

大電力 系統에서의 光傳送시스템

朴東旭 · 李佑暎 / 大電力研究室

I. 序 論

最近에 大電力 機器와 송배전 系統의 信賴度 향상을 위한 과도현상 분석의 研究와 開發이 급속히 進진되었고 이에 따라 大電力 短絡試驗이 보다 복잡해지고 高度化 되어졌다. 이러한 경향으로 大電力機器의 試驗에있어 보다 精밀하고 効果적인 데이터 분석이 要求되어진다.

이제까지 當 研究所 大電力短絡試驗의 data acquisition system으로는 동축케이블 및 차폐케이블을 통해 伝送되는 各種 데이터를 magnetic oscillograph를 이용하여 측정하는 analog 方式의 시스템이 사용되어 왔으나 이 측정 시스템에서는 surge로 인한 측정기기들의 安全性문제, EMI에 대한 데이터의 信賴性문제 그리고 데이터의 분석과 처리과정에 있어서 불편한 점등의 문제가 있어 앞으로는 이러한 문제를 해결할 수 있도록 光纖維를 사용한 computer aided data acquisition system이 고려되어져야 되리라고 생각된다.

여기서는 optical fiber data transmission system의 설계기준과 光素子의 特性 및 Tokyo Electric Co.에서 시행한 field test의 결과를 고찰해 봄으로써 EMI immunity, 電氣的 絶연

성 등의 特性을 가지고 있는 光纖維의 당소 적용문제를 생각해 보고자 한다.

II. 시스템 構成

1. 시스템 仕様

여기서 구성할 光纖維데이터 전송 시스템의 仕様은 <表 1>과 같다.

No.	Item	Specification	Note
1	Transmission Distance	Max. 2 km	No Repeater
2	Transmission Rate	Max. 2Mbps	
3	Number of Fibers	4	(1) Voltage Data (2) Current Data (3) Sync. (4) Spare
4	Bit Error Rate	10^{-9}	
5	Operating Conditions	Temperature	-20 to 70°C / -4 to 158 °F
		Moisture	40~100 % / Outdoor Equipment

<表 1> 광전송 시스템의 사양

2. EMI에 대한 対策

光伝送 시스템의 신호변환부는 大電流가 흐

르는 곳과 인접한 곳에 있게 되므로 이의 EMI에 대한 対策이 강구되어야 하며 몇가지 雜音源과 경로 그리고 対策에 대해 <表 2>에 표시했다.

SOURCE	PATH	COUNTERMEASURE
a) Switching Surge	i) VT, CT on Power Lines	1) Duplex Shielded Body
b) Fault Current into Ground Mat	ii) Signal Wire	2) Shielded and Twisted Pair
c) Lightning Surge	iii) Power Supply	3) Cascade Connected Insulation Transformer
d) Harmonics on Power Lines	iv) Equipment Body	4) Lower Ground Resistance
e) Corona Noise		5) Surge Absorber
		6) Arrestor

<表 2> 雜音源과 対策

3. 光素子の 선택

Laser diode와 avalanche photo diode를 포함한 여러가지 光素子가 고려되었으나 시스템의 信賴度, 활용도 및 경제성 등의 문제에서 LED와 PIN-PD 그리고 multimode fiber가 적당한 것으로 생각되었다. 各素子들의 特性은 <表3>에 나타내었다.

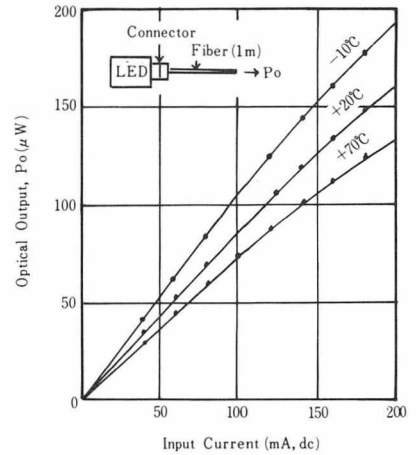
No.	Component	Item	Characteristic	Note
1	Optical Transmitter	Light Source	LED	Wavelength 0.8 μ m
2		Fiber Input	15dBm	20 $^{\circ}$ C, 100mA dc
3		Modulation	2-Level AMI	
4	Optical Receiver	Supply Voltage	+5V	
5		Detector	PIN-PD	
6	Fiber Cable	Detectable Level	-40 to -20 dBm	BER <10 ⁻⁹
7		Bit Rate	Max. 4Mbps	
8		Supply Voltage	+5V, -15V	
9	Fiber	Fiber Structure	Step Index	Polymer Cladding
10		NA	0.4	
11	Cable	Loss	<10dB/km	At 0.8 μ m
12		Bandwidth	15MHz·km	6 dB
13		Tensile Strength	<100kg	
14		Number of Fibers	4	

<表 3> 光素子の 特性

가. Light emitting diode (LED)

光源으로는 peak emission 波長이 光纖維의 特性을 만족시키는 약 0.8 μ m가 되어야하고 光出力이 -15dBm 이상이며 발광면적은 약0.5mm ϕ 가 되는것이 적당하다. 사용할 LED는 실은

에서 光出力이 10~60mW, peak emission 波長이 800 \pm 5nm이며 구동전류와 주변온도에 따른 LED光出力의 特性은 <그림 1>과 같다.



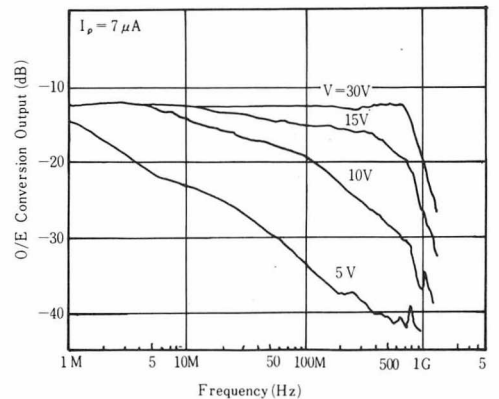
<그림 1> LED의 光出力

나. PIN-photodiode (PIN-PD)

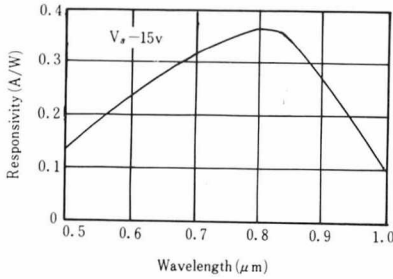
波長 0.8 μ m에서 quantum efficiency가 60% 이상이고 주파수 대역이 10MHz이며 큰 NA 光纖維를 접속하기 위해 active 면적이 0.5mm ϕ 보다 큰, 그리고 동작전압이 15V보다 작은 受信素子가 요구된다. 사용할 PIN-PD의 주파수 및 spectral 特性은 <그림 2, 3>과 같고 암전류(Dark current)는 0.1 μ A보다 작으며 capacitance는 약 2.8pF, active 면적은 0.65mm ϕ 로 충분히 커서 결할 효율을 높일 수 있다.

다. 光纖維

이 시스템에 사용할 光纖維로서는 짧은 거리

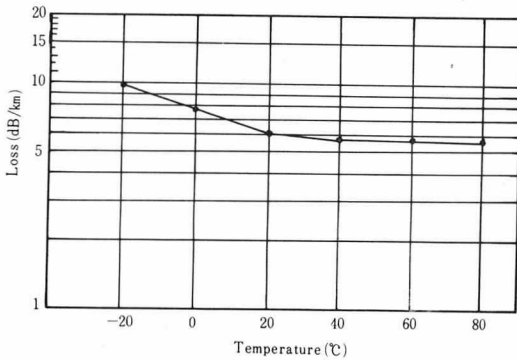


<그림 2> PIN-PD의 주파수 特性

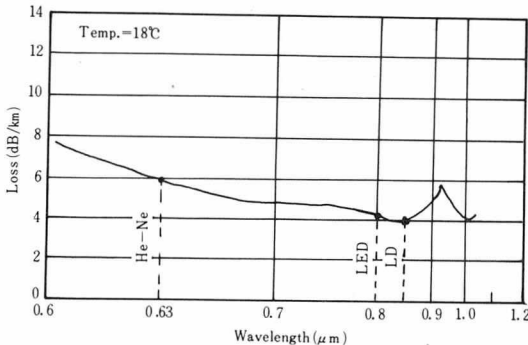


〈그림 3〉 PIN-PD의 Spectral 특성

에 큰 power를 전송해야하기 때문에 core의 지름이 큰것이 좋으며 결합효과를 높이기 위해 N-A가 커야하고 손실(Loss)이 작고 경제적인 것이 좋다. 이러한 조건으로 silicon polymer cladding된 core지름 125 $\mu\text{m}\phi$ 의 multimode step index fiber를 채택하였고 이것의 온도 및 spectral에 대한 손실 특성을 〈그림 4,5〉에 나타내었다. 그림에서 보면 최소 손실은 파장 0.84 μm 에서 4 dB/km이고 LED의 발광파장인 0.8 μm 부근에서도 충분히 작다. 기계적 특성으로서 最大 tensile strength 100kg, 最小 bending radi-



〈그림 4〉 光纖維의 온도 특성



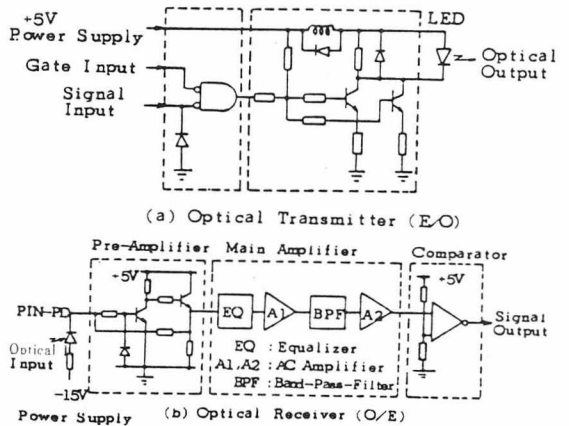
〈그림 5〉 光纖維의 Spectral 특성

us 10mm로 보통의 wiring 方法으로도 쉽게 처리할 수 있다.

라. 광송신기 및 수신기

송신기(E/O) 및 수신기(O/E)의 Block diagram을 〈그림 6〉에 나타내었다. 回路의 入力, 그리고 出力신호는 TTL logic이고 전원전압은 +5, -15V이다.

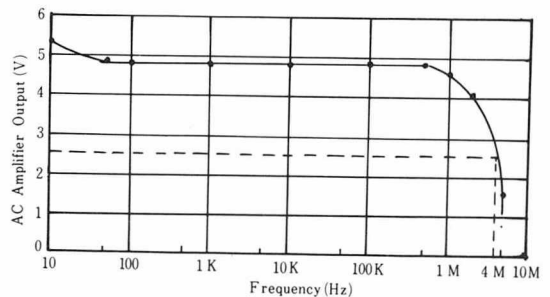
E/O 回路에서는 일정한 光出力을 유지시키기 위해 定電流回路를 사용하였으며 光源의 信賴度를 높이기 위해 실제 사용시의 LED 入力電流는 最大정격의 1/5 정도로 한다.



〈그림 6〉 E/O와 O/E의 Block Diagram

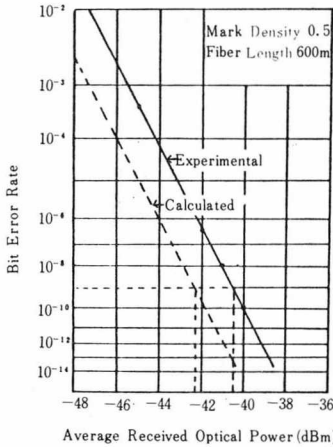
마. 시스템의 특성

光伝送 시스템의 주파수 특성은 〈그림 7〉과 같다. 여기서 보면 이 시스템은 4MHz 정도의 광대역성을 가지므로 설계사양을 만족한다.

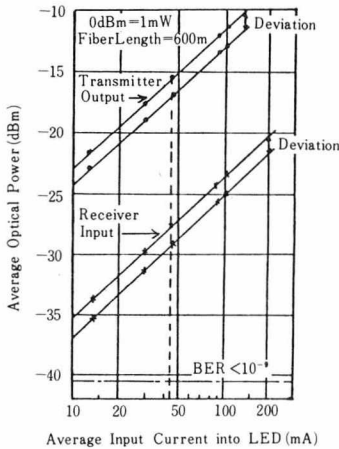


〈그림 7〉 시스템의 주파수 특성

〈그림 8〉은 BER 특성을 나타내며 BER 10⁻⁹을 얻기 위해서는 수신기의 入力光 power가 적어도 -40.5dBm은 되어야함을 보여준다. 그림에서 실험치와 계산치의 차가 2dB정도 나타나



〈그림 8〉 Bit Error Rate (BER) 特性



〈그림 9〉 송·수신기의 광출, 입력

는 것은 전치증폭기의 잡음과 최적회로 설계치와 실제회로 설계치의 변위때문이다. 송신기의 출력과 수신기의 입력 power를 〈그림 9〉에 나타내었고 LED의 입력電流는 44mA로 했다. 그림에서 송신기의 출력과 수신기 입력의 차이로 光纖維의 전송손실이 약 12 dB임을 알 수 있으며 이것은 약 5dB의 splicing과 connector의 손실을 포함하고 있다. 〈그림 8, 9〉로 보면 본 시스템의 수신기 입력 power가 10⁻⁹의 BER을 얻기 위한 -40.5dBm보다는 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

Ⅲ. Field Test Experience

Tokyo Electric Co의 EHV Substation에서

행한 光伝送 시스템의 field test 결과를 고찰해 봄으로써 大電力系統에 사용된 光伝送 시스템의 信賴性 및 特性을 살펴본다. 이 실험의 목적은 長時間의 동작에 대한 信賴性 변화 관찰, switching surge test에 대한 耐雜音性 확인, 電力系統에 사고 (Fault)가 發生했을 때 relay 동작의 관찰, 실제로 있어서 光伝送 선로의 문제점 고찰 등이다.

1. Noise Simulation Test

光伝送 시스템의 耐雜音性を 시험하기 위해 실제 field에서 일어날 수 있는 경우와 가장 유사한 方法으로 本 試驗을 시행했다.

가. Oscillatory surge test

신호변환 장치의 入力 신호선과 전원선에 雜音源으로부터 나온 고주파 잡음을 인가시켰다. 이 경우는 遮斷器나 断路器의 동작에 의해 1MHz 이상의 surge noise가 發生하여 각 line을 통하여 간섭하였음을 가정했다.

나. Impulse Test

Lighting surge를 가상하여 1×40μs의 impulse를 인가부와 몸체의 접지저항을 바꿔가면서 신호변환 장치에 인가시켰다.

다. High frequency EMI test

断路器나 遮斷器 switching에 의한 전장이 변환 장치에 영향을 주었다고 가정하고 0.1MHz 이상의 고주파 진동 surge를 신호변환 장치를 감고 있는 코일에 인가시켰다. 여기서 신호변환 장치는 동작상태에 있고 전자장은 임의로 인가되며, 접지 혹은 비접지된 몸체에 진동 잡음이 인가되고 몸체를 shield 시켰을 경우와 shield시키지 않았을 경우 등의 상태에 있을때 시험하였다.

라. Power system frequency EMI test

전류 (1500A, 200V, 50Hz)를 다.의 경우와 같이 코일에 인가시켰다. 이 試驗의 결과를 〈表 4〉에 나타내었다.

〈그림 10〉은 impulse noise와 high frequency EMI test의 시험구조를 나타낸 것이다.

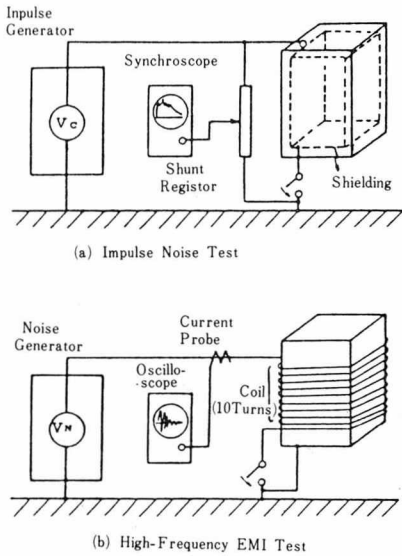
2. 실제통에서의 Noise Tolerance Test

光伝送 시스템의 耐雜音性を 확인키 위해 switch-

No.	Test Item	Shielding Board	Condition	Bit-Error	Relay False Operation
1	Oscillatory surge test	Exist	$V_c \leq 2kV$	None	None
2	Voltage Inputs to Ground	Exist	$V_c \leq 2kV$	None	None
3	Current Inputs to Ground	Exist	$V_c \leq 2kV$	None	None
4	Supply Inputs to Ground	Exist	$V_c \leq 2kV$	None	None
5	Impulse Test	Exist	$V_i \leq 1.5kV$	None	None
6	Ungrounded Body	Exist	$V_i \leq 1.5kA$	None	None
7	Grounded Body	Exist	$V_i \leq 1.5kA$	None	None
8	HF Current into Grounded Coil	Nonexistent	$V_c \geq 1.5kV$	Occur	None
9	HF Voltage to Ungrounded Coil	Exist	$V_c \leq 2kV$	None	None
10	High-Freq EMI Test	Exist	$V_c \leq 2kV$	None	None
11	Power System Frequency EMI Test	Exist	$V_c \leq 2kV$	None	None
11	Power System Frequency EMI Test	Nonexistent	$I \leq 1.5kA$	None	None

V_c =Charged Voltage, V_i =Impulse Voltage, I_i =Impulse Current

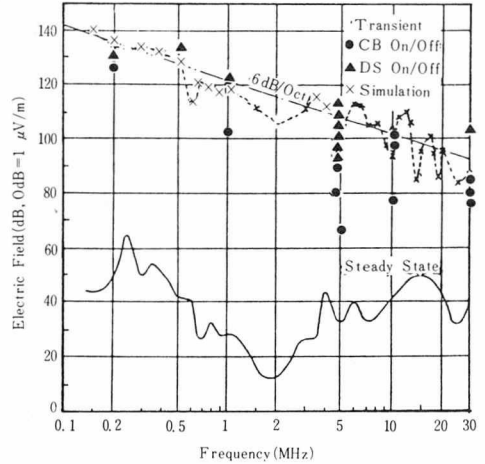
〈表 4〉 Noise simulation의 결과



〈그림 10〉 Noise simulation 시험구조

ing surge가 發生하는 실제系統에서 試驗했으며 그 목적은 bit error와 relay동작을 관찰, 전장(Electric field)을 측정, spare power line에 유도되는 雜音측정 등이다. 전장계를 사용하여 신호변환기에서의 전장을 측정한 후 그 결과를 〈그림 11〉에 나타냈으며 송전선이 통전 중인 정상상태의 전장은 60dB을 넘지 않는다. 그

러나 0.2MHz의 과도 peak level은 약 130dB이 되며 주파수에 따라 6 dB/oct.로 줄어든다. 이 과도 level의 데이터는 noise simulation 시험의 데이터와 잘 일치하며 이 시험이 행해진 field test 시스템의 block diagram 및 power system 을 〈그림 12, 13〉에 나타내었다.



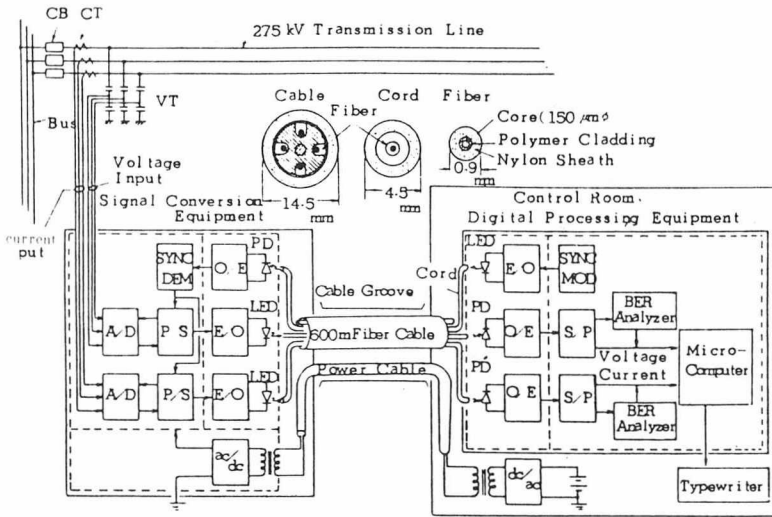
〈그림 11〉 EMI에 의한 전장

IV. 結 論

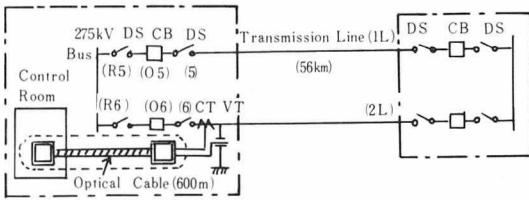
EMI의 영향을 많이 받는 곳에서 digital data를 전송하기 위한 光素子和 光伝送시스템이 고찰되었다. 이 시스템은 LED와 PIN-PD 그리고 multimode step-index 光纖維로 구성되었고 field test의 결과는 noise simulation test의 결과와 잘 일치하며 EMI에 대한 対策가운데는 신호변환기의 이중차폐와 절연변압기의 직렬결선이 가장 효과적인 것으로 나타났다. 耐雜音性和 長時間동작을 통한 성능변화 등을 검사하기 위해 EHV substation에서 試驗한 결과는

- 1) 耐雜音性を 試驗하는동안 bit error는 일어나지 않았고 1년동안의 bit error rate는 약 10^{-12} 이었다.
 - 2) 1년동안 relay는 오동작 하지 않았으며
 - 3) 시스템의 特性변화는 아주 작음.
- 등으로 나타났다.

위와 같은 特性을 지닌 光伝送시스템을 大電力 短絡試驗에 적용함으로써 데이터의 信賴性 및 측정기기들의 安全性 등을 얻을 수 있으리라 사료된다.



〈그림 12〉 Field Test system의 Block Diagram



〈그림 13〉 Field Test를 행한 Power system

参 考 文 献

1. Li, T. "Optical Fiber Communication-the State of the Art", IEEE Transaction on

Communications, Vol. COM-26, pp. 946-955, July. 1978.

2. Harvey S. M. and W. J. Ponke, "Electromagnetic Shielding of a System Computer in a 230kV Substation", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-95, pp. 187-196, January / February 1976.

3. Takasaki Y. et. al., "Optical Pulse Formats for Fiber Optic Digital Communication", IEEE Transaction on Communications, Vol. COM-24, pp. 404-413, April. 1976.