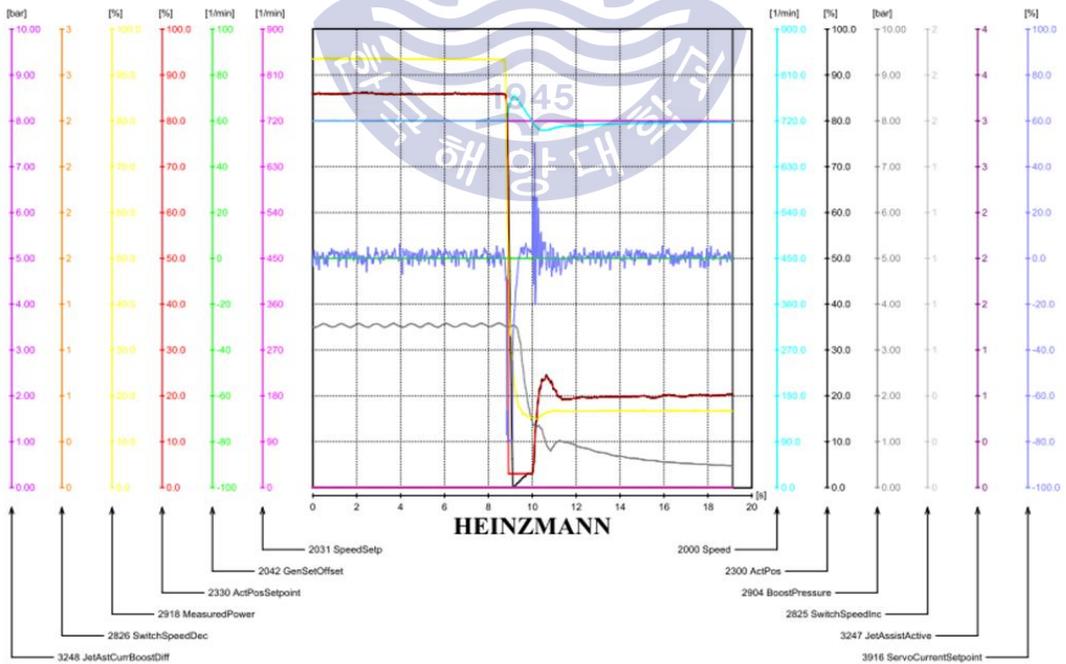


Fig. 3.9 Engine governor test(gain 70%, 100% → 17%)

(2) Gain : 80%

Table 3.2 Engine governor test(gain 80%, isochronous mode)

Load step(%)		17 → 33	33 → 66	66 → 100	100 → 17
Power(%)	Initial	16.7	32.2	63.6	93.5
	Recovery	32.5	64	94	16.7
Speed(rpm)	Initial	720.0	720.1	720.2	720.1
	Min	704.5	686.0	696.9	767.2
	Drop(Hz)	1.292	2.842	1.942	-3.925
Act. Pos(%)	Initial	20.2	33.7	59.3	85.7
	Reaction	44.4	86.7	97.3	0.1
	Reaction Time(s)	1.118	1.225	0.842	0.337
Recovery time(s)	1.975	2.603	3.813	1.011	

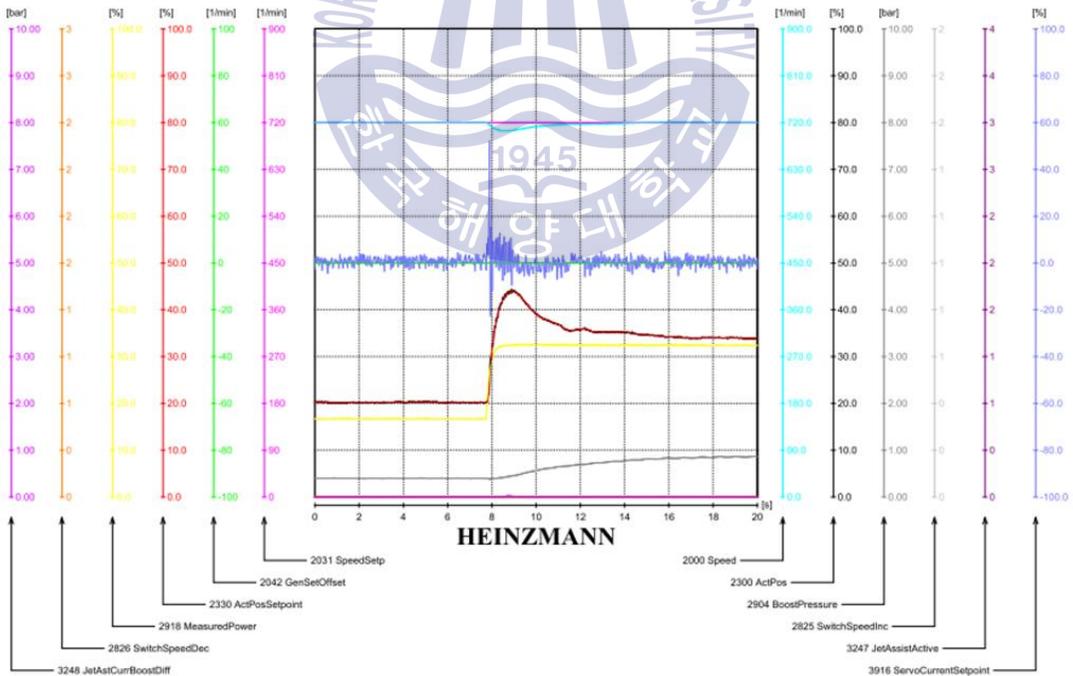


Fig. 3.10 Engine governor test(gain 80%, 17% → 33%)

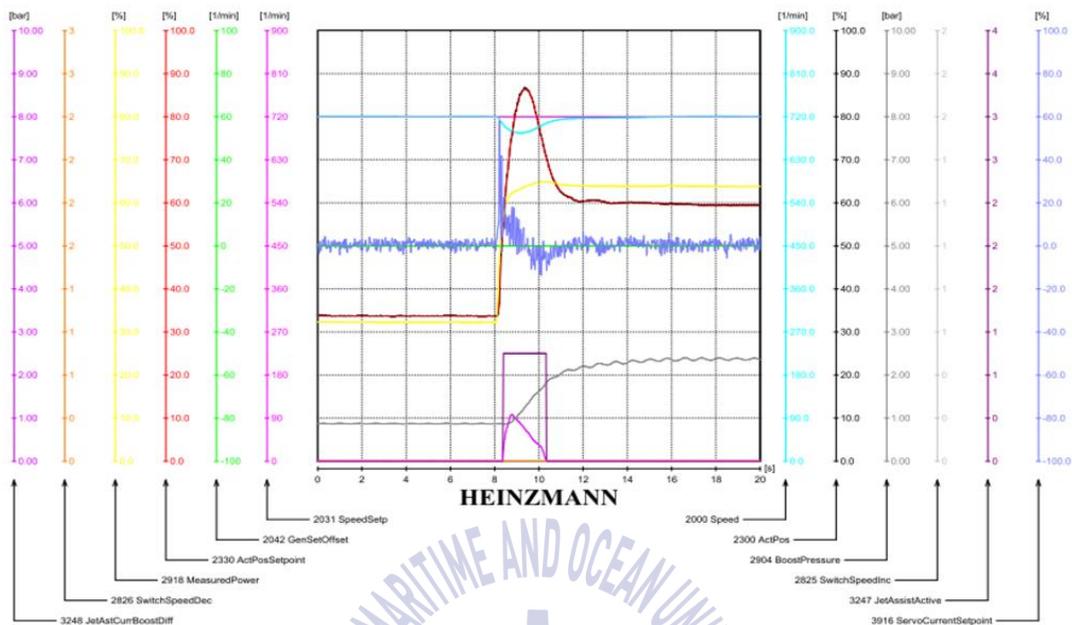


Fig. 3.11 Engine governor test(gain 80%, 33% → 66%)

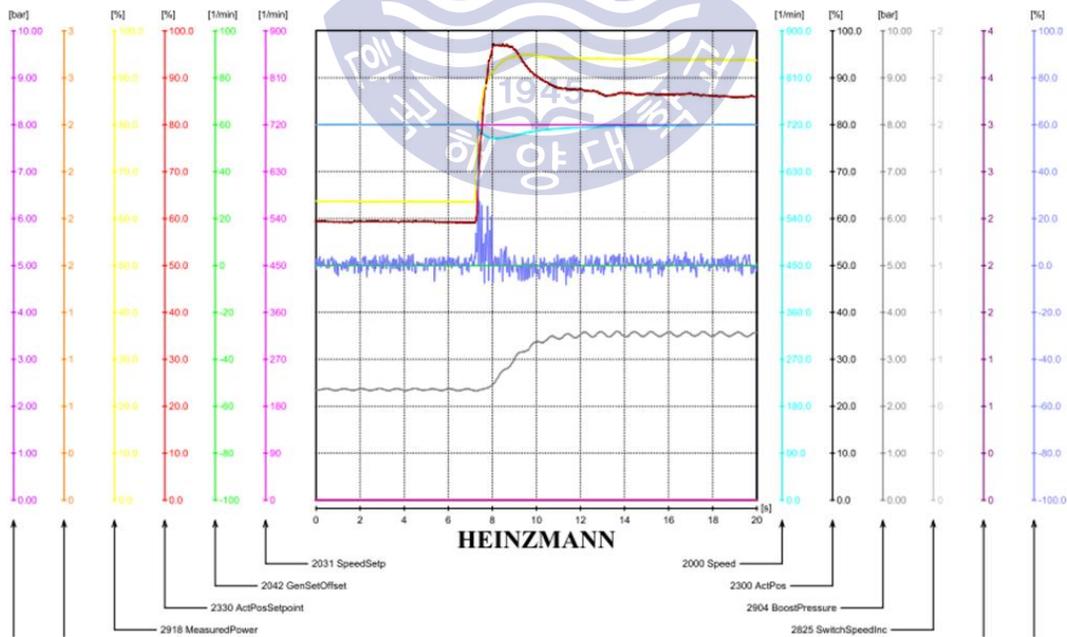


Fig. 3.12 Engine governor test(gain 80%, 66% → 100%)

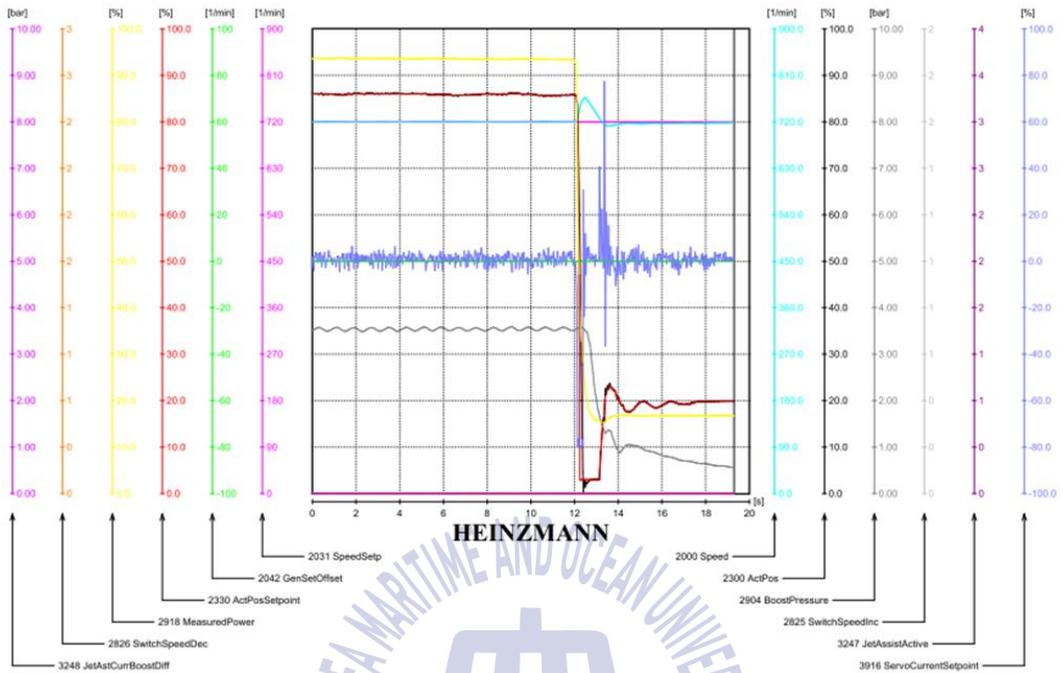


Fig. 3.13 Engine governor test(gain 80%, 100% → 17%)

(3) Gain : 87%

Table 3.3 Engine governor test(gain 87%, isochronous mode)

Load step(%)		7 → 40
Speed(rpm)	Initial	720
	Min	676.6
	Max	737.9
Speed(Hz)	Min	56.4
	Drop	-3.6
	Overshooting	1.5
Recovery time(s)		5.29

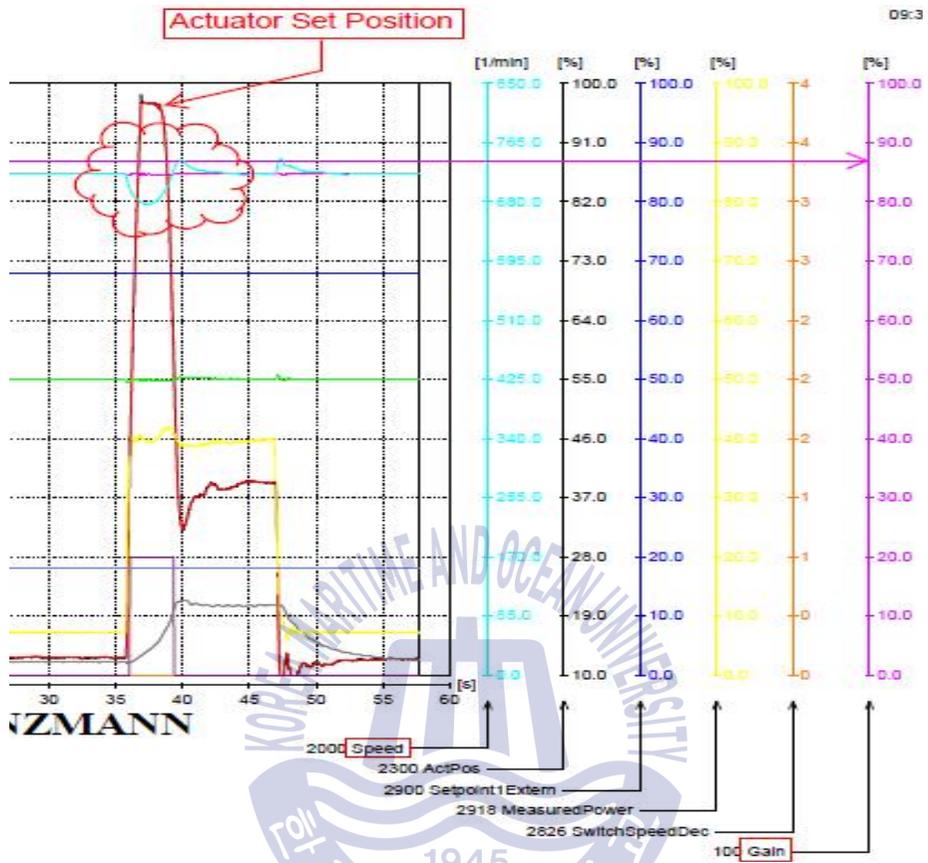


Fig. 3.14 Engine overshooting(gain 87%, 7% → 40%)

제 4 장 시추설비용 디젤 발전기의 성능 개선

4.1 성능 개선 방안

시추설비용 디젤 발전기의 반응 속도를 개선할 수 있는 방안으로는 제트 에어 어시스트 시스템(Jet air assist system)과 하이브리드 시스템(Hybrid system)이 있으며 실제로 상용화되어 시추설비에 적용되고 있다.

4.2 성능 개선 방안 평가

4.2.1 제트 에어 어시스트 시스템 성능 평가

제트 에어 어시스트 시스템은 과급기가 저부하 상태에서 부하의 급격한 변화로 충분한 연소공기를 공급하지 못할 경우 이를 보상해주는 시스템이다. 제트 에어 어시스트 기능은 저부하(60% 이하)에서 지정된 소기 압력이하일 경우 부하의 증가 속도(ramp-up)에 따라 작동된다. 그리고 이들 각 지정된 값을 조절하여 제트 에어 어시스트의 작동 민감도를 조절할 수 있다. 작동 방식은 Fig. 4.1과 같이 소기실(scavenging air chamber)에 압축공기를 직접 분사하는 방식(Wartsila, Himsen)과 Fig. 4.2와 같이 압축공기를 과급기의 압축기 쪽에 분사하여 휠을 가속시켜 간접적으로 연소 공기를 주입하는 방식(MAN)으로 나뉜다. 이 두 가지 방식이 디젤 발전기의 반응속도에 미치는 효과를 비교하기 위해 각 방식이 적용된 엔진에서 제트 에어 어시스트 기능을 On·Off하고 반응속도 테스트를 진행하였다. 테스트 조건은 전과 동일하게 노르웨이 선급의 디젤 발전기 조속기 테스트 조건을 따랐다.

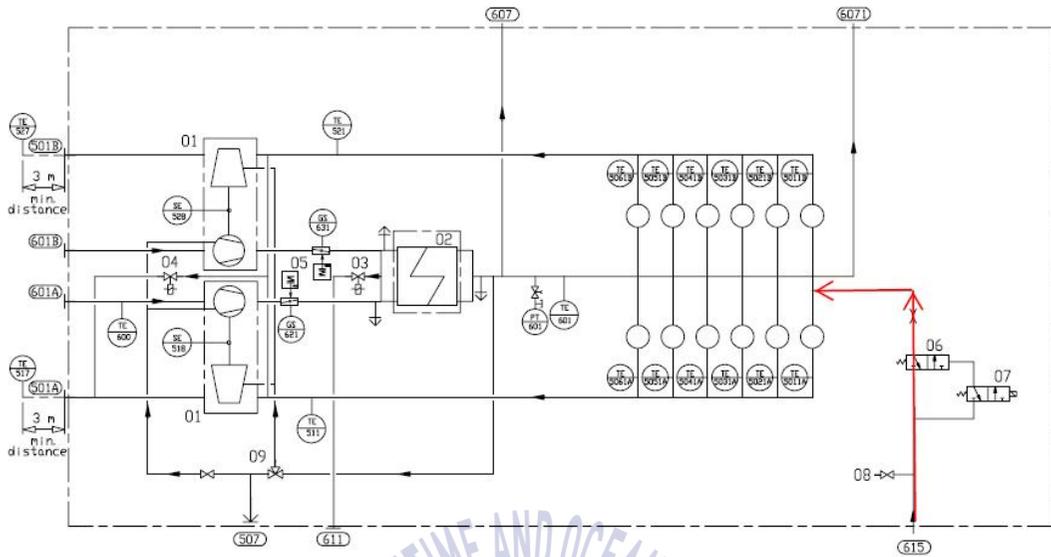


Fig. 4.1 Direction jet air assist(Wartsila)^[8]

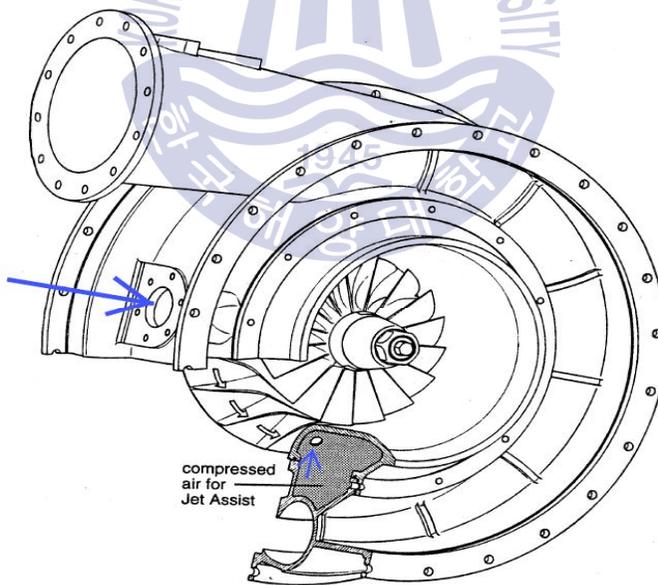


Fig. 4.2 In-direction jet air assist(MAN)^[11]

[Test engine specification]

1) Direct jet air assist type

Engine maker : Himsen

Model type : 14V 32/40

Rated power : 7,000 kW

RPM : 720

Governor : Heinzmann

Control mode : isochronous

Gain : 70%

Step load : 2,310 kW → 4,620 kW → 7,000 kW → 1,190 kW

2) In-direction jet air assist type

Engine maker : MAN

Model type : 12V 32/40

Rated power : 6,600 kW

RPM : 720

Governor : Heinzmann

Control mode : droop

Gain : 70%

Step load : 2,310 kW → 4,620 kW → 6,600 kW → 0 kW

4.2.2 하이브리드 시스템 성능 평가

권상 이송용 장비인 크레인(crane), 권양기(winch), 양묘기(windlass) 등의 장비는 중량물의 이동속도를 감속할 때 마찰식 브레이크 시스템(Friction break system)이나 전기식 브레이크 시스템(Electric break system)을 사용한다. 전기식 브레이크 시스템이 작동될 때 권선(wiring)에서는 전력이 발생하며 이때 생산된

전력을 소모시키지 못할 경우 권선의 손상을 유발한다. 따라서 전기식 브레이크 시스템을 적용한 권양기나 크레인인 이를 방지하기 위해서 브레이킹 레지스터(breaking resister)를 설치하여 제동 시 발생된 전력을 열로 소모시킨다. Fig. 4.3과 같은 하이브리드 시스템은 전력시스템에 전력 저장 시스템(Energy saving system)을 적용하여 드로웍스 제동 시 발생된 전력을 빠르게 배터리에 충전하고 반대로 드로웍스가 전력을 소비할 때는 충전된 전력을 사용하여 빠르게 대응해 주는 시스템이다. 이를 통하여 지금까지 브레이킹 레지스터에서 열로 소비시키던 전력을 에너지로 사용할 수 있고, 드로웍스의 운전 시 발생하는 주파수 하강 문제를 보완할 수 있다. 이와 같은 하이브리드 시스템을 실제 드로웍스의 운전 조건과 동일하게 테스트하여 효과를 확인하였다.

[Energy saving equipment]

Capacitor type energy saving pack

(size: 2,000 mm × 1,200 mm × 2,400 mm, 1,900kg, 500 kW, 3.8 mP, 63 F)
: 14 EA

Energy saving control panel : 3 EA

Energy saving transformer : 3 EA

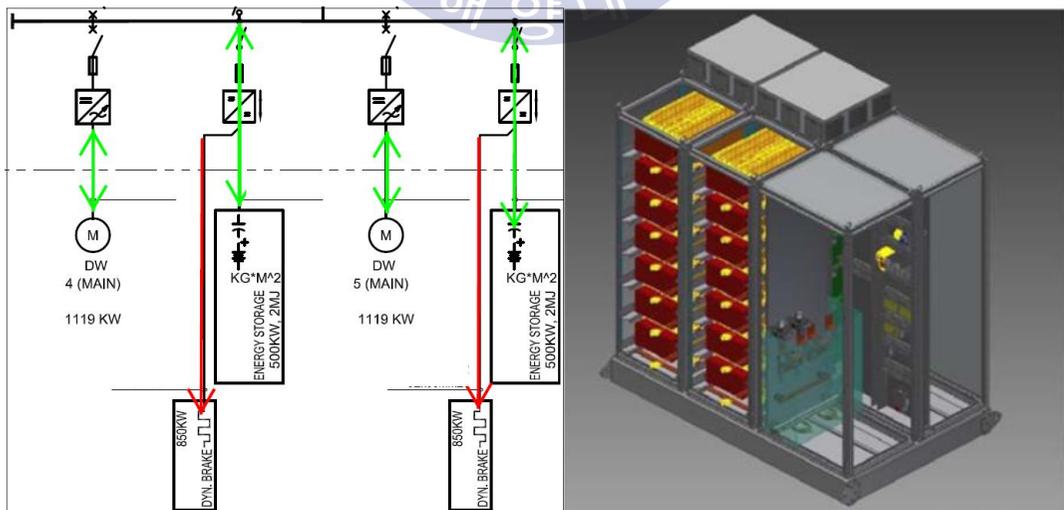


Fig. 4.3 Energy saving system^[12]

4.3 성능 개선 방안 평가 결과

4.3.1 제트 에어 어시스트 시스템 성능 평가 결과

먼저 직접식 제트 에어 어시스트 시스템을 작동 시키고 테스트 하였을 경우 Fig. 4.4, 4.5, 4.6, 4.7의 그래프를 기준으로 Table 4.1과 같은 결과를 확인하였다. 그리고 시스템을 차단하였을 경우 Fig. 4.8, 4.9, 4.10, 4.11과 Table 4.2 같은 결과를 확인하였고 이를 비교하였을 때 직접식 제트 에어 어시스트는 디젤 발전기의 반응 속도 개선에 큰 효과가 없는 것을 확인 하였다. 그리고 간접식 제트 에어 어시스트를 작동시키고 Fig. 4.12, 4.13, 4.14, 4.15와 같은 그래프와 Table 4.3의 결과를 확인하였고 시스템을 차단하고 Fig. 4.16, 4.17, 4.18, 4.19의 그래프와 Table 4.4의 결과를 얻을 수 있었다. 이를 비교하였을 때 간접식 제트 에어 어시스트 시스템은 디젤 발전기의 반응속도 개선에 효과가 있는 것을 알 수 있었다. 따라서 시추설비용 디젤 발전기에는 간접식 제트 에어 어시스트 방식의 적용이 필수적임을 알 수 있었다. 그러나 드로웍스 운전 조건에 대한 전력변화의 크기나 주기, 속도에 대한 기준이 명확하지 않아 주문주, 선급, 엔진 제작사 그리고 시추설비 제작사 간에 논쟁이 계속되고 있다. Fig. 4.19와 같이 엔진 제작사에서 시추설비용 디젤 발전기에 대한 제트 에어 어시스트 사용 횟수(30회 이상/시간)를 권고하는 경우도 있지만 이는 실제 시추 작업 환경과 많은 차이가 있는 것으로 확인되었다. 그리고 제트 에어 어시스트 작동 시 압축 공기 소모량은 엔진 시동 시에 소모되는 량의 약 67%에서 많게는 183%까지 사용되므로 이 값에 실제 드로웍스의 사용주기를 고려할 경우 압축 공기 탱크(air reservoir)의 용량이 과도하게 증가되는 문제가 있다.

(1) Direction jet air assist : Activated

Table 4.1 Governor test with jet air assist(direction)

Load step(%)		17 → 33	33 → 66	66 → 100	100 → 17
Power(%)	Initial	16.6	32.3	63.6	93
	Recovery	32.4	63.9	93.8	16.5
Speed(rpm)	Initial	719.9	720.0	719.8	720.2
	Min	703.0	682.6	691.1	767.7
Speed(Hz)	Min	58.6	56.9	57.6	64.0
	Drop	-1.4	-3.1	-2.4	4.0
Act. Pos(%)	Initial	20.2	33.9	59.3	85.6
	Reaction	43.1	85.7	97.1	0
	Reaction Time(s)	1.133	1.332	0.949	0.413
Recovery Time(s)		2.312	2.848	4.135	1.041
Jet Assist		Activated	Activated	Activated	

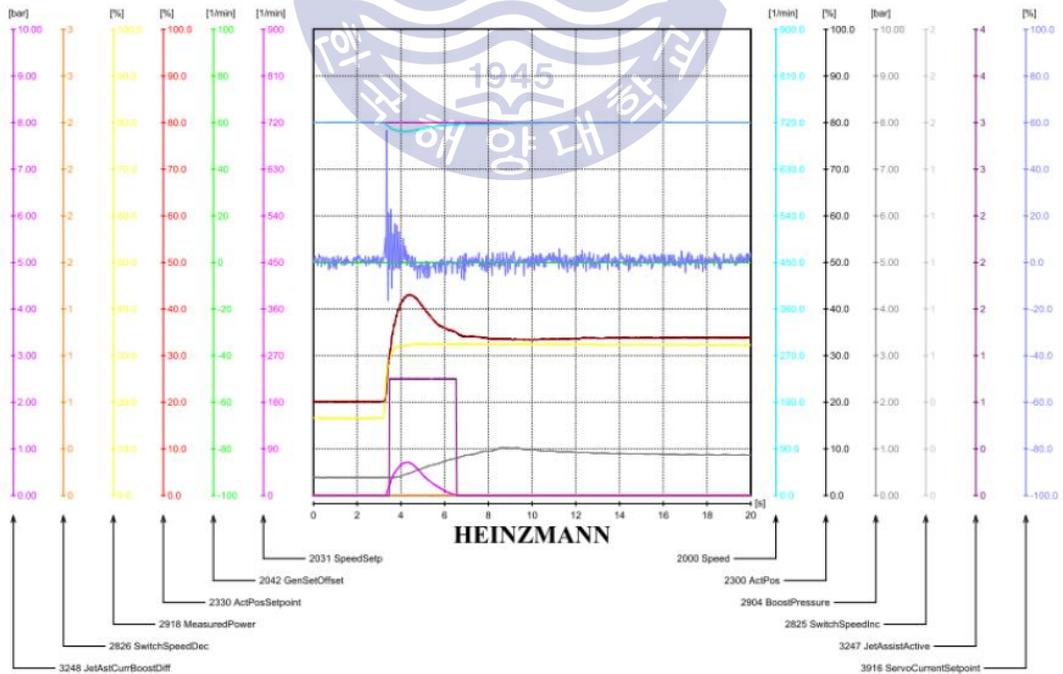


Fig. 4.4 Governor test with jet air assist(direction, 17% → 33%)

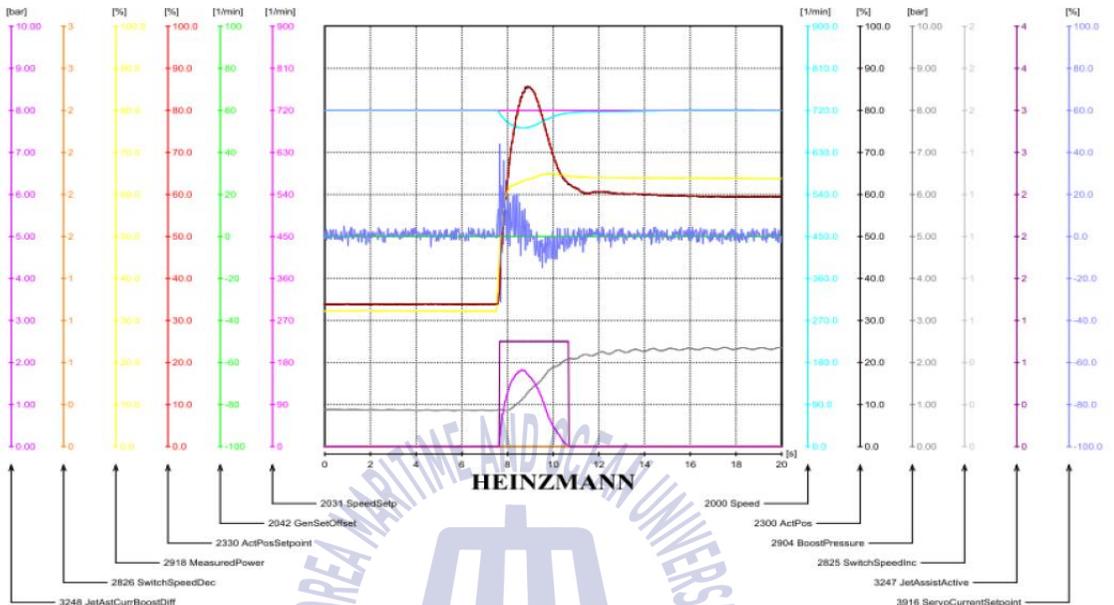
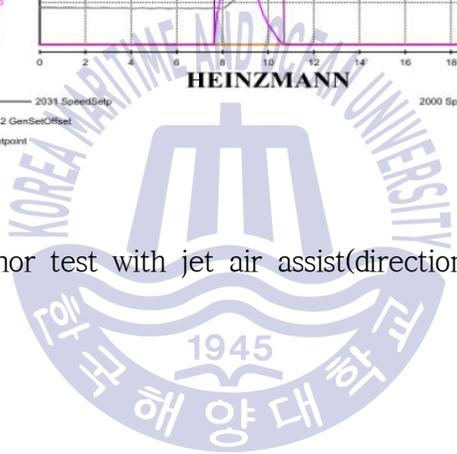


Fig. 4.5 Governor test with jet air assist(direction, 33% → 66%)



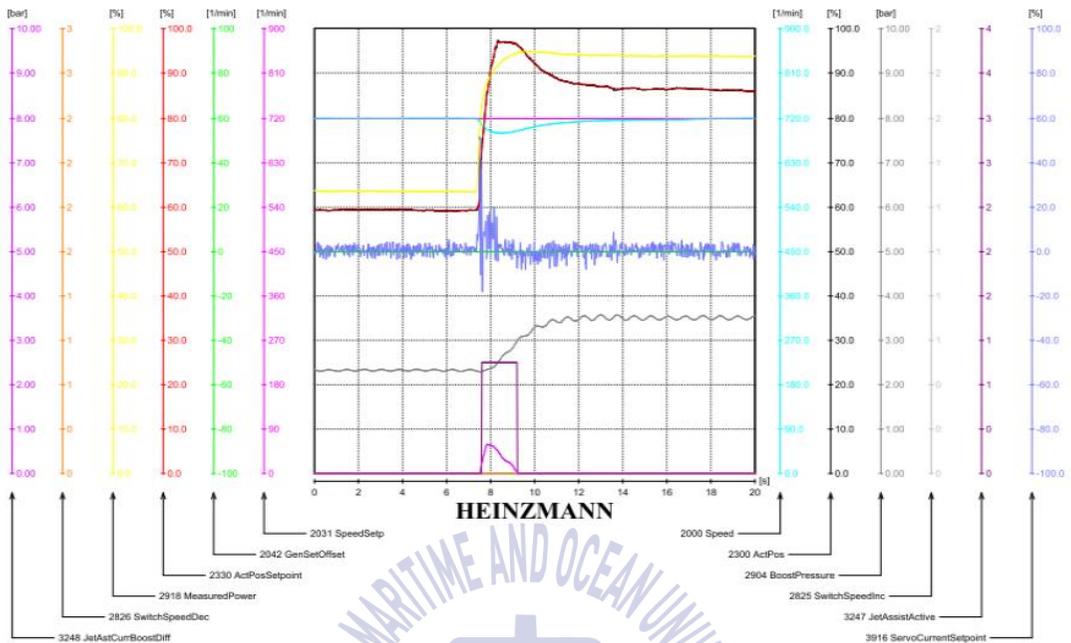


Fig. 4.6 Governor test with jet air assist(direction, 66% → 100%)

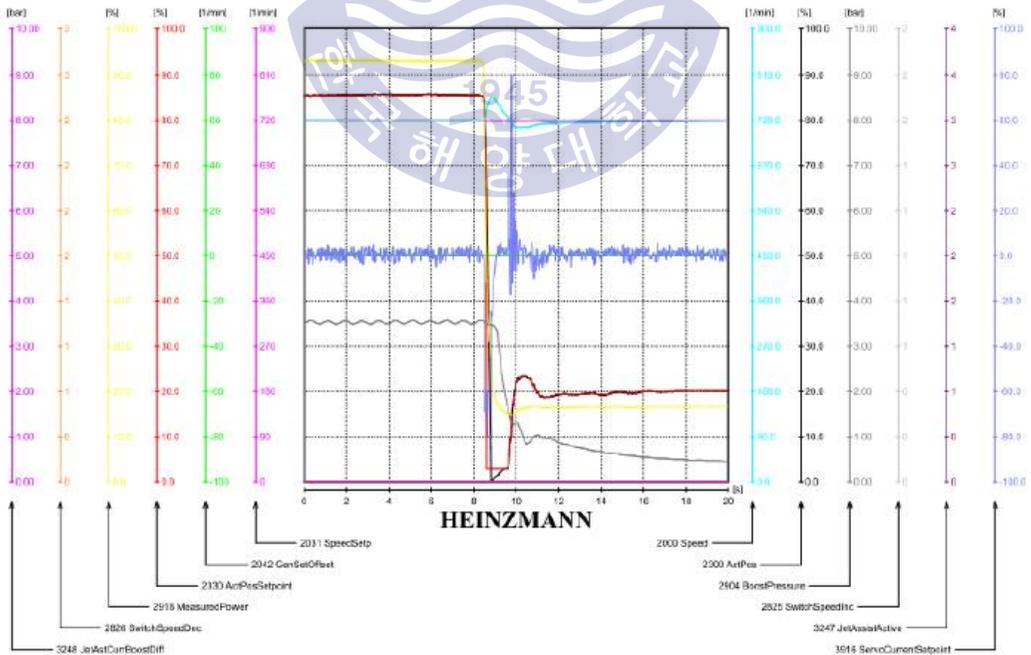


Fig. 4.7 Governor test with jet air assist(direction, 100% → 17%)

(2) Direction jet air assist : Disabled

Table 4.2 Governor test without jet air assist(direction)

Input Load(%)		17 → 33	33 → 66	66 → 100	100 → 17
Power(%)	Initial	16.8	32.5	62.2	93.8
	Recovery	32.6	62.7	92.8	15.6
Speed(rpm)	Initial	720.0	720.3	720.1	720.1
	Min	702.8	680.9	690.3	769.3
Speed(Hz)	Min	58.6	56.7	57.5	64.1
	Drop	-1.4	-3.3	-2.5	4.1
	Initial	20.4	34	58.2	86.5
Act. Pos(%)	Reaction	44	89.1	97.3	0.3
	Reaction Time(s)	1.256	1.409	0.98	0.368
Recovery Time(s)		2.466	2.757	3.675	1.087
Jet Assist					

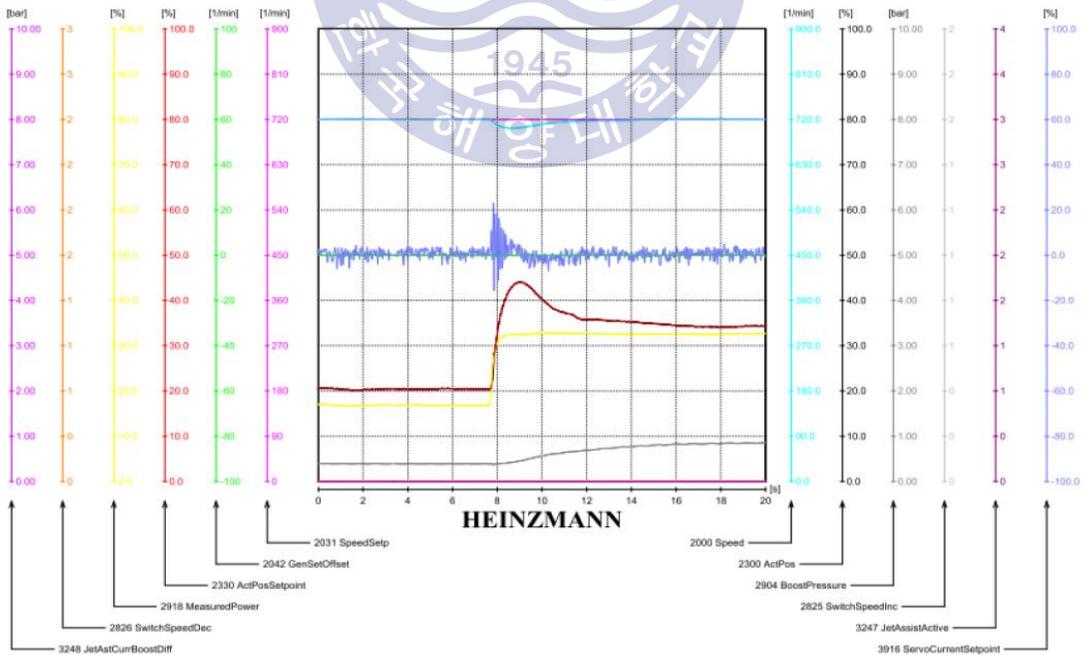


Fig. 4.8 Governor test without jet air assist(direction, 17% → 33%)

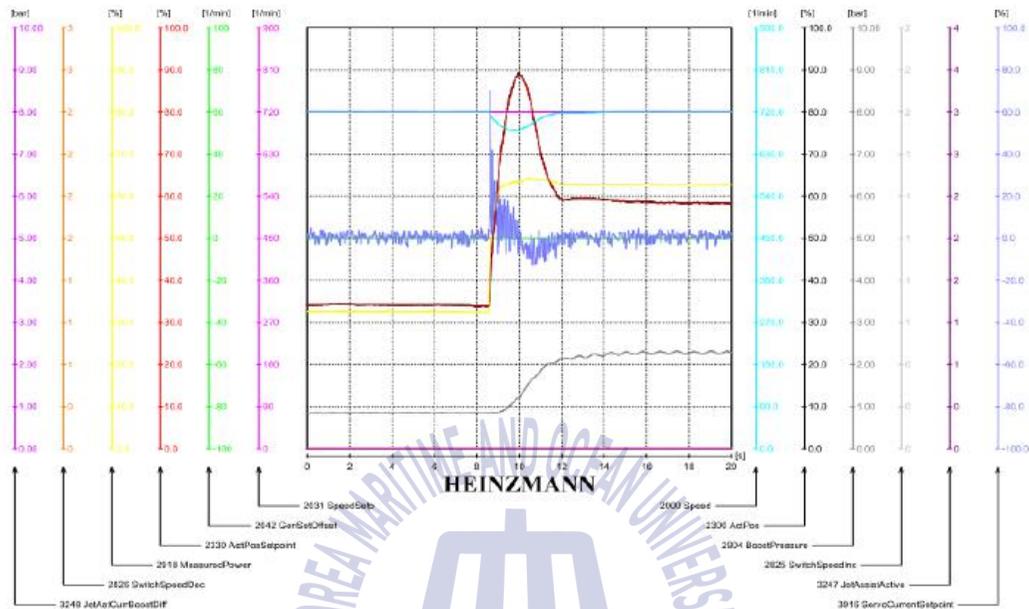


Fig. 4.9 Governor test without jet air assist(direction, 33% → 66%)



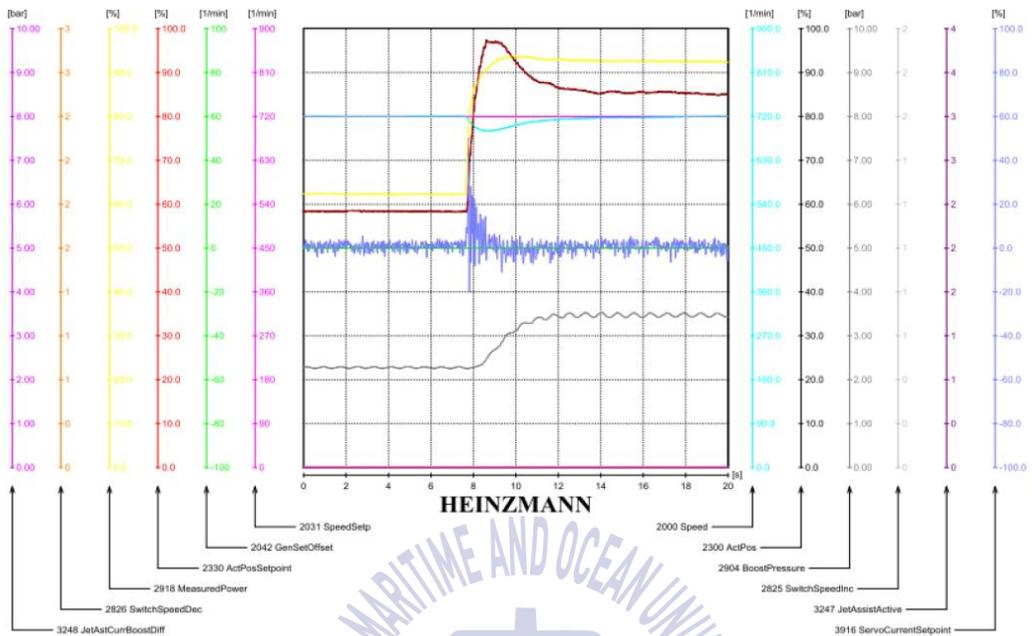


Fig. 4.10 Governor test without jet air assist(direction, 66% → 100%)

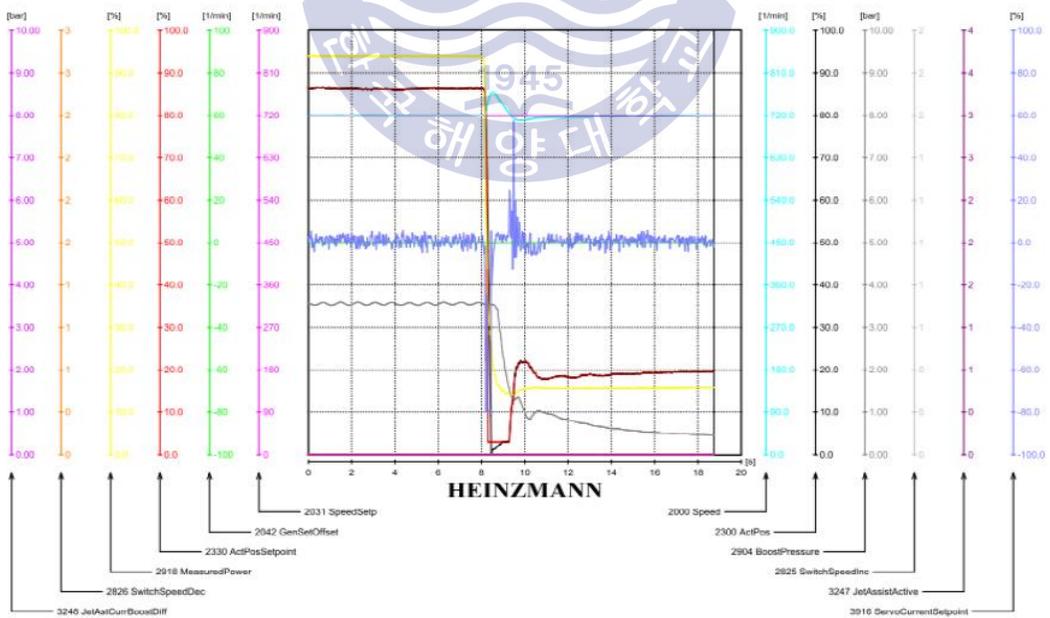


Fig. 4.11 Governor test without jet air assist(direction, 100% → 17%)

(3) In-direction Jet air assist : Activated

Table 4.3 Governor test with jet air assist(in-direction)

Input Load(%)		0 → 35	35 → 70	70 → 100	100 → 0
Power(%)	Initial	0	35	70	100
	Recovery	35	70	100	0
Speed(Hz)	Min	58.7	55.54	57.51	65.14
	Drop	-2.811	-5.433	-2.907	5.154
Recovery Time(s)		3.390	4.153	4.690	2.429
Jet Assist		Activated	Activated	Activated	

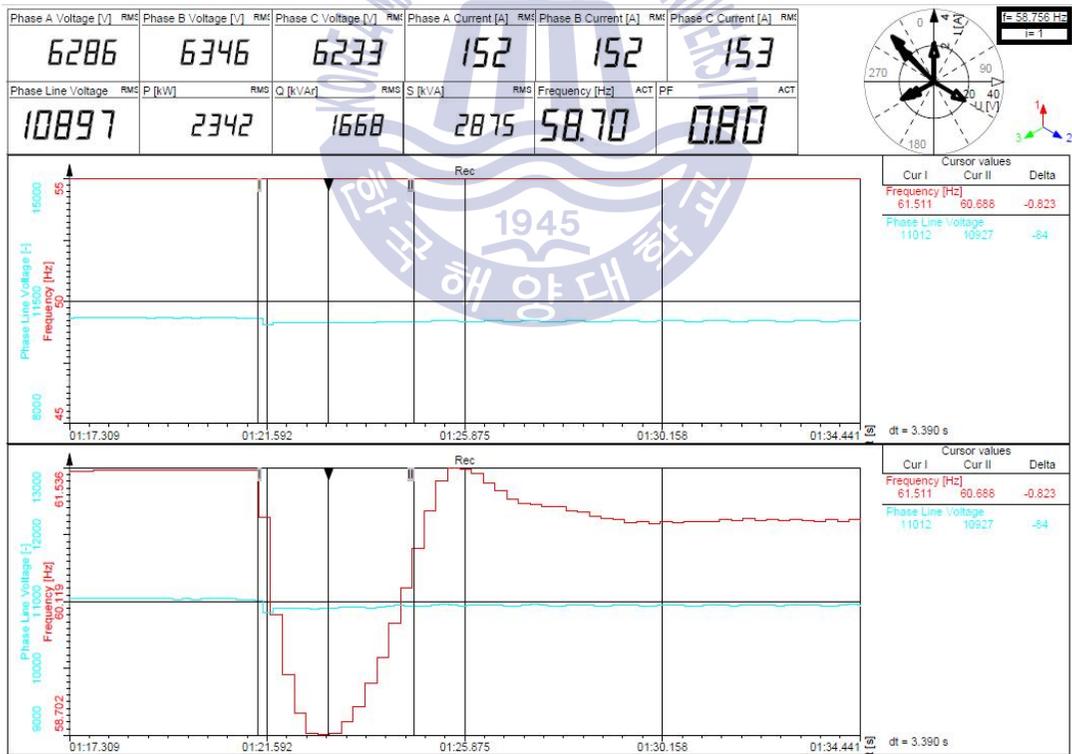


Fig. 4.12 Governor test with jet air assist(in-direction, 0% → 35%)

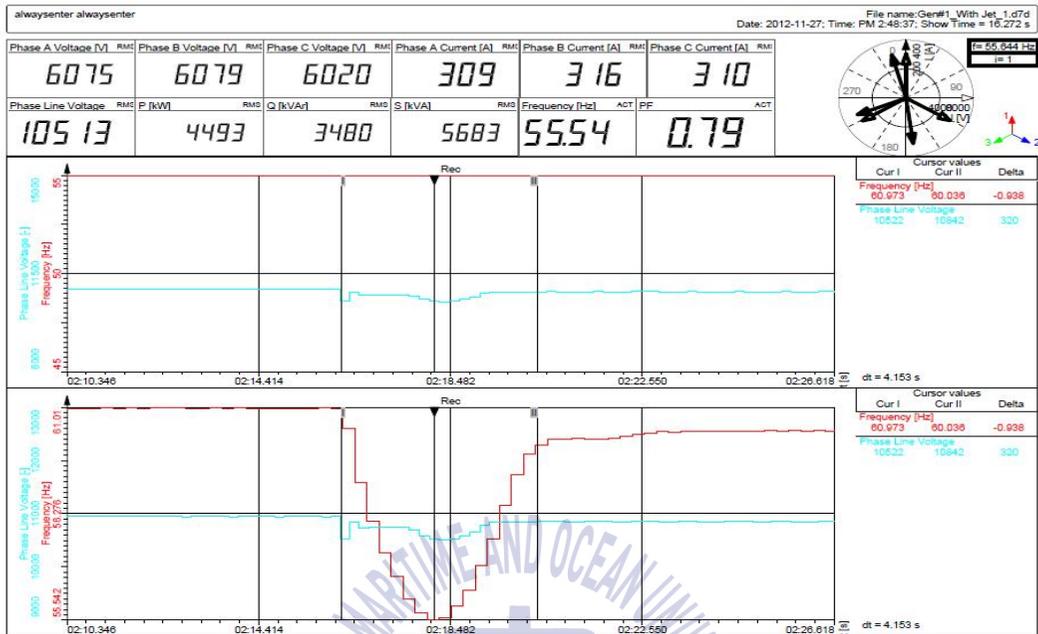


Fig. 4.13 Governor test with jet air assist(in-direction, 35% → 70%)

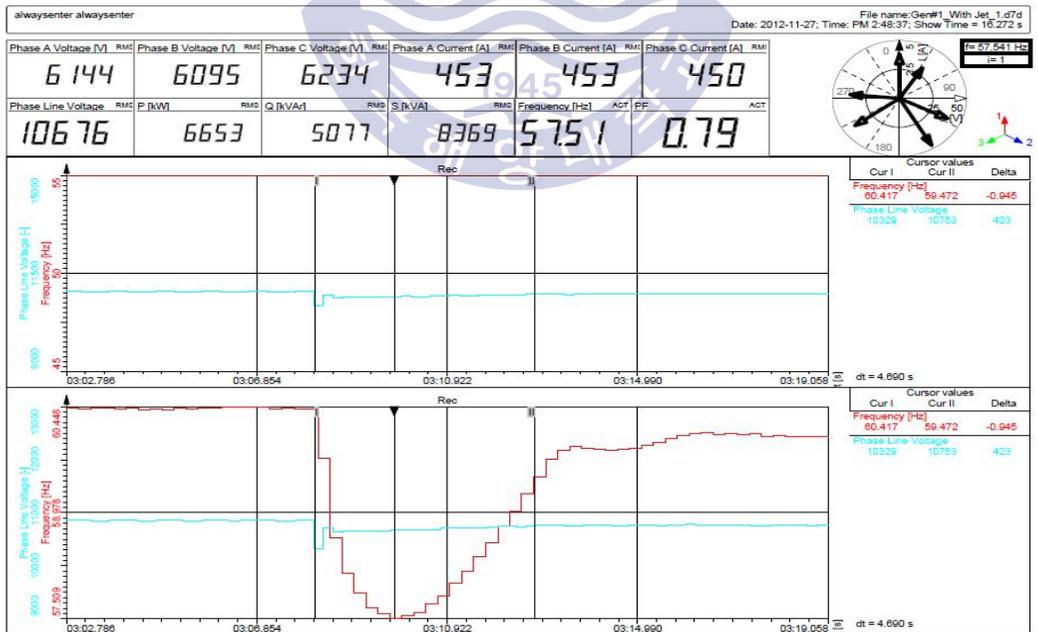


Fig. 4.14 Governor test with jet air assist(in-direction, 70% → 100%)



Fig. 4.15 Governor test with jet air assist(in-direction, 100% → 0%)

(4) In-direction Jet air assist : disabled, in-direction type

Table 4.4 Governor test without jet air assist(in-direction)

Input Load(%)		0 → 35	35 → 70	70 →100	100 → 0
Power(%)	Initial	0	35	70	100
	Recovery	35	70	100	0
Speed(Hz)	Min	57.68	54.93	57.4	65.2
	Drop	3.815	6.059	3.01	5.239
Recovery Time(s)		6.175	4.652	5.187	2.626
Jet Assist					

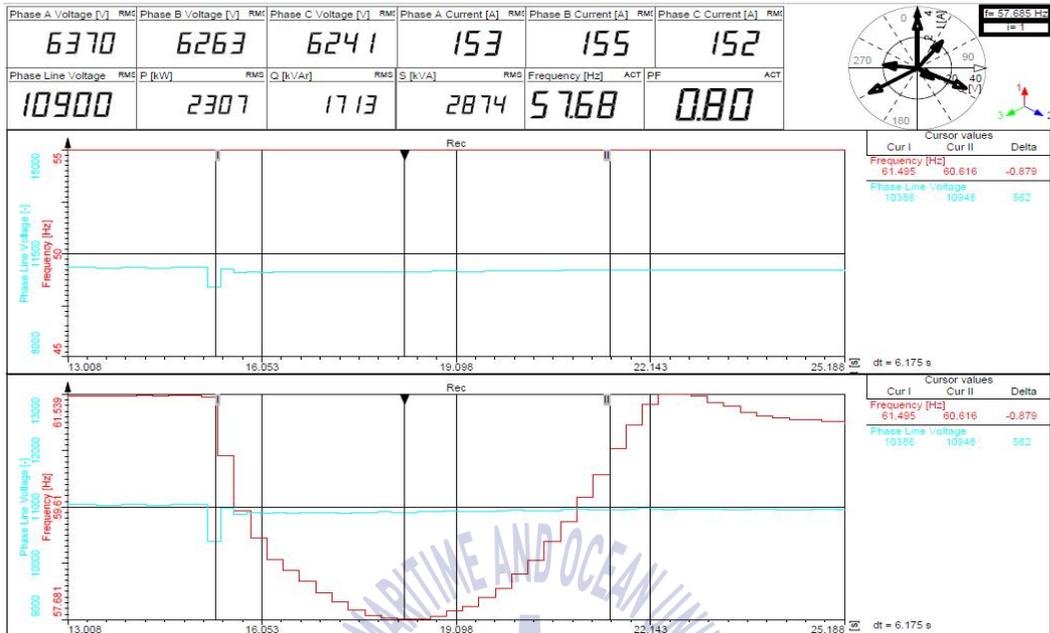


Fig. 4.16 Governor test without jet air assist(in-direction, 0% → 35%)

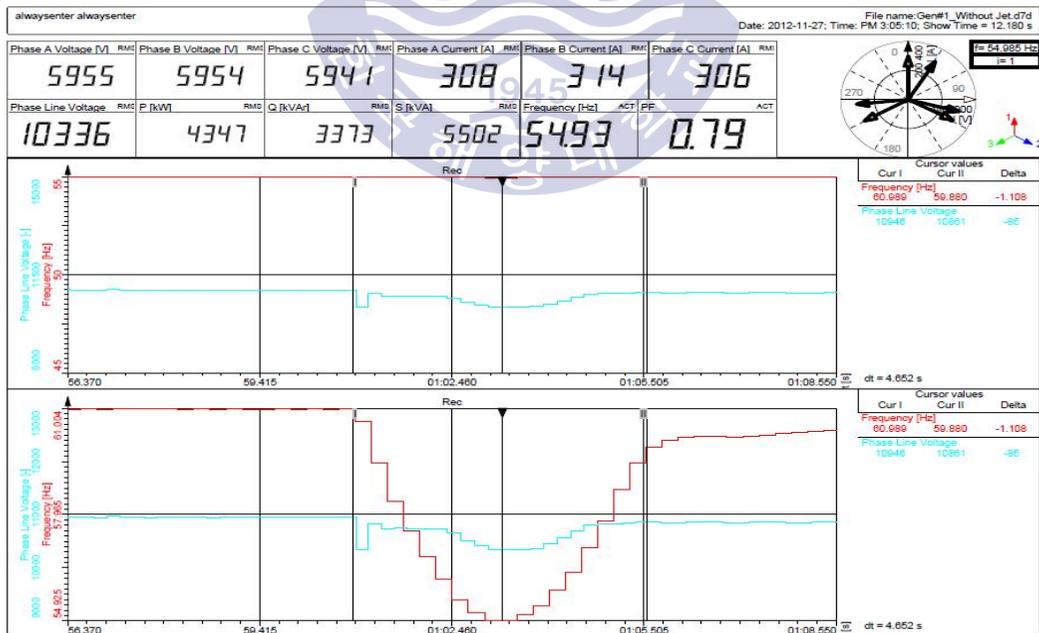


Fig. 4.17 Governor test without jet air assist(in-direction, 35% → 70%)

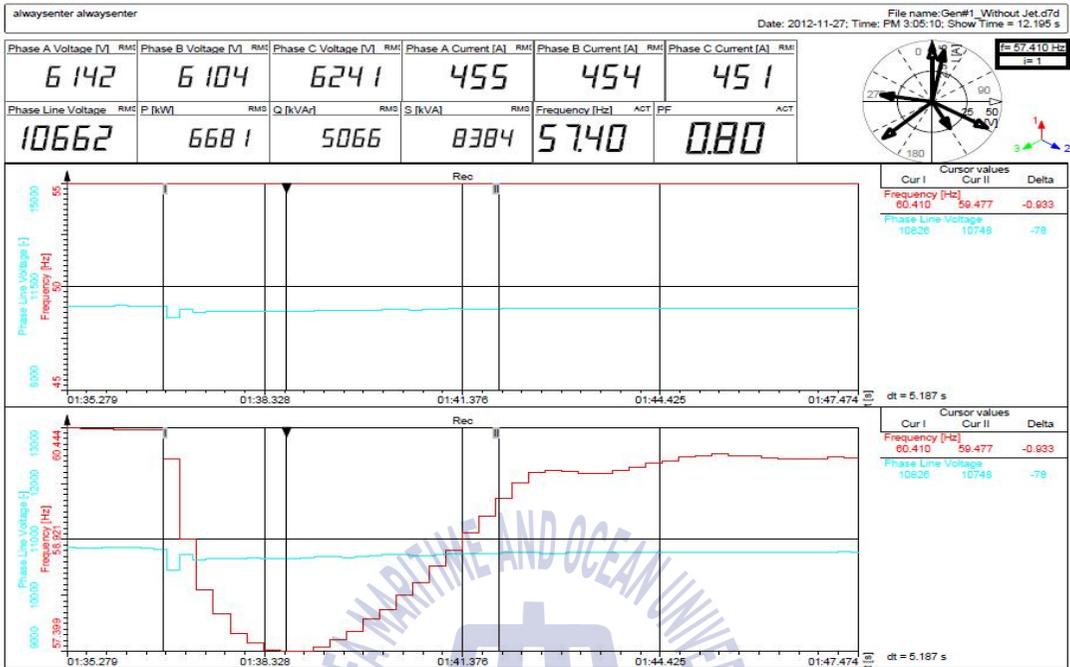


Fig. 4.18 Governor test without jet air assist(in-direction, 70% → 100%)

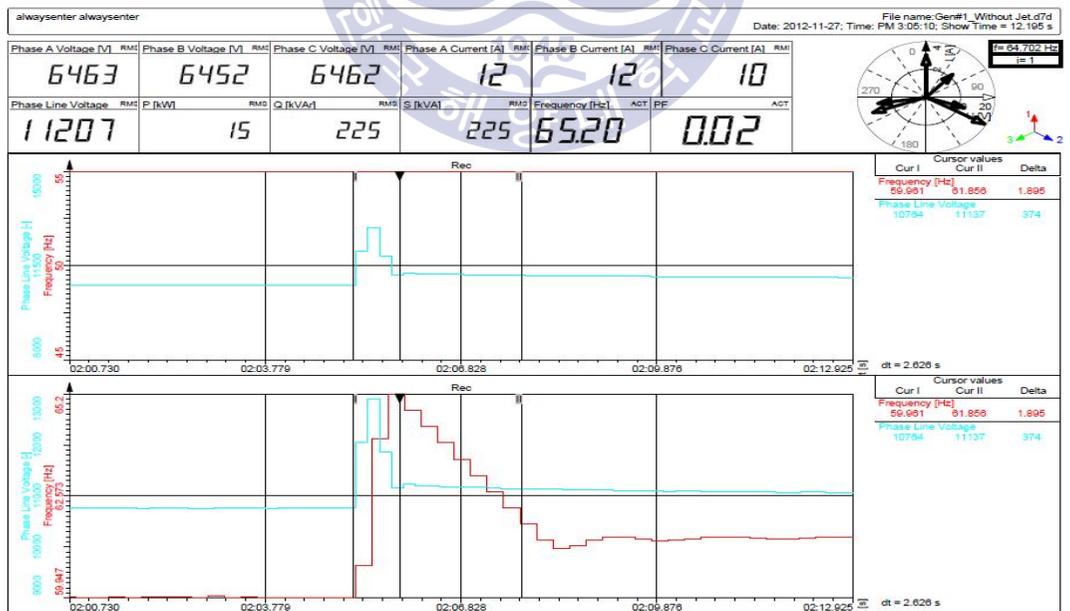


Fig. 4.19 Governor test without jet air assist(in-direction, 100% → 0%)

Dynamic positioning for drilling vessels, cable-laying vessels, off-shore applications

When applying dynamic positioning, pulsating load application of > 25 % may occur frequently, up to 30 times per hour. In these cases, the possibility of a specially adapted, separate compressed air system has always to be checked.

Fig. 4.20 MAN engine project guide^[13]

4.3.2 하이브리드 시스템 성능 평가 결과

Fig. 4.21과 같이 하이브리드 시스템을 적용하지 않고 드로웍스를 사용할 경우 디젤 발전기의 속도변동이 급격하게 발생하는 것을 볼 수 있다. 하지만 하이브리드 시스템을 적용할 경우 드로웍스를 사용 시에도 Fig. 4.22와 같이 디젤 발전기의 속도 그래프가 완만하게 유지하는 것을 확인 하였다. 따라서 하이브리드 시스템 적용이 시추설비의 전력 안정화에 크게 도움을 주는 것을 알 수 있었다. 단, 여기서 사용되는 전력 저장장치는 드로웍스의 빠른 운전 조건을 고려하여 순간적으로 전력을 충전·방전(charging·discharging)이 가능하도록 커패시터 타입(capacitor type)으로 적용해야 하는데 커패시터는 폭발의 위험성이 가지고 있으므로 이에 대한 대비책이 필요하다. 아울러 하이브리드 시스템을 적용하기 위한 약 1,000만 달러 이상의 고가의 장비 비용과 대용량의 커패시터 및 관련 장비를 설치하기 위한 추가 공간 확보의 문제도 생각해 보아야 한다. 특히 무게와 공간의 제약이 많은 해양시추설비에서는 배치 공간 확보가 가장 우선시 되어야 하는 사항이다.

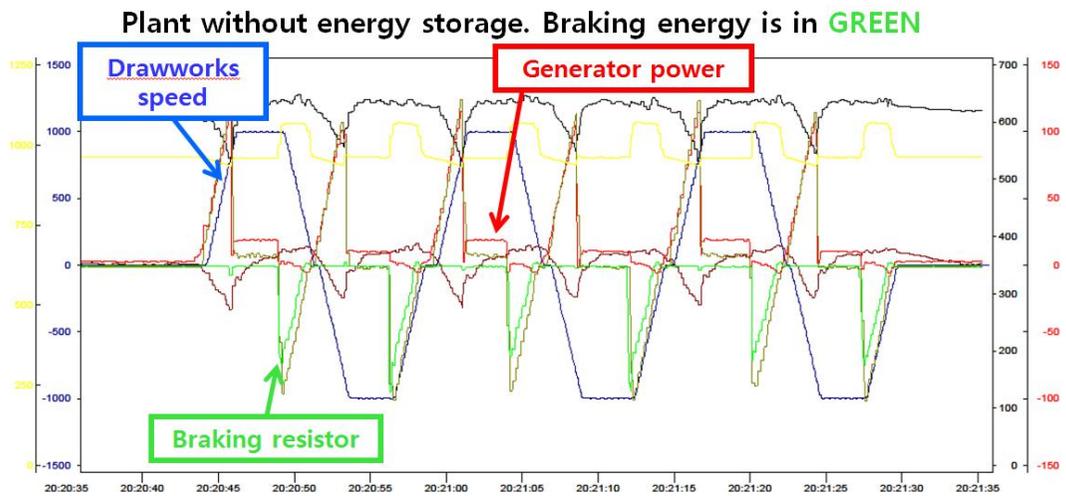


Fig. 4.21 Drawworks test without energy saving system

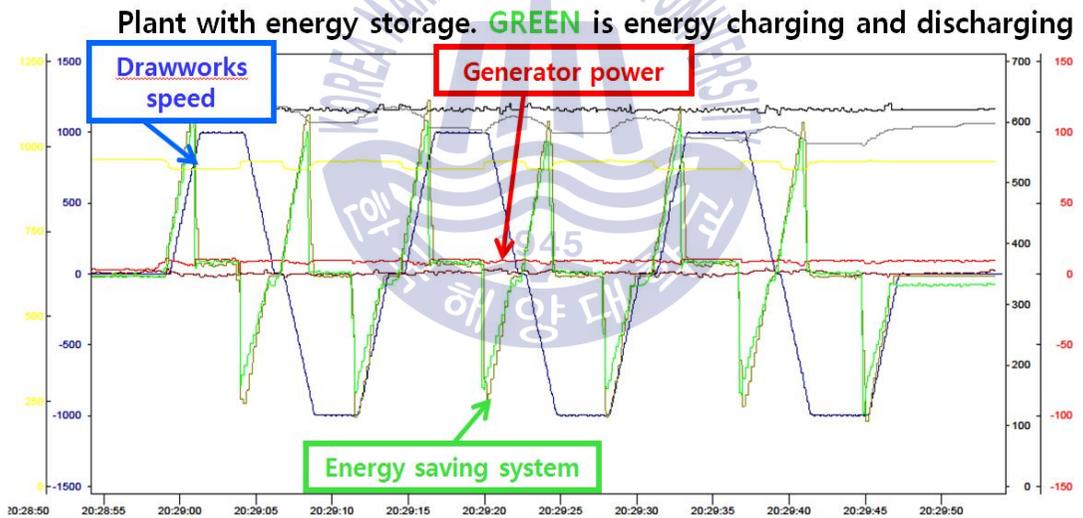


Fig. 4.22 Drawworks test with energy saving system

4.4 기타 개선 방안 고찰

4.4.1 시퀀셜 과급기(Sequential turbocharger)^[14]

과급기는 부하에 따라 엔진의 반응속도에 많은 영향을 주는 요인 중에 하나이다. 과급기의 최적 성능 구역이 좁고 엔진의 정격 부하인 고부하 구역에 맞추어져 있기 때문이다. 따라서 정격 고부하 구간에서는 높은 성능을 발휘하지만 저부하 구간에서는 역할을 제대로 하지 못하고 있다. 이로 인하여 저부하에서 부족한 연소공기가 엔진의 반응에 영향을 주게 된다. 이를 해결하기 위해서 Fig. 4.23과 같이 듀얼 과급기에 공급되는 배기가스량을 조절할 수 있는 시퀀셜 과급기를 적용하여 저부하에서도 충분한 연소공기를 공급할 수 있어야 한다. 통상 해양시추설비에 적용되는 엔진은 V-type으로 각 뱅크(bank)마다 과급기를 적용하여 총 2대의 과급기가 구성되어 있다. 이 경우 저부하에서는 1대의 과급기를 차단이나 교축(throttling)하여 나머지 과급기의 효율을 높이고 고부하에서는 2대의 과급기를 모두 사용할 수 있도록 구성할 수 있다.

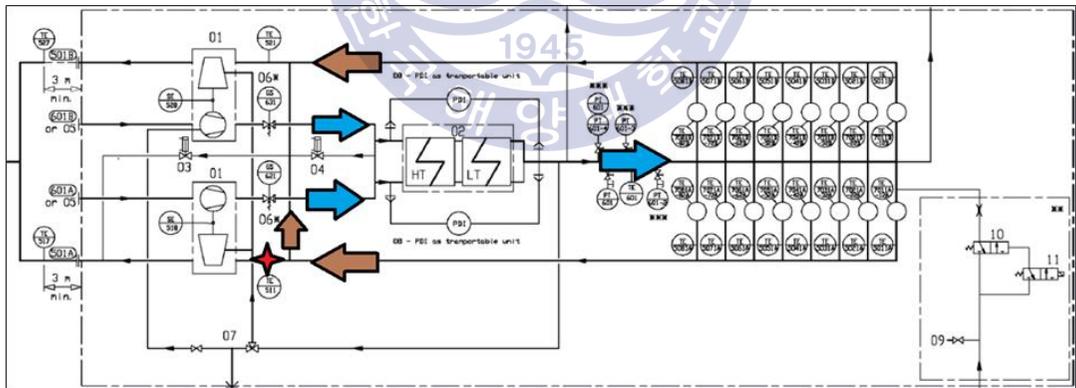


Fig. 4.23 Sequential Turbo Charger^[8]

4.4.2 자동 제어 시스템(Automation control system)

디젤 발전기는 전력사용량의 증가에 따라 엔진의 속도 변화를 감지하여 연료 주입량을 증가시키고 속도를 일정하게 유지하는 수동적인 제어를 한다. 하지만

Fig. 4.24와 같이 드로웍스의 제어시스템(control system)으로부터 제어 시그널(Reference control signal)을 디젤 발전기 제어시스템으로 구성하여 드로웍스의 작동신호를 바로 디젤 발전기 제어시스템에 전달하여 엔진 속도를 미리 일정한 속도까지 상승시키는 제어가 필요하다. 따라서 디젤 발전기가 부하변동에 보다 능동적이고 빠르게 반응하여 주파수의 하강을 최소화할 수 있다.

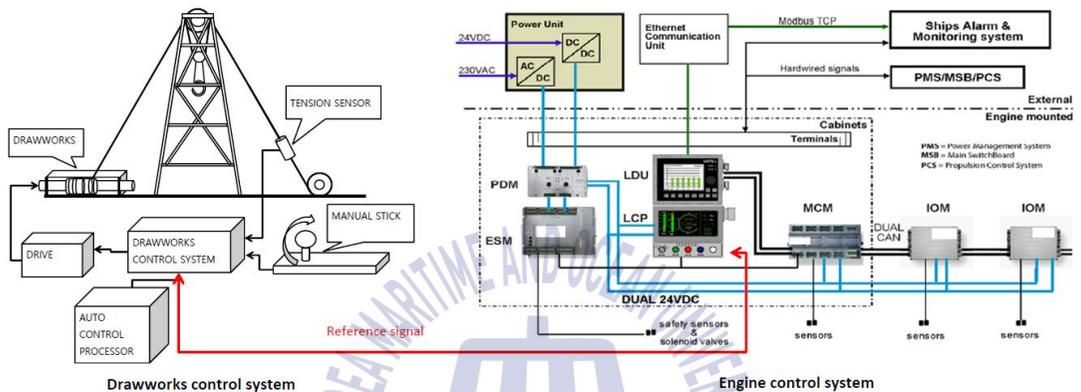


Fig. 4.24 Active engine speed control

4.4.3 플라이휠(Fly wheel)

엔진의 구동 사이클은 압축과 폭발의 반복으로 인하여 순간적으로 엔진회전에 맥동이 발생한다. 이를 줄이기 위해 디젤 엔진에 관성력을 높이는 플라이휠이 설치되어 있다. 시추설비에 적용되는 디젤 발전기의 경우 시추 작업 시 부하변동에 따른 주파수 변동을 최소화하기 위해 별도로 플라이휠을 추가하거나 기존에 구성된 플라이휠의 무게를 늘릴 수 있도록 구성하여 시추 작업 시 클러치(clutch)를 사용하여 추가 플라이휠을 체결하고 평상시는 연비운전을 위해 분리하는 구성을 적용할 수 있다. 이 경우 Fig. 4.25와 같이 늘어난 관성력(Red line)으로 인해 순간적 부하 상승 시 평상시(Green line) 보다 엔진 속도가 하강되는 속도를 늦출 수 있고, 조속기에서 엔진속도의 변화에 반응할 수 있는 시간을 늘려줄 수 있다. 단, 이 경우 증가된 플라이휠의 무게로 인하여 시추작업 시 평균 연료 소모량이 늘어나는 단점이 있다.

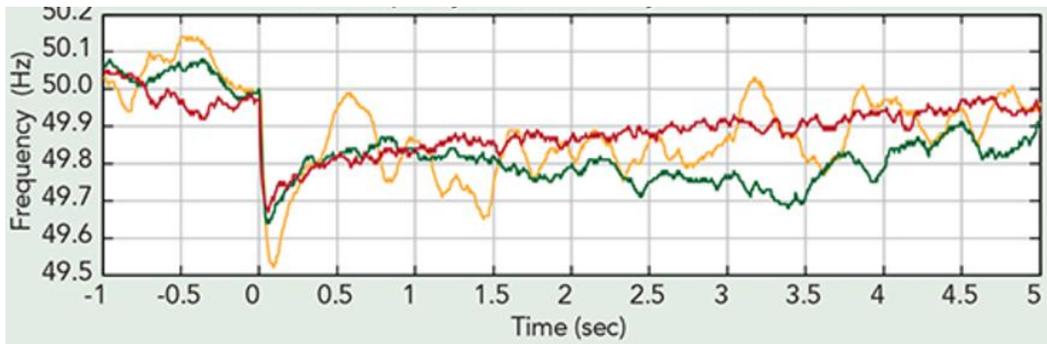


Fig. 4.25 Additional drilling flywheel system^[15]

4.4.4 선급 규정(Classification regulation) 개정

각 선급(Classification)마다 기존의 선박에 적용하는 규정보다 강화된 조건을 해양설비에 별도로 재정하여 적용하고 있지만 시추설비용 디젤 발전기의 부하 변동에 대한 요구사항은 기존의 선박에 대한 규정과 동일하게 적용되고 있다. Fig. 4.26, 4.27은 노르웨이 선급의 부하변동에 대한 디젤 발전기의 규정이다. 선급에서는 Fig. 4.28과 같이 선박의 안정된 운전 환경, 장비의 기동에 초점을 두어 엔진의 정격 부하를 3분할하여 단계적 부하(step load)를 인가하는 조건에서 정격 주파수의 변동 $\pm 10\%$ 이내, 정격 주파수의 $\pm 1\%$ 까지 5초 이내에 복귀하는 조건을 요구하고 있다. 하지만 실제로 시추설비에서는 Fig. 4.29와 같이 보다 큰 부하 변동과 빠른 부하증가(ramp-up)의 조건에서 디젤 발전기를 운전해야 한다. 따라서 선급에서는 시추설비의 전력 사용 환경을 현실적으로 검토하여 부하변동 크기, 주기와 횟수와 같은 사항을 추가하여 보다 시추설비용 디젤 발전기에 맞도록 규정을 개정해야 한다. 선급의 규정이 개정되면 디젤 발전기 제작사에서도 이에 맞추어 엔진 성능을 개선하기 위해 기술적 접근을 시도할 것이다.

A 100 Speed governing of generating sets

101 Prime movers for driving generators of the main and emergency sources of electrical power shall be fitted with a speed governor which will prevent transient frequency variations in the electrical network in excess of $\pm 10\%$ of the rated frequency with a recovery time to steady state conditions not exceeding 5 seconds, when the maximum electrical step load is switched on or off.

In the case when a step load equivalent to the rated output of a generator is switched off, a transient speed variation in excess of 10% of the rated speed may be acceptable, provided this does not cause the intervention of the overspeed device as required by Ch.3 Sec.1 E300.

(IACS UR M3.2.1)

102 At all loads between no load and rated power the permanent speed variation shall not deviate to a value that may be detrimental to the reliability of any electric consumer.

Guidance note:

$\pm 5\%$ of the rated speed is considered as a safe value.

---e-n-d---of---G-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

103 Prime movers shall be selected in such a way that they will meet the load demand within the ship's mains.

Application of electrical load shall be possible with three load steps and shall be such that prime movers – running at no load – can suddenly be loaded to 1/3 of the rated power of the generator followed by the next 1/3 after an interval sufficient to restore the speed to a steady state condition. Finally, the sudden load step from 2/3 to full load applies. Additionally, the prime mover shall be able to take a sudden application of not less than 1/3 of full load when running at any part load below 2/3 of full power. Steady state conditions shall be achieved in not more than 5 seconds.

Steady state conditions are those at which the envelope of speed variation does not exceed $\pm 1\%$ of the declared speed at the new power.

Fig. 4.26 DNVGL-RU-HSLC Pt.4 Ch.2 Sec.4, 2015^[16]

1.2.6 System frequency

The frequency variations in AC installations with fixed nominal frequency shall be kept within the following limits:

- 95 to 105% of rated frequency under steady load conditions
- 90 to 110% of rated frequency under transient load conditions.

(Ref. IACS UR E5)

Interpretation:

The above does not apply for AC installations designed for variable system frequency. In that case equipment and its protection devices should be rated to operate within the design limits throughout the frequency range.

Fig. 4.27 DNVGL-OS-D201, 2015^[17]

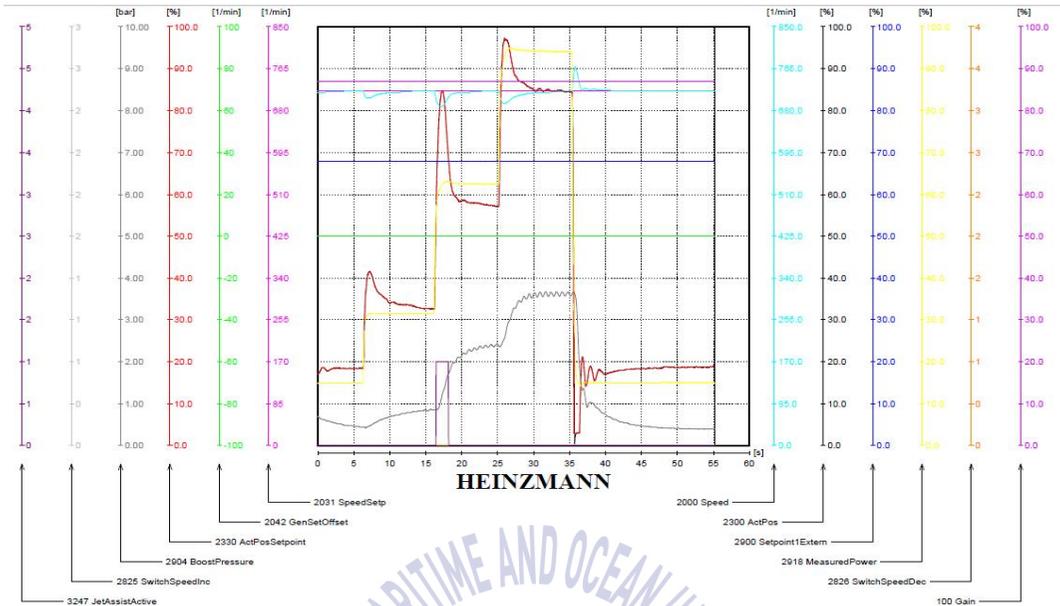
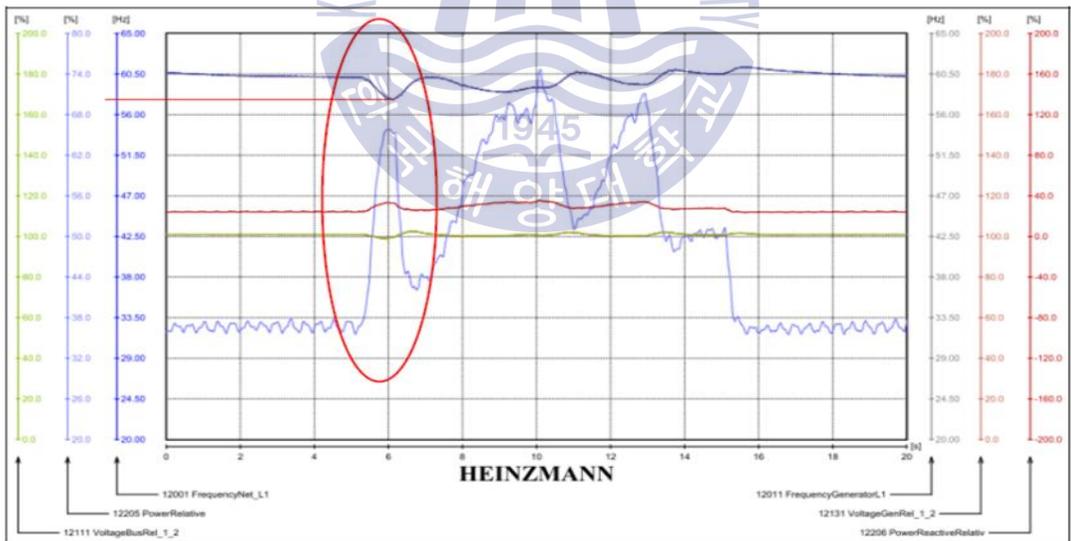


Fig. 4.28 Classification governor test condition



Min. Frequency : 57.7 Hz

Load variation : 35.6%(2406 kW)

Load up interval time : 0.827 sec

Fig. 4.29 Drawworks drilling condition

제 5 장 결 론

시추기술이 발달할수록 시추설비에 적용되는 디젤 발전기는 더욱 가혹한 환경에서 운전되어 질 것이다. 따라서 본 논문에서는 시추설비에서 요구하는 급격한 부하변동에 대한 디젤 발전기의 반응속도를 개선할 수 있는 방법들을 고찰하고 각 방법들의 성능을 실측 분석하였다.

본 논문의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 디젤 발전기의 부하변동에 대한 센서의 측정 속도, 조속기의 제어속도는 반응속도에 영향을 주지 않을 정도로 빠르게 작동됨을 확인하였다.

2. 조속기의 민감도는 그 값이 증가할수록 디젤 발전기의 반응속도를 빠르게 증가 시켰다. 하지만 특정값 이상의 민감도에서는 과도한 반응으로 엔진속도가 오버슈팅되었고 결과적으로 엔진속도의 복귀시간을 지연시켰다. 따라서 시추설비에 적용되는 디젤 발전기의 조속기는 엔진의 내구성을 고려하여 오버슈팅이 발생하지 않는 범위 내에서 가능한 민감하게 설정하는 것이 필요하다.

3. 직접식 제트 에어 어시스트 시스템은 디젤 발전기의 반응속도 개선에 크게 효과를 발휘하지 못하였으나 간접식 제트 에어 어시스트 시스템은 디젤 발전기의 반응속도 개선에 효과가 있는 것으로 확인되었다. 따라서 시추설비에 적용되는 디젤 발전기에 간접식 제트 에어 어시스트를 적용할 경우 반응속도 개선에 도움이 될 것이라 판단된다.

4. 드로웍스의 제동 시 발생하는 전력을 저장하여 사용하는 하이브리드 시스템은 부하변동에 빠르게 대응하여 디젤 발전기의 순간적인 부하부담을 크게 줄이므로 전력의 주파수 변동을 감소시키는 것으로 확인되었다. 따라서 디젤 발전기의 반응 속도 개선을 위해 시추설비의 전력 시스템에는 하이브리드 시스템의 설치가 필요하다고 판단된다. 그러나 하이브리드 시스템 적용을 위해서는

장비들의 경제성 확보와 소형화, 커패시터의 폭발성에 대한 추가적인 개선이 필요하다.

5. 선급이나 각 단체에서는 시추설비용 디젤 발전기에 대한 관련 규정을 보다 현실적이고 명확하게 개정하는 것이 필요하며 이와 동시에 엔진 제작사에서 아직까지 상용화 되지 않은 능동적 자동 제어시스템, 추가 플라이휠 적용과 같은 개념적 기술들을 시퀀셜 과급기처럼 상용화하기 위한 본격적인 연구진행이 필요하다.



참고문헌

- [1] Oil Price.com, 2016. *The Offshore Oil Business Is Crippled And It May Never Recover* [Online] (Updated 31 May 2016) Available at: <http://oilprice.com/Energy/Crude-Oil/The-Offshore-Oil-Business-Is-Crippled-And-It-May-Never-Recover.html> [Accessed 24 April 2017].
- [2] Oil Price.com. [Online] (Updated 1 Jun 2017) Available at: <http://oilprice.com> [Accessed 1 Jun 2017].
- [3] 이명호, 2013. *해양플랜트 개론*, 선학출판사.
- [4] GE(General Electric), 2016. *Load flow analysis*.
- [5] DNV, 2014. *OFFSHORE STANDARD DNV-OS-D101 Marine and Machinery Systems and Equipment*.
- [6] DNV, 2013. *RULES FOR CLASSIFICATION OF Ships, Dynamic Positioning Systems*.
- [7] 조권희, 2010. *전용선론(해양플랜트, 군함 포함)*, 부산, 다솜출판사.
- [8] WARTSILA, 2012. *Wartsila 32 Project Guide*.
- [9] Daewoo shipbuilding marine engineering, 2014, *Overall one line diagram of electrical distribution system*.
- [10] AKA, 2016. *Drilling process control strategy for hybrid power plant*.
- [11] MAN Turbocharger, 2013. *NR Project Guide Turbocharger*.
- [12] AKA, 2014. *Energy Storage System Functional Design Specification*.
- [13] MAN, 2013. *MAN 32-40 IMO Tier II-Marine Project guide*.
- [14] 김영기, 2016. *파급기의 디퓨저 면적변화에 따른 성능변화에 관한 연구*. 석사학위논문. 한국해양대학교.
- [15] Pablo Fontela, Jorge Martinez, Alberto Barrado and Juan Carlos Ballesteros, Endesa Generación, T&D WORLD MAGAZINE, 2015. *Canary Islands Benefit*

from *Enhanced Grids* [Online] (Updated 27 Jan 2015) Available at:
<http://www.tdworld.com/renewables/canary-islands-benefit-enhanced-grids>
[Accessed 24 April 2017].

[16] DNV, 2011. *RULES FOR CLASSIFICATION OF Ships / High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft, Rotating Machinery, General.*

[17] DNV, 2013. *OFFSHORE STANDARD DNVGL-OS-D201 Electrical Installations.*



감사의 글

7년간의 선박엔지니어 경력을 바탕으로 조선·해양산업과 인연을 맺게 되었고 조금 더 넓은 시야를 갖기 위해 석사과정을 밟게 되었습니다. 벌써 논문의 마지막 장인 감사의 글을 작성하고 있다는 것이 아직도 실감나지 않습니다. 그만큼 논문 작성에 조금 더 일찍 많은 시간과 노력을 투자하지 못한 아쉬움이 남습니다. 부족한 실력이지만 그 부족한 부분만큼 많은 교수님들과 회사동료들 그리고 관련자분들의 도움이 있었기에 논문을 마무리 할 수 있었다고 생각하며 이에 대해 감사드립니다.

우선, 대학 졸업 후 10여 년간 인사도 없다가, 불현듯 찾아와서 석사과정의 논문지도를 요청 드렸음에도 흔쾌히 받아주시고 논문지도에 많은 시간을 할애 해주신 조권희 교수님께 감사드립니다. 그리고 많이 부족한 논문을 완성될 수 있도록 지도 해주신 논문 심사 위원장이신 이상태 교수님, 많은 해양의 실무지식을 지도해주신 이명호 교수님께도 감사드립니다.

본 논문에 기재된 시추선의 엔진 반응속도 문제로 오랜 기간 테스트를 진행하고 도움 주신 대우조선해양의 시운전팀과 현대중공업 엔진사업부 표준호 차장님, 그리고 Heinzmann 엔지니어 여러분께 감사드립니다. 그리고 같이 엔진 문제를 고민하고 연구하는데 도움을 주신 대우조선해양의 정재욱 과장님, 박용현 대리님, 시추선 하이브리드 시스템을 상용화하는데 노력하신 정호영 과장님께도 감사드립니다.

여러 가지 사유로 이제 조선·해양 분야를 떠나 새로운 업무에 도전하는 시점에서 그 동안의 경험들을 이 논문으로 정리할 수 있게 되었음을 감사하게 생각합니다. 지금은 조선과 해양산업이 어려운 시기를 지나고 있지만 이럴 때일수록 미래를 위해 조금씩 준비하고 실력을 키워 간다면 언젠가 다시 올 부흥기에 큰 도약의 발판이 될 것이라 확신 합니다. 다시 올 우리나라 조선·해양 그리고 해운의 밝은 미래에 본 논문이 작은 도약의 발판이 되기를 기원합니다.