

I. 머리말

전기는 인간생활의 원동력이며, 현대 산업사회는 전기공급 없이 잠시라도 지속될 수 없다. 이와 같이 전기는 문명의 이기로서 광범위하고 편리하게 적용되고 있으나, 이로 인해 발생하는 전기환경문제는 국민의 쾌적한 생활환경 요구와 EMI/EMC의 국내외적인 법적 규제 강화와 더불어 전기환경 친화기술 개발을 요구하며, 전기분야에서도 필수적인 과제로 부각되고 있다. 이러한 전기환경기술은 공학 및 자연과학의 여러 학문과 기술이 관련되는 복합기술이며, 피해자가 전기 수혜자인 모든 국민이 대상이 되는 범 국가적인 중요한 공공기술 중의 하나이기도 하다.

한국전기연구소는 다양한 전기분야의 기술에 대한 연구개발에 헌신해 온 정부출연 연구소로서, 전기환경문제에도 깊은 관심을 갖고 1986년에 전기환경연구팀을 발족시켜 지금의 전기환경·송전연구그룹에 이르기까지 교통신호시스템, 전력설비 등 각종 산업설비, 군용설비 및 일반 전기기기류의 전기환경문제를 해결하는데 적극 기여하고 있으며, 향후 2000년대 전력산업의 향방을 결정하는 주요 5대 요소 중의 하나인 전기환경 친화설계 및 대책기술개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

II. 설립목적 및 기능

전기환경·송전연구그룹은 한국전기연구소의 전력연구단에 소속되어 있으며, 전력시스템 및 수용가에서의 써어지 및 낙뢰 대책기술 개발, 고속전철·

자기부상열차 등 신교통수단의 EMI/EMC 평가 및 대책기술 개발, 대형 HVAC/HVDC 송전선로, 발전전소 등 고품질의 전력설비 환경친화기술개발 등에 관한 체계적인 연구와 환경친화화를 고려한 전력수송설비의 설계 및 관련 기자재 개발 등을 목적으로 설립되었다. 상기 목표 달성을 위해 수행되고 있는 그룹의 주요 기능은 다음과 같다.

- 써어지 및 전자파잡음 (EMI/EMC) 평가 및 대책기술
- 초고압 전력설비의 환경친화 설계 및 대책기술
- 전력설비 EMF 안전성 평가 및 저감기술
- 전력수송설비의 전기적 및 기계적인 설계 해석 및 관련 기자재 개발
- 송배전선로 용량증대 기술개발
- 전력수송설비의 운용 및 유지보수기술 개발

참고로 본 연구그룹이 소속되어 있는 전력연구단의 설립 취지는 21세기 지식기반 사회의 주요 에너지 공급원으로서 국가 전력망 구성을 환경친화적으로 최적화하고, 시스템 구성 요소의 고기능 및 효율화, 전력공급의 경제성 및 품질 향상을 위한 NEW (New, Environment-Friendly, Wise) 전력시스템 개발을 통해 국가 전력기술의 자립과 국제경쟁력 제고이며, 이를 효율적으로 수행하기 위해 선택과 집중을 통한 전략적 연구개발을 추진하여 내부적으로는 전문성과 연구능력을 확보하고, 외부적으로는 연구성과의 확산으로 국가전력기술발전에 실질적인 기여를 목표로 다음과 같은 연구개발사업을 중점추진하고 있다.

- 국가전력망 계통연계 및 최적화 기술개발
- Energy Electronics Based 전력시스템 기술개발
- 전기환경 친화기술 개발
- Knowledge Based 시스템제어 기술개발

Ⅲ. 연구그룹 연혁

- (1) 1986년: 전력전자연구부 소속 전기환경연구실 발족
- (2) 1993년: 전력전자연구부 소속 전기전자환경연구실로 개명
- (3) 1997년: 전력전자연구부 전기전자환경연구팀과 전력계통연구부 송변전연구팀을 합병하여 전력계통연구부 소속 전기환경연구팀으로 발족
- (4) 1999년: 전력계통연구부 선로성능연구팀과 합병하여 전력연구단 소속 전기환경·송전연구그룹으로 발족

Ⅳ. 주요 연구 분야

전기환경·송전연구그룹의 전기환경 연구분야는 다음과 같다.

4-1 썬어지 및 전도성 잡음 대책기술 연구분야

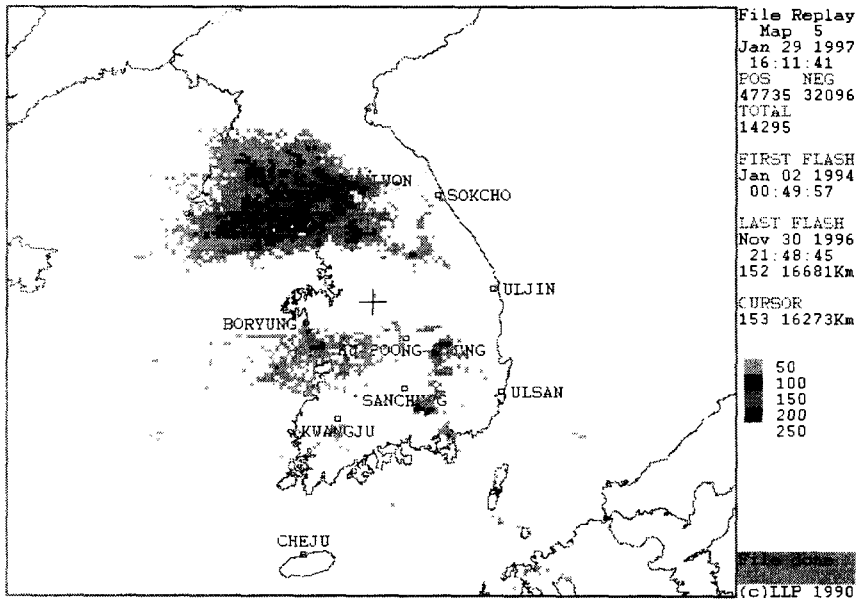
과학기술의 발전 및 전기·전자·통신기기의 사용이 증대하면서 전기·통신 계통의 공급규모가 점차 확대되고 복잡한 양상을 띠고 있다. 그런데 이들 전력 혹은 신호선에는 자연적인 현상으로 발생하는 뇌방전으로 인한 뇌 썬어지에서부터 전력계통내의 선로 혹은 설비의 정상적 혹은 비정상적인 개폐작용에 의한 개폐 썬어지에 이르기까지 다양한 전도잡음이 존재하고 있어 저전력화, 고집적화, 고속화, 지능화 되어 가고 있는 각종 기기 및 시스템에 오동작이

나 파손 등 여러 가지 장애현상을 유발시켜 고도의 정보화 사회로의 발전에 중요한 방해요소가 되고 있다. 한편 각종 기기에는 미약한 신호를 다루는 경우가 많아 상대적으로 잡음에 대한 내력이 떨어지고 있는 실정이며, 더욱이 고속의 Switching 소자를 사용하여 기기의 신뢰성과 기능을 향상시킴에 따라 그 역작용으로써 발생하는 잡음형태는 기존의 잡음양상과는 달리 점차 고주파의 양상을 띠고 있다.

당 연구소는 고전압, 대전류 과도현상인 썬어지의 발생 및 전파 메커니즘을 규명하기 위해 지금까지 15년 동안 주로 전력계통에 대한 썬어지 발생현상 및 전파 메커니즘을 규명하기 위한 연구를 진행한바 있다(그림 1 중앙기상청과 함께 운용중인 뇌위치 표정시스템(LLS : Lightning Location System)의 국내 낙뢰밀도 측정데이터). 최근에는 내전압이 낮으며, 그 피해가 많은 저압 전기, 전자, 통신설비를 대상으로 내 썬어지 대책기술을 개발하고자, 썬어지 전파특성을 규명하기 위한 실증시험장을 구축하여 접지계의 썬어지 전파특성을 규명하는 연구를 진행하고 있으며 본 시험장을 통해 개발된 Surge Protector 나 차폐절연변압기 등의 대책기기의 성능을 실증적으로 시험할 계획에 있다. 또한 정부출연 연구기관으로써 산업체에서 절실히 필요로 하고 있는 접지/본딩기술, Filtering/Protection기술에 대한 체계적인 기술요구에 부응하고자 썬어지 대책기술을 집약한 소위 "썬어지 대책 기술 기준안"을 작성하고자 관련 연구를 수행하고 있다.

4-2 고속철도시스템의 EMI/EMC 대책기술 연구 분야

전기를 이용하는 모든 기기나 장치는 도선을 통하여 전자파 잡음을 전송하거나 대기 중에 방사하여 타 전기 기기 및 장치의 동작 및 인체에 영향을 줄 수 있다. 특히 전기철도에서는 고압의 전원을 사용



Note □ : 5 km×5 km, 1994년도: Ng=0.32(회/km²/년), 1995년도: Ng=0.55(회/km²/년)
 1996년도: Ng=0.72(회/km²/년), 최대: 10(회/km²/년)

[그림 1] 국내의 낙뢰발생 현황

하여 차량을 동작시키고, 디지털 기술과 높은 스위칭 주파수가 가능한 소자의 발달로 저 전력 장치를 이용하므로 운행의 안전을 유지하기 위해서는 EMI/EMC의 연구가 무엇보다도 중요하다. 이러한 EMI/EMC문제는 철도설비가 예전의 일반적인 전기설비에서 반도체를 응용한 정교한 전자장치를 갖춘 장치로 신호 및 제어설비가 대체되어가고 있는 실정으로 기술적으로도 큰 이슈가 되고 있다. 특히 고속철도의 신호설비(ATC, IXL, CTC 등)는 더욱 마이크로화 되고 첨단인 프로세서를 응용한 기술을 채택하여 설치되고 있어 이 장치들이 내부의 전자적인 서로 간섭이나 외부의 불요전자파의 영향을 받아 오동작을 일으킬 수 있는 가능성은 더욱 많아지고 있는 상황이다. 이러한 고속전철에서의 EMI/EMC 문제는 하나의 종합적인 설비로서 고려되어야 하며 이에

부속되는 설비로서는 변압기, 전력용 반도체, 필터, 보조전원장치, 운전조정장치, 모니터링 회로들을 가진 견인 차량 및 전력공급 관련 전원공급기, 발전기, 저항기, 스위치기어, 필터 등과 궤도를 따라 견인전류를 공급하는 배전설비와 궤도신호, 신호box, 데이터 링크, 정보네트워크, 스테이션 서비스 등 설비와 열차의 정상운행과 안전을 위한 신호보안장치 등을 들 수 있다.

고속전철 시스템에서 외부로 미치는 전자환경 장애현상으로는 고정된 고속전철 시스템의 대전류, 고전압화에 따른 전자계의 인체유해성 문제, 인접시설물에 대한 전자파장애문제, 전력선과 통신선의 유도장애 문제, 고조파 문제 등이 있다. 그리고 trolley pantograph에서의 arc 방전에 의한 impulse 성 RF noise의 복사 문제가 있다. 전자파 장애의 문제점을

해결하기 위해서는 두 가지 측면으로 접근할 수 있는데 하나는 방사되는 불요전자파를 억제하는 방법이고, 다른 하나는 주어진 전자파 환경내에서 장해를 받지 않고 기기가 정상적으로 동작할 수 있도록 사용 기기의 내력(Immunity)을 강화시키는 방법이 있다. 전자는 EMI(전자파간섭: Electromagnetic interference)발생 억제에 관련된 분야이고 후자는 EMS(전자파감응성: Electromagnetic Susceptibility)에 관련된다. 이 본 연구는 고속전철 시스템이 EMI에 대한 안전과 신뢰도 향상을 위한 것으로 실제시스템으로의 적용을 목표로 하여 다음 항목을 중심으로 연구개발을 진행하고 있다.

- (1) 고속철도 EMI 실증시험 및 DB 구축
- (2) 고속철도 신호시스템 EMS 평가
- (3) 고속철도 신호 보호기 개발
- (4) 고속철도 EMI/EMC 예측 Program개발
- (5) 고속철도 EMI/EMC 국내 규격(안) 작성

4-3 초고압 전력설비의 전기환경설계 및 대책기술 연구분야

전력설비의 개발은 에너지 개발사업의 일환으로써 전원개발 및 환경정책 등의 관련 법률들에서 정한 일정 기준을 만족하도록 설계되어야 한다. 특히 최근에 사회문제로 대두되고 있는 쾌적한 생활환경 요구 증가와 지역적 이기주의에 대응할 수 있는 초고압 송전선로 및 변전소의 설계와 건설이 필수적인 과제로 부각되고 있다. 국내에서는 1996년경부터 일반 국민과 각종 단체의 민원 및 법정 소송이 제기되기 시작했다. 따라서 전력설비 주변 특히 송전선로 경과지의 기존 환경에 악영향을 미치지 않는 환경친화형 전력설비의 환경대책설계기술 개발이 요구된다.

송전선로를 신규로 설계, 건설하는 경우 개념설계

단계에서 환경문제를 조사, 반영하는 이유는 '인간 생활환경과 조화가 되는 송전선'을 건설함으로써 운전 후에 환경영향으로 인한 선로 인근 거주자의 불평(civil complaints) 발생과 전국적인 송전선로 건설 반대 여론을 사전에 방지하는데 있다. 강력한 환경민원에 의해 기설 송전선로를 막대한 경비를 재투입하여 이설한 실제적인 예가 있으며, 미국의 플로리다주에서는 송전전압 격상 소요시기에 격상을 하지 못하여 원활한 전력수급계획에 차질을 빚기도 했다. 이러한 새로운 사회문제에 대한 효과적인 대책은 경제성을 갖춘 환경 친화설계기술을 적용하는 것이며, 이의 결과 각종 사회환경비용이 절감될 것이다. 초고압 송전선로에서의 환경문제는 대형 구조물에 의한 시설장해와 코로나 방전현상에 의한 전기적 환경장해 등으로 구분된다. 전기적 환경장해는 코로나 소음, 라디오 및 TV 수신장해, 각종 전자계 영향 등이며, 설비 규모로 결정되는 기계적 시설장해로는 송전철탑의 대형화 및 선로의 복도체화에 따른 경관장해(visual impact)와 풍소음(aeolian noise) 장해 및 텔레비전 전파장해(TV ghost and blocking) 등이 있다. 이상의 각종 송전선로 환경장해를 원인별로 분류하면 표 1과 같다.

표 1에서 송전전압이 높아짐에 따라 송전선로 하에서의 정전유도, 전선과 애자 등에서의 부분방전에 기인하는 라디오 수신장해, 코로나 소음 등이 문제로 되며, 또한 전류가 커짐에 따라 송전선 부근의 fence 등 금속선로의 전자유도에 의한 감전과 자체의 인체에 대한 영향 등이 환경문제로 된다.

선로환경설계기술 중 그 중요도가 가장 크고 전력계통계획 시 전원계획, 계통해석, 절연설계 등에 우선하여 검토되어야 하는 것이 기계력 설계와의 협조를 통한 환경설계자료이다. 설계자는 이 자료를 활용하여 송전선로 및 철탑 등을 실시 설계할 수 있다. 선로 설계요소로서는 송전도체방식 선정(소도체 직경과 相當 소도체 수), 전선 상배치 방법 (line

〈표 1〉 HVAC/HVDC 송전선로의 원인별 환경영향

원인		장해항목	피해대상	특 징
기계적	설비	TV 전파장해	TV 수상기	○허상 발생→ 수신전계 저감
		風騷音 장해	사람	○卓越周波數 騷音 장해
		경관장해	사람	○시각장해 → 경과지 선정기술
전기적	전압	靜電誘導 이온流 帶電	사람, 동물	○전압, 전류에 의한 感知 ○직류 송전선로
		전 계	사람, 동식물	○생리적 영향
		코로나 잡음	라디오 수신기 TV 수상기	○청취장해 ○화상장해
		코로나 소음	사람	○Random 소음과 Hum음 장해
		오 존	사람	○광화학 Oxidant 농도 조장
	전류	電磁誘導	사람, 동물	○전류에 의한 충격
		자 계	사람	○생물학적 영향 또는 심장박동 조절장치 기능장해 등

configuration), 최하상 전선 지상고 결정 및 선로 상용화 기술의 적합성 평가 등이다.

본 연구분야에서는 송변전 전력시스템의 전기적, 기계적인 환경설계 및 대책기술 개발을 주목적으로 아래 항목들에 관한 연구가 진행되고 있다.

- (1) 교류 송전설비의 전기적, 기계적 환경대책설계 기술 개발
- (2) 직류 송전선로 및 변환소 환경대책설계 핵심 기술 연구
- (3) 변전소 저소음화 기술 개발
- (4) 저소음 가공 특수 전선 개발
- (5) 송전선로 TV 전파장해 평가 및 대책기술 개발
- (6) 송전선로 전기환경장해 종합평가프로그램 개발
- (7) 초고압 송전선로 환경설계기준 제정 연구
- (8) 전력설비 입지선정 및 경관예측시스템 개발 계획

4-4 극저주파 전자계 안전성 평가 및 저감기술 연구분야

수질, 대기 오염과 유사한 환경 문제로 제4의 공해라고 불리는 전자계장해가 사회적인 중요문제로 대두되어 집단적으로 민원이 발생하고 있으나, 국내의 경우 전자계장해 및 실태에 관한 구체적 조사자료가 없으며, 극복을 위한 기술적, 제도적 장치도 마련되어 있지 않아 국민들의 염려를 해소시켜주지 못하고 사회적으로도 큰 환경비용 손실이 야기되고 있다. 이러한 전자계 문제는 피해자가 모든 국민이 될 수 있는 범 국가적인 공공기술이므로 공공의 인적, 물적, 환경적 사회비용 손실을 최소화하기 위해서 생활환경을 저해하는 전자계 환경 실태 분석 및 노출 안전성 평가 기술 개발, 전자계 저감 핵심 기술 개발을 목표로 하며 핵심기술은 극저주파 전자계 해석 및 노출 모델 개발 기술, 전자계 환경 실태 분석, 전자계 안전성 평가 및 노출 제한치 근거 수

립, 전자계 저감 Passive/Active Loop 실증 적용 기술 개발이다.

향후 이 분야의 기술 개발은 과학적인 규명이 완료되지 않더라도 전자계는 가급적 저감시켜야 한다는 "Prudent Avoidance" 정책에 따라 현재의 수준보다 전자계를 줄이는 것을 권고하고 있다. 특히, 미국 Oakridge Lab.에서 지적하였듯이 향후 2000년대 전기 및 전력 관련산업 전체의 방향을 결정할 수 있는 중요한 문제로 인식되고 있어 미국 EPRI에서는 집중적인 투자를 하고 있다. 따라서 전력계통의 신뢰도와 안전 등을 현재 수준으로 유지하면서 저비용으로 자계를 공학적으로 줄일 수 있는 새로운 방법의 기술 개발이 핵심으로써 중점 연구분야는 다음과 같다.

- (1) 극저주파 전자계 실태 분석 및 노출 모델 개발
 - 생활환경을 저해하는 전자계 실태 분석
 - 전자계 노출량 평가 기술 개발
- (2) 전자계 해석 및 노출 안전성 평가 기술 개발
 - Dosimetry Modelling 및 Evaluation
 - 전자계 안전성 평가지표 산출
- (3) 전자계 저감 적용 기술 개발
 - Scale Model 전자계 저감 모의실험 및 검증
 - 전자계 저감 기술 개발

V. 연구사업 성과 실적

본 연구그룹의 전기환경분야 논문 발표 및 연구사업 수행 실적은 다음과 같다.

5-1 논문발표 실적(표 2)

5-2 연구과제 수행 실적

- ◎ 차기 초고압 송전연구를 위한 Corona Cage 설계, 건설 및 시험연구(1985. 4~1989. 9 : 한국전력공사)
- ◎ 전자계의 생물학적 영향에 관한 연구 (1986~1988 : 과학기술처)
- ◎ EMI 기초연구 (1987 : 과학기술처)
- ◎ 뇌써어지가 전력계통에 미치는 영향에 관한 연구 (1987~1988 : 과학기술처)
- ◎ 차기 초고압 송전용 실증선로 기초연구 (1988. 3~1989. 2 : 한국전기연구소)
- ◎ 뇌격전류 파라미터 측정을 위한 조사연구 (1989 : 한국전력공사)
- ◎ 코로나 장해 측정시스템 설계 (1989. 3~1990. 2 : 한국전기연구소)
- ◎ 수용가 PLD(Power Line Disturbance) 현상 분석 및 대책 기술 개발 연구(1989~1992 : 과학기술처 특정연구)
- ◎ 전력소 구내에서의 전자응용 설비에 미치는

〈표 2〉 국내외 논문발표 실적

구 분		1994년 이전	1995	1996	1997	1998	1999	합계
논문지	국내		2	3	3	5	2	15
	국외				2	1	1	4
학술지	국내	8		7	12	3	7	37
	국외		6	1	2	10	7	26

- EMI 영향 연구(1990~1991 : 한국전력공사 수탁연구)
- ◎ 삼성코닝 154 kV 송전선로 전자파장해의 영향 평가 연구(1991 : 삼성엔지니어링 수탁연구)
 - ◎ 실증시험선로 전기환경장해 측정시스템 설계, 구축(1991. 2~1992. 12 : 한국전력공사)
 - ◎ 통신설비의 전도 Noise 대책기술 (1992 : 대한전기학회)
 - ◎ 전자통신설비의 전자파 노이즈 내력 성능 평가 연구(1992~1993 : 한국전력공사 수탁연구)
 - ◎ 10 kV A급 전원노이즈 대책용 NCT(Noise Cut Transformer) 개발(1992~1993 : 생산기술개발사업)
 - ◎ 초고압 시험선로에서의 선로환경장해 실증연구(1993. 6~1996. 12 : 한국전력공사)
 - ◎ 전기기기의 전자파 차폐설계 기법 연구 (1994 : 과학기술처 특정연구)
 - ◎ 송전선로와 철탑에 의한 TV Ghost 및 Blocking 조사연구(1994. 3~1995. 2 : 한국전기연구소)
 - ◎ 전자환경장해대책연구 (1994~1996 : 한국전력공사 수탁연구)
 - ◎ 지중 송전선로에 의한 전자파 영향 연구 (1995 : 한국전력공사 수탁연구)
 - ◎ 송변전 설비 주변의 3차원 전자계 해석 프로그램 개발 및 실증시험 연구(1996 : 과기처 특정과제)
 - ◎ 고속철도 EMI/EMC 평가 및 대책기술 연구 (1996~2001 : G7과제)
 - ◎ EMF 안전성 평가 연구 (1997~1998 : 과기처

〈표 3〉 주요 장비 보유 현황

장 비 명	주 요 용 도
Gauss Meter	전기철도, 교류, 직류자기계(EMF) 측정용
Interference Analyzer	고주파 전도 및 방사잡음 측정 및 분석
Interference Analyzer	저주파잡음측정 및 분석용
Microwave Measurement System	마이크로웨이브노출량 측정용(전자레인지 등에 사용)
RF Exposure Measurement System	RF 전자파노출량 측정용
Absorbing Clamp	방해파 전력측정용
Shielding Effectiveness Test System	전자파 차폐재료의 차폐성능 측정용
EMI Noise Sensor	고주파잡음 측정용(휴대용)
ELF Field Strength Measurement System	초저주파(진력주파)전자계 측정용
SWC Simulator	감쇠진동파 내력시험 및 분석용
Surge Generation System	써어지 발생장치
Surge Current Monitor	Surge Current 측정용
Universal Disturbance Analyzer	110/220V 전원선로 외란현상 측정 및 분석용 (써어지 잡음, 고조파,전압변동,주파수변동)
Disturbance Waveform Analyzer	선로외란현상 측정 및 분석용(써어지 잡음,전압변동, 주파수변동)
Voltage Dip & Up Simulator	전압변동 시험 및 분석용
Magnetic Field Strength Meter	자기계강도 측정용
Magnetic Susceptibility Test System	자기내력 시험 및 분석용
Graphic Terminal	전자계 해석용
RF Susceptibility Test System	전계내력 시험및 분석용 (IEC 1000-4-3), (IEC 801-3)규격 만족
Signal Generator	신호 발생용
Network Analyzer	회로망 특성분석용(반사손실,삽입손실 등의 전달특성 포함)
Shield Room	전자파 방사 EMI 및 EMS 성능 평가
Transient Data Acquisition System	다채널 과도 전압측정용

- 특정과제)
- ◎ 발변전소의 보호계전설비의 환경영향 평가 연구(1997~1998 : 한국전력공사 수탁연구)
 - ◎ 전자계 이해증진 정책연구 (1997~1998 : 한국전력공사)
 - ◎ 대형 초고압 송변전설비의 환경대책 기술 개발연구(1997. 5~2001. 2 : 한국전력공사)
 - ◎ 용호 GIS 옥내변전소의 전자파 환경 평가 (1998 : 한국전력공사)
 - ◎ 동해 해안지구 택지개발사업 전자파 장애 영향 분석조사 (1998 : 토지공사)
 - ◎ 전자통신설비낙뢰 및 Surge보호대책 설계 (1999 : 수자원공사)
 - ◎ 154 kV 특고압 송전선로에 의한 제2차 검교정 설비 환경영향평가(1999 : 한국가스공사)
 - ◎ 66 kV 고압선로에 의한 신곡초등학교 전자파 환경 영향 평가(1999 : 의정부 교육청)
 - ◎ 써어지 전파특성 규명 및 대책기기 개발(1999~2000 : 산업기술이사회)
 - ◎ 경부고속철도 전자파대책 설계 (1999~2001 :

한국고속철도건설공단)

- ◎ 송전선로 전자계 영향연구 (1999~2002 : 한국전력공사 수탁)

VI. 주요 장비 보유 현황

전기환경·송전연구그룹에서 보유하고 있는 주요 장비는 표 3과 같다.

VII. 맺음말

한국전기연구소의 전기환경송전 그룹은 교통신호 시스템, 전력설비 등 각종 산업설비, 군용설비 및 일반 전기기기류의 전기환경문제를 해결하는데 산업체와의 협동 및 지원연구를 지속적으로 수행함은 물론, 전기환경분야에 있어 국가적인 공공기술연구에 주력하며 명실공히 21세기에 있어 전기, 전력산업의 향방을 결정하는 주요 5대 요소 중의 하나인 전기환경 친화설계 및 대책기술개발을 선도할 것이다.

≡필자소개≡

명 성 호

1959년 3월 20일생

1981년 : 서울대 공대 전기공학과(공학사)

1983년 : 서울대학교 대학원 전기공학과(공학석사)

1996년 : 서울대학교 대학원 전기공학과(공학박사)

1985~현재 : 한국전기연구소 전기환경송전그룹장
책임연구원