

# 최근의 電磁界 測定技術

이복희\* · 최창준\*\*

(\*인하대 공대 전기공학과, \*\*Schenck Korea Co. LTD)

## 1. 머릿말

각종 반도체 소자와 기능성 재료의 출현, 전자회로와 광학기술의 진보, 제어계측과 컴퓨터 산업의 급속한 발달과 더불어 공장의 자동화, 원격제어와 로봇 기술, 무인운전시스템 등 산업의 고도화가 이루어져 왔다.

최근 첨단과학분야의 핵심은 센서기술이라고 할 수도 있으며, 동작원리면으로 살펴보면 물리적, 화학적, 열적, 광학적, 전기적 신호의 감지와 변환기능을 가지는 다종다양한 센서가 개발되어 실용화되고 있다. 이러한 센서기술은 가전제품과 컴퓨터 등 각종 전기기기를 비롯하여 공작기계, 정밀가공과 공정기술, 의료기기, 로봇과 자동화 산업, 항공우주, 군사 등 과학의 전문분야에 걸친 요소기술로 제어와 계측의 핵심이 된다[1~5].

이들중에서 전자계 신호로 동작하는 센서도 매우 다양하며, 전압, 전류, 전계, 자계, 전자계 등의 전기량 감지와 측정 및 변위, 속도, 방향탐지용 센서 등 여러산업 분야에 응용되고 있다. 특히 가전기기, 컴퓨터, 사무자동화기기 등의 급속한 보급과 초고압 송전계통의 등장으로 전자계 환경의 가혹화는 날로 극도에 이르고 있다.

따라서 최근 전자파가 제어기기 및 컴퓨터 등 소세력 전자기기의 오동작을 초래하고, 인체에 위해를 가져오는 電磁波 障害(Electromagnetic Interferences)와 전자계 영향에 대한 잡음대책 이른바 電磁環

境工學(Electromagnetic Compatibility)에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 전자계 센서에 관한 지식은 이러한 분야의 연구에 있어 기초기술이 되며, 최신 첨단측정기기의 연구개발에 기반이 되므로 대단히 중요하고 우리나라에서 절실히 요구되고 있는 핵심기술 중의 하나라고 여겨진다[6~12].

本稿에서는 전계, 자계, 전자계 센서와 측정기술도 매우 여러가지이며, 동작원리와 특성도 다양하기 때문에 각종 센서에 대한 변환기능, 측정원리, 분류, 응용에 대하여 개략적으로 검토하고, EMI/EMC와 관련하여 고주파전자계 성분에 의한 변환 또는 감지기능으로 동작하는 센서 즉, 전자계와 관련된 법칙과 효과를 기초로 하여 동작하는 센서와 측정기술에 대하여 중점적으로 기술하고, 향후의 연구과제 등에 대하여 살펴본다.

## 2. 전자계 측정의 기초

공간의 전자계 성분은 전계의 세기, 자계의 세기 및 電力密度로 표시되며, 파동성을 가지므로 소위 電磁波 또는 電波라고 불리우기도 한다. 즉, 電磁波란 시간적으로 변화하는 전자계 파동의 총칭을 말하며 주파수에 따라 분류된다. 표1은 전자파영역의 분류와 발생원에 대하여 나타내었다[13].

일반적으로  $3 \times 10^{12}$ Hz이하의 주파수영역을 電磁波라고 한다. 따라서 측정대상이 되는 전자계의 주파수영역에 따라 양호한 응답특성을 가지는 感知能力

표 1. 電磁波의 分類와 主要 發生源

호 칭		주파수 범위 파 장	주 요 발 생 원
ULF	超低周波	0.03~3 Hz	
ELF		10 <sup>7</sup> ~10 <sup>8</sup> km	
	長 波	3~3000 Hz	상용일반전기
VLF		10 <sup>5</sup> ~100km	
	中 波	3~30kHz	오메가
LF		100~10km	
	短 波	30~300kHz	기상통보, 선박 및 항공기
MF		10~1km	항행용 비콘, 데카
	超短波	300~3000kHz	중파방송, 선박, 조난통신, 라디오, 선박 및 항공기의 통신, 표준전파, 해상보안 등
HF		1000~100m	
	極超短波	3~30 MHz	단파방송, 국제방송, 국제통신, 전기통신사업, 해상보안, 선박 및 항공기의 통신, 남극관측용 통신, 시민라디오, 아마추어무선, 고주파이용설비, 표준전파
VHF		100~10m	
	超短波	30~300 MHz	TV방송, FM방송, 국제해상무선전화, 연안무선전화 이동업무용통신, 고립화방지구신, 재해대책용통신 항공기통신, 텔레미터, 간이무선, 포켓벨, 아마추어무선, 방재행정무선 등
UHF		10~1m	
	超短波	30~3000MHz	TV방송, 업무용이동통신, 전기통신사업, 방재행정무선, 택시무선, 극초단파, 열차공중전화, 자동차전화, 항공기공중전화, 기상용로봇트 등
SHF		100~10cm	
	센티미터 파	3~30 GHz	전기통신사업용 마이크로파중계, 행정통신용마이크로파중계, 가입자무선
EHF		10~1cm	항공·선박·기상용 레이더전파고도계, SHF TV, 위성통신, 위성방송, 전파천문, 우주연구 등
	밀리미터 파	30~300 GHz	각종 레이더, 간이무선, 각종 위성통신, 전파천문, 우주연구 등
		10~1mm	
	서브밀리미터파	300~3000 GHz	
		1~0.1mm	

과 變換機能이 필요하므로 센서의 동작원리와 기능도 다르게 되며, 이에 적합한 센서가 개발되어 왔다.

遇存電磁界, 전력설비, 컴퓨터, 전자레인지, 각종 전기기기 등의 전자파 발생원 및 뇌방전과 같은 고전압의 충방전전압과 과도전류에 의하여 발생하는

전자계 성분을 대별하여 보면 靜電磁界, 準定常電磁界, 放射電磁界로 분류할 수 있다. 여기에서 정전자계란 地磁界, 遇存電荷, 직류전압·전류에 의하여 발생하는 전자계를 말하며, 준정상전자계는 집중정수회로로 취급할 수 있는 정도의 주파수 성분을 포함하는 전자계이며, 전계는 고전압으로 충전된 부분

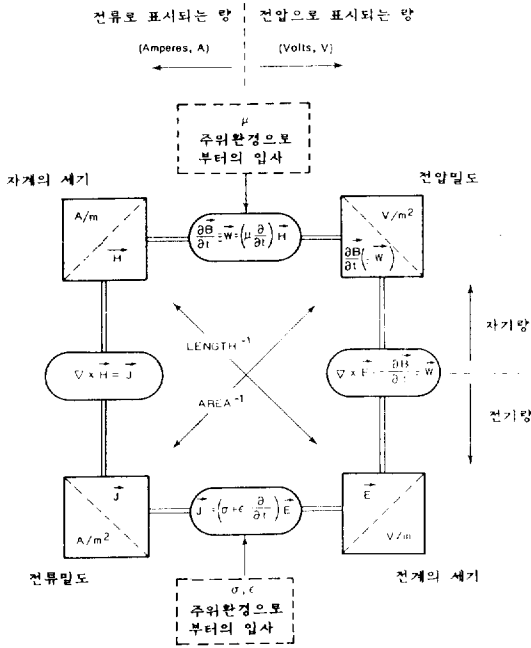


그림 1. 시변전자계량의 상호변환관계

에 의하여 유도되는 정전계, 자계는 집중정수회로에 흐르는 전류에 의하여 생기는 유도자계를 가르킨다. 또한 방사전자계는 분포정수회로로 취급하여야만 되는 고주파 성분을 포함하는 급변성 고전압과 과도전류에 의하여 유기되는 전자계 성분이다.

공간의 전자계 측정엔 전계, 자계, 전류밀도, 전하밀도 등 미시적인 전자계량들 뿐만 아니라 거시적으로는 전압 또는 전류의 양들을 다루게 된다. 그림 1에 나타난 바와 같이 4종류의 電磁界量들은 맥스웰의 電磁方程式 또는 전자유도법칙과 직접적으로 연관성을 가지고 있다. 따라서 전자계량들사이의 조합과 상호변환 관계로부터 미지량의 감지, 변환관계와 측정이 가능하게 되며, 전자계 센서기술은 미지의 측정대상 양을 어떻게 감지 또는 변환하고, 감지된 신호를 처리하느냐에 관련된 계측기술이다[14, 15].

모든 센서의 기본원리는 변환 즉, 어느 임의의 계에서 다른 계로 에너지를 전송하는 것이다. 그림 2에 나타난 바와 같이 일반적으로 센서의 전기적 출력신호는 2차 매개변수의 변화에 따른 입력의 물리적 성질의 변화에 의하여 발생하게 된다.

센서의 출력과 매질의 물리적 성질사이의 관계 즉, 선형성, 응답시간과 감도, 반복성 등이 센서의

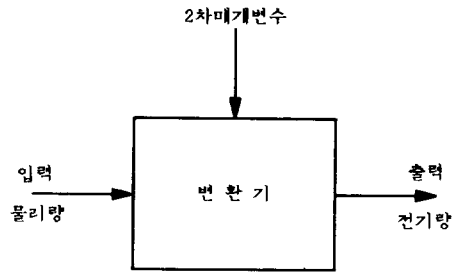


그림 2. 센서동작의 체제도

특성을 결정하게 된다. 마찬가지로 전자계신호 감지용 센서에서도 측정의 正確度, 感知應答度, 變換機能, 周波數帶域 등의 요소들이 대단히 중요하며, 센서로서의 우수한 성능과 특성을 나타내기 위하여 요구되는 기본사항들을 요약하여 보면 다음과 같다.

- (1) 측정하고자 하는 미지의 전자계량을 전압 또는 전류로의 변환이 가능하고, 관측장치까지 감지신호의 왜곡없는 傳送과 處理가 가능하여야 한다.
- (2) 센서의 감지기는 受動性이어야 한다.
- (3) 감응도가 센서의 기하학적 치수에 의하여 특징지어지며, 정확한 교정 및 성형과 설치가 가능하여야 한다.
- (4) 신호의 감지 또는 변환기능이 廣帶域의 주파수 범위에 걸쳐 단일하여야 한다.
- (5) 변환기능이 측정대상인 미지의 전자계량에 대하여 高感度이며 감지신호의 레벨이 높고, S/N 비가 커 잡음원이나 외란의 영향을 극소화시킬 수 있는 구조이어야 한다.
- (6) 응답도가 가능한한 직선성이어야 하며, 고안정도가 유지되어야 한다.

측정에 있어 기술적인 측면을 고려하여 보면 직류나 저주파영역에서 저항, 코일, 콘덴서 등 집중정수형 회로소자도 대체로 3 MHz 이상의 고주파영역에서는 殘留인덕턴스, 漂遊靜電容量, 表皮效果 등이 작용하고 방사손실이 증대하여 소자의 전기적 특성이 변화하게 된다. 따라서 주파수영역에 따라 측정기술도 달라지게 되며, 고주파수 영역 즉, 분포정수회로로 취급하여야 되는 경우에는 위치에 따라 전압이나 전류도 달라지게 되므로 저주파수 영역과는 다른 고도의 측정기술이 필요하다. 특히 고주파수영역에서는 전자계의 특성을 나타내는 전력이나 방사·

표 2. 대표적인 전계측정법과 응용

	검출량	측정기·측정법	측정원리 또는 대상	사용되고 있는 명칭
전	誘導電荷 또는 誘導電流	回轉(振動)電極形 電界計	차폐와 감지전극의 상대운동 또는 感應電極의 운동에 의 한 전속변화	Field mill, Flux meter, 電束計, Induction volt-meter, Agrimeter
		振動容量形 電界計	전극진동에 의한 정전용량의 변화	Vibrating-element field probe, Vibrating-plate probe
기		電界制御形 電界計	바이어스시일드로 전계를 제 어	Field filter, Grid field filter
		固定容量形 電界計	측정대상의 시간적변화에 의 한 유도전류, 유도전하	Electric field probe, Spherical dipole probe, Free body meter, Sectioned electrode, Capacitive probe, Field probe, Capacitive field probe
적	전기력	靜電氣力形電界計	感應電極의 기계적 변위	靜電探針, 振動探針, 정전 전압계, 共振探針
		맥스웰應力形 電界計	맥스웰응력	Strain gauge sensor, Field optic sensor, Electroacoustic transducer, 정전 전압계
측	전위 또는 전위차	직접전위차측정법	전압강하	Projecting probe
		變位電流形電位計	변위전류	Free body meter
		飽和帶電式電位計	포화대전되는 전위	Fine wire probe, Bipolar current probe
정	이온전류	帶電電位計	방사선에 의한 전리대전	Potential probe
		유입이온형전계계	바이어스전압대전류	Current/bias-voltage probe
		放射線式電界計	방사선에 의한 電離電流	Radioactive static meter Radioactive field probe
법	電磁界	코로나전류형 전계계	針端코로나전류	針端코로나 電界計
		放電發光 펄스카운터電界計	放電發光의 빈도	Pulse counter
광 학 적 측 정 법	電氣光學 效果量	안테나법	전자계에 의한 誘導	Slow antenna, Fast antenna Loop antenna, 靜 電안테나, RI meter, TVI meter
		포켈스효과법	偏光強도의 변화	Pockel's device sensor, Optical fiber sensor
		Kerr 효과법	편광강도의 변화	Electro gyration meter
기 타		탐침법	바이어스전압대전류특성	Langmuir probe, Double probe
		비임법	전자비임의 편향	

투과계수가 주요한 측정의 대상으로 되므로 同軸線路, 導波管의 사용, 整合回路의 구성 등 이에 대한 충분한 지식과 측정오차를 줄일 수 있는 대책이 요구된다.

### 3. 전자계 측정방법의 분류와 응용

전계, 자계센서는 전계 또는 자계내에서 물질의 성질이 변화하는 현상을 이용하는 것도 있으며, 전자계 현상에 관련된 電磁誘導法則과 效果에 의하여 동작하는 것도 있다. 전계, 자계, 전자계센서는 센서의 구조, 동작원리, 변환기능, 응용성, 관련기술 등을 바탕으로 분류할 수 있다. 또한 그림 1에도 나타난 바와 같이 실제적으로 전계와 자계의 량을 한 개의 센서로 동시에 측정하는 것이 불가능하므로 여기에서도 전계센서, 자계센서로 나누어 기술한다.

최근 가전제품을 비롯하여 산업용 전기기기의 소형화와 고신뢰성의 달성 및 수치적 전계계산방법의 발전에 의하여 절연설계의 합리화와 정밀화가 이루어졌으며, 또한 이들 전기기기의 보수와 효율적 운용을 위하여는 高精度의 전계계측이 필수적 요건이다.

더불어 초고압송전선 부근과 같이 공간전하가 존재하는 이온 流場이나 원자로 주변, 電氣集塵器, 粒子加速器 등의 방전응용기기의 내부전계 해석, 대기 또는 기체중의 방전특성과 진전기구해석 등을 위하여는 방전에 의하여 형성되는 공간전하의 영향을 포함하는 전계의 정확한 측정이 필요불가결하다.

특히 공간전하가 존재하는 경우의 전계측정은 센서 또는 감지기에 대한 정전유도작용이나 전하의 유입에 의하여 오차가 생기게 되므로 정확한 전계계측을 위하여는 특별한 측정기기가 요구된다. 따라서 최근 세계 여러나라에서도 전계측정기기 및 센서기술의 개발과 규격의 검토에 대한 연구가 활발히 추진되고 있으며, 국제 전기 위원회(International Electrotechnical Commission; IEC)의 TC42와 WG06에서도 「The Measurement of Power Frequency Electric Field」에 관한 기준이 검토되고 있다.

현재까지 개발되어 실용화되고 있는 전계측정용 센서와 측정기기는 크게 電氣의 現象과 光學의 效果를 이용하는 것으로 분류할 수 있으며, 이에 대한

개략적인 설명을 표 2에 나타내었다[16].

최근에는 광학기술의 발전과 더불어 電氣光學效果와 磁氣光學效果를 이용하여 전자계를 측정하는 기술이 급속히 개발되었다. 전자계를 감지하는 광센서의 경우 센서부에 전원이 필요없으므로 금속재료를 사용하는 센서에 비하여 피측정공간의 電界歪曲이 없으며, 소형화가 가능하고, 전자유도작용에 의한 영향을 거의 받지 않는 등 여러가지 장점을 가지고 있다. 그러나 전기광학효과를 이용하는 측정계의 경우 기계적 공진이 발생하기 때문에 最大應答周波數帶域이 수 MHz 정도에 지나지 않으므로 광대역 전자계 측정용 센서로의 실현에는 한계가 있으며, 세계적으로 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다 [17~21].

자유공간내에 존재하는 자계는 1842년 주울효과(Joule effect)를 이용하여 측정하는 방법이 최초로 개발된 이래 여러가지 계측방법이 제안되었다. 자계 측정의 핵심인 자계성분을 감지하는 자계센서를 동작원리에 따라 분류하여 보면 자기적인 성질을 이용하여 감지하는 센서와 로렌츠의 힘(Lorentz's force)을 이용하는 센서로 대별할 수 있다[22, 23].

#### 3.1 자기적인 성질을 이용하는 센서

- (1) 화라데이효과(Faraday effect) 또는 카-효과(Kerr effect) 등 磁氣光學效果를 이용하는 센서
- (2) 磁氣抵抗效果를 이용하는 센서
- (3) 電磁誘導作用을 이용하는 센서

#### 3.2 로렌츠의 힘을 기초로 하여 동작하는 센서

- (1) 홀 효과(Hall effect)에 의하여 동작하는 센서
- (2) 磁氣抵抗率效果를 이용하는 센서
- (3) 磁氣다이오드효과를 이용하는 센서

이들 외에도 측정대상에 따라 기계적 변형력을 이용하는 센서도 있으며, 초전도체 박막의 터널효과와 量子效果를 기초로 하는 조셉슨효과 센서가 출현하였다. 조셉슨효과를 이용하는 센서의 대표적인 예로는 超電導磁力計(Superconducting quantum Interference Device; SQUID)가 있으며, 의용생체공학과 관련되는 生物磁界(Biomagnetic fields)의 측정에 이

용되고 있고, 최근 이 분야에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

자계센서를 측정대상에 따라 분류하여 보면 표 3과 같다[23].

표3에 열거한 바와 같이 자계센서는 물리적인 량과 전기적인 량 등 매우 다양하게 이용되고 있으며, 응용분야를 크게 분류하여 보면 항공우주과학, 자동차공업, 생물의학, 각종 산업용 제어기기와 자동화설비, 측량과 탐사, 연구설비용 장비, 가전기기 등에 적용되고 있으며, 미래의 기술발전에 대한 선도적 핵심분야가 될 것이다[24, 25].

長波帶(LF)에서 마이크로波帶(SHF, EHF)까지 무선주파수대인 전자계측정용의 검출기로는 안테나센서가 주로 사용된다. 통신용, 방송용, 레이더 등의 관측용, 항공 및 위성의 관제용, 항행표식용으로 전자계 측정에 이용된다. 안테나센서의 특성은 사용주파수, 利得, 帶域, 指向性, 偏波特性 등에 의하여 분류되며, 표 4에 주파수대역에 따른 분류를 나타내었다[16].

高周波領域에서는 전계와 자계사이에 밀접한 관계가 있기 때문에 자계에 의해서 유도된 신호를 직접 측정하여 磁界량을 검출하고, 또한 자계에 의하여 유도된 신호를 적용하여 전계를 산출하는 방법도 사용되고 있다. 일반적으로 전자계측기로서는 운반이 가능하고, 소형이며, 단순한 구조인 것이 바람직하다. 코로나방전이나 섬락특성, 전력계통에서 발생하는 급준파씨지, 雷位置標定과 뇌방전현상의 해석, 원자로주변의 전자계 특성, 라디오·TV주파수대역의 전자계잡음 등 전기공학분야에서 주로 취급하는 고주파전자계는 대체로 中波帶이므로 이 주파수대의

측정용 안테나에 대하여 살펴본다.

中波帶域의 계측용 안테나센서로서는 미소루우프, 磁心코일, 棒안테나 등이 주로 사용된다. 루우프형 안테나는 루우프형도체의 양단에 유도되는 전류, 전하의 신호를 검출하므로써 高周波磁界를 측정하는 것이며, 루우프의 반경이  $1/10$ 波長인 미소루우프안테나가 많이 사용되며, 원형과 4각형의 루우프가 있다. 磁心코일형은 권회수가 많은 미소루우프안테나의 중앙에 페라이트철심을 삽입하여 응답의 이득을 크게 한 것이다. 봉형안테나는 접지면에 수직으로 설치한 單極子안테나로 片端開放으로 하여 접지층에 유기된 전류를 검출하여 전계를 측정하는 것이다. 이 안테나는  $1/4$ 파장이 기본이며, 이것보다 길이가 짧은 것도 사용되고 있다.

표 3. 측정대상에 따른 자계센서의 분류

동작기능	측 정 대 상
固體力學的 測定法	변위, 위치, 응력, 속도 및 속력, 가속도, 질량, 힘, 변형력, 장력, 회전력 등
流體力學的 測定法	밀도, 유량, 습도, 유속, 압력, 점도 등
電磁界的 測定法	전류, 전압, 전력, 전계의 세기, 자계의 세기, 電磁誘導量, 電束, 磁束, 자속밀도 등
기 타	온도, 열량, 光度, 색, 核放射量, 화학적인 량 등

표 4. 주파수대역에 따른 안테나센서의 분류

長 波(LF)	中 波(MF)	短 波(HF)	超短波(VHF) 極超短波(UHF)	마이크로波 (SHF, EHF)
우산형안테나 농형안테나 逆 L形안테나 접지형수직안테나	圓管柱안테나 접지형수직안테나 逆 L形안테나 루우프안테나 棒形안테나	쌍극자안테나 루우프안테나 텐덤형안테나 對數周期안테나	쌍극자안테나 單極子안테나 X형안테나 원추형안테나 棒圓錐形안테나 루우프 안테나 對數周期안테나	雙極子안테나 뿔모양안테나 파라볼라안테나 렌즈안테나

#### 4. 맺음말

전자계 센서 또는 감지기는 여러가지 산업기기, 전자기기, 연구설비에 응용되고 있으며, 특히 마이크로일렉트로닉스분야의 발전에 있어서 핵심요소가 되었다. 직접회로의 적용, 고밀도 기기와 센서의 조합으로 多機能, 高安全性 제품의 생산이 가능하게 되었으며, 자동화기술, 제어와 생산공정, 생체의용 기기의 개발, 전자계환경에 대한 연구에 중요한 역할을 하고 있다. 특히, 자동차공업분야에는 電磁誘導作用을 이용하는 센서가 주로 사용되고, 원자핵 설비주변에 대한 전자계영향 평가와 雷雲의 位置標定, 雷放電現象의 해석과 뇌해대책, 지뢰탐지와 무기의 위치표정 등에 관한 분야에도 많이 적용되고 있으며, 앞으로 전·자계센서기술이 자동차의 전자동화에 대한 주도적 기술이 될 것으로 예상된다.

앞으로 발전되어 갈 전·자계센서에 관한 기술의 전망과 응용분야에 대하여 살펴 보면 센서기술은 고성능의 증폭기와 마이크로프로세서의 적용으로 소형이며 고감도인 센서의 기술개발에 집중될 전망이며, 각종 제품의 기술혁신은 오로지 적절한 센서의 적용과 개발만으로 가능하게 될 것이다. 또한 생산공정과 자동화기술에 대한 연구와 개발은 가격이 저렴하고, 知能性으로 고정확도를 가지는 센서의 이용과 개발에 집중될 것이며, 정보와 통신분야에도 점차 이용의 정도는 확충될 것이다. 더불어 전자계센서기술은 자동차공업에서 안전성, 환경문제, 조작성 편의성 등의 향상을 위한 연구개발에 중추적 과제로 대두되어 있으며, EMI/EMC와 관련된 분야에도 核心的 要素技術로 활성적인 연구가 진행될 전망이다.

#### 참 고 문 헌

[1] W.R.Pfaff, "Accuracy of a Spherical Sensor for the Measurement of Three-dimensional Electric Fields", 5th ISH, No. 32-05, 1987. 8.  
 [2] 백용현, 이복희, 안창환; "전계측정용 센서의 개발", 대한전기학회 논문지, Vol. 40, No. 6, pp. 630-637, 1991. 6.  
 [3] 이복희; "방전·고전압현상의 연구에서 광기술의 이용", 대한전기학회지, Vol. 40, No. 6, pp. 19-29, 1991. 6.  
 [4] T. Giallorenzi, et al; "Optical Fiber Sensor Technology", IEEE Trans., Vol. QE-18, No. 4, pp. 626-665,

1982. 4.  
 [5] Gordon, D.I.; "Methods for Measuring the Magnetic Field", IEEE Trans., Vol. MAG-8, pp. 48-51, 1972.  
 [6] 河村達雄, 李福熙; "가스絕緣開閉裝置에 있어서 急峻波過渡電壓의 발생과 絶緣特性", 대한전기학회지, Vol. 38, pp. 21-30, 1989. 1.  
 [7] Bok-Hee Lee, et al; "Particle-Initiated Breakdown Behaviors of SF<sub>6</sub> Gas under the Very Fast Transient Overvoltages", The 2nd Asian Conference on Electrical Discharge, pp. 67-72, 1989. 8.  
 [8] CIGRE Working Group; "Very Fast Transient Phenomena Associated with Gas Insulated Substations", CIGRE. No. 33/13-09, 1988. 9.  
 [9] H. Hiesinger; "Statistical Time-Lag in Case of Very Fast Transient Breakdown", 6th ISH, No. 32-23, 1989. 8.  
 [10] Eldon J. Rogers; "Instrumentation Techniques in High Voltage Substations Part I: Measuring, Triggering and Interference Reduction", IEEE PES Summer Meeting, Paper T 72. 430-7, pp. 127-138, 1972. 5.  
 [11] Adolf J. Schwab and Josef Herold; "Electromagnetic Interference in Impulse Measuring Systems", IEEE PES Summer Meeting & EHV/UHV Conference, pp. 333-339, 1973. 5.  
 [12] John D. Dyson; "Measurement of Near Fields of Antennas and Scatterers", IEEE Trans., Vol. AP-21, No. 4, pp. 446-460, 1973. 7.  
 [13] 徳丸 仁; 電波は 危なくないか, 講談社, 1989, pp. 35-60.  
 [14] C.E. Baum, et al; "The measurement of Lightning Environmental Parameters Related to Interaction with Electronic Systems", IEEE Trans., Vol. EMC-24, pp. 123-137, 1982. 5.  
 [15] Carl E. Baum, et al; "Sensors for Electromagnetic Pulse Measurements Both Inside and Away from Nuclear Source Regions", IEEE Trans., Vol. AP-26, No. 1, pp. 22-35, 1978. 1.  
 [16] 電氣學會電界測定法專門委員會; 電界測定法, 電氣學會技術報告(II部), 第219號, 1985, pp. 2-10.  
 [17] T. Maeno and Y. Nonaka; "Determination of Field Distribution in Oil using the Kerr effect Technique after Application of DC Voltage", IEEE Trans., Vol. EI-25, No.3, pp. 475-480, 1990. 6.  
 [18] F. Ruhling and N. Trapp; "Wideband Analog Fiber Optic Data Link in High Voltage Measurements",

4th ISH, No. 64-06, 1983. 9.

- [19] B. Culshaw and I. Giles; "Frequency Modulated Hetrodyne Optical Fiber Sagnac Interferometer" IEEE Trans., Vol. QE-18, No. 4, pp. 690-693, 1982. 4.
- [20] B. Richter; "Application of Fiber Optics to the Measurement of Leakage Current in Metal-Oxide Surge Arresters", 4th ISH, No. 64-06, 1983. 9.
- [21] M. Martinelli; "The Dynamical Behavior of a Single-Mode Optical Fiber Strain Gauge", IEEE Trans., Vol. QE-18, No. 4, 1982. 4.

- [22] 이복희, 외 ; 전기전자재료공학, 보성문화사, 1986, pp. 257-336.
- [23] R. Boll and K.J. Overshott ;Magnetic Sensors, Vol. 5, VCH Publishers Inc., 1989, pp. 3-25.
- [24] Macintyre, S.A. ; "A portable low noise frequency three axes search coil magnetometer", IEEE Trans., Vol. MAG-16, pp. 761-763, 1980.
- [25] Kanamaru, Y., et al; "Characteristics of level and two axis attitude detectors using magnetic fluid", IEEE Trans., Vol. MAG-23, pp. 2203-2205, 1987.



**이복희(李福熙)**

1954년 6월 29일생.

1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업.

1987년 동 대학원 졸업(공학).

1988-1989년 일본 동경대학 생산기술

연구소 객원연구원

현재 인하대 공대 전기공학과 조교수, 당학회 편집  
위원.



**최창준(崔昌俊)**

1954년 3월 18일생

1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업

1981년 주식회사 범진 입사

1983~1984년 CARL Schenck 근무

현재 Schenck-Korea Co. LTD 이사