

## 다구찌 방법을 이용한 AI 배선덕트의 스위칭 유도노이즈 특성에 관한 연구

### -A Study on the Switching Induction Noise Characteristic of AI wiring Duct Using Taguchi Method-

홍 석 목 <sup>1)\*</sup>

Hong Suk Muk

박 명 규 <sup>2)\*\*</sup>

Park Myung Kyu

#### Abstract

With the progress of industrial technology, industrial machinery and home appliances have multi-function and high performances by the electronic control technology. Various results are given from the measuring switching induction noise according to environmental condition and its effects cannot be predicted accurately. Therefore, the output results should be analyzed and applied to practical work. To minimize the false operation, Taguchi Method used to solve the quality problem is adopted to analyze the characteristics within the constrained measuring level.

**Key-word** : Electronic Control, Switching Induction Noise, Taguchi Method

#### 1. 서 론

산업기술의 발전에 따라 가전기기에서 산업기기까지 많은 기기가 전자제어 기술을 응용함으로써 고성능화, 다기능화 되어있다. 이와같은 전자화는 고밀도화, 고조파수화, 고속화를 수반하여 전자기적 장애(Electro Magnetic Interference ; EMI)의 발생을 최소화 함은 물론, 여러 가지 요인에 의해 침입해 오는 각종 노이즈에 의한 오동작이나 고장을 방지하기 위하여 전자기적감수성(Electro Magnetic Susceptibility ; EMS)을 강화하여 신뢰성과 안정성을 유지하기 위한 노력을 기울이고 있다. 노이즈의 발생은 스위치나 계전기의 개폐시, 스위칭 전원에서의 파워트랜지스터에 의한 스위칭시 급격한 전압·전류가 변화할 때 발생한다. 이에 대응하여 주로 스위치 모드 전원공급장치(Switch Mode Power Supply ; SMPS)를 활용한 스위칭노이즈 저감회로 구성 및 노

\* 인천기능대학 전기계측제어과 교수'

\*\* 명지대학교 산업공학과 교수

이즈 예측 등에 관한 연구가 전자파의 양립성(Electro Magnetic Compatibility ; EMC)과 함께 중점적으로 다루어지고 있다. 그러나 유접점스위칭 회로의 전도노이즈와 관련된 부가 재료인 배선용덕트(Wiring Duct)의 활용에서 전원선(Power Line)과 신호선(Signal Line)의 병행배선에 따른 스위칭 유도노이즈에 관해서는 아직 많은 연구가 진행되어 있지 않다.

스위칭 유도노이즈 측정은 주변 환경이나 여러 가지 조건에 따라 다양한 결과가 도출될 수 있을 뿐 아니라, 그 영향 또한 정확하게 예측하기 어렵다. 본 연구에서는 출력 결과를 보다 정확하게 분석하여 오동작을 최소화 할 수 있도록 다구찌 방법(Taguchi Method)을 적용하여 특성을 분석하는 방법을 채택하였다.

이에 본 연구에서는 알루미늄 배선덕트를 활용한 배선회로를 대상으로

첫째, 실험장치를 이용한 설정된 부하 조건의 스위칭시 발생하는 유도노이즈(잡음) 값을 측정하고

둘째, 측정된 값으로부터 주위에 영향을 주는 인자를 파악하며,

셋째, 인자의 최적수준을 찾기 위해 품질을 손실의 개념으로 파악하여, 이를 정량화 하는데 있어, 설정된 각 조건의 직교배열 실험계획을 이용하여 데이터를 얻고,

넷째, 데이터로부터 유도된 신호 대 잡음의 비율(Signal to Noise Ratio ; S/N비)을 사용하여 분석함으로써 유도노이즈 자체를 통제하거나 제거하기보다는 제품의 품질 특성치가 잡음에 둔감하면서 설계인자들의 최적조건을 찾는 강건설계(Robust Design) 방법을 이용하였으며 또한 일정 조건하에서 유도노이즈 값을 측정하여 다구찌의 기본 개념을 적용한 다수의 특성치에 대한 최적 수준 결정을 위한 방법을 개발하여 기본 사례를 활용한 적합성을 분석한다.

## 2. 실험의 적용환경 구축

### 2.1 관련이론

노이즈는 저주파 세력이 큰 자연노이즈(Nature Noise)와 고주파 세력이 큰 인위적 원인에 의한 인공노이즈(Manmade Noise)로 분류되며 보통 주파수 경계값은 10MHz 영역이다.[2]

본 논문에서 다루는 노이즈는 주로 인공노이즈로써 매체를 중심으로 구분된 전도노이즈다. 이것은 점점으로 구성된 스위칭 소자의 불완전 접촉에 의한 채터링 현상 등으로 도전을 변동 및 인덕턴스에 의한 역기전력이 주류이고 일부 복사 노이즈도 포함되어 있다. 노이즈를 발생시키는 노이즈원과 방해를 받는 기기 사이로 전파하는 전도노이즈는 주로 전원선, 신호선, 접지선, 대지와 같은 전송로를 통해 전파하고, 공간노이즈는 직접 공간을 통해 전파한다. 이는 독립적으로 존재 할 뿐 아니라 전파되는 과정에서 복합적인 노이즈 형태를 나타낼 수 있다.

국제전기기준(National Electrical Code ; NEC)의 구내 통신선로구성 배치관련 기준에 의하면 노출 선로에서 통신선로와 전등회로 또는 전원선간에는 2인치(50.8mm)이상

이격하도록 하며, 레이스웨이(Raceway) 회로 설비는 동일 관내에 전등·전원선로를 통신선로와 병행배치·배선할 수 없고, 단지 통신선로와 격벽을 구분 할 경우 0.25인치(6.35mm)이상 이격함을 규정한다.[10] 또한 독일전기기술자협회(Verband Deutscher Elektrotechniker ; VDE)의 통신선로 설비기준(VDE 0815)에서는 통신선로와 주위 전원회로 간에는 10(mm) 이상의 간격을 유지하거나 회로를 구분하는 격벽이 있으면 무관하며,[13] 외장 도체(VDE 0205)의 경우 교차 또는 근거리 이격 및 격벽을 구분하여 설치할 수 있음을 기술하고 있다.[9]

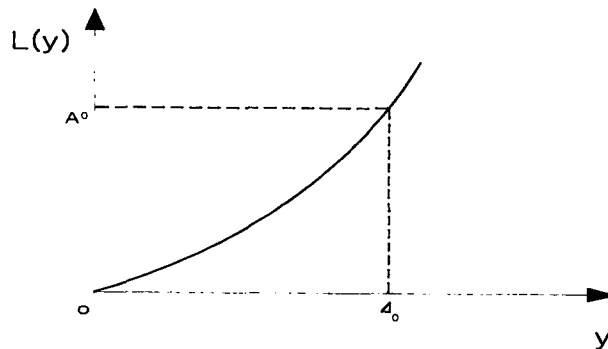
## 2.2 다구찌 방법론

다구찌는 “실험에 의한 기술 정보의 획득 효율 즉, 최소의 실험횟수에서 최대의 정보를 얻을 수 있는가”의 실험 계획법의 개념에 “제품의 품질이란 제품이 출하된 시점으로부터 품질특성치의 변동과 부작용으로 인하여 사회에 미치는 총 손실이다”.[12]라고 정의하고 있다.

여기서 다구찌는 “사회에 미치는 총 손실”을 더욱 폭 넓게 인식하여 품질을 금액으로 평가하고 있다. 즉 최고의 품질은 사회에 끼친 손실금액이 없으며 나쁜 품질의 제품은 손실금액이 커지게 된다. 이 정의에 바탕을 두고 각 제품에 대한 손실함수(Loss Function)가 정의된다. 다구찌 방법의 주요 관심사는 이 총 손실을 최소화하는 것이다 [3.11,12]

본 논문에서는 품질특성치의 분류에서 망소 특성을 적용하였으며 이는 특성치가 작으면 작을수록 좋은 경우로 유도되는 노이즈의 특성치를 적용한다. 망소특성인 경우의 손실함수  $m=0$  이고  $L(y) = k(y-0)^2$  이기 때문에 품질손실 함수는 식 (2.1)과 같으며 <그림 2.1>은 망소특성의 손실함수 그래프이다.

$$L(y) = ky^2 \quad (k = \frac{A_0}{\Delta_0^2}) \quad (2.1)$$



<그림 2.1> 망소특성의 손실함수

또한 망소특성인 경우의 평균 손실함수는 식 (2.2)이며

$$MSD_{\text{망소}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 = [S^2 + \bar{y}^2] \quad (2.2)$$

이때의 평균 손실함수는 식 (2.3)과 같다

$$L = k[S^2 + \bar{y}^2] \quad (2.3)$$

즉, 망소특성치의 평균 손실값은 분산을 작게, 평균을 목표치 0에 가깝게 함으로써 평균 손실을 작게 할 수 있다.

망소특성인 경우의 S/N 비는 평균치를 목표치와 일치시킬 필요가 없으므로 기존의 MSD 식을 (2.4)와 같이 사용한다.

$$S/N \text{ 비} = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] = -10 \log [S^2 + \bar{y}^2] \quad (2.4)$$

다구찌 방법에서 제품의 특성치에 대해 직교배열을 이용한 실험을 했을 때, 특성치  $y$ 를 직접 분석하지 않고 S/N비를 새로운 특성치로 설정하여 분석하는 것을 제안한다.

### 3. 실험적용 이론 및 장치구성

#### 3.1 실험관련 기본

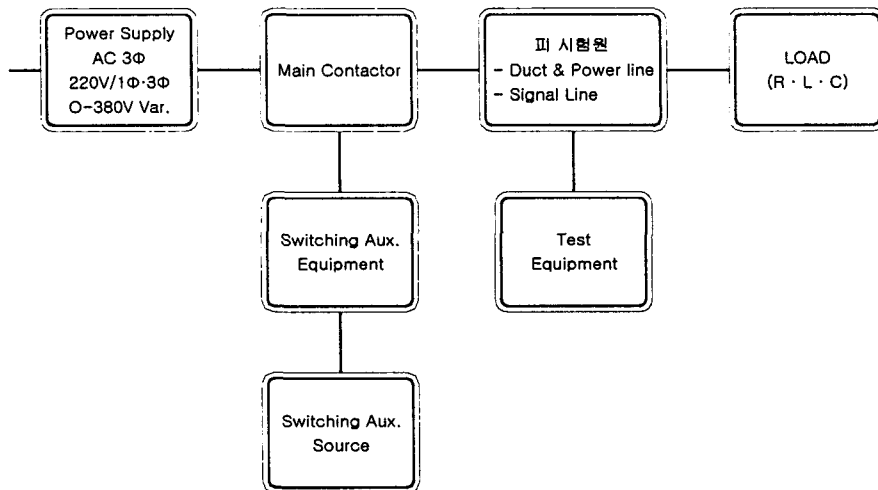
전기설비기술기준에 금속덕트의 경우 폭 50mm를 넘고, 두께가 1.2mm 이상인 철판 또는 동등 이상의 세기를 가지는 금속제의 것으로 내·외면에는 산화방지를 위한 아연도금 또는 이와 동등 이상의 효과를 내는 도장을 한 것 이라는 기준이 제시되어 있다.[7] 다양한 정보화설비의 요구도에 따른 설비의 유연한 대처가 경제적인 투자와 함께 견고성, 안전성, 설치기간의 단축, 외관은 물론 특히 내 노이즈성 등 다양한 실용성 요구에 부응한 전선보호관의 개발이 요구된다. 개발된 알루미늄 배선덕트를 제시된 각 조건하에서 유도노이즈 값을 측정하여 그 특성을 분석함으로써, 배선 부자재로서 특성을 갖춘 양질의 정보통신 선로에 활용될 수 있는 기반을 구축하여 효율성있게 현장에 적용할 수 있다.[6,7]

전력설비의 상태기준 진단 방법에는 정밀 진단을 위한 많은 수의 센서가 필요한데 부착 위치의 불합리성으로 인한 오류를 최소화 하기 위해 노이즈의 측정에 안테나를 이용하여 측정 방법이 제시되고 있다.[1] 안테나를 이용한 측정방법은 안테나의 성능에 따라 다르겠지만 본 연구에서는 유접점 스위칭시 인가되는 피유도 선로의 상호유도 전압값과 함께 공간을 통해 방사되는 방사노이즈를 병행 측정하여 파형을 비교했다.

### 3.2 실험장치의 구성 및 적용

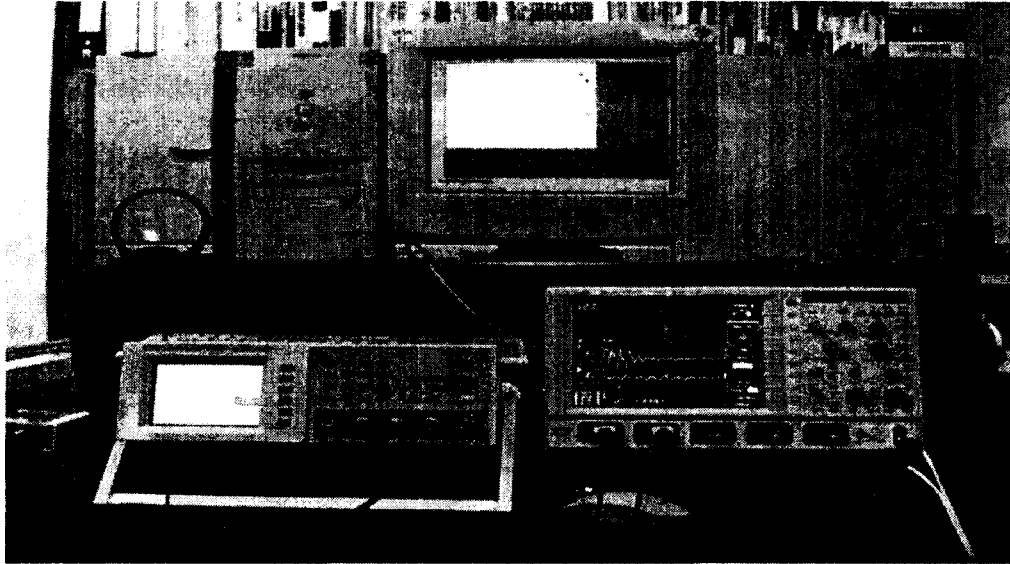
본 실험에 적용한 측정회로의 블록다이어그램은 <그림 3.1>과 같이 교류 3상 가변 전원공급장치와 스위칭시스템, 피시험원 자재와 R·L·C 가변부하기 및 시험장치로 구성하였다.

이는 전기·전자공학학회(Institute of Electrical and Electronics Engineers ; IEEE) Std. 518의 안테를 이용한 방사노이즈 측정관련 기준을 응용하여 중파 루프안테나를 배치하여 실험에 적용하였다.



<그림 3.1> 측정회로 구성 블록 다이어그램

또한 <그림 3.2>는 유도노이즈 측정에 이용한 주 실험계측기로서 컴퓨터에 인터페이스된 오실로스코프와 L·C·R 미터이다. 사용된 유도노이즈 측정설비는 LeCroy 사의 4채널 200MHz 디지털스토리지 오실로스코프이며 이를 RS-232C Port로 컴퓨터와 인터페이스하였으며 실험은 각 조건에 따른 일정진류를 설정, 스위칭시 오실로스코프의 단발성 유도노이즈값의 최대값 및 준첨두값(Quasi Peak Value)과 파형이 안정화되는 시간을 출력하여 데이터로 적용하였다.[8]



<그림 3.2> 디지털 스토리지 오실로스코프와 L·C·R 메터

실험에 적용된 알루미늄 배선덕트는 전자파의 반사·흡수 성질과 강철판에 상응하는 강도를 가지며, 부하를 구분(저항·유도부하)하여 스위칭 시간에 배선덕트의 도장 유무, 덕트내 전선 배치방법, 덕트상호간 본딩 유무 등을 구분한 상황별 유도노이즈를 오실로스코프를 이용하여 단발성으로 측정한 유도노이즈(Pk) 및 안정화 시간을 도출하는 방법을 채택하였다. 본 실험에 사용된 실험장비, 계측기 및 기타 재료 목록은 <표 3.1>과 같다.

<표 3.1> 실험장치 및 계측기

품 명	규 격	모 델	수 량	비 고
디지털오실로스코프	200MHz 4Ch	LT-224	1	LeCroy
R L C 가변부하기	3 $\phi$ , 220V, 3KVA	RLC-81	1	旭日電氣(株), 日本
디지털 L C-R 메터	L: 10 <sup>-3</sup> mH~10 <sup>3</sup> H C: 10 <sup>-5</sup> PF~10 <sup>5</sup> $\mu$ F R: 10 <sup>-5</sup> $\Omega$ ~10 <sup>5</sup> K $\Omega$	EDC-1630	1	ED Eng.
유도전동기	3 $\phi$ 220V, 0.5HP	ASEA	2	ASEA(Sweden)
디지털 멀티메타	Freq. $\mu$ A, KV, $\Omega$	EDM 4760	1	ED Eng.
AI Multi wire duct	단면형	격벽구분 커버포함	6m	Jin Woo Sys.
기타	스위칭 설비		1	센서 접촉기이용 자체 제작

### 3.3 측정을 위한 직교 배열표에 의한 인자의 배치

유도되는 노이즈값과 안정화 시간을 측정하기 위하여 7개의 제어인자(A~G)와 3개의 잡음인자(H~J)를 선택하였으며, 각기 2회의 실험으로 결과값을 도출하는 방법을 채택하였다. 이와 같은 제어인자와 잡음인자 각각의 수준은 <표 3.2>와 같다.

<표 3.2> 제어인자와 잡음인자의 수준

제 어 인 자	수 준	
	0	1
A : 덕트의 도장(塗裝)유무	전착도장	비 도장
B : 덕트간 연결부 본딩 유무	본 딩	미 본딩
C : 덕트 중단 접지 유무	접 지	비 접지
D : 전력선과 유도선간 격벽 구분 유무	격벽구분	비 구분
E : 전력선 배열방법	꼬임식 배열	직열배열
F : 덕트 설치 방법	수 평	수 직
G : 스위치용 접촉기	전자접촉기	나이프 스위치

잡 음 인 자	수 준	
	0	1
H : 부하 전류	2(A)	5(A)
I : 부하 종류	저 항 성	유 도 성
J : 덕트 길이	2m	4m

## 4. 실험결과와 도출 및 분석

### 4.1 직교배열표 및 도출값(Pk)

S/N비를 이용한 실험결과를 얻기 위하여  $L_{12}(2^7)$ 에 제어인자를 배치하고,  $L_4(2^3)$ 에 잡음인자를 배치하였다. 각 실험 번호당 2회의 실험을 통하여 유도되는 노이즈값과 노이즈의 안정화 시간에 대한 데이터의 값을 얻었다. 각 경우에 따른 유도노이즈값 안정화시간 측정은 망소특성 실험으로 피 유도체에 미치는 영향이 최소가 되는 제어인자들의 수준을 찾는 것이 목적이다.[3]

유도노이즈 값(Pk)을 측정하기 위하여 <표 4.1>에 직교배열표와 도출된 값을 제시하였다.

<표 4.1> 제어인자 및 잡음인자 직교배열표(Pk)  
(유도노이즈값 최대치 ; Pk값)

		1				2				3				4				순서 인자
		0				1				0				1				H
		0				1				1				0				I
		0				1				1				0				J
인자 순서		A	B	C	D	E	F	G										S/N비
1		0	0	0	0	0	0	0	6	5	7	7	2	4	6	7	-15.19	
2		0	0	0	0	0	1	1	6	6	5	8	5	3	7	8	-15.85	
3		0	0	1	1	1	0	0	8	7	10	12	8	9	9	8	-18.57	
4		0	1	0	1	1	0	1	8	9	10	10	9	9	12	11	-19.42	
5		0	1	1	0	1	1	0	5	7	10	13	10	10	12	13	-20.29	
6		0	1	1	1	0	1	1	12	10	12	15	12	12	11	15	-21.93	
7		1	0	1	1	0	0	1	13	10	16	17	16	17	10	13	-23.09	
8		1	0	1	0	1	1	1	13	18	13	15	16	16	8	10	-22.91	
9		1	0	0	1	1	1	0	13	11	17	13	18	14	17	15	-23.48	
10		1	1	1	0	0	0	0	13	12	13	13	18	18	15	15	-23.40	
11		1	1	0	1	0	1	0	8	7	17	12	16	15	11	12	-22.08	
12		1	1	0	0	1	0	1	13	13	9	10	12	12	17	12	-21.90	

<표 4.1>의 각 실험에서 얻어진 S/N비의 값들은 식 (2.4)를 이용하여 계산한다. 실험순서 1의 S/N비 값 산출의 예를 제시하였다.

$$\begin{aligned}
 S/N \text{ 비}_1 &= -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \\
 &= -10 \log \left[ \frac{1}{8} (6^2 + 5^2 + 7^2 + 7^2 \dots + 7^2) \right] \\
 &= -15.19
 \end{aligned}$$

## 4.2 직교배열표 및 도출값(μs)

유도노이즈 안정화시간을 측정하기 위하여 <표 4.2>에 직교배열표와 도출된 값을 제시하였다.



<표 4.2> 제어인자 잡음인자 직교배열표( $\mu s$ )  
(유도노이즈 안정화 시간 ;  $\mu s$ )

		인자				순서								인자					
						1	2	3	4									H	
						0	1	0	1									I	
						0	1	1	0									J	
인자	순서	A	B	C	D	E	F	G											S/N비
	1	0	0	0	0	0	0	0	1.3	1.2	1.6	1.7	1.2	1.5	1.5	1.6			-3.29
	2	0	0	0	0	0	1	1	1.4	1.5	2.0	1.8	1.6	1.4	3.8	1.6			-6.15
	3	0	0	1	1	1	0	0	1.8	1.8	4.5	4.2	1.7	1.7	3.2	3.0			-9.38
	4	0	1	0	1	1	0	1	1.7	1.7	4.5	3.8	1.5	1.5	2.4	2.4			-8.49
	5	0	1	1	0	1	1	0	1.3	1.7	2.0	2.8	2.8	2.8	2.6	2.5			-7.51
	6	0	1	1	1	0	1	1	1.8	1.6	2.9	3.2	2.6	2.5	2.6	3.2			-8.33
	7	1	0	1	1	0	0	1	2.7	2.6	3.1	3.2	3.7	3.6	2.8	3.2			-9.92
	8	1	0	1	0	1	1	1	2.0	3.2	3.1	3.1	3.6	3.5	2.6	3.1			-9.72
	9	1	0	0	1	1	1	0	1.8	1.9	3.1	2.8	3.1	2.8	2.5	2.5			-8.31
	10	1	1	1	0	0	0	0	2.0	2.1	2.6	2.6	3.2	3.2	3.2	3.0			-8.87
	11	1	1	0	1	0	1	0	1.8	2.0	3.2	2.8	3.6	3.0	3.0	3.2			-9.20
	12	1	1	0	0	1	0	1	2.7	2.8	2.5	2.5	1.8	2.0	2.6	1.9			-7.52

<표 4.2>의 각 실험에서 얻어진 S/N비의 값들은 식 (2.4)를 이용하여 구한다. 실험 순서 1의 S/N비 값 산출 예를 제시하였다.

$$\begin{aligned}
 S/N \text{ 비}_1 &= -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \\
 &= -10 \log \left[ \frac{1}{8} (1.3^2 + 1.2^2 + 1.6^2 + 1.7^2 \dots + 1.6^2) \right] \\
 &= -3.29
 \end{aligned}$$

### 4.3 유도노이즈 값에 대한 S/N비 분석 및 결과

#### 4.3.1 S/N비 분석(Pk)

제시된 <표 4.1>의 직교배열표에서 유도된 노이즈값에 대한 S/N비 분산분석의 결과는 <표 4.3>과 같다.

$$\begin{aligned}
 SS_T &= \sum_i y_i^2 - \frac{(\sum_i y_i)^2}{n} \\
 &= (-15.19)^2 + (-15.85)^2 + \dots + (-21.90)^2 - \frac{(-248.11)^2}{12} \\
 &= 90.69 \\
 SS_A &= \frac{1}{12}(A_1 - A_0)^2 = \frac{1}{12}(-136.86 + 111.25)^2 \\
 &= 54.66
 \end{aligned}$$

<표 4.3> S/N비를 이용한 분산분석표(Pk)

요인	SS	$\phi$	V	$F_0$	$F(\alpha=0.05)$	$F(\alpha=0.01)$
A	54.66	1	54.66	67.48**	7.71	16.3
B	8.22	1	8.22	10.15*		
C	12.55	1	12.55	15.49*		
D	6.80	1	6.80	8.40*		
E	2.11	1	2.11	2.60		
F	2.06	1	2.06	2.54		
G	0.36	1	0.36	0.44		
e	3.24	4	0.81			
T	90.69	11				

<표 4.3>의 유도노이즈값 S/N비에 대한 분산분석 결과, A(덕트도장 유무)인자는 유도노이즈에  $\alpha=0.05$ 와  $\alpha=0.01$ 에서 유의하므로 매우 유의한 영향을 주는 인자임을 알 수 있다. B인자(연결부 본딩 유무)와 C인자(접지 유무), D인자(격벽 구분)도  $\alpha=0.05$ 에서 유의하므로 유도노이즈에 유의한 영향을 주는 인자임을 알 수 있다. E인자(전선 배열)와 F인자는 F검정 상으로는 유의하지 않다고 판단되었으나  $F_0$ 값이 2이상인 것으로 보아 유도노이즈에 약간의 영향을 미친다고 볼 수 있다. 하지만 G인자(조작스위치)는 유도노이즈에 아무런 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 유의한 인자들의 최적수준을 알아보기 위한 유의한 인자들의 일원표를 작성하면 <표 4.4>와 같다

<표 4.4> 유도노이즈 값에 대한 유의한 인자들의 일원표

수준 인자	0수준	1수준	합계
A	-111.25	-136.86	-248.11
B	-119.02	-129.09	-248.11
C	-117.92	-130.19	-248.11
D	-119.54	-128.57	-248.11
E	-121.54	-126.57	-248.11
F	-121.57	-126.54	-248.11

제시된 <표 4.4>와 같이 유의한 인자들의 일원표에서 유도노이즈값에 대한 최적수준은  $A_0B_0C_0D_0E_0F_0$  임을 알 수 있다.

이 최적조건에서 S/N비에 대한 점추정치는

$$\begin{aligned} \hat{\mu}(A_0B_0C_0D_0E_0F_0) &= \overline{A_0} + \overline{B_0} + \overline{C_0} + \overline{D_0} + \overline{E_0} + \overline{F_0} - 5\overline{T} \\ &= -18.54 - 19.84 - 19.65 - 19.92 - 20.26 - 20.26 \\ &\quad - 5 \times (-20.68) \\ &= -15.07 \end{aligned}$$

로 매우 높은 S/N비값을 얻을 수 있고, 유효반복수

$$n_e = \frac{12}{\phi_A + \phi_B + \phi_C + \phi_D + \phi_E + \phi_F + 1} = \frac{12}{7}$$

이므로 95%신뢰구간 폭은

$$\begin{aligned} t(\phi_e; \frac{\alpha}{2}) \sqrt{\frac{V_e}{n_e}} &= t(4; 0.025) \sqrt{\frac{0.81}{\frac{12}{7}}} \\ &= (2.776)(0.687) \\ &= 1.91 \end{aligned}$$

이다.

그러므로 최적수준  $A_0B_0C_0D_0E_0F_0$ 에서의 95%신뢰구간은 다음과 같다.

$$-15.07 \pm 1.91$$

### 4.3.2 최적수준조합 확인실험 및 분석결과(Pk)

최적수준조합에서 재현성 여부를 알기 위해 확인실험을 실시하였다.

이때 잡음인자의 수준은 1수준을 적용 하였으며 이는 실제적으로 주어진 환경 자체가 열악할때도 재현성을 유지하는가를 보기 위함이다. S/N비의 95% 예측구간은 10회 반복데이터를 얻을 경우에

$$\begin{aligned} &-15.07 \pm (2.776) \sqrt{V_e \left( \frac{1}{n_e} + \frac{1}{n} \right)} \\ &= -15.07 \pm (2.776) \sqrt{0.81 \left( \frac{7}{12} + \frac{1}{10} \right)} \\ &= -15.07 \pm 2.064 \end{aligned}$$

가 된다.

최적수준조합  $A_0B_0C_0D_0E_0F_0$ 에서 10회 확인실험결과,

유도노이즈값 : 6, 6, 7, 6, 3, 2, 7, 7, 6, 3  
 이 나왔다. 이 데이터의 S/N비는

$$\begin{aligned}
 S/N \text{ 비} &= -10 \log \left[ \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} y_i^2 \right] \\
 &= -10 \log \left[ \frac{1}{10} (6^2 + 6^2 + 7^2 + 6^2 + 3^2 + \dots + 3^2) \right] \\
 &= -14.95 \text{ 이다.}
 \end{aligned}$$

이는 위의 95% 예측구간에 포함된다. 따라서 최적조건의 재현성이 충분히 있다고 판단된다.

확인된 최적수준조합과 설정한 잡음인자 수준으로 실험한 데이터값에 대한 그래프를 10회의 확인 실험으로 논증하였다.

#### 4.4 안정화 시간에 대한 S/N비 분석 및 결과

##### 4.4.1 S/N비 분석(μs)

다음으로 <표 4.2>에 제시된 유도노이즈 값의 안정화 시간에 대한 S/N비 분산분석의 결과는 <표 4.5>와 같다.

$$\begin{aligned}
 SS_T &= \sum_i y_i^2 - \frac{(\sum_i y_i)^2}{n} \\
 &= (-3.29)^2 + (-6.15)^2 + \dots + (-7.52)^2 - \frac{(-96.69)^2}{12} \\
 &= 37.23 \\
 SS_A &= \frac{1}{12} (A_1 - A_0)^2 = \frac{1}{12} (-53.54 + 43.15)^2 \\
 &= 9.00
 \end{aligned}$$

<표 4.5> S/N비를 이용한 분산분석표(μs)

요인	SS	φ	V	F <sub>0</sub>	F(α=0.05)	F(α=0.01)
A	9.00	1	9.00	7.38	7.71	16.3
B	0.83	1	0.83	0.68		
C	9.67	1	9.67	7.93*		
D	9.31	1	9.31	7.63		
E	2.23	1	2.23	1.83		
F	0.26	1	0.26	0.21		
G	1.06	1	1.06	0.87		
e	4.87	4	1.22			
T	37.23	11				

<표 4.5>의 유도노이즈 안정화 시간의 S/N비에 대한 분산분석 결과, C인자(접지 유무)가  $\alpha=0.05$ 에서 유의하므로 안정화 시간에 유의한 영향을 주는 인자임을 알 수 있다. 또한 A인자(덕트도장유무)와 D인자(전력선과 유도선간 격벽 구분 유무)도  $\alpha=0.05$ 에서 유의하지 않지만  $F_0$ 값이 2이상인 것으로 보아 유의한 영향을 주는 인자임을 알 수 있다. 하지만 B인자(덕트간 연결부 본딩 유무), E인자(전력선 배열방법), F인자(덕트 설치 방법), G인자(스위치용 접촉기)는 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 유의한 인자들의 최적수준을 알아보기 위해 유의한 인자들의 일원표를 작성하면 <표 4.6>과 같다

<표 4.6> 안정화시간에 대한 유의한 인자의 일원표

수준 인자	0수준	1수준	합계
A	-43.15	-53.54	-96.69
C	-42.96	-53.73	-96.69
D	-43.06	-53.63	-96.69

<표 4.6>의 안정화 시간에 대한 인자들의 일원표에서 보면 안정화 시간에 대한 최적수준은  $A_0C_0D_0$ 임을 알 수 있다.

또 다른 특성치인 유도노이즈값 까지 함께 고려한 최적수준은  $A_0B_0C_0D_0E_0F_0$ 임을 알 수 있다.

이 최적조건에서 S/N비에 대한 점 추정치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{\mu}(A_0B_0C_0D_0E_0F_0) &= \overline{A_0} + \overline{B_0} + \overline{C_0} + \overline{D_0} + \overline{E_0} + \overline{F_0} - 5\overline{T} \\ &= -7.19 - 7.76 - 7.16 - 7.18 - 7.63 - 7.91 \\ &\quad - 5 \times (-8.06) \\ &= -4.53 \end{aligned}$$

으로 매우 높은 S/N비값을 얻을 수 있고, 유효반복수

$$n_e = \frac{12}{\phi_A + \phi_B + \phi_C + \phi_D + \phi_E + \phi_F + 1} = \frac{12}{7}$$

이므로 95%신뢰구간 폭은

$$\begin{aligned} t(\phi_e; \frac{\alpha}{2}) \sqrt{\frac{V_e}{n_e}} &= t(4; 0.025) \sqrt{\frac{0.81}{\frac{12}{7}}} \\ &= (2.776)(0.687) \\ &= 1.91 \text{ 이다} \end{aligned}$$

그러므로 최적수준  $A_0B_0C_0D_0E_0F_0$ 에서의 95%신뢰구간은 다음과 같다.

$$-4.53 \pm 1.91$$

#### 4.4.2 최적수준조합 확인실험 및 분석결과(μs)

최적수준조합에서 재현성이 있는가를 보기 위하여 확인실험을 실시하였다. 이때 잡음인자의 수준도 유도노이즈값과 마찬가지로  $H_1, I_1, J_1$ 으로 동일한 그래프의 안정화 시간을 읽어 실시하였다.

S/N비의 95% 예측구간은 10회 반복데이터를 얻을 경우에

$$\begin{aligned} & -4.53 \pm (2.776) \sqrt{Ve\left(\frac{1}{n_e} + \frac{1}{n}\right)} \\ & = -4.53 \pm (2.776) \sqrt{0.81\left(\frac{7}{12} + \frac{1}{10}\right)} \\ & = -4.53 \pm 2.064 \text{ 가 된다.} \end{aligned}$$

최적수준조합  $A_0B_0C_0D_0E_0F_0$ 에서 10회 확인실험결과,

안정화시간: 1.5, 1.6, 1.5, 1.1, 1.8, 1.3, 1.6, 1.2, 1.6, 1.3 이 확인되었다.

이 데이터의 S/N비는

$$\begin{aligned} S/N \text{ 비} & = -10 \log \left[ \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} y_i^2 \right] \\ & = -10 \log \left[ \frac{1}{10} (1.5^2 + 1.6^2 + 1.5^2 + 1.1^2 \dots + 1.3^2) \right] \\ & = -3.31 \end{aligned}$$

로 95% 예측구간에 포함된다. 따라서 최적조건의 재현성이 충분히 있다고 판단된다.

### 5. 결 론

오프라인 품질관리가 최근에 더욱 강조되고 있는데 이는 오프라인 품질관리 기법이 노력과 비용을 적게 들이면서 최적설계 조건을 근사적으로 비교적 쉽게 결정할 수 있는 방법으로, 제품의 성능 변동을 줄이기 위해 잡음 그 자체를 통제하기보다는 성능변동이 잡음에 강건하도록 설계변수 값을 결정하는 방법이기 때문이다.

이에 본 연구에서는 AI 6063S-T5 재질의 알루미늄 배선덕트에 전원선과 유도선로를 각각 제시된 조건에 따라 달리 배치하고, 다른 부하(負荷) 조건 및 설정전류 상태에서 스위칭시 발생하는 유도노이즈 값을 측정하여 그 값의 영향이 유도 선로에 최소가 되는 최적조건을 도출하고자 다구찌방법을 이용하였다.

다구찌방법을 적용한 결과, 적은 실험횟수로 유도노이즈 값과 안정화 시간에 대한 최적조건을 도출하였다. 그리고 기존의 실험에 적용하기 곤란하였던 잡음인자의 변화에 둔감한 제어인자의 수준을 찾아낼 수 있었다.

본 연구에서, 배선 덕트의 구성재질 및 활용 방법에 따른 스위칭 시간의 유도노이즈

값 영향 분석 결과는 비교적 안정적이었으나, 실험값이 항상 일정한 것은 아니었다. 이는 동일 조건에서도 상호유도에 의한 유도노이즈와 방사노이즈가 불규칙하게 발생하여 여러 경로를 통하여 계측기에 유입되며, 또한 스위칭 시간 등에 따른 이상발생 출력을 가급적 배제한 실험의 결과이다. 아울러 사용된 알루미늄배선 덕트는 컴퓨터실이나, 전원선과 정보전달 선로의 배치가 불가피한 실내 배선로에서, 유도노이즈의 최소화로 정보 오류를 줄일 수 있는 부가 설비로 유용하게 활용 될 수 있겠다.

## 6. 참 고 문 헌

- [1] 김영노 외 4인, “전자파의 패턴인식 기법에 의한 부분방전 신호 검출”, 전기학회 논문지, Vol. 51권 제6호, June 2002.
- [2] 민경찬, “노이즈 종합대책”, 성안당, pp. 50-57, 81-111, 1991.
- [3] 박성현, “현대 실험계획법”, 민영사, pp. 631-652, 1997.
- [4] 이경식 외 2인 감수, “전기관계법규집중 전기설비 기술기준”, 도서출판 기다리, pp. 504-505, 1999 & 한국전기안전공사 자료실“전기설비기술기준 제207조”, 2002.
- [5] 조용욱, “다수의 주관적 요소와 객관적 요소를 고려한 다특성치 강건설계”, 명지대학교대학원, 박사학위논문, 1999.
- [6] 홍석목, 조용욱, 박명규, “다구찌 방법을 이용한 알루미늄 배선덕트의 유도노이즈(잡음)측정에 관한 연구”, 산업경영시스템학회지, 제24권 제67집, pp. 61-67, 2001.
- [7] 홍석목, “다구찌 방법을 이용한 AI 배선덕트의 스위칭유도노이즈 특성에 관한 연구”, 명지대학교대학원, 박사학위논문, 2002.
- [8] LeCroy, “LeCroy Digital Oscilloscopes Hands-On Guide,” 2000.
- [9] Gunter G. Seip, “Electrical Installations Handbook”, Siemens Aktiengesellschaft Heyden & Son Ltd., Vol. 2, pp. 984-985, 1989.
- [10] NFPA(National Fire Protection Association)70, National Electrical Code(NEC), 800-52, (a)(1), 1999.
- [11] Phadke Madhav S., “Quality Engineering Using Robust Design,”pp. 23-24, 1989.
- [12] Shin Taguchi - Diane Byrne, “The Taguchi Approach to Parameter Design,” ASQC Conference Award Best written Technical Paper, 1986.
- [13] VDE(Verband Deutscher Elektrotechniker ; 독일전기기술자협회)기준. 0250.

## 저 자 소 개

홍석목 : 인하대학교 정보공학과 석사, 명지대학교 대학원 산업공학과에서 박사학위 취득.  
현재 인천기능대학 전기계측제어과 교수로 재직중이다. 주요관심 분야는 제어공학, 실험계획법, 유도노이즈, 품질공학 등이다

박명규 : 한양대학교 산업공학과 졸업. 미국 일리노이 공대에서 산업공학 석사, 건국대학교 대학원 산업공학과에서 박사학위 취득. 현재 명지대학교 산업공학과 교수. 주요 관심분야는 TQM, QE, Method ENG. 재고물류관리, 확률모형, FORECASTING, 시스템 분석 등이다.