Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 7 pp. 52-60, 2019

https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.7.52
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

가변피치프로펠러의 제어회로 설계 개선에 관한 연구

김동영*, 강구헌
국방기술품질원 함정센터 함정1팀

A Study on the Improvement of the Control Circuit Design of Controllable Pitch Propeller

Dong-Young Kim*, Gu-Heon Kang
Naval Sea Systems Team 1, Defence Agency for Technology and Quality

요 약 차기OO함(FFX) Batch-I 및 차기OO함(LST-II)에 적용된 가변피치프로펠러(CPP) 제어회로는 타 계통에서 접지 현상 발생 시 후진피치 발생이 가능할 수 있으므로, 접지 현상 발생 시에도 피치를 유지할 수 있도록 CPP 제어회로를 개선하는 것이 본 연구의 목적이었다. CPP 제어회로는 전압차이입력으로 프로펠러 각도를 변화시키므로 입력전압이 순간적으로 변동이 생기는 경우 취약할 수 있는 설계구조를 가지고 있었다. 위의 문제를 해결하기 위해서 CPP 제어회로 설계 개선 방안으로 제어전선의 끝단에 종단저항을 적용하고, 제어전선 사이에 Signal Converter를 적용하였다. 그리고 CPP 제어회로 설계 개선에 문제가 없는지 검증하기 위해, 차기OO함(LST-II)으로 실제 항해 시운전에서 CPP 피치 변화 제어를 테스트 하였다. Command 피치 값과 Feedback 피치 값 사이는 매우 유사한 값을 보여주고 있으므로, CPP 제어회로의 제어신호 전달에는 문제가 없기에 적합한 개선방안으로 확인되었다.

Abstract The control circuit of the CPP applied to FFX Batch-I and LST-II may be capable of generating a backward pitch even when the grounding phenomenon occurs in the other system. The purpose of this study was to improve the CPP control circuit to maintain the pitch even in the event of grounding. Since the CPP control circuit changes the propeller angle with the voltage difference input, it has a design structure that can be vulnerable if the input voltage fluctuates instantaneously. In order to solve the above problem, a terminating resistor is applied to the end of the control wire and a signal converter is applied between the control wires, as a way to improve the CPP control circuit design. In order to verify that there is no problem in improving the CPP control circuit design, the CPP pitch change control was tested in the actual sailing commissioning with LST-II. Since the command pitch value and the feedback pitch value are very similar to each other, it is confirmed that the CPP control circuit is suitable for the control signal transmission because there is no problem in transmitting the control signal.

Keywords : Controllable Pitch Propeller, Circuit Analysis, Differential Amplifier, Terminating Resistor, Signal Isolator

1. 서론

차기OO함(FFX) Batch-I 으로부터 사용자불만 문서를 접수하였다. 문서 내용에는 항해 중에 갑자기 후진피치(피치 신호가 +30에서 -60으로)가 발생되는 가변피치프로펠러(Controllable Pitch Propeller, CPP) 계통 오작동 현상이 있다고 기재되어 있으며, 추정되는 원인으로는 조리실 스커틀 스위치 접점 불량에 의한 접지 현상으

*Corresponding Author : Dong-Young Kim(Defence Agency for Technology and Quality)
email: intellab@naver.com
Received April 2, 2019 Revised May 2, 2019
Accepted July 5, 2019 Published July 31, 2109

로 발생한 과전류가 CPP 제어카드에 이상신호(후진피치)를 전달한다고 추정하였으며, 본 함정 및 타 함정의 사례를 고려해보면 타 계통(감속기어, 가스터빈 등) 접지 현상 발생 시에도 후진피치 발생이 가능할 수 있다고 기재되어 있었다. 그리고 요구사항으로는 접지 현상 발생 시에도 피치를 유지할 수 있도록 CPP 제어회로 개선을 요구하였다.

다른 여러 장비들에서 접지 현상이 생기는 경우에도 CPP 제어회로에 후진피치가 전달될 수 있기에 위의 문제는 중대한 문제라고 생각하였으며, 근본적인 문제해결이 필요하였다. 위와 같은 추진제어체계를 적용한 함정이 있다면 동일한 문제가 있을 수 있기에 건조 중인 함정들을 조사해보니, 위의 함정과 동일한 CPP 제어회로 설계 방식을 적용한 함정은 차기OO함(LST-II)이 해당되었으며, 차기OOOO함(MLS-II), 차기OOOO함(AOE-II), OO함(ATX)은 CPP 제어회로 설계를 다른 방식으로 적용하고 있어서 문제가 생길 가능성이 낮았다. 그리하여 차기OO함(FFX) Batch-I 및 차기OO함(LST-II)에 적용된 추진계통 CPP 제어회로 관련으로 조사 및 분석 그리고 개선방안을 찾기 시작하였다.

차기OO함(FFX) Batch-I은 충무공이순신급 구축함으로부터 이어진 스텔스 설계를 채용했으며, 현대적인 대공 및 대잠 능력이 사실상 전무하였던 울산급 호위함 및 포항급 초계함과 달리, 기본적인 대함, 대공, 대잠 능력을 확충한 것이 특징이며, 추진체계는 CODOG(Combined Operation Diesel Or Gas turbine) 방식을 적용하였다. 차기OO함(LST-II)은 부족한 해병대 상륙능력을 증강시키면서 현대 상륙개념인 초수평선 상륙을 적용하기 위한 것이 특징이며, 추진체계는 CODOD(Combined Operation Diesel Or Diesel) 방식을 적용하였다. 위의 함정들은 모두 통합감시제어체계(Integrated Monitoring & Control System, IMCS)가 함 전체의 센서 및 장비와 연결되어 있어서 함의 추진계통을 포함하여 함 전반의 감시와 제어가 가능하도록 설계되었다.

2. 본론

2.1 가변피치프로펠러 개념

프로펠러를 축 방향에서 보면, 프로펠러 허브의 길이 방향으로 프로펠러 블레이드에 비틀림이 있다. 각 회전마다 프로펠러의 전진 운동을 일으키는 것은 블레이드의 비틀림이다. 그것은 나사에서 보는 것과 비슷하게 생각할 수 있다. 나사산의 각도를 피치 각이라고 불리는데, 피치 각이 클수록 1회전에서 나사산에 의해 나사는 더 먼 거리를 이동하게 된다. 그와 유사하게 프로펠러는 나사의 원리에 따라 운동한다.

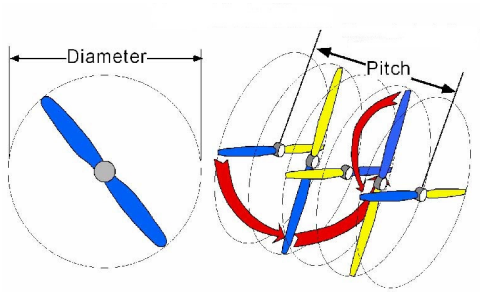


Fig. 1. Propeller Pitch

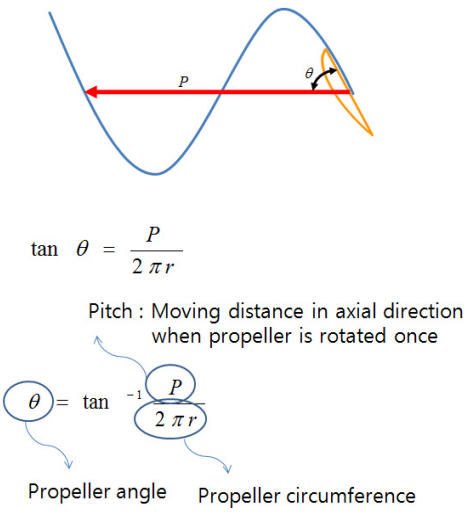


Fig. 2. Formula between propeller pitch and angle

이러한 프로펠러를 물속에서 회전시키면 Fig. 1처럼 1회전에서 축 방향으로 이동한 거리가 피치가 된다. 만약 나사를 따라 나사산의 경사각을 변경할 수 있다면, 그것은 피치 각과 그에 따라 피치를 변경하는 것이 되는데, 이것이 바로 Fig. 2 가변피치프로펠러(Controllable Pitch Propeller, CPP)의 기술이다. 블레이드의 루트 부분의 비틀림(지금부터 피치라고 함)은 항상 프로펠러 허브와 이루는 각을 기준으로 한다. 허브에서 루트 단면의 방향을 변경하여 전체 프로펠러의 피치를 제어할 수 있게 되는 것이다. 프로펠러의 요구되는 방향 또는 피치가 얻어지면, 블레이드는 그 위치에서 고정된다. 따라서 Fig. 3처럼 블레이드는 프로펠러 허브의 통합된 부품이 아니므로 함께 주조되지 않으며, 블레이드는 샤프트 축에 수직으로 축을 가진 스핀들에 장착된다[1].

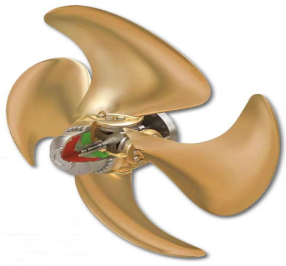


Fig. 3. Controllable pitch propeller

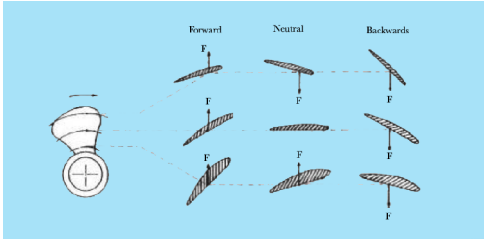


Fig. 4. Blade cross section according to propeller pitch angle

이러한 가변피치프로펠러(CPP)는 엔진의 회전 방향을 변경하지 않고도 선박을 전진 및 후진 방향으로 운행할 수 있으며, 이것은 Fig. 4에서와 같이 블레이드 피치 각을 변경하여 수행할 수 있다. 프로펠러의 피치가 프로펠러의 의해 생성된 추진력을 결정하기 때문에, 피치 각의 변화는 선박의 속력을 변화시킬 수 있다. 따라서 가변피치프로펠러(CPP)는 주 엔진의 rpm을 변경하지 않고 선박의 속력을 변경하는데 유용하다[2].

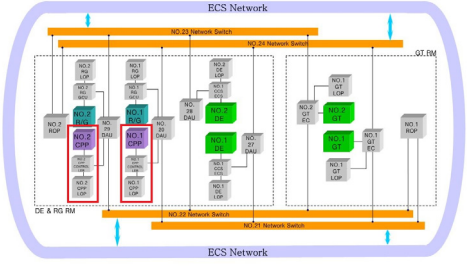


Fig. 5. Control system diagram for propulsion

CPP 제어를 담당하는 CPP LOP(Local Operating Panel)는 이번 분석의 핵심 장비로서, 차기OO함(FFX) Batch-I 및 차기OO함(LST-II)의 경우 엔진실에 CPP LOP가 2대 탑재되어 있다. Fig. 5처럼 각각의 CPP LOP는 각 축계의 CPP를 제어하도록 구성되어 있다. CPP 제어를 위해서는 유압을 사용하여 프로펠러의 각도를 조정한다.

2.2 가변피치프로펠러 제어회로 설계 분석

Fig. 6는 CPP 제어계통을 세부적으로 보여주는 실제 회로도면이다. 실제 회로도면에서 통합감시제어체계(IMCS)와 CPP LOP 사이의 관계를 쉽게 이해할 수 있도록 Fig. 7에 그렸다.

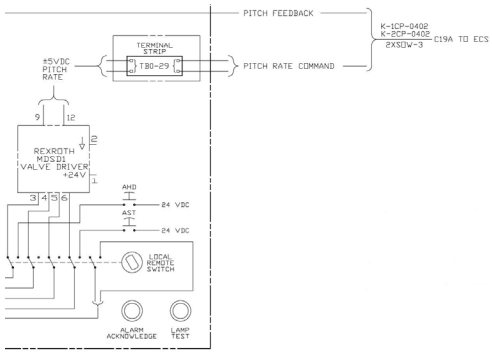


Fig. 6. System circuit diagram between IMCS and CPP LOP

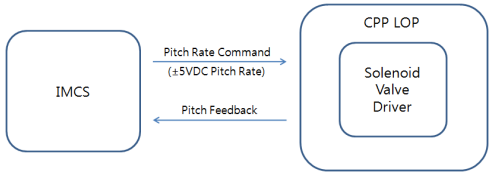


Fig. 7. Control description between IMCS and CPP LOP

추진체계 계통을 분석해보면 통합감시제어체계(IMCS)는 CPP LOP를 제어하기 위해서 Pitch Rate Command 신호를 주고, 프로펠러의 동작을 감시하기 위해서 CPP LOP로부터 Pitch Feedback 신호를 받는다. CPP LOP 내부에서는 CPP를 제어하기 위해서 솔레노이드 밸브 드라이버(Solenoid Valve Driver)를 사용하여 CPP를 제어한다. 차기OO함(FFX) Batch-I은 솔레노이드 밸브 드라이버로서, 모바일 듀얼 솔레노이드 드라이버(Mobile Dual Solenoid Driver, MDSD)를 적용하고 있다. 그리고 피치 제어를 위해서 ±5 V 전압을 사용하여 전압제어 신호로 프로펠러 각도를 변화시킨다. 세부적으로 설명하면 Fig. 8처럼 전압차이입력(Differential Input)이 Op-Amp로 입력되고 Op-Amp의 출력은 PWM(Pulse Width Modulation) 신호를 발생시키고, 그 신호에 따라 솔레노이드 코일에 전기를 흘려보내서 CPP 유압밸브로 유체 흐름을 제어한다. 그리하여 전압차이입력으로 프로펠러 각도를 변화시킨다.

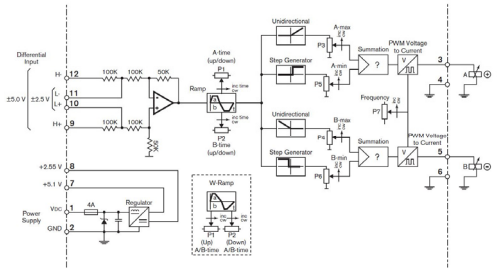
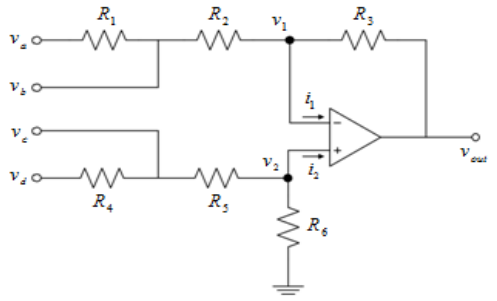


Fig. 8. Op-Amp circuit diagram inside MDSD

제어회로 설계 분석은 Fig. 8의 회로에서 솔레노이드 밸브 드라이버 내부의 Op-Amp 회로를 분석하면 된다. 회로분석에 사용되는 법칙으로는 키르히호프 전압법칙(Kirchhoff's Voltage Law, KVL)에 의한 메시해석법(Mesh Analysis)과 키르히호프 전류법칙(Kirchhoff's Current Law, KCL)에 의한 노드해석법(Node Analysis)이 있다. Op-Amp와 저항이 있는 회로는 메시해석법 보다 노드해석법으로 해석하는 것이 더 편리하다. 그 이유는 Op-Amp 내부의 회로 구성을 모르는 상태에서 Op-Amp를 포함한 메시를 정하는 것이 어렵기 때문이다. 그러므로 노드해석법을 적용하여 Fig. 9처럼 Differential Amplifier 회로를 분석하였다[3-4].



$$\frac{v_b - v_1}{R_2} + \frac{v_{out} - v_1}{R_3} = i_1 \quad ①$$

$$\frac{v_c - v_2}{R_5} + \frac{0 - v_2}{R_6} = i_2 \quad ②$$

$$i_1 = i_2 = 0 \quad ③$$

$$v_1 = v_2 \quad ④$$

$$v_{out} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_2}\right)\left(\frac{R_6}{R_5 + R_6}\right)v_c - \frac{R_3}{R_2}v_b$$

Fig. 9. Analysis of Op-Amp circuit diagram inside MDSD

위의 수식들에 의하면 관련 저항들은 고정 값이므로 실제적인 CPP 유압밸브 제어는 Vb(L-) 입력전압과 Vc(L+) 입력전압의 차이에 따라서 제어되고 있다는 것을 알 수 있다. 전압차이입력으로 프로펠러 각도를 변화시키므로 입력 전압이 순간적으로 변동이 생기는 경우에 취약할 수 있는 설계구조를 가지고 있다. 위와 동일한 CPP 제어회로 설계방식을 적용한 함정은 차기OO함(FFX) Batch-I 및 차기OO함(LST-II)이 해당되며, 차기OOOO함(MLS-II), 차기OOOO함(AOE-II), OO함(ATX)은 CPP 제어회로에 전류제어(4~20 mA)를 적용하고 있어서 앞의 문제 상황에 해당되지 않았다.

2.3 가변피치프로펠러 제어 오작동 원인 분석

선박은 육지와는 다르게 해수 및 청수에 접촉되는 경우가 많으며, 실제 일상적으로 접지(Ground) 현상이 발생하는 환경에 놓여있다. 사용자불만 문서에서 문제를 제기한 가변피치프로펠러(CPP) 제어 오작동 현상은 항상 발생하는 것이 아니라, 주로 통신장비 등의 전자장비가 동작하고 있을 때 주로 발생하며, Fig. 10처럼 전자장비의 마이너스 전극을 선체접지에 연결하기 때문에 발생하는 문제로 생각된다. 선박 내 타 장비들과 통합감시제어체계(IMCS)에 연결된 DC 24 V 라인의 접지현상을 방지하는 것이 필요하지만, 현실적으로 바다 위를 떠다니는 선박에서 접지현상을 완전하게 방지하는 것은 사실상 불가능하므로 접지현상을 일으키는 부정적인 영향을 감소시킬 수 있는 적합한 방안을 찾는 것이 중요하다.

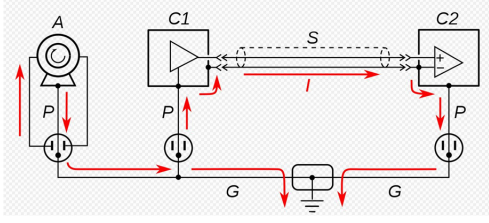


Fig. 10. Ground loop caused by leakage current of electrical equipment

Table 1. Classification of results about the causes of CPP control circuit malfunction

No.	Classification of cause and consequence for circuit analysis
1	If the input voltage cable is grounded, $V_{out} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_2}\right)\left(\frac{R_6}{R_5 + R_6}\right)V_c$
2	If current flows from outside to the ground line, $V_{out} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_2}\right)\left(\frac{R_5 R_6}{R_5 + R_6}\right)\left(\frac{V_c}{R_5} + \frac{V_x}{R_6}\right) - \frac{R_3}{R_2}V_b$

CPP 제어회로에서 오작동 원인으로 추정되는 접지현상을 일으키는 경우를 생각하였다. CPP 제어 오작동 현상이 매우 순간적으로 발생했다가 사라지는 문제라서, 문제 상황 재현이 힘들며 전압을 실측하기가 곤란하므로, 원인의 경우에 따라 도출되는 수식결과로 원인을 분석하였다. Table 1에서 문제에 대한 원인들을 가정하고 그 수식 결과들을 정리하였다. 첫 번째는 제어전선이 접지되는 경우이며, 두 번째는 외부로부터 접지라인으로 전류가 흘러들어오는 경우이다. 그럼 먼저 제어전선이 접지되는 경우를 알아보자.

예를 들어 Fig. 11에서 입력 전압 L-(Vb)가 접지되면 전류는 저항 및 Op-Amp로 구성된 회로가 아닌 접지라인으로 흘러 빠져나가게 되어, Fig. 12에서 보여주는 수식처럼 입력 전압 L-(Vb)는 0 V가 되는 수식으로 정리할 수 있다. 결론적으로 Op-Amp 출력 값에 변동이 생기고 의도하지 않은 CPP 제어신호를 발생시켜서 CPP 제어 오작동을 일으킨다. 앞의 사용자불만 문서에서 조리실 스커틀 스위치 접점 불량에 따른 접지 현상이 생겼다고 언급하므로, CPP 제어회로에서 오작동 원인으로 제어전선이 접지된 것으로 추정하기에는 적합하지 않으므로 다른 경우를 생각해봐야 한다.

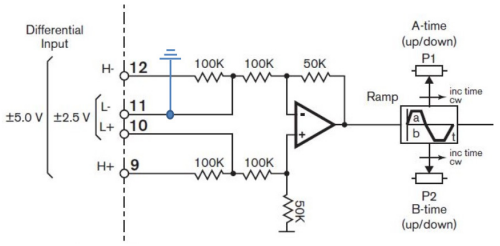
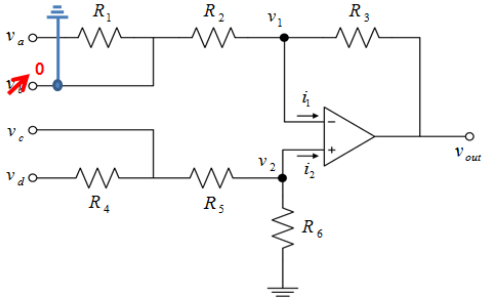


Fig. 11. Assuming input voltage cable is grounded



$$v_{out} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_2}\right)\left(\frac{R_6}{R_5 + R_6}\right)v_c - \frac{R_3}{R_2}v_b$$

Fig. 12. Circuit analysis if the input voltage cable is grounded

그럼 다음은 Fig. 13처럼 외부로부터 접지라인으로 전류가 흘러 들어가는 경우를 생각해보자. 접지 문제에서 공통 임피던스(Common Impedance)와 그라운드 루프(Ground Loop) 문제가 발생할 수 있는데, 공통 임피던스와 그라운드 루프를 실제 시스템의 회로에서 구분하는 것은 어렵다.

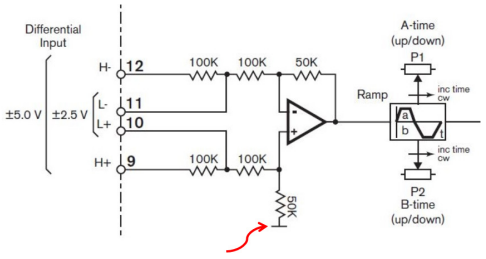
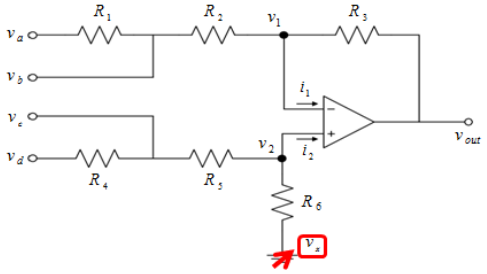


Fig. 13. Assuming current flows from outside to the ground line



$$\frac{v_b - v_1}{R_2} + \frac{v_{out} - v_1}{R_3} = i_1 \quad ①$$

$$\frac{v_c - v_2}{R_5} + \frac{v_x - v_2}{R_6} = i_2 \quad ②$$

$$i_1 = i_2 = 0 \quad ③$$

$$v_1 = v_2 \quad ④$$

$$v_{out} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_2}\right)\left(\frac{R_5 R_6}{R_5 + R_6}\right)\left(\frac{v_c}{R_5} + \frac{v_x}{R_6}\right) - \frac{R_3}{R_2}v_b$$

Fig. 14. Circuit analysis if current flows from outside to the ground line

공통 임피던스를 제거하려면 그라운드 루프가 생기고, 그라운드 루프를 제어하려면 공통 임피던스가 생기는 상호 관계 때문이다. 공통 임피던스는 다른 여러 장비들이 접지저항을 같이 공유하는 상황에서 노이즈 파형이 다른 장비로 전달되면서 발생하는 현상이며, 위의 문제 상황은 각각의 장비가 접지되어 있는 상황에서 노이즈 파형이 흘러 들어가는 것이므로, 공통 임피던스 보다는 그라운드

루프에 의하여 발생하는 상황이라고 추정할 수 있다[5]. 접지라인으로 전류가 흘러 들어가면, Fig. 14에서 보여주는 수식처럼 0 V가 아니라 Vx라는 다른 전압이 입력되어 복잡한 수식으로 정리된다. 결론적으로 Op-Amp 출력 값에 변동이 생기고 의도하지 않은 CPP 제어신호를 발생시켜서 CPP 제어 오작동을 일으킨다.

2.4 가변피치프로펠러 제어회로 설계 개선

가변피치프로펠러 제어회로 오작동에 대한 문제 분석과 개선 관련으로 기존 연구 자료는 찾을 수 없어서 일본의 저자가 집필한 서적의 내용에서 회로 노이즈 대책방안을 참고하여 아이디어를 생각하고 설계 개선 방안을 찾아서 적용하였다. 첫 번째는 제어전선의 끝단에 종단저항(Terminating Resistor)을 적용하는 방안이며, 두 번째는 제어전선 사이에 Signal Converter를 적용하는 방안이다. Table 2에서 문제에 대한 원인과 개선방안들을 정리하였다.

Table 2. Cause and solution about problem

Items	Contents
Cause	Current flows from outside to the ground line
Solution	1. Install a terminating resistor at the end of the control wire
	2. Install a signal converter between the control wires

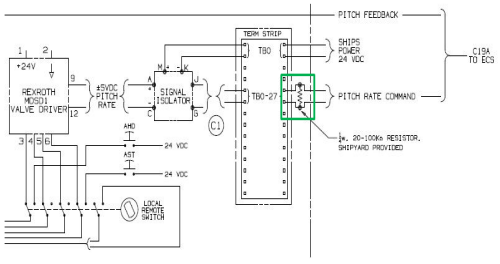


Fig. 15. Installation of the terminating resistor at the end of the control wire

그럼 먼저 제어전선의 끝단에 종단저항을 적용하는 방안을 알아보자. 종단저항을 적용하는 이유는 첫째, 통신선로의 끝이 Open 되어 있으면 신호가 사라지지 않고 마치 메아리처럼 되돌아오는 반사현상이 일어나는데, 종단저항은 선로에 가해진 임펄스 에너지를 흡수하여 반사현상을 예방해주는 역할을 한다. 둘째, 선로 전체에 일정한 전류를 순환하게 하여 노이즈에 잘 견딜 수 있도록 개선하는 역할을 한다. Fig. 15처럼 CPP 제어전선 끝단에 50 kΩ 종단저항을 적용하여 제어회로 설계를 개선하였다[5-7].

그럼 다음은 제어전선 사이에 Signal Converter를 적용하는 방안을 알아보자. 제어신호 케이블 아이솔레이션(Isolation)을 위해서는 아이솔레이터(Isolator) 적용이 필요한데, 일반적으로 아이솔레이터라는 이름의 부품으로 존재하기 보다는 Converter라는 이름의 부품으로 존재하는 경우가 많다. 이번 제어회로 설계 개선에서는 ABB사 제품의 Signal Converter를 적용하였다. Table 3은 Signal Converter 부품의 세부사양에 관한 자료이다.

Table 3. Signal converter specification

Type	Input Signal	Output Signal
CC-E V/V	-10 ~ +10 V	-10 ~ +10 V

Signal Converter는 작동을 위해서 공급전압 DC 24 V가 필요하며, 입력전압은 -10 ~ +10 V 이며 출력전압은 -10 ~ +10 V 이다. 그리고 가장 중요한 특징으로서 그라운드 루프를 방지하는 기능이 포함되어 있다.

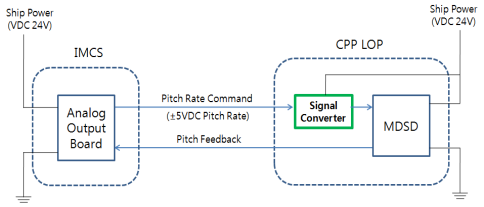


Fig. 16. Concept of application of signal converter to CPP control circuit

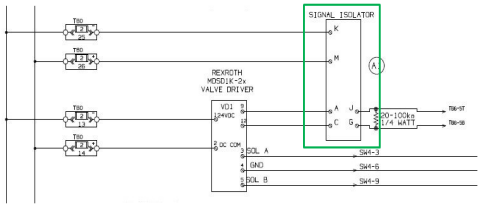


Fig. 17. Installation of the signal converter

Fig. 16은 CPP 제어회로에 Signal Converter가 적용된 개념도이다. Signal Converter는 통합기관제어체계(IMCS)의 Analog Output Board와 MDSD 사이에 적용되며, CPP LOP 내부에 존재하는 것을 알 수 있다.

Fig. 17은 실제 회로도에서 Signal Converter가 적용된 부분을 보여주며, Fig. 18은 차기OO함(LST-II)의 CPP LOP 내부에 실제 설치된 Signal Converter를 보여준다 [5, 8-10].

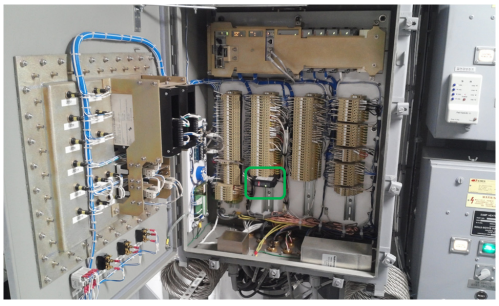


Fig. 18. Signal converter installed in the CPP LOP for LST-II

종단저항 및 Signal Converter 부품 설치 후 CPP 제어회로 설계 개선에 문제가 없는지 검증이 필요하여, Fig. 19처럼 차기OO함(LST-II)으로 실제 항해 시운전에서 CPP 피치 제어를 테스트 하였다.

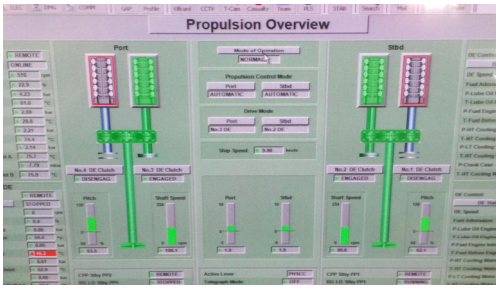


Fig. 19. Propulsion sea trial test in LST-II

Table 4. Signal ID list for CPP control signal trend identification

Signal ID List	Name
CD_CPP1500	Stbd Shaft Rated Pitch Demand
CPP10001	No.1 CPP Pitch Position for Control
CD_CPP2500	Port Shaft Rated Pitch Demand
CPP20001	No.2 CPP Pitch Position for Control

Lever에 따라서 Command 피치와 Feedback 피치가 어느 정도 변화하는지 확인이 필요하므로, Table 4처럼 CPP 제어신호 확인에 필요한 Signal ID를 선정하여, Fig. 20처럼 Trend 창에 Signal ID를 입력하고 Trend를 걸어서 경과된 시간에 따른 피치 변화를 확인하였다. Table 5는 Speed lever에 따른 피치 설정 값이 기재된 설계 자료로서, Speed table 자료를 보면 Lever 2에서 피치는 67 % 값을 가진다. 실제 항해 시운전에서 CPP 피치를 검증해보니, Command 피치는 62 % 이며, Feedback 피치는 62.1 %로 실측되었다. Table 6에서 실측된 피치 값들을 정리하였다.

설계 값과 실측 값에 차이가 있는 이유는 피치 셋팅 작업이 아직 미흡하여 생긴 이유이며, 시운전 기간 중에 피치 값 조정 셋팅 작업이 필요함을 의미하였다. 이번 연구에서 검증이 필요한 해당 사항으로서, Command 피치 값과 Feedback 피치 값 사이는 서로 매우 유사한 값을 보여주고 있어서, CPP 제어회로의 제어신호 전달에 문제가 없으므로 적합한 개선방안으로 확인되었다.

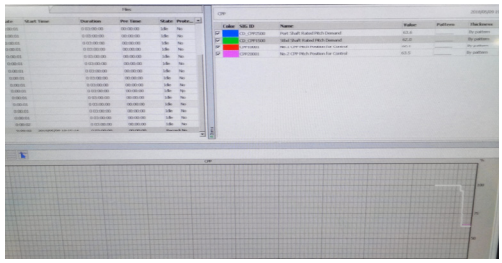


Fig. 20. CPP control signal ID trend

Table 5. Speed table according to lever

LEVER	2기2축		
	DE RPM	Shaft RPM	PITCH
0	515	100	0
1	515	100	33
2	515	100	67
3	515	100	100
4	538	105	100

Table 6. Command and feedback pitch according to the speed lever

Pitch	Value (%)
Stbd Command	62
No.1 CPP Feedback	62.1

3. 결론

차기OO함(FFX) Batch-I 으로부터 송부된 사용자불만 문제는 항해 중에 갑자기 후진피치(피치 신호가 +30에서 -60으로)가 발생되는 가변피치프로펠러(CPP) 계통 오작동 현상이 발생한 문제인데, 추정되는 원인으로는 조리실 스커틀 스위치 접점 불량에 의한 접지 현상으로 발생한 과전류가 CPP 제어카드에 이상신호(후진피치)를 전달한다고 추정하였으나, 타 계통(감속기어, 가스터빈 등) 접지 현상 발생 시에도 후진피치 발생이 가능할 수 있으므로, 위의 문제는 중대한 문제라고 생각하였으며, 근본적인 문제해결이 필요하였다. 그리하여 접지 현상 발생 시에도 피치를 유지할 수 있도록 CPP 제어회로를 개선하는 것이 본 연구의 목적이었다.

CPP 제어회로에서 오작동 원인 추정으로 첫 번째는 제어전선이 접지되는 경우이며, 두 번째는 외부로부터 접지라인으로 전류가 흘러들어오는 경우를 가정하였다. 조리실 스커틀 스위치 접점 불량에 따른 접지 현상이 생겼다고 언급하므로, CPP 제어회로에서 오작동 원인으로서 제어전선이 접지된 것으로 추정하기에는 적합하지 않으므로, 외부로부터 접지라인으로 전류가 흘러들어오는 경우로 추정하였으며, 그리고 위의 문제 상황은 각각의 장비가 접지되어 있는 상황에서 노이즈 파형이 흘러 들어가는 것이므로, 공통 임피던스 보다는 그라운드 루프에 의하여 발생하는 상황이라고 추정할 수 있었다.

그리하여 위의 문제를 해결하기 위해서 CPP 제어회로 설계 개선 방안을 찾기 시작하였다. 첫 번째는 제어전선의 끝단에 종단저항(Terminating Resistor)을 적용하는 방안과 두 번째는 제어전선 사이에 Signal Converter를 적용하는 방안이었다. 종단저항을 적용하여 선로에 가해진 임펄스 에너지를 흡수하여 반사현상을 예방하였으며, 선로 전체에 일정한 전류를 순환하게 하여 노이즈에 잘 견딜 수 있도록 개선하였다. 마지막으로 제어전선 사이에 Signal Converter를 적용하여 제어신호 케이블을 아이솔레이션 시켜서 그라운드 루프를 방지하였다.

그리고 종단저항 및 Signal Converter 부품 설치 후 CPP 제어회로 설계 개선에 문제가 없는지 검증하기 위해, 차기OO함(LST-II)으로 실제 항해 시운전에서 CPP 피치 제어를 테스트 하였다. 테스트 결과, Command 피치 값과 Feedback 피치 값 사이는 서로 매우 유사한 값을 보여주고 있어서, CPP 제어회로의 제어신호 전달에는 문제가 없으므로 적합한 개선방안으로 확인되었다.

References

[1] S. Tarbiat, H. Ghassemi, M. Fadavie, "Numerical Prediction of Hydromechanical Behaviour of Controllable Pitch Propeller", *International Journal of Rotating Machinery*, vol. 2014, pp. 1-7. DOI: http://dx.doi.org/10.1155/2014/180725

[2] Michele Martelli, M. Figari, M. Altosole, S. Vignolo, "Controllable pitch propeller actuating mechanism, modeling and simulation", *Journal of Engineering for the Maritime Environment*, vol. 227, 2013 DOI: http://dx.doi.org/10.1177/1475090212468254

[3] Y. S. Choi, "Fundamental Circuit Theory", pp. 146-170, Hanbit Media, 2011.

[4] W. H. Hayt, J. E. Kemmerly, S. M. Durbin, "Engineering Circuit Analysis", 8/E, pp. 191-236, McGraw Hill Korea, 2013.

[5] O. Michio, H. S. Jung, "Noise Prevention and Countermeasures", pp. 1-348, Sung An Tang, 1997.

[6] J. Nemec, "Circuit termination methodologies and their characteristics", *WESCON/97 Conference Proceedings*, IEEE, Santa Clara, CA, USA, pp. 556-561, Nov. 1997. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/WESCON.1997.632383

[7] I. Novak, "Reducing Simultaneous Switching Noise and EMI on Ground/Power Planes by Dissipative Edge Termination", *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 22, no. 3, pp. 274-283, Aug. 1999. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/6040.784475

[8] G. Knoedl, Jr, S. A. Rawls, L. J. Turgeon, J. W. Bess, "A monolithic signal isolator (for power convertors)", *Proceedings, Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics*, IEEE, Baltimore, MD, USA, pp. 165-170, March 1989. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/APEC.1989.36965

[9] M. Raimann, A. Peter, D. Mager, U. Wallrabe, J. G. Korvink, "Microtransformer Based Isolated Signal and Power Transmission", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 9, pp. 3996-4004, Sept. 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/TPEL.2012.2189250

[10] N. Akiyama, Y. Kojima, M. Nemoto, S. Yukutake, T. Iwasaki, M. Amishiro, N. Kanekawa, A. Watanabe, Y. Takeuchi, "A High Voltage Monolithic Isolator for a Communication Network Interface", *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 49, no. 5, pp. 895-901, May 2002. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/16.998600

김 동 영(Dong-Young Kim) [정회원]

- 2008년 2월 : 한양대학교 전자전기공학 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 2010년 6월 : 일본 스미토모 화학그룹 동우화인켐(주) 연구기술본부 엔지니어링팀 전기 담당
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임 연구원

〈관심분야〉
전자파흡수재료, 전극재료, 유기화학, 파이썬, 머신러닝, 경제수학

강 구 헌(Gu-Heon Kang) [정회원]

- 2012년 2월 : 부산대학교 항공우주공학 (공학사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉
소음, 진동, 충격, 재료