碩士學位論文

제주-해남 HVDC 시스템에서의 사이리스터 점호제어용 광수신기 개발

指導敎授 金 一 煥

濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

宋 基 赫

2008

제주-해남 HVDC 시스템에서의 사이리스터 점호제어용 광수신기 개발

指導敎授　金 一 煥

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2008年 12月　　日

濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科 電氣工學專攻

宋 基 赫

宋基赫의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

2008年 12月　　日

委員長 李 開 明 印

委　員 金 一 煥 印

委　員 左 宗 根 印

목 차

LIST OF FIGURES ····· ii

LIST OF TABLES ····· v

SUMMARY ····· vi

Ⅰ. 서 론 ····· 1

Ⅱ. 광 송·수신기 시스템 ····· 3

1. 광 송신기 ····· 3
1) 광 전송 시스템 ····· 3
2) 광변조 방식 ····· 5
2. 광수신기 ····· 8
1) 광 수신시스템의 구성 ····· 8
2) 광 수신기 성능 및 특성 ····· 9
3. HVDC 점호제어시스템의 광 송·수신기 역할 ····· 10
4. 제주-해남 HVDC 점호제어시스템에 광 송·수신기 중요성 ····· 13
5. 제주-해남 HVDC 변환설비 광 점호 시스템 구성 ····· 13

Ⅲ. 광 수신기 불량원인 분석 ····· 15

1. 불량원인 분석 흐름도 ····· 15
2. 정상 운전시 비교분석용 송신파형 기준값 측정 ····· 16
3. 게이트 구동시험장비 기준값 설정 ····· 17
4. 출력파형 비교 ····· 18
5. 전압조절기 상태 분석 ····· 19

6. 광다이오드 상태분석 ····· 20
7. 전압조절기 불량 원인분석 ····· 21
8. 불량 원인 분석결과 ····· 26

Ⅳ. 제안된 광 수신기 개발 및 제작과정 ····· 27

1. 광 수신소자 선정 ····· 27
2. 전압조절기 선정과 회로구성 ····· 28
3. 광 수신기 제작과정 ····· 29

Ⅴ. 광 수신기 개발품 실증작업 ····· 30

1. GUT장비를 사용한 파형 비교시험 ····· 30
2. VTE장비를 사용한 실계통 실증시험 ····· 31
3. 개발품 현장 시범 적용 ····· 36
4. 개발품 시행효과 ····· 36

Ⅵ. 결 론 ····· 38
참 고 문 헌 ····· 39

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Block diagram of optical transmission system ····· 4
Fig. 2 Block diagram chart of general optical transmitter ····· 4
Fig. 3 Direct modulation block diagram ····· 5
Fig. 4 Amplitude range comparison of analog and digital signal ····· 6
Fig. 5 External modulation block diagram ····· 6
Fig. 6 Theory of external modulation ····· 7
Fig. 7 Information signal ····· 7
Fig. 8 Output special quality of external modulator ····· 7
Fig. 9 Photo diode operation circuit ····· 8
Fig. 10 Optical receiver block diagram ····· 9
Fig. 11 Photo diode response curve ····· 9
Fig. 12 Photo diode noise source ····· 10
Fig. 13 Jeju-Haenam HVDC converter equipment optical cable line ····· 12
Fig. 14 Block diagram of Jeju-Haenam HVDC optical firing system ····· 14
Fig. 15 Flowchart of fault analysis at optical receiver ····· 15
Fig. 16 Fire transmission pulse measurement for comparison analysis ·· 16
Fig. 17 Gate unit tester test scene and measurement waveform ····· 17
Fig. 18 Waveform of normality and abnormality GUA card ····· 18
Fig. 19 Waveform of optical receiver input and regulator output voltage ·· 19
Fig. 20 Existing optical receiver circuit and regulator output short ····· 20
Fig. 21 Optical fire pulse test after regulator input short ····· 21
Fig. 22 Measuring point of GUA Card ····· 22

Fig. 23 Waveforms of measuring point ①,②,③ at firing control card ··· 23
Fig. 24 Waveforms of existing voltage regulator vs goto service & T/L trouble · 24
Fig. 25 Waveforms of proposed voltage regulator vs goto service and T/L trouble ····· 25
Fig. 26 Voltage regulator improvement products and join with PCB card ·· 28
Fig. 27 Organization of proposed optical receiver module ····· 29
Fig. 28 Manufacturing process of proposed optical receiver module ····· 29
Fig. 29 Photo of proposed module test for actual application ····· 30
Fig. 30 Waveform of GUT equipment with existing and proposed control module ·· 31
Fig. 31 Power supply storage test ····· 31
Fig. 32 Firing above 60V interlock test ····· 32
Fig. 33 Firing at the 60V interlock test ····· 32
Fig. 34 dv/dt withstand test ····· 33
Fig. 35 Protective firing test ····· 33
Fig. 36 Impulse test under BOD level test ····· 34
Fig. 37 Positive impulse with charged test ····· 34
Fig. 38 Double positive impulse-protective firing on fires impulse only test ·· 35
Fig. 39 Double positive impulse protective firing on both impulse test ·· 35
Fig. 40 Fast BOD test ····· 35

LIST OF TABLES

Table 1 Fiber optical cable establishment quantity ····· 11

Table 2 Plastic optical cable establishment quantity ····· 11

Table 3 Establishment quantity of Jeju C/S optical card ····· 12

Table 4 Specifications of existing and proposed optical receiver ····· 27

Table 5 Specifications of existing and proposed voltage regulator ····· 28

Table 6 Local sample application of improved optical receiver ····· 36

Table 7 Detailed calculation contents about budget reduction ····· 37

Development of the Optical Receiver for Thyristor Firing Control at Jeju-Haenam HVDC System

Gi-Heuk Song

Department of Electronic and Electrical Engeering
Graduate School of Industry
Cheju National University

Supervised by professor Eel-Hwan Kim

SUMMARY

In this paper, a new thyristor firing control module in the optical receiver at Jeju-Haenam HVDC system is developed. For the normal HVDC system operation, it is very important to receive and trigger the firing control signal to the thyristor valve unit without any disturbance. In the existing unit embedded voltage regulator, this unit frequently get out of order because of surge voltage. So, we need that the stiff power source in the firing control module should be required. Comparing with the existing unit, a new developed unit receiving the gating signal via optical fiber has same operating characteristics. To verify the proposed scheme, we present the many kinds of experimental results.

Ⅰ. 서 론

세계적으로 자연경관이 뛰어난 제주지역의 자연환경을 보존하고 경영효율을 높이며 또한 제주지역 전력수용가에게 양질의 전력을 제공하고자 하는 취지에서 한전은 제주-해남간 직류송전을 도입하기로 결정하였고, 1992년 처음공사를 시작하여 1998년 3월 상업운전을 개시하였다. 제주-해남간 HVDC(High voltage direct current) 연계설비는 1회선 용량이 150 MW 로서 총 2 회선이 구축되었으며, 각 변환설비가 독립적으로 제어능력을 가지고 있다. 또한 한 회선 고장시 제주 전력계통의 안정을 도모하기 위하여 변환설비 두 대의 송전 합계는 150 MW로 제한 운전하고 있다. 현재는 HVDC 제주전력 계통의 50 %를 담당하고 있을 뿐만 아니라 발전기들의 탈락이나 송전선로의 고장발생시에도 고장부하를 정전없이 흡수하여 제주계통 안정에 핵심적인 역할을 담당하고 있다. 뿐만 아니라 장기적인 측면에서 보면 제주지역에서 발전소 부지확보 문제나 탄소배출 문제 등을 최소화 시킬 수 있고, 향후 남북한 전력연계 및 동북아 전력망 구축이 추진될 것으로 예상되고 있어 직류송전에 대한 관심이 과거 어느 때보다도 높아지고 있는 실정이다[1]. 그러나 최근 제주-해남 HVDC 시스템의 핵심설비인 사이리스터 점호제어장치의 제어카드 불량건수가 증가하는 추세에 있고 또한 PCB(Printed circuit board) 제어카드 고장에서 전체고장의 약 60 %이상이 GUA(Gate unit assembly)제어카드 내부 광 점호 수신 장치의 고장이 차지하고 있다. HVDC 전체 고장중 (제주, 해남 변환소를 포함)사이리스터 점호제어장치 내부 광수신 장치 불량건수가 '01년(12건), '02년(24건), '03년(52건), '04년(56건), '06년(95건), '07년(98건)으로 조사되었으며,[1] 사이리스터 점호 수행에 핵심장치인 광수신 장치 불량에 의한 신호상실시 변환설비 중대고장 발생 가능성이 항시 내재하고 있어서 상시 광 수신에 따른 부품열화 및 기능저하가 진행되고 있는 것으로 사료된다. 그러므로 광 수신 장치 제작사의 공급문제가 생길 때 설비 운영 및 유지보수에 큰 문제를 야기 할 수가 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 기존 제주변환소에 설치되어 운용되고 있는 제품과 기능은 동일하고 내부 전압조절기를 외부 전압조절기로 대체

하여 전원 전압변동에 강한 시스템을 제안 하고자 한다. 뿐 만 아니라 제안된 시스템을 제주변환소에 적용하여 시스템의 신뢰성과 타당성을 검증하고자 한다.

논문 구성은 다음과 같다. 2장에서는 광 송·수신기 시스템 이론과 HVDC 점호제어시스템의 광 송·수신기 역할 및 구성에 대해서 서술하였다. 3장에서는 광 수신기 개발자료를 취득하기 위한 초기단계로 광 수신기 불량원인 분석 내용 및 결과를 서술하였다. 4장에서는 제안된 광 수신 소자 선정과 회로구성에 대한 전반적인 개발 및 제작과정에 대해서 서술하였다. 5장에서는 개발된 광 수신기에 대한 최종시험 및 실증작업, 현장 적용 후 모니터링 등에 대한 전반적인 내용을 기술하였으며, 6장에서는 결론 부분으로 구성 하였다.

JEJU NATIONAL UNIVERSITY 1952
JEJU 1952
제주대학교

Ⅱ. 광 송·수신기 시스템

광 송수신 모듈은 단순히 송신용 레이저 다이오드와 수신용 광 다이오드만을 패키지 한 경우도 있지만, 일반적으로 송·수신기의 동작을 제어하는 레이저 다이오드 구동기, 전치증폭기 등을 포함한 소형 구동보드들과 함께 SFF(Small form factor)/SFP(Small form factor plug)의 패키지 형태로 구현한 제품들을 말하며, 일명 광 트랜시버로 불린다.

1. 광 송신기

1) 광 전송 시스템

Fig. 1은 광통신 시스템의 구성에 대한 개략도이다. 광 송신기는 전기신호입력으로 광 신호를 발생시킨다. 그것은 광원과 구동회로로 구성되어 있다. 모든 송신기는 광원과 전자부품들을 포함하고 있다. 수신기는 광 신호를 검출하여 시스템의 다른 쪽 끝에서 전자형태 기기로 되돌려 보낸다. 링크는 두 점사이의 신호를 보내기 위해 사용한 송신기, 광케이블과 수신기의 조합이다. 광 트랜시버는 그 시스템의 끝에 송신기와 수신기를 포함하고 있다.

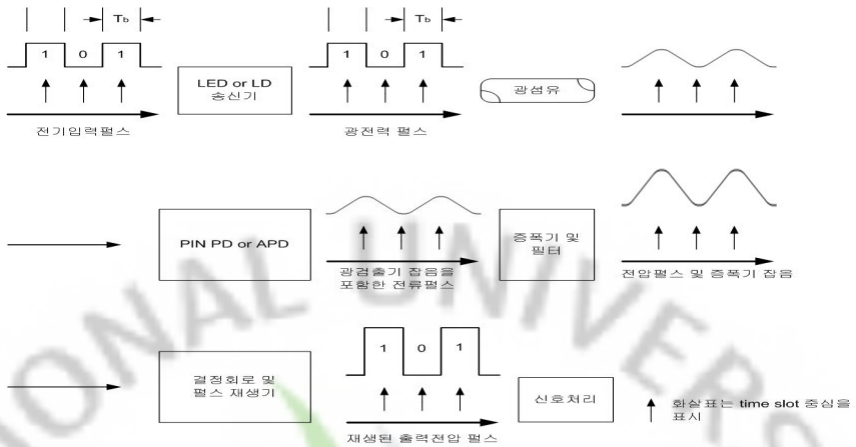


Fig. 2 Block diagram of optical transmission system

전형적인 송신기의 주요 기능은 Fig. 2와 같이 나타나 있으며, 이 그림에서 레이저 다이오드와 패키지된 모니터 광 다이오드가 레이저 다이오드의 광출력을 검출하여 바이어스 전류를 조정하는 간단한 레이저 다이오드 구동회로 개념을 보여주고 있다. 광송신기의 주요영역은 전자 인터페이스, 내부 신호처리, 레이저 감시와 바이어스회로, 온도 제어회로, 레이저 다이오드와 외부 변조기를 포함한 광소자부분, 광 인터페이스를 포함하고 있다.

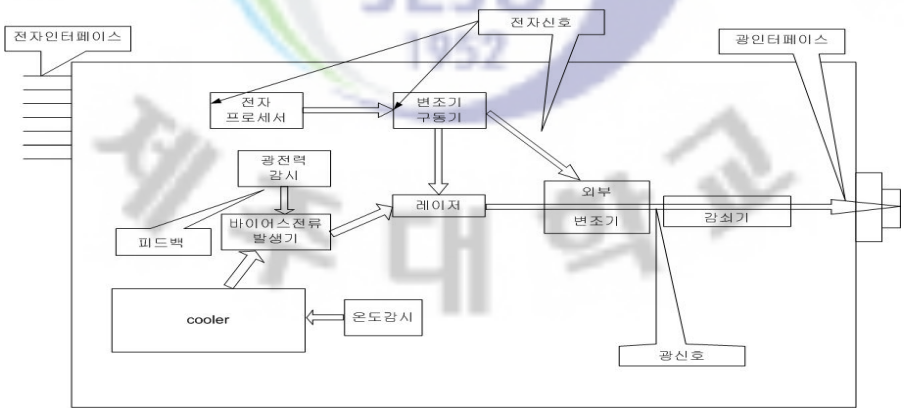


Fig. 2 Block diagram chart of general optical transmitter

2) 광변조 방식

변조는 광 스트림에 정보를 부과하는 과정을 의미한다. 이러한 변조는 변화하는 광 출력을 만들기 위하여 정보 열을 갖는 레이저 구동전류를 직접 변화시키거나 혹은 레이저에 의해 방출된 일정한 광 전력 레벨을 변화시키기 위하여 외부변조에 의하여 이루어진다. 전송속도가 높을수록 송신기의 구조와 원리는 더욱 복잡해진다. 광변조방식은 직접변조와 외부변조로 구분된다. 즉 반도체 광원은 직접 혹은 외부적으로 변조될 수 있다. 구동전류의 증가는 레이저 다이오드의 광 출력을 증가시킨다. 광 출력은 구동전류에 비례하며 레이저 다이오드는 전류 증가에 빠르게 응답한다. Fig. 3은 직접강도 변조기의 블록도를 보여주고 있다.

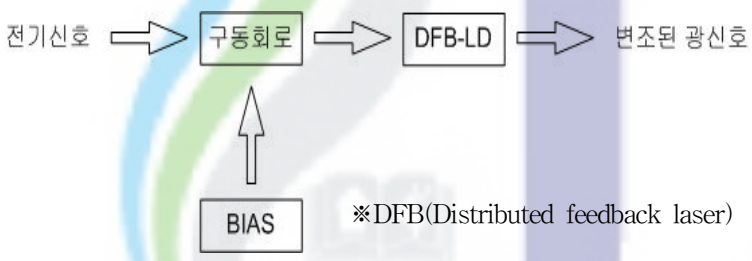
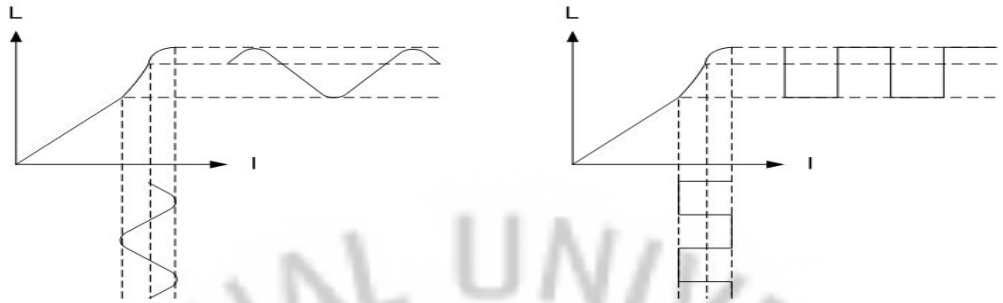


Fig. 3 Direct modulation block diagram

Fig. 4는 포화상태에서 아날로그변조와 디지털변조의 출력특성을 보여주고 있다. 포화상태에서 아날로그변조는 출력을 복원할 수 없지만, 디지털변조는 아날로그신호에 비하여 복원하기가 용이하다.



(a) Analog signal (b) Digital signal

Fig. 4 Amplitude range comparison of analog and digital signal

외부변조기 구성도는 Fig. 5와 같이 나타낸다. 외부변조기는 처핑(Chirp)과 같은 원하지 않는 비선형효과들을 최소화하기 위한 고속시스템 205Gbps이상이 필요로 한다. 외부변조기 원리는 Fig. 6처럼 전계효과를 이용하여, 굴절률을 변화시킴으로 Fig. 7과 같은 정보신호에 따른 광 신호를 변화시킨다. 예를 들면, Fig. 8과 같이 마흐-젠더(Mach-Zehnder)구조에서 동위상인 경우에 보강간섭에 의해 출력단에서 출력신호는 두 신호를 더한 결과를 가져오고, 역위상인 경우에 두 신호를 상쇄간섭에 의해 출력신호는 0이 된다.

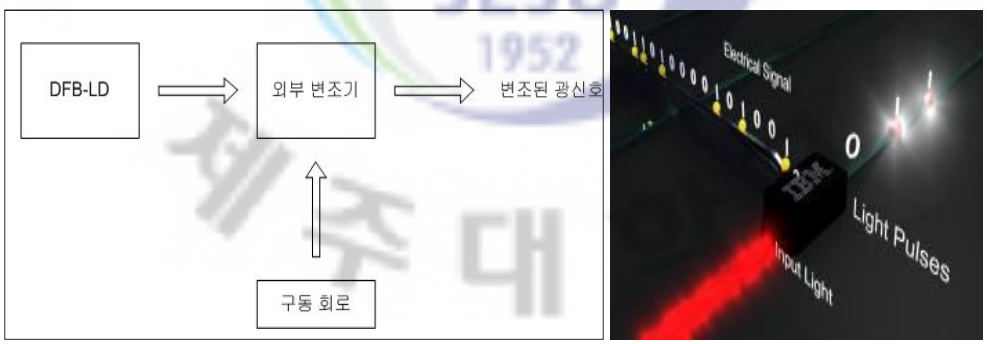


Fig. 5 External modulation block diagram

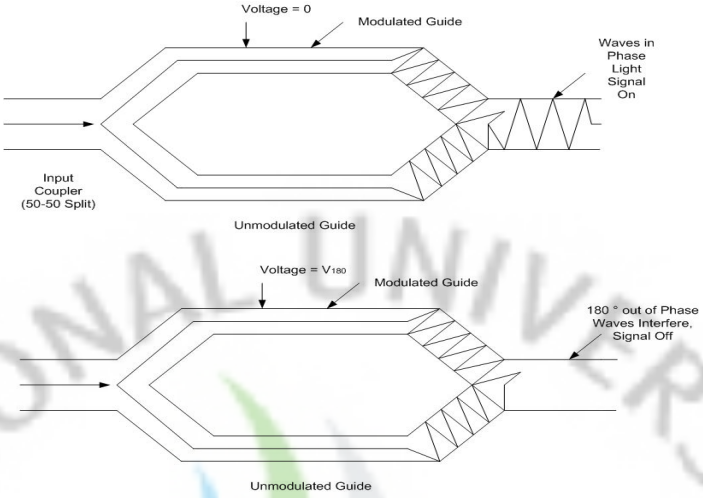


Fig. 6 Theory of external modulation

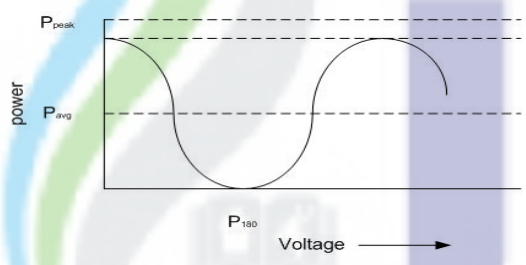


Fig. 7 Information signal

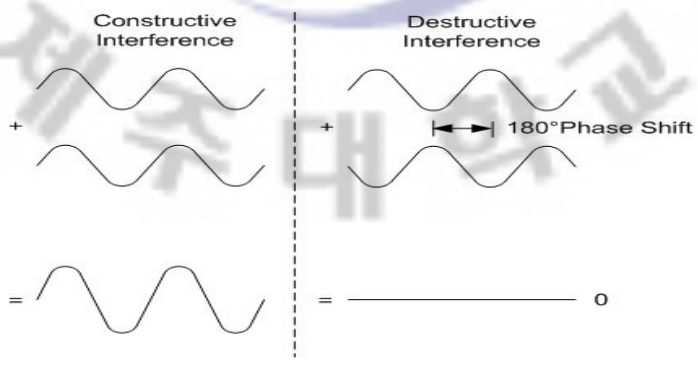


Fig. 8 Output special quality of external modulator

2. 광수신기

1) 광 수신 시스템의 구성

포토다이오드는 광을 검출하기 위해 광원과 반대로 역 바이어스로 가해져야한다. 포토다이오드는 전기적으로 역 바이어스 되었을 때 응답속도가 빠르고 더욱 민감하게 된다. 가장 널리 사용하는 광 검출기는 PIN형 광 다이오드이다. 이 디바이스는 P형 반도체와 N형 반도체 사이에 매우 적게 N형 도핑된 순수 I 영역을 부가한 구조로 구성되어 있다. 드리프트 전류는 공핍층에서 만들어지므로 전계의 영향에 따라 신속히 응답하나, 역으로 공핍층 밖에서 만들어진 확산전류는 응답속도가 늦다는 특징이 있고, 공핍층의 폭은 넓으면 넓을수록 양자효율과 주파수 응답 속도면에서 유리하다. 이 공핍층의 폭은 P-형, N-형 반도체 층의 전자와 정공의 농도가 낮은 쪽으로 넓어지며, P-형과 N-형 반도체간에 접합되는 I영역 절연체는 공핍층의 폭을 넓히는 역할을 한다. Fig. 9는 PIN형 광 다이오드의 역 바이어스를 인가한 동작회로도를 나타내고 있으며, Fig. 10은 광 수신기의 구성도를 나타내고 있다.

Fig. 9 Photo diode operation circuit

이 그림에서 보면 광 수신기는 광 다이오드, TIA(Trans impedance amplifier),

CDR(Clock data recovery), LA(Limiting amplifier), 결정회로, 전기적 필터 등으로 구성된다.

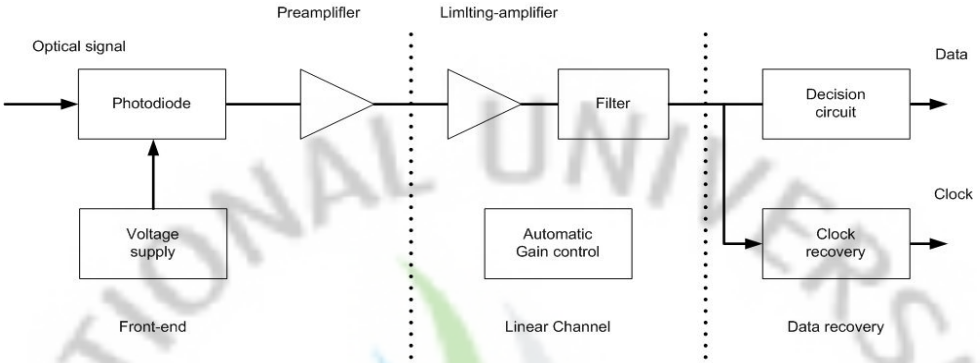


Fig. 10 Optical receiver block diagram

2) 광수신기 성능 및 특성

감도는 광세기의 함수로서 광 입력신호에 대한 응답을 측정한다. 단위는 A/W로 나타낸다. 광 검출기 감도는 두 가지 다른 단위로 측정될 수 있다. 응답도는 입력 광 전력에 대한 전류의 비 A/W이다. 양자효율은 검출기에 들어오는 광자에 대한 전자 발생 수로 정의 된다. 응답도와 양자효율은 둘 다 입력 광파장과 검출기 재료에 따라 결정된다. Fig. 11은 각종 재료에 대한 광 검출기의 응답특성을 나타내주고 있다

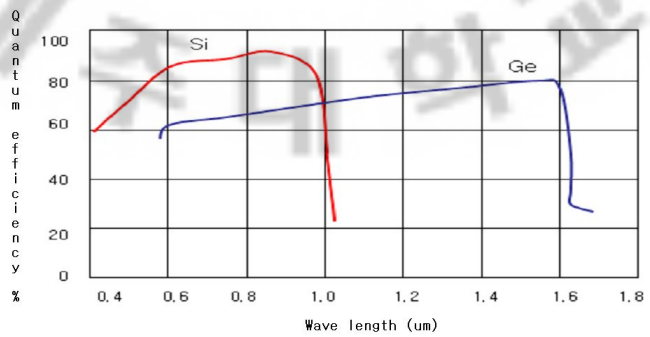


Fig. 11 Photo diode response curve

Fig. 12는 광 검출기의 잡음원을 보여주고 있다. 이상적인 검출기는 입력 광에만 종속되는 출력신호(전류)를 발생하고, 어둠에서는 전혀 전류를 발생하지 않아야한다. 그러나 검출기는 약간의 출력전류를 발생한다. 이러한 전류를 암 전류라고 한다. 이 전류는 검출기 내에 내재되어 있는 전기잡음의 척도이며 암 전류는 동작온도, 바이어스 전압과 검출기 종류에 의존한다. NEP(Noise equivalent power)는 검출기(수신기)로부터 잡음 제곱근과 같은 전류를 발생하기 위해 필요한 입력전력이다. 즉, NEP는 평균 검출기 잡음을 발생하기 위해 필요한 광 전력이다. 이것은 잡음과 광 전력을 비유하기 때문에 최소 검파 가능한 신호를 더 직접적으로 측정한다. NEP는 변조신호의 주파수, 잡음이 측정된 대역폭, 검출기 면적과 동작온도에 달려있다.

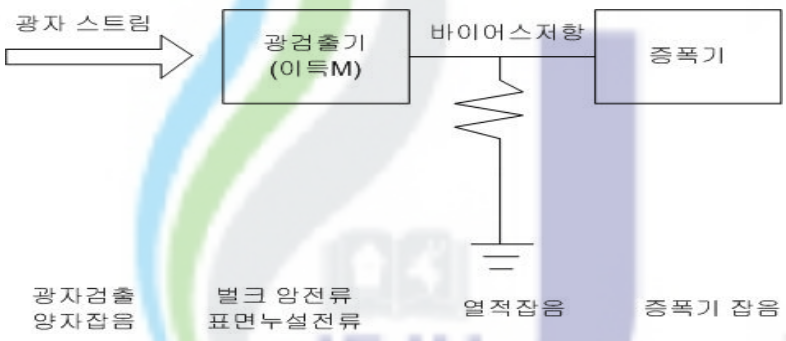


Fig. 12 Photo diode noise source

3. HVDC 점호제어시스템의 광 송·수신기 역할

제주-해남 HVDC 점호제어는 상시 12펄스 신호전송이 이루어져야 하기 때문에 대용량 정보전송에 적합하고, 장거리의 전송에도 데이타 손실을 줄일 수 있다. 또한 전자파 및 고전압에 영향을 받지 않고, 빠른 점호 전송속도에 적합한 광케이블을 채택하고 있으며, 변환설비의 주요 입·출력 인터페이스카드에 광 송·수신기가 적용되어 설치되어 있다. 제주-해남 HVDC 광케이블선은 설치 강도면에서 강한특성이 있고 단말처리가 편리한 플라스틱광케이블과 상대적으로 단말처리는 어렵지만 주요 데이타전송

선에 필요한 유리광케이블의 2가지 종류로 구성되어 있으며 광 송·수신 관련카드는 948ea/변환소 설치되어 운영중이다. 유리광케이블 전송선은 PCCS(Pole control command system)로부터 VBE(Valve base equipment)에의 사이리스터 밸브 점호명령, VBE로부터 PCCS에의 밸브 재점호명령, TFM(Thyristor fault monitor)로부터 VBE에의 제어명령, VBE로부터 TFM에의 상태신호 수신 등의 주요역할이 있으며, 플라스틱 광케이블 전송선은 사이리스터 밸브점호, VBE에서 밸브로 결합부분 온도 정보제공, 밸브에서 VBE로 정보전송, 밸브 냉각수 누수 센서 신호를 제공한다. Table 1, 2는 제주-해남 변환소 유리 및 플라스틱 광케이블 설치수량이다. Fig. 13은 제주-해남 변환설비 광케이블선 구성도를 나타내고 있으며, Table 3은 광 점호 송·수신 카드 설치 및 수량을 보여주고 있다.

Table 1 Fiber optical cable establishment quantity

		Pole Control ↔ VBE	VBE ↔ TFM	VBE ↔ VBE (A,B,C상)
Conversion station	제주	24Line	6Line	6Line
	해남	24Line	6Line	6Line
Total		48Line	12Line	12Line

Table 2 Plastic optical cable establishment quantity

	Optical cable / Valve		Optical cable / Quadrivalve		Leakage detector	Conversion station ×6(#1,2Pole)		Total
	Jeju	Haenam	Jeju	Haenam		Jeju	Haenam	5380 Include preliminary line 78 ea
VBE ↔ Valve	96	92	384	368	6	2724	2628	

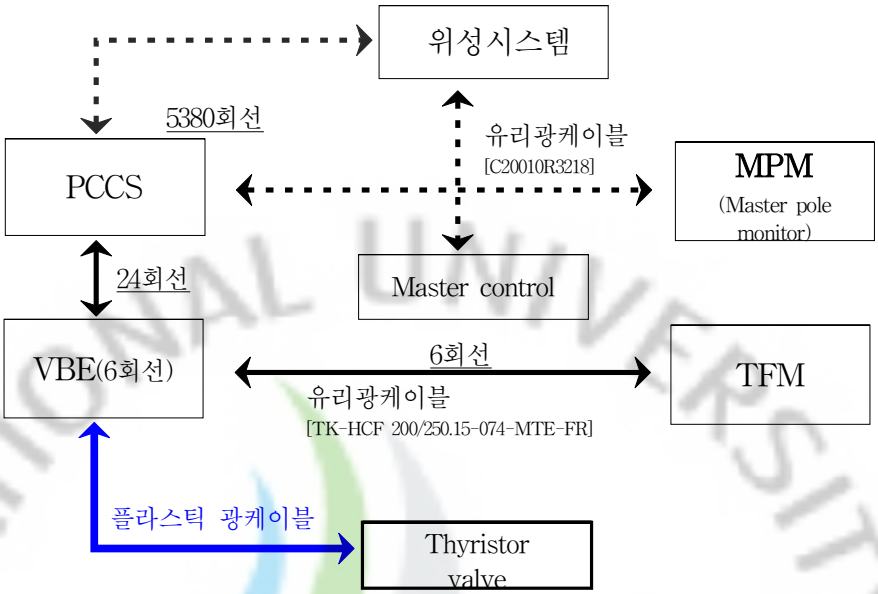
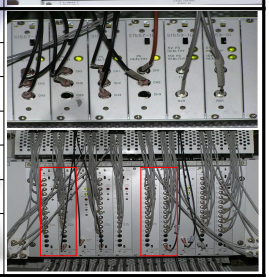


Fig. 13 Jeju-Haenam HVDC converter equipment optical cable line

Table 3 Establishment quantity of Jeju C/S optical card

	Card type	quantity	Photos
Pole control	1557-10	8	
	1558-10	16	
Valve based electronics	1549-30	96	
	1550-40	24	
	1557-10	18	
	1558-10	6	
	1559-10	12	
	1560-10	96	
	1560-20	96	
Valve hall	1561	576	
Total		948	

4. HVDC 점호제어시스템에 광 송·수신기 중요성

변환설비 점호제어장치는 HVDC 설비중 주요핵심설비이며 주요제어기 상호 인터페이스 및 사이리스터 점호 입출력 신호전송 처리를 송·수신 카드에 의해서 이루어지고 있기 때문에 변환설비 내 광 송·수신기 불량 발생시 사이리스터 점호명령 상실에 의해 전류실패가 발생하면서 중대고장으로 인식 변환설비프로그램 제어에 의해 자동으로 시스템이 정지가 된다. 제주-해남 HVDC 변환설비는 제주계통 약 50 % 부하를 수전 받고 있는 실정이므로 변환설비 고장에 따른 영향으로 제주전역 광역정전으로 파급되는 결과를 초래 할 수 있어 매우 중요한 설비이다.

5. 제주-해남 HVDC 변환설비 광 점호 시스템 구성

제주-해남 HVDC의 광 점호 제어시스템 구성은 Fig. 14와 같이 구성되어 있으며, 점호 신호 생성 절차는 다음과 같다. PCCS에서 전압 명령 및 전류 명령을 발생 시키고 위상제어에서는 명령값과 실제 전압, 전류 값을 비교하여 점호신호를 생성하여 싸이이스터 점호제어기에 전달한다. 점호제어기에서는 위상제어로 부터의 점호신호 명령과 VBE로 부터의 재점호 명령이 서로 응답하여 코드화된 펄스를 만들고 광케이블을 통해 VBE로 전송된다. VBE에서는 점호제어기로부터 점호펄스를 받아 48ea/밸브를 동시에 게이트장치에 점호 펄스를 전송하고 게이트장치는 실제 사이리스터를 점호시킨다. 점호 펄스는 최종적으로 모든 사이리스터 점호상태 확인을 위해서 상 제어기의 점호신호 모니터에 전송한다.

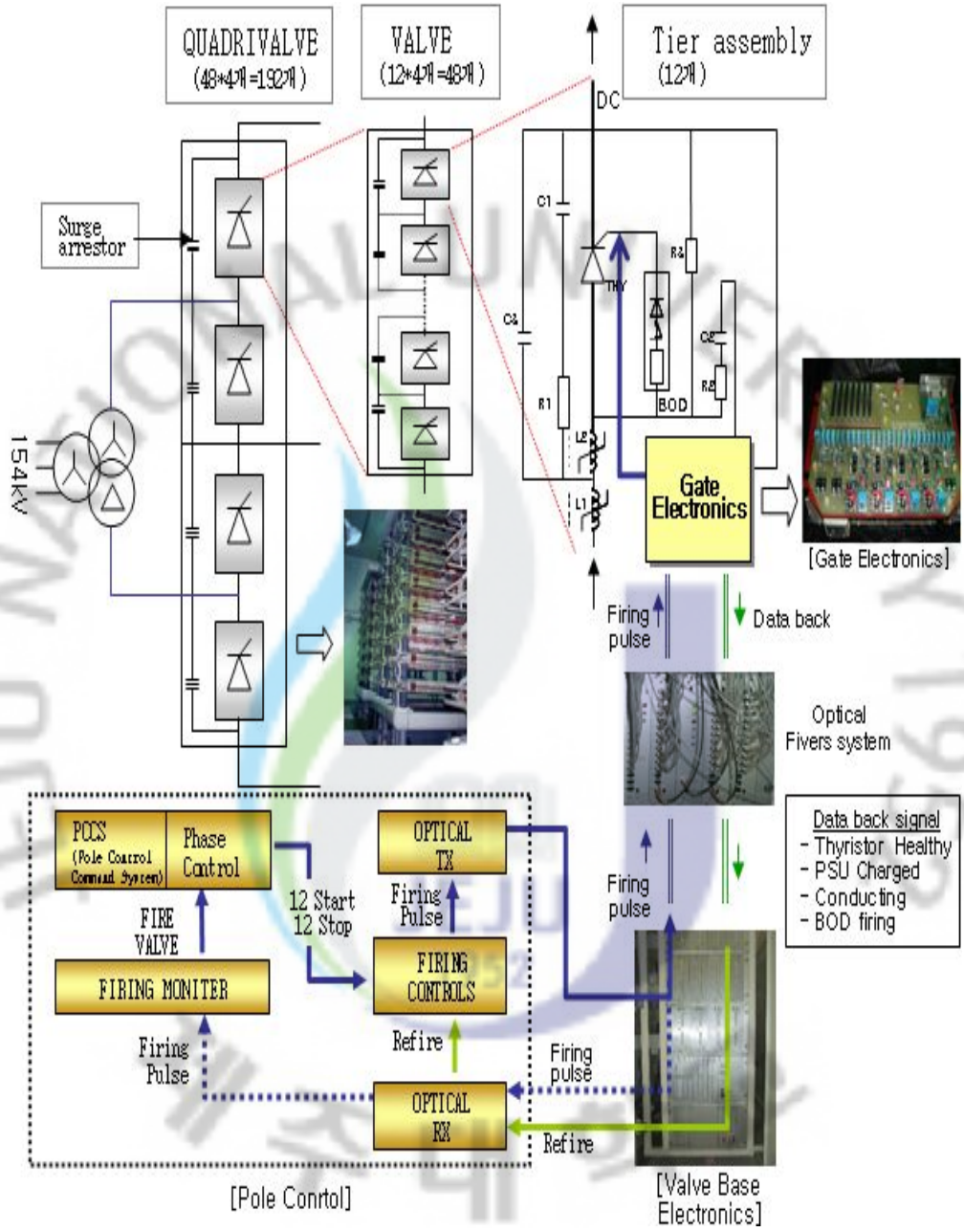


Fig. 14 Block diagram of Jeju-Haenam HVDC optical firing system

Ⅲ. 광 수신기 불량원인 분석

1. 불량원인 분석 흐름도

광수신기의 불량원인을 분석하기 위하여 Fig.15에서와 같이 6단계의 과정을 수행한다. 이분석과정을 통하여 광수신기의 불량원인을 단계별로 추적하여 이에따른 대처를 정확하게 하도록 하는데 목적이 있다.

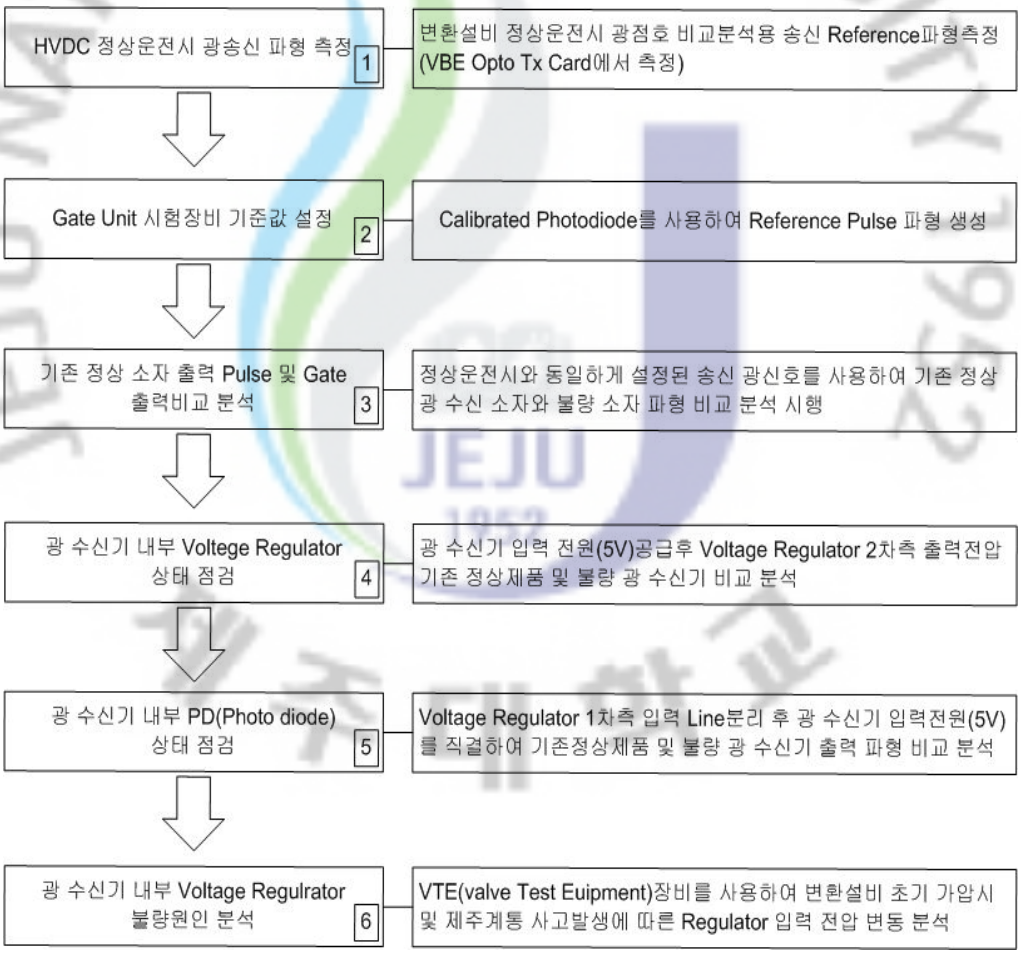
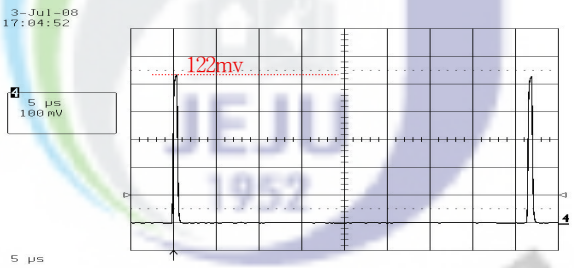


Fig. 15 Flowchart of fault analysis at optical receiver

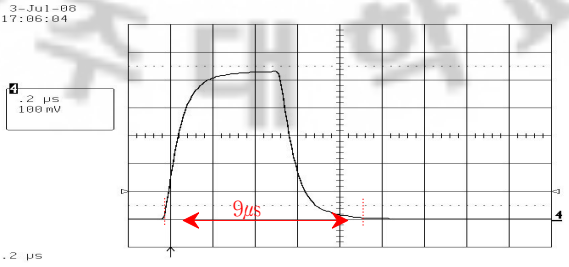
2. 정상 운전시 비교분석용 송신파형 기준값 측정

변환설비 정상 운전시 광 점호신호 크기, 파장, 시동 펄스 간격, 폭 등의 기준값을 측정하기 위하여 VBE 광수신 카드에 설치되어 있는 예비 광송신 케이블 점호신호를 교정 광다이오드와 오실로스코프를 사용하여 비교분석용 실제 시동 점호 펄스를 측정하였다. Fig. 16는 송신 기준 펄스를 측정사진 및 출력 펄스를 나타내고 있다.

(a) Photo of firing pulse measurement



(b) Waveform of firing transmission pulse interval

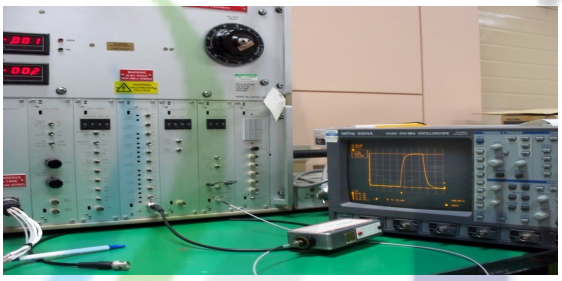


(c) Waveform of firing transmission pulse width

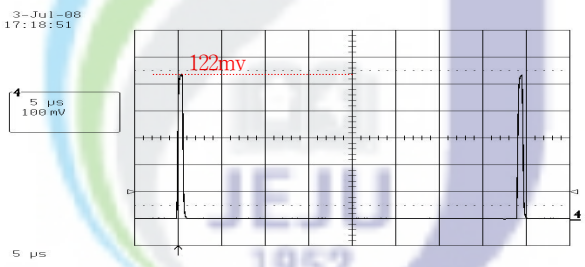
Fig. 16 Fire transmission pulse measurement for comparison analysis

3. 게이트 구동 시험장비 기준값 설정

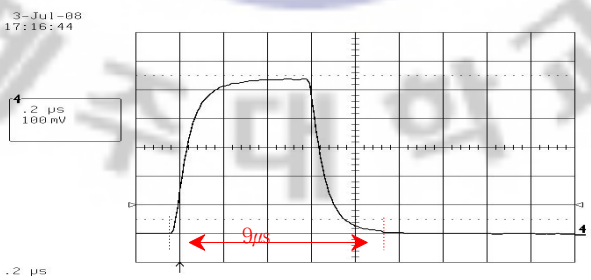
GUT(Gate Unit Tester)장비의 점호 송신선측과 오실로스코프 사이에 교정된 광다이오드를 장착하여 정상 운전시 VBE에서 취득한 기준펄스와 동일한 펄스를 생성하기 위해서 GUT의 광 출력 조절기를 조절하여 동일펄스를 생성하였다. Fig. 17은 GUT장비 출력 펄스를 보여준다.



(a) Photo of test scene



(b) Waveform of firing pulse interval

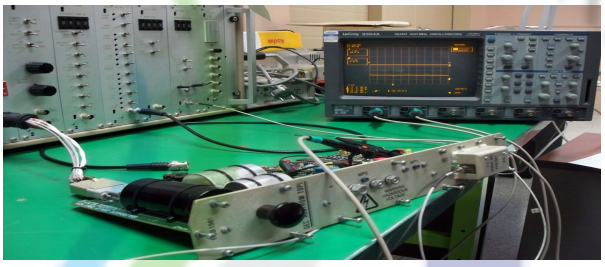


(c) Waveform of firing pulse width

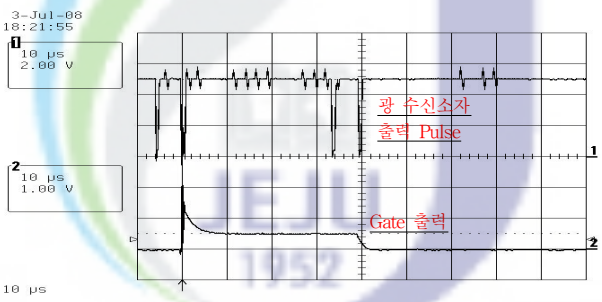
Fig. 17 Gate unit tester test scene and measurement waveform

4. 출력파형 비교

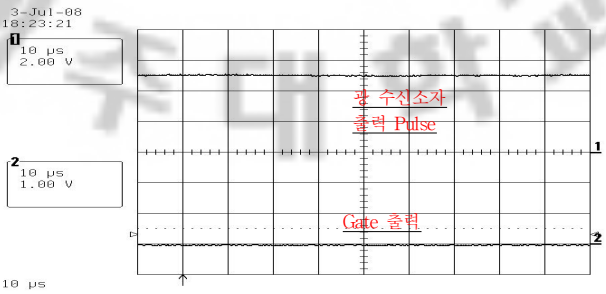
기존의정상 및 불량 광 수신 소자가 결합된 GUA(Gate Unit Assembly) 카드에 정상 운전시와 동일한 기준 점호 펄스를 공급하였고, Fig. 18은 정상 및 불량 광 수신기 출력 펄스와 사이리스터 게이트 출력 펄스 측정 파형을 보여준다.



(a) Photo of GUT test scene



(b) Output waveform of normal GUA device

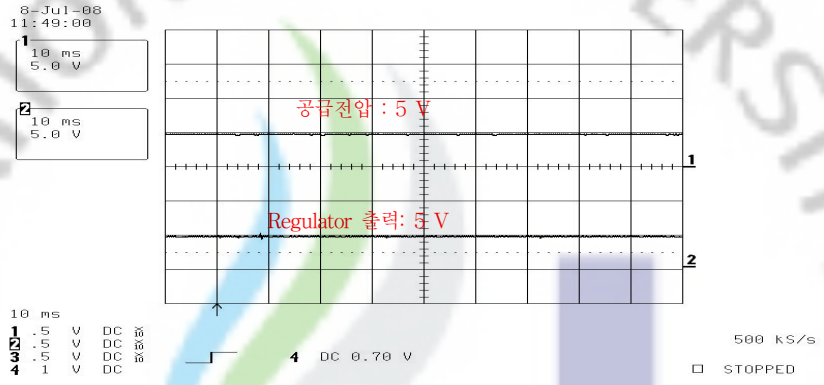


(c) Output waveform of abnormal GUA device

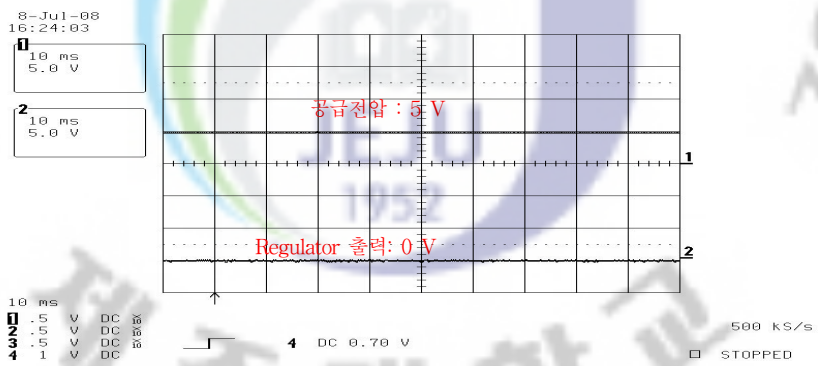
Fig. 18 Waveform of normality and abnormality GUA card

5. 전압조절기 상태 분석

GUT장비에서 정상 및 불량 광 수신기에 내부 입력전원 5 V를 공급하고 전압조절기 2차측 전압파형을 측정을 하였다. Fig. 19는 정상 및 불량 광수신기 입력전압 및 전압조절기 2차측 출력전압 변동사항을 보여 준다.



(a) Waveforms of input and output voltage with existing device

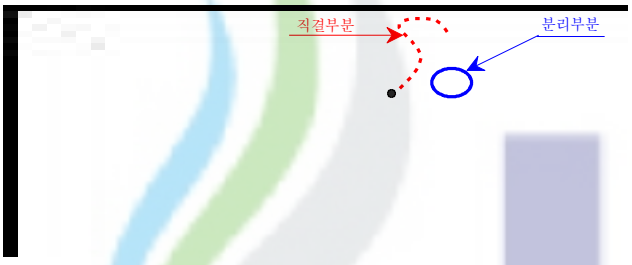


(b) Waveforms of input and output voltage with abnormal existing device

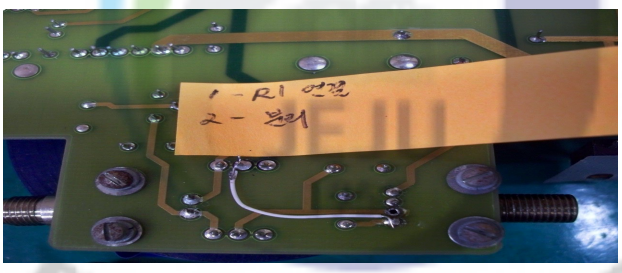
Fig. 19 Waveform of optical receiver input and regulator output voltage

6. 광다이오드 상태 분석

전압조절기 및 광다이오드 상태 확인을 위하여 불량 광 수신기 내부 전압조절기 1차측을 분리하고 내부전원 5 V를 바이패스 시킨 후 광 수신기 출력파형을 측정하였다. Fig. 20은 기존 및 불량 광수신기 전압조절기 1차측을 분리하고 내부전원을 바이패스 시킨 도면이며, 기존정상 및 불량 광 수신기 2차 출력 펄스는 Fig. 21에서 보여주고 있다.

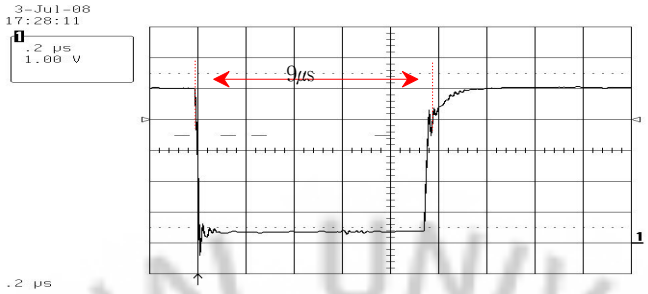


(a) Regulator bypass circuit

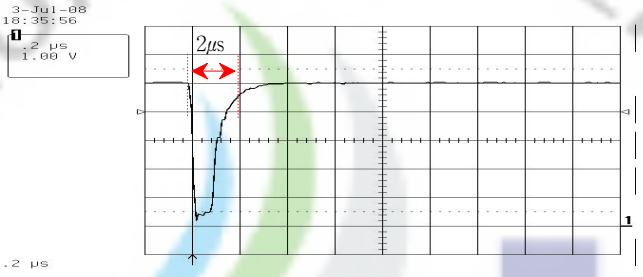


(b) Regulator bypass picture

Fig. 20 Existing optical receiver circuit and regulator output short



(a) Optic receiver firing output pulse(nomal)



(b) The firing output pulse when regulator bypass (fault)

Fig. 21 Optical fire pulse test after regulator input short

7. 전압조절기 불량원인 분석

변환설비의 가압 및 제주계통 사고에 의한 계통전압 변동시와 BOD(Break over diode) 동작시 광 수신기 내부 전압공급원인 GUA 카드 입력측 전압변동에 의한 파급영향으로 광 수신소자 내부전압 5 V가 불규칙하게 입력되는 전압 파형을 측정하기 위해서 변환설비 최초가압 및 계통사고 상황과 동일하게 시뮬레이션이 가능한 VTE(Valve test equipment)장비를 사용하여 파형분석을 시행하였다. Fig. 22는 파형분석을 위한 GUA 카드 주요 측정점을 나타내고 있다

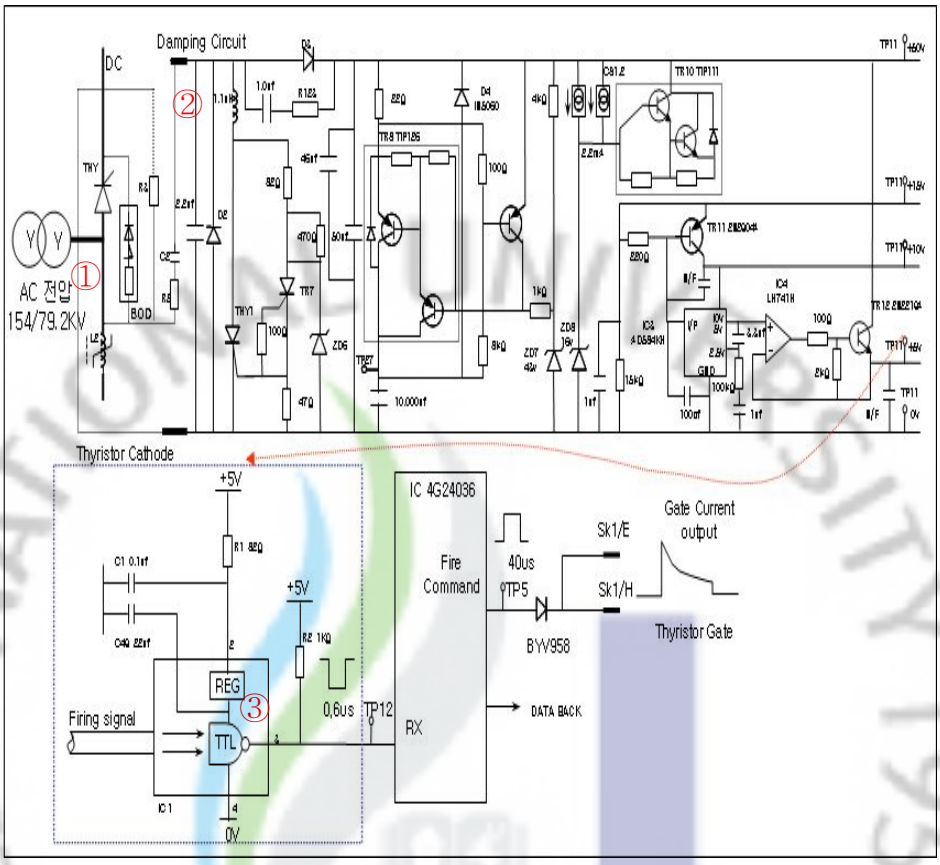
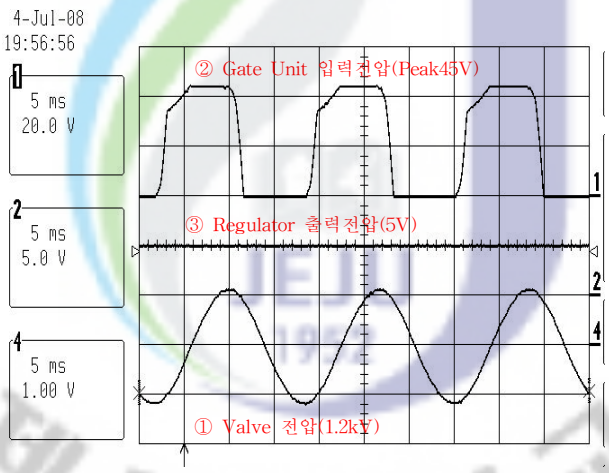


Fig. 22 Measuring point of GUA Card

실계통 시험 장비인 VTE 장비를 사용하여 정상 운전시에 비교분석을 위한 측정 Point ①,②,③를 선정하여 파형을 측정하였으며, 변환설비 정상 운전시 출력파형은 Fig. 23에서 보여준다.

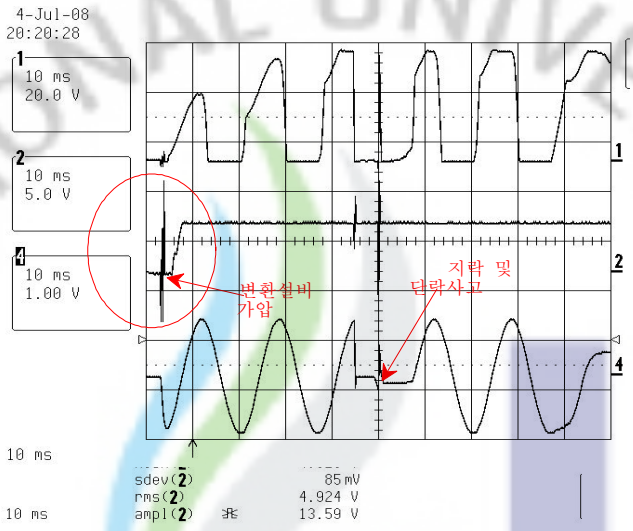
(a) Photo of measuring pulse with VTE



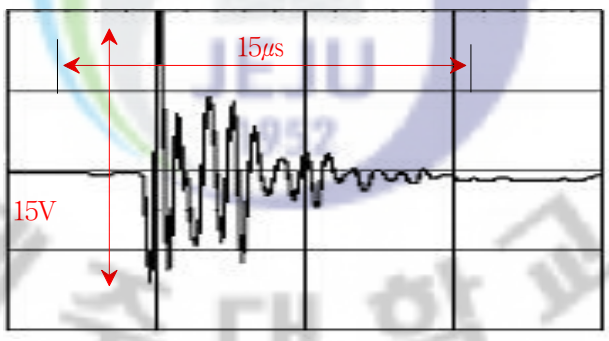
(b) Waveforms of point ①,②,③ in normal operation

Fig. 23 Waveforms of measuring point ①,②,③ at firing control card

Fig. 24는 기존에 사용되고 있는 사이리스터 점호제어용 전원조절기에서 변환설비 가압 및 계통사고 발생시 출력전압 측정결과를 나타내고 있다. 또한 광수신 소자 불량에 의한 점호실패로 BOD가 동작 했을 때의 측정결과를 나타내고 있다.



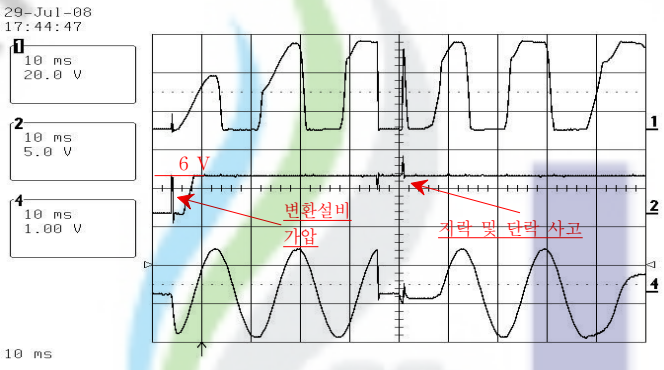
(a) Waveforms of point ①,②,③ in goto service and T/L trouble



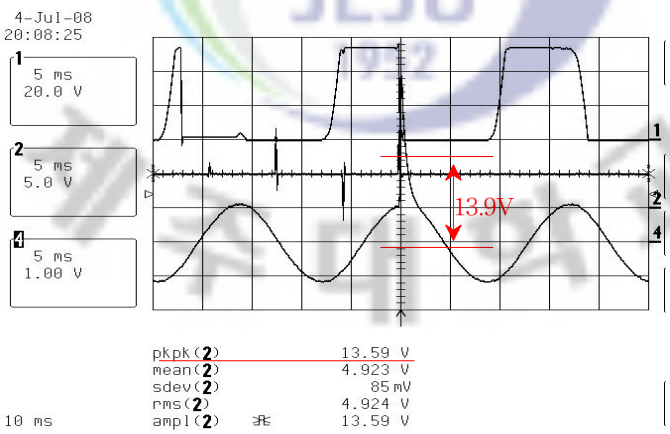
(b) Enlarged waveform of voltage regulator

Fig. 24 Waveforms of existing voltage regulator VS goto service and T/L trouble

Fig.25는 본 논문에서 제안된 제어기를 사용하여 Fig.24에서와 같은 운전조건하에서 구동 하였을 때의 측정결과들을 나타내고 있다. 이 결과에서 보면 가압시는 기존제어기나 제안된 제어기의 출력 특성이 큰 차이가 없지만 지락이나 단락사고시의 출력특성은 크게 다르게 나타나고 있다. Fig.24(b)에서 보면 전압조절기의 출력전압이 약15 μs동안 크게 진동하는 과도상태가 나타나고 있음을 알 수 있다. 반면에 제안된 제어기에서는 우수하게 나타남을 보여주고있다.



(a) Waveforms of point ①,②,③ in goto service and T/L trouble(proposed receiver module)



(b) The regulator waveforms of Bod mode

Fig. 25 Waveforms of proposed voltage regulator VS goto service and T/L trouble

8. 불량 원인분석 결과

GUT 장비를 이용하여 정상 운전시 동일한 입력 점호 펄스 및 광 수신기 내부 입력 전압 5 V를 공급하여 출력 펄스 및 내부 인가전압 변동을 비교한 결과 전압조절기 2차 전압이 0 V로 광 수신 소자내부 전압조절기가 비정상 동작하는 것을 발견 하였다. 전압조절기의 불량원인을 정밀분석 하기위하여 내부전원 5 V를 전압조절기 2차측에 바이패스 시켜 출력전압을 측정한 결과 광 수신소자 내부 광 검출용 광다이오드부분은 정상인 것을 알 수 있었다. 전압조절기 불량원인은 실제 계통 시뮬레이션 장비인 VTE를 사용하여 분석한 결과, 변환설비의 가압시, 지락이나 단락에 의한 계통 사고시 또는 점호실패에 의한 BOD 동작등에 의한 영향으로 광 수신 소자 내부 입력 측에 써지성 전압 인가에 따른 파급으로 광 수신기 내부에 설치되어있는 전압조절기가 소손되어 불량이 발생한 것으로 나타났다.

Ⅳ. 제안된 광수신기 개발 및 제작 과정

1. 광 수신소자 선정

기존 광수신소자의 전기적 스펙을 확인하여 대체 할 수 있는 유사 광 수신 소자를 검토 하였으며, 기존 광케이블 커넥터와도 호환 할 수 있는 Type인 SMA(Subminiature A)의 광케이블 접속 커넥터 형으로 광 수신 소자를 선정하였다. 다음의 Table 4는 광수신 소자의 기존 스펙과 개발된 광수신 소자의 스펙을 정리 하였다.

Table 4 Specifications of existing and proposed optical receiver

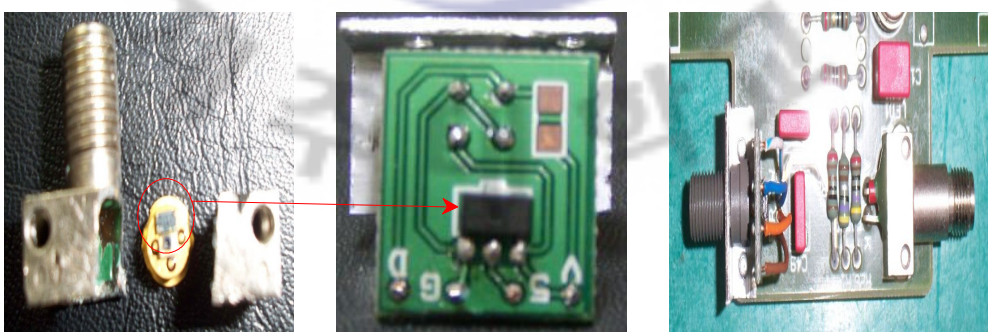
Items	Existing optical receiver device	Proposed optical receiver device	Remarks
λ-Wave length	850nm	820nm	No degree of sensitivity
Typical sensitivity	-33dBm (0.0005mW)	-35dBm (0.00032mW)	Optical Power dBm= 10×log p(mW)
Signal Rate	10 Mbps	10Mbps	
Rise time/ Fall time	tr=12ns tf=3 ns	tr=14ns tf=3.08 ns	
Operation Temperature	-40~85 ℃	-40~85 ℃	
Supply Voltage	4.5~5.5V	3.5~7V	
Connector	SMA 1/4-36UNS	SMA 1/4-36UNS	subminiature version "A"

2. 전압조절기 선정과 회로구성

현재 사용되고 있는 광수신 소자의 매입형 전압조절기는 변환설비의 가압시나, 계통사고 그리고 점호실패에 의한 BOD동작시 서지성 전압에 대해서 소자가 파괴될 가능성이 있다. 따라서 대체 광 수신모듈에는 외부 단독형으로 전압조절기를 설치하였고, 광 수신 소자와 회로적 결합을 위하여 PCB(Printed circuit board)를 제작하여 회로를 구성하였다. Table 5는 기존 광 수신 소자의 전압조절기와 제안된 광수신 소자 전압조절기의 특성을 비교하였고 기존 광 수신 소자에 매입되어있는 전압조절기의 SPEC에 관해서는 별다르게 찾아볼 방도가 없었다. Fig. 26은 실제 전압조절기 개선 사진이며, Fig. 27은 외부 전압조절기 소자를 이용하여 PCB보드로 회로가 구성된 광수신 소자 모듈의 구성에 대하여 나타내었다.

Table 5 Specifications of existing and proposed voltage regulator

Items	Existing Regulator	Proposed Regulator	Remarks
Type	Incircuit Regulator	Individual type	
Input Voltage	No verification	Max 10V	
Output Voltage	No verification	5±0.1V	
Output Current	No verification	Max 200mA	



(a) Existing module (b) Proposed module (c) Proposed product

Fig. 26 Voltage Regulator improvement products and join with PCB Card

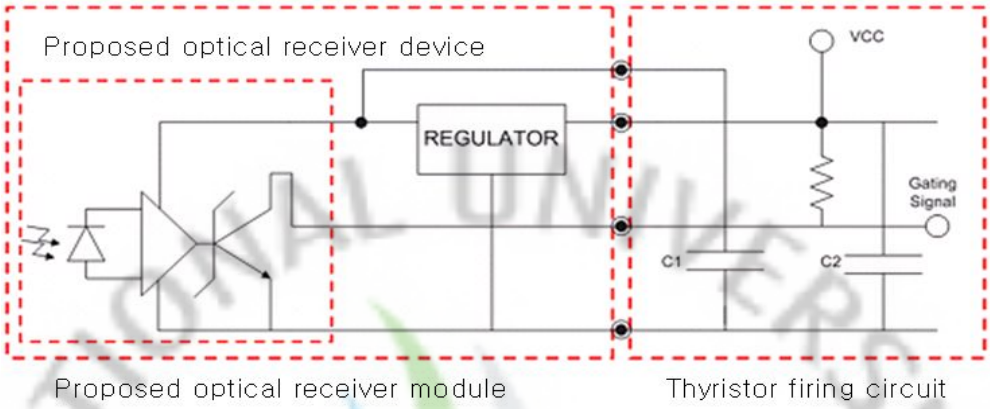


Fig. 27 Organization of Proposed optical receiver module

3. 광 수신기 제작과정

본 논문을 통하여 제작된 광수신 모듈의 제작과정이 Fig. 28을 통하여 나타내어 졌으며, 광 수신 모듈을 사이리스터 점호 제어PCB 카드에 결합하기 위한 구조물을 알루미늄 재질로 하여 제작 되었고 전압조절기 회로를 PCB로 제작, 조립하여 광수신 모듈을 제작하였다.

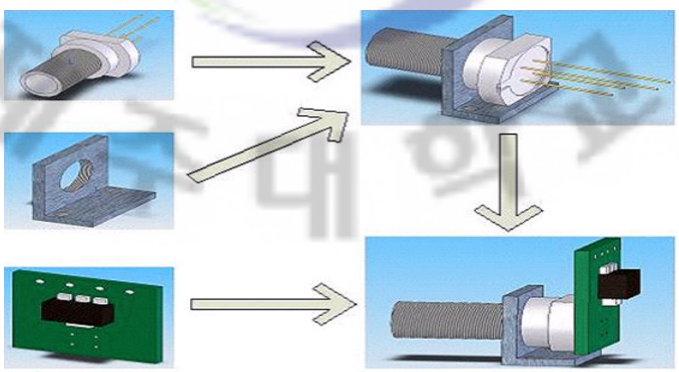


Fig. 28 Manufacturing process of proposed optical receiver module

Ⅴ. 광 수신기 개발품 실증작업

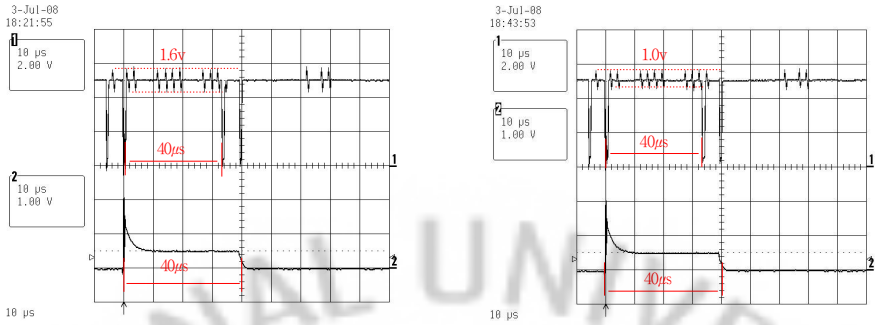
제안된 제주-해남 HVDC 광점호 시스템의 광수신기의 현장 적용을 위한 최종실증 작업을 진행하였으며, 시험방법은 GUT 장비를 사용하여 기존제어기와 제안된 제어기의 점호 펄스, 폭, 크기 등의 최종 1차 시험을 거쳐 자체 점호신호를 생성할 수 있고, 데이터 검증 신호를 피드백 받을 수 있는 실제 계통 시험 장비인 VTE 장비를 사용하여 전력연구원 계통시험센터 입회하에 최종 실증 2차 시험을 시행하였다. Fig. 29는 최종1차, 2차 실증시험 장면을 보여준다.

(a) 1st test with GUT (b) 2nd test with VTE

Fig. 29 Photo of proposed module test for actual application

1. GUT 장비를 사용한 파형 비교시험

GUT 장비를 사용하여 기준 광 신호를 발생시켜 점호 펄스 간격 및 폭, 크기, 게이트 출력파형을 측정 하였으며, 결과는 Fig. 30에 나타나 있다. 이 결과에서 보면 기존에 사용되고 있는 제어모듈과 제안된 제어모듈의 특성이 거의 동일한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.



(a) Existing module (b) Proposed module

Fig. 30 Waveform of GUT equipment with existing and proposed control module

2. VTE장비를 사용한 실 계통 실증시험

본 논문에서 제안된 제어기를 실계통에 적용하기 앞서 VTE장비를 통해 실계통과 같은 현장 모의 시험을 한다. Fig.31은 게이트 장치에 전원을 850 → 65 V로변경 공급후 240 cycle 동안 유지시켜 나타난 결과를 보여주고 있다.

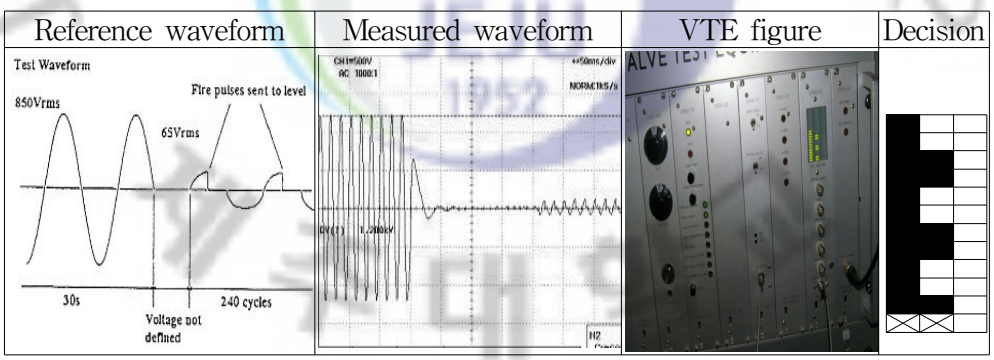


Fig. 31 Power supply storage test

Fig. 32는 사이리스터 정상 피크전압 1200 kV상태에서의 점호 유무시험 이며 결과를 나타내고 있다.

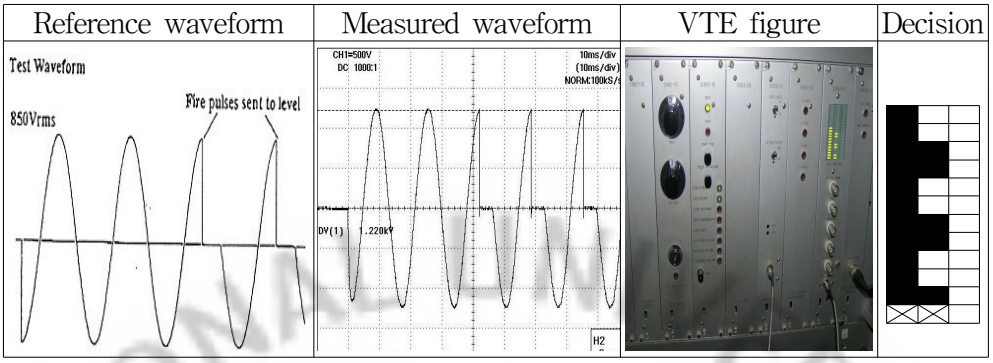


Fig. 32 Firing above 60V interlock test

Fig. 33은 사이리스터에 인가되는 전압이 60 V에 도달 했을 때만 사이리스터가 점호가 되는 지를 시험하여 나타낸 결과이다.

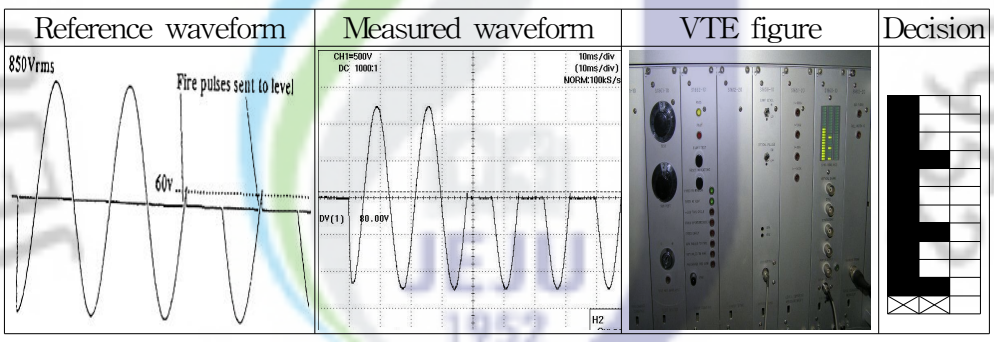


Fig. 33 Firing at the 60V interlock test

Fig. 34는 1400 V/μs 의 dv/dt 순방향 전압이 인가 되었을때 사이리스터를 점호시키지 않는 것을 점검하는 시험결과이다.

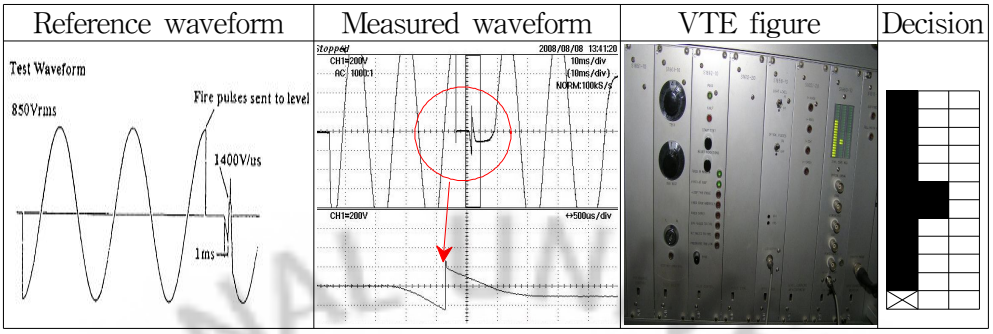


Fig. 34 dv/dt withstand test

Fig. 35는 1600 V/μs의 dv/dt 순방향전압이 인가 되었을때 사이리스터 보호 점호 발생 확인 시험결과이다.

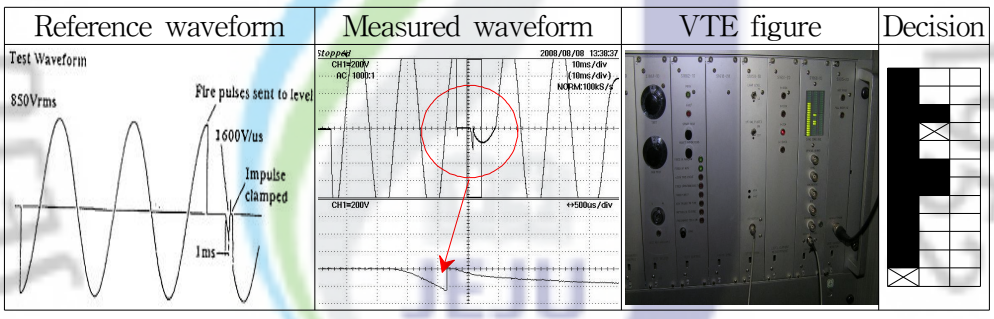


Fig. 35 Protective firing test

Fig. 36은 GUA 카드가 방전된 후 4.8kV, 50 V/μs 의 써지에서 BOD 미동작 시험 결과이다.

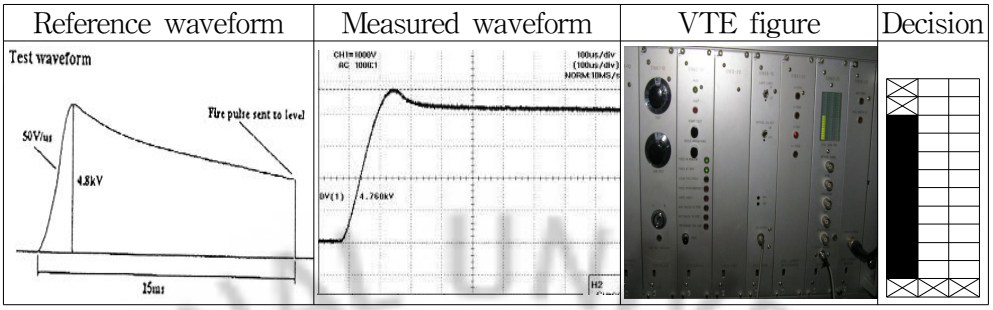


Fig. 36 Impulse test under BOD level test

Fig. 37은 실효치 전압을 850 V 인가후 5.1 kV, 50 V/㎲의 써지에서 BOD가 동작하여 사이리스터 보호 점호 유무 시험 결과이다.

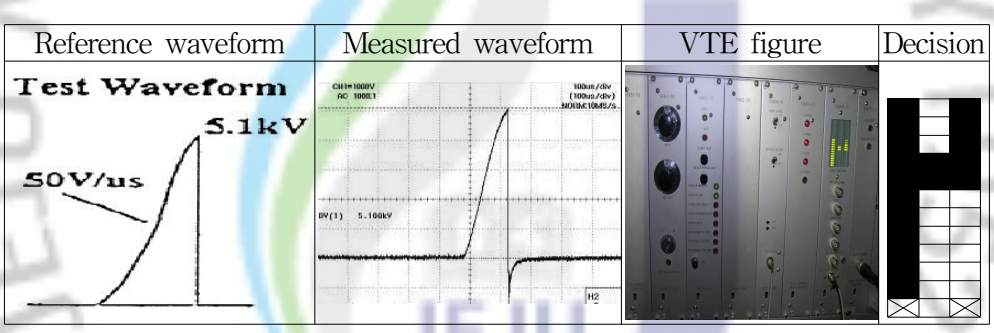


Fig. 37 Positive impulse with charged test

5.1 kV의 임펄스 전압후 6 ms 이후 4.8 kV의 임펄스 전압 공급, 첫 번째 임펄스에서 BOD 동작후 두 번째 임펄스 에서는 BOD 미동작 확인시험이며, 결과는 Fig. 38에서 보여준다.

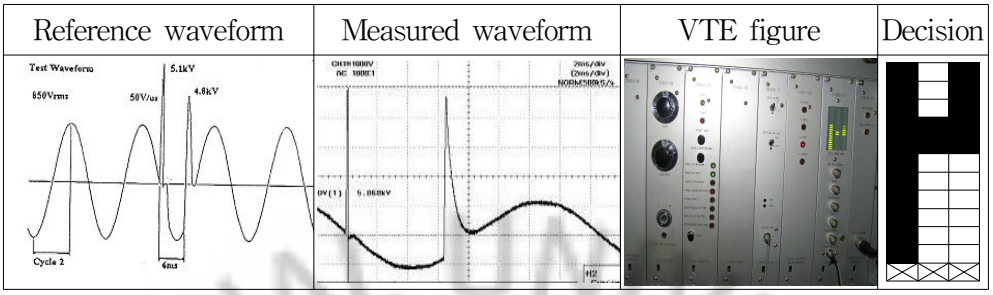


Fig. 38 Double positive impulse-protective firing on fires impulse only test

Fig. 39는 5.1 kV의 임펄스 전압후 5.5 ms 이후 2.3 kV의 임펄스전압 공급, 두개의 임펄스 모두에서 BOD 동작 유무 확인시험 결과이다.

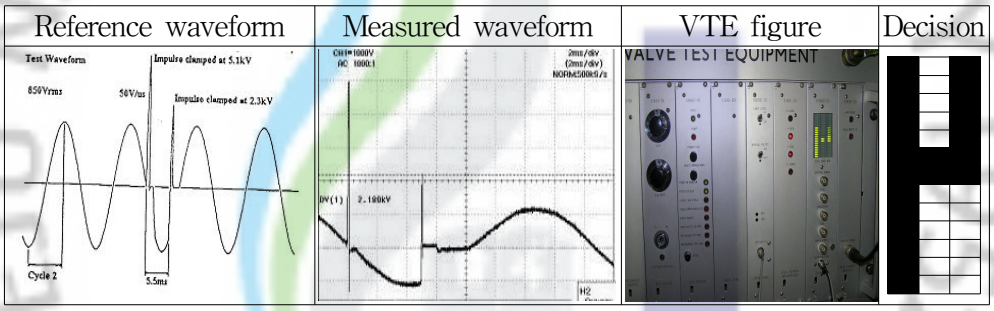


Fig. 39 Double positive impulse protective firing on both impulse test

Gate Unit 방전된 후 4.6 kV, 500 V/μs 의 임펄스 전압에서 BOD 미동작 확인 시험이며, 결과는 Fig. 40에서 보여준다.

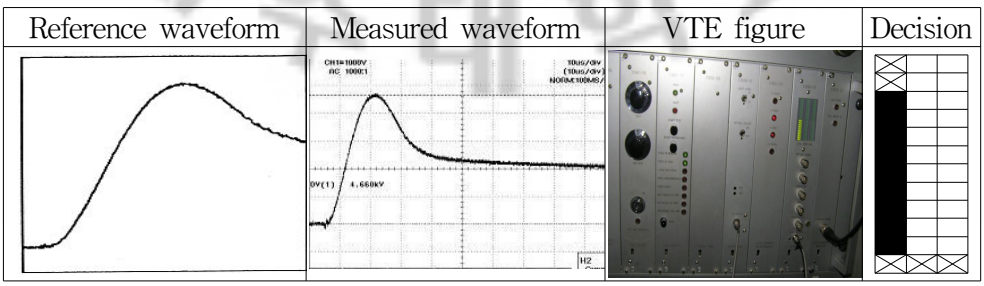


Fig. 40 Fast BOD test

3. 개발품 현장 시범 적용

실계통 시험 완료후 '08. 2월 ~ 8월 현재 까지 현장 시범 적용후 모니터 링 중 에 있으며 현장적용 사항은 아래의 Table 6과 같다.

Table 6 Local sample application of improved optical receiver

구 분	상 별	대상설비	구 분	상 별	대상설비
#1Pole	A상 2Set	THV 6-1-1 THV 7-1-11	#2Pole	A상 1Set	THV 1-4-1
				B상 1Set	THV 4-1-3
	C상 1Set	THV 2-2-4		C상 2Set	THV 2-4-1 THV 9-2-4

4. 개발품 시행 효과

무형의 효과로는 제주계통의 안정적인 전력공급에 이바지할 수 있으며 제작사(UK 영국)제작 중단품인 GUA 카드의 광 수신기 대한 국산화 개발을 통해 변환설비 핵심 설비 예비품 확보(2304ea/제주, 해남) 및 첨단설비 전문기술력 확보로 해외 진출토대 마련을 할 수 있는 기틀을 마련하였다. 유형의 효과로는 GUA 카드 및 광 수신기의 외자 주문제작비용을 절감 할 수 있고 또한 변환설비 고장예방을 통해 발전제약비용을 절감(29억원/년) 할 수 있는 것으로 조사되었다. Table 7은 예산절감 세부산출내역을 나타내고 있다.

Table 7 Detailed calculation contents about budget reduction

□ **총 예산절감 합계 : 29억6천/년**
가. 외자 주문제작비용 절감
○ 산출식 : (1,300만원 × 86개/년) - (27만원 × 86건/년) = 10억9천/년
○ 산출근거 :
- 광 수신 소자 단종에 따른 점호제어장치 주문제작비 : 1,300만원/개당
- 광 점호제어장치 '07년도 불량건수 : 86건(제주,해남 포함)
- 국산화 개발품 : 27만원/개당
나. 변환설비 고장예방을 통한 발전제약비용 절감
○ 산출식 : (95.9원 - 81.4원) × 150,000kW × 86건 ×10h = 18억7천/년
○ 산출근거 :
- 제주발전 평균단가 : 95.9원('07 기준)
- 육지발전 평균단가 : 81.4원
- 광 점호제어장치 2007년도 불량건수 : 86건(제주,해남 포함)
- 고장복구 시간 : 10h

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 제주-해남 HVDC 시스템의 사이리스터 점호 제어용 광수신기 모듈 개발에 관한 연구를 수행하였다. 수행과정에서는 기존에 사용되고 있는 모듈을 모델로 정하여 동작과 성능이 같은 특성을 갖도록 하는데 주 목적을 두고 개발을 하였다. 광수신기 개발을 위한 광수신 소자 및 회로구성은 기존 제품의 불량원인을 분석하여 이를 개선 할 수 있는 방안을 가지고 시행하였다. 이상과 같은 방법과 목적을 가지고 시행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 기존 모듈에서 갖는 내부매입형 전압조절기는 순간 써지전압에 취약하여 자주 소손되는 현상이 나타났다. 이를 개선하고자 본 논문에서는 외부 분리형으로 전환하여 동작시킨 결과 기존 제품에서는 갖는 출력전압변동이 현저하게 줄어듦을 알 수 있었다.

2) 개발된 모듈의 현장 적용에 앞서 실계통 시험 장비인 VTE를 이용하여 시험한 결과 기존 제품과 같은 동작 특성을 얻을 수가 있었다.

3) 개발된 모듈을 08년 2월부터 현재까지 실계통에 투입하여 모니터링 한 결과 아직 까지는 문제없이 동작되고 있어 개발된 모듈 성능이 양호함을 알 수 있었다.

이상과 같은 결론을 종합해보면 기존 제품에서 갖는 불안정한 동작특성과 자주 발생하는 소손문제를 개선할 수 있고 또한 제어기 모듈의 국산화를 이루어 예산절감효과를 볼 수가 있었다. 이러한 것들은 제주계통의 안정적 전력공급, 저렴하고 손쉬운 예비품확보, 그리고 첨단 기술력 확보라는 유무형의 효과를 크게 기대할 수 있을 것이라고 사료된다.

참 고 문 헌

[1] KEPCO. 계통계획실 제주 - 육지 HVDC 연계설비 건설 타당성 검토 보고서, 2000.

[2] KEPCO. 제주지사 HVDC 변환설비 고장분석 사례집, 1999~2007.

[3] Y. Kobayashi, Y, Akatsu, K. Nakagawa, H. Kikuchi, and Y. Imai,"Compact 10-Gbit/s Optical and receiver Circuit Packs", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.43, 8, pp1916-1922, Aug. 1995.

[4] D. Wilhelm Director EPRI, High Voltage Direct Current Handbook(First Edition), 1992.

[5] KEPRI A Basic Technology Development of HVDC Transmission System 최종보고서, 2001.

[6] KEPRI HVDC Phase Control TM.97ES01. S1999.

[7] KEPCO. HVDC 변환설비 유지보수 영국 (GEC ALSTHOM)해외 교육보고서, 1992.

감사의 글

많은 분들의 가르침과 도움으로 논문을 마무리 할 수 있게 되었습니다. 특히 직장을 다니면서 대학원을 함께하다 보니 조금은 힘이 들었지만 바쁜 와중에도 배움의 열정을 가지고 못 다한 공부를 하는 것이 즐거웠습니다. 다만 논문 준비를 하면서 시간이 모자라서 안타까웠던 적이 많았지만 언제까지나 학문적인 지식뿐만 아니라 인생의 지표를 열어주시고 직장일로 힘들어 할 때 자식처럼 조언을 아끼지 않으셨던 정열이 가득한 김일환 지도교수님께 감사드립니다.

그리고 바쁘신 중에도 논문심사를 맡아주시며 많은 관심과 지도를 해주신 좌종근 교수님, 오성보 교수님, 이개명 교수님, 김세호 교수님, 김호찬 교수님께도 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 또한 2년 동안 동고동락을 함께한 대학원 동기들에게도 고마움을 전합니다.

또한 저의 학업에 정진 할 수 있도록 편의와 후의를 아끼지 않으신 제주전력소 박상홍 소장님을 비롯한 변환과 직원 여러분께 고마운 마음과 감사를 드립니다.

기쁠때나 힘들때 항상 옆에서 힘과 용기가 되어준 사랑하는 아내 그리고 사랑하는 딸 주희, 민지 변함없는 사랑과 헌신으로 이 자리에 있기까지 이끌어주시고 보살펴 주신 존경하는 아버지. 어머니, 장인, 장모님 그리고 누나, 형, 동생 에게 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 이름은 열거되지 않았지만 저에게 많은 도움을 주신 모든분들께 진심으로 감사드립니다