

톨게이트 전파 방해 개선에 관한 연구

정회원 김 광 수*, 김 종 섭*, 윤 태 석*, 신 승 훈**, 락 경 섭**

A Study on the Improvement Method of Propagation Impediment at Tollgate

Kwang Soo Kim*, Jong Sup Kim*, Tae Sock Youn*, Seung Hoon Shin**,

Kyung Sup Kwak** *Regular members*

요 약

고속도로의 톨게이트를 통과하는 차량이 무선 전파를 수신중일 경우 톨게이트 내부를 완전히 통과하기까지 심한 잡음과 함께 전파 수신에 크게 방해받게 된다. 본 논문에서는 이러한 전파 수신 장애 현상의 원인을 현장 시험을 통하여 분석하고 해결방안을 제시하였다. 시험 결과로부터 톨게이트 내부에 설치된 전자장비에 의한 전파 간섭의 영향보다는 톨게이트를 지탱하고 있는 철근 구조물에 의해서 발생하는 전자기적 차폐효과에 의해 차량의 전파수신이 방해받으며, 톨게이트의 부스 부근에서 심한 전자파 방해를 받는 것을 알 수 있다. 이러한 전파 방해는 잡음원 차단, 수신단에 자동 이득 제어 장치의 첨가함으로써 수신 전계강도를 향상시킬 수 있었다. 또한, 수신 안테나와 중계용 송신 안테나가 인접한 거리에 위치함으로써 발생하는 귀환 현상을 수신부와 송신부 사이에 지연선을 삽입하여 수신 신호의 품질을 향상시킬 수 있었다.

ABSTRACT

Receiving the radio signal at the tollgate, the mobile unit undergoes signal attenuation due to the tollgate structure. Performing measurements, we have investigated the propagation impediment of radio waves at the tollgate, and proposed the improvement method. From the measurement results, it seems to us that the propagation impediment at tollgate is due to shielding from the metallic structure of tollgate rather than electromagnetic interference from electronic devices. Introducing a noise isolator, automatic gain controller and delay line designed to eliminate the feedback effect which may occur from receiving antenna to transmitting antenna, signal degradation at the tollgate can be reduced.

I. 서 론

AM/FM 대역을 사용한 방송은 오랜 역사를 가지고 있으며, 현재 많은 상업 방송에서 교육, 음악 방송으로 이용되고 있다. 최근에는 운전자에게 교통 정보를 제공하기 위한 무선 통신 기술인 ITS (intelligent transportation systems)에 대한 관심이 증대되고 있다. 음성 모드의 교통 방송을 제공하기

위하여 기존의 AM 및 FM 대역을 이용한 상업용 라디오 방송을 통한 음성 모드의 교통 방송을 제공 기술에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며, AM 및 FM 방송을 이용한 교통 방송이 고속도로를 주행 중인 차량에 대한 교통 정보 제공에 많이 이용될 것을 예상된다^{[1][2]}.

AM/FM 대역을 사용한 방송의 수신 신호는 송신 경로상에 놓인 인위적 또는 자연적인 지형물에

* 고속도로 정보통신공단

** 인하대학교 전자전기컴퓨터공학부 전자공학과

논문번호 : 98421-0923, 접수일자 : 1998년 9월 23일

* 본 연구는 정보통신부 정보통신 우수시범학교(대학원)지원사업에 의거 1999년 인하대학교 교내 연구비지원으로 수행되었음

의해 큰 영향을 받는다^{[3][4][5]}. 특히, 고속도로의 톨게이트를 통과하는 차량이 AM 및 FM 라디오를 수신중일 경우 톨게이트 내부를 완전히 통과하기까지 심한 잡음과 함께 전파 수신에 크게 방해받게 된다. 이러한 전파 수신장애 현상의 원인으로서는 크게 두 가지로 살펴볼 수 있다. 우선 톨게이트를 지탱하고 있는 철근 구조물에 의하여 발생하는 전자기적 차폐 효과에 의해 차량의 전파 수신 장애를 받게 된다. 두 번째로는 톨게이트 내부에 설치된 전자장비에 의한 전자파 간섭이 전파 장애의 원인이 된다. 본 연구에서는 이러한 전자파 방해 원인을 현장 시험을 통하여 측정하고 해결방안을 제시한다.

시험 결과로부터 톨게이트 내부에 설치된 전자장비에 의한 전자파 간섭의 영향보다는 톨게이트를 지탱하고 있는 철근 구조물에 의해서 발생하는 전자기적 차폐효과에 의해 차량의 전파수신이 방해받으며, 톨게이트의 부스 부근에서 심한 전자파 방해를 받는 것을 알 수 있다. 이러한 전파 방해는 잡음원 차단, 수신단에 자동 이득 제어 장치의 첨가함으로써 수신 전계강도를 향상시킬 수 있었다. 또한, 수신 안테나와 증폭용 송신 안테나가 인접한 거리에 위치함으로써 발생하는 귀환 현상을 수신부와 송신부 사이에 지연선을 삽입하여 수신 신호의 품질을 향상시킬 수 있었다.

II. 시스템 구성

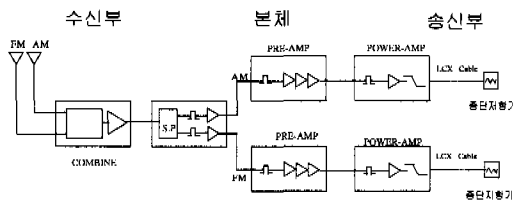


그림 1. 시스템 계통도

게이트내 전파 수신 장애 현상을 측정하기 위한 송·수신 시스템을 구성하였으며, 시스템은 광대역을 수신할 수 있는 수신 안테나와 수신된 신호를 증폭하여 방송 신호를 송신하는 주 장치 및 내부로 전파를 방사하는 송신 공중 선로로 구성되어 있으며, 다음의 그림 1에 시스템의 계통도를 나타내었다.

톨게이트내 AM, FM 라디오 방송을 위해 방송탑에서 송출하는 전파를 옥외 안테나로 수신하여 주

장치에서 RF를 직접 증폭시킨 다음 톨게이트내 설치되어 있는 송신 유도선으로 전파를 방사함으로써 고속도로 톨게이트내에 있는 차량의 라디오 수신기로 수신이 가능하도록 하는 설비이다. 주장치의 각 부분별 기능 및 특징은 다음과 같다.

- ① Splitter(S.P.): 안테나 증폭기에서 전달된 혼성신호를 AM과 FM 신호로 분리한다.
- ② Pre Amp(AM/FM): 내부 회로는 광대역 증폭기와 자동 이득 조절기(Auto Gain Controller) 등으로 구성되며, 표 1에 그 특징을 나타내었다.
- ③ Power Amp(AM/FM): AM/FM power Amp의 특징을 다음의 표 2에 나타내었다.

표 1. Pre Amp의 특성

구 분	AM PRE AMP	FM PRE AMP
주파수 범위	535 - 1,605kHz	88 - 108Mhz
입력 레벨	-30dBm	-30dBm
출력 레벨	-10dBm	-10dBm
AMP GAIN	20dB이상	20dB이상
S/N 비	25dB	25dB

표 2. Power Amp의 특성

구 분	AM POWER AMP	FM POWER AMP
주파수 범위	535 - 1,605kHz	88 - 108MHz
입·출력 임피던스	50 Ω	50 Ω
입력 레벨	-4 ~ -15dBm	-4 ~ -15dBm
RF 출력	37dBm	37dBm
스프리어스	45dB이하	45dB이하
Distortion	5%이하(1MHz 90%변조입력)	5%이하
S/N 비	45dB이상	45dB이상

- ④ 기타 보조장치: 출력 회로에 실제의 부하와 동일한 전력을 소비하는 저항 부하 기능을 수행하는 종단 저항기와 지상의 방송 전파를 수신 안테나에서 주장치까지 공급하는 동축 케이블의 손실을 고려한 광대역 증폭기 등으로 구성되었다.

톨게이트내 전파 수신장애를 발생시킬 수 있는 두 가지 원인에 대한 측정 결과로부터 톨게이트를 지탱하고 있는 철근 구조물에 의해서 발생하는 전자기적 차폐효과에 의해 차량의 전파수신 성능이 장애를 받는 것을 알 수 있었으며, 톨게이트 내부에 설치된 컴퓨터를 비롯한 전자장비에 의한 전자기 간섭은 톨게이트내 라디오 방송 수신에 전파방해를 줄 정도로 전자파를 발생시키는 설비는 없었다. 그림 2에는 AM 및 FM 주파수 대역에 대한 톨게이트 내부와 외부에서의 전파 수신 신호세기를 비교한 결과를 나타내었다. 그림 2로부터 톨게이트 내부 지역이 외부 지역에 비해 약 5~20dBm 정도 수신 신호의 세기가 약한 것을 알 수 있다.

톨게이트를 지탱하고 있는 철근 구조물에 의해서 발생하는 전자기적 차폐 효과에 의해 차량의 전파 수신 성능이 장애를 받고 있으며, 큰 철근 구조물 주위의 전계 분포는 철근 구조물을 통하여 접지 평면으로 차폐되므로 구조물의 근접거리에는 전계강도가 매우 미약하여 전파 수신이 곤란한 Dark Zone 이 형성된다.

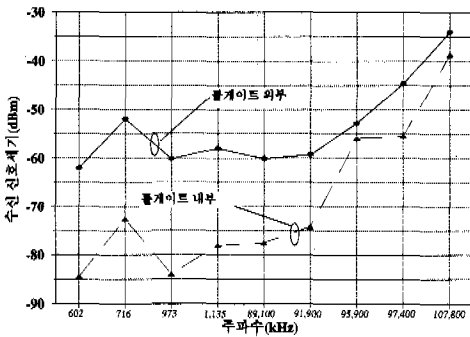


그림 2. 톨게이트 외부 및 내부에서의 AM/FM 주파수 대역에 대한 전파 수신 신호세기

III. 톨게이트 전파방해 측정 및 개선 방안

톨게이트 건축물에 의한 전파방해 현상을 시험하기 위하여 수신 전계강도를 측정하기 위한 AM/FM 시스템 계통도 및 계측기 구성을 다음의 그림 3에 나타내었으며 사용된 송·수신 안테나의 특징은 표 3에 나타내었다.

톨게이트 부근의 특정 지역에 전파 수신 장애를 비교하기 위하여 톨게이트 전방 5m(A), 부스 옆(B),

후방 5m(C)의 세 지역에 대한 수신 전계강도를 측정하였으며, 그림 4에 측정위치를 표시한 톨게이트 구조물 단면도를 나타내었다.

표 3. 송수신 안테나의 특징

구분		AM ANT	FM ANT
수신 안테나	종류	GP ANT	GP ANT
	주파수 범위	535kHz ~ 1,605kHz	88MHz ~ 108MHz
	GAIN	3dB	3dB
	높이	1.7m	1.7m
	임피던스	50Ω	50Ω
송신 안테나	종류	전선φ 2.0 케이블	LCX 5/8" 케이블
	내전압		1.5kV에서 1문간 견딜것
	절연저항		50MΩ/km

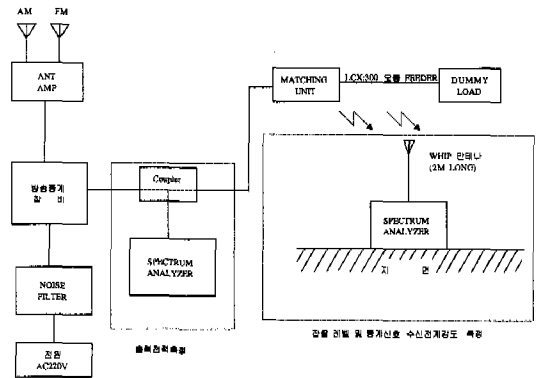


그림 3. AM/FM 시스템 계통도 및 계측기 구성

중계용 송신 안테나는 톨게이트 지붕 밑, 지상으로부터 5.5m 지점에 톨게이트의 부스, 수직상에 캐노피(canopy)와 평행하게 LCX 케이블 안테나를 일자형으로 고정시켜 설치하여 2 개월간 AM/FM 주파수 대역에 대한 수신 신호레벨을 측정하였다.

톨게이트 건축물 종류는 표준, 신형 및 구형 케노피로 나뉘어지며 차이점은 상판 두께, 재질 및 지면에서 상판까지 높이 등이다. 톨게이트내 수신 전계강도 측정 결과 톨게이트 건축물 종류와는 거의 무관하게 전파 장애를 받는 것으로 나타났다.

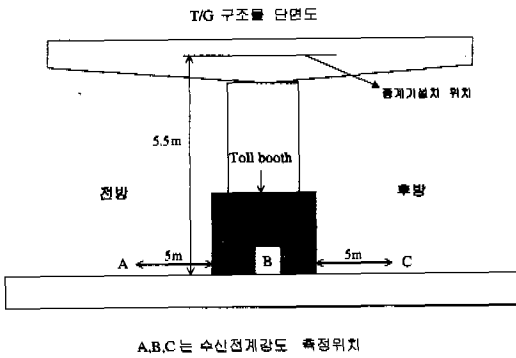


그림 4. 수신 전계강도 측정위치와 톨게이트 구조도

톨게이트에 중계기를 설치하지 않았을 경우 톨게이트 진입로 전·후방 5m(A, C) 지역에 비해 부스옆(B) 부근은 수신감도가 최고 23dBm 이상 감쇠 현상을 나타냈으며, 중계기를 설치함으로써 AM과 FM 주파수 대역에 대하여 각각 16dBm, 5dBm 이상 개선시킬 수 있었다. 표 4에 중계기 설치 전·후에 대한 수신 감도에 대한 측정 결과를 나타내었다. 톨게이트에 중계기를 설치함으로써 대부분의 주파수 대역에 대하여 수신감도의 향상을 가져올 수 있었으나, AM 602, 973kHz와 FM 89.1MHz 대역의 신호는 톨게이트 외부보다 수신감도가 낮은 것을 알 수 있으며, 이러한 현상은 수신 안테나와 중계기용 송신 안테나가 인접한 지점에 위치하기 때문에 중계기용 송신 안테나로부터 방사되는 전자파 신호가 수신 안테나로의 귀환(feed-back) 현상으로 인한 것으로 분석된다.

표 4. 중계기 설치 전·후에 대한 전파 수신 신호세기

시험 주파수	중계기설치전 시험결과(dBm)			중계기설치후 시험결과(dBm)			
	전방5m 지점(A)	부스옆(B)	후방5m 지점(C)	전방5m 지점(A)	부스옆(B)	후방5m 지점(C)	
AM (kHz)	602	-60.15	-83.96	-59.54	-66.39	-66.39	-58.08
	710	-56.55	-77.41	-54.38	-52.30	-56.27	-49.37
	716	-51.94	-72.58	-47.64	-49.93	-55.67	-49.69
	973	-62.06	-84.55	-56.34	-63.88	-64.80	-54.64
	1,135	-57.99	-78.10	-53.22	-60.57	-62.72	-55.23
FM (MHz)	87.4	-44.55	-55.47	-43.36	-49.36	-37.02	-45.83
	89.1	-60.13	-77.51	-66.82	-60.78	-72.33	-64.13
	91.9	-59.22	-74.18	-65.91	-57.07	-63.08	-72.14
	95.9	-52.82	-47.94	-55.36	-42.45	-46.05	-49.88
	107.8	-33.97	-38.62	-42.33	-37.13	-30.89	-42.01

이러한 귀환 현상을 차단하고 AM/FM 전 주파수 대역에 걸쳐 전파 수신 능력을 향상시키기 위하여 기존 톨게이트 중계기를 다음과 같이 개선하여 전파 수신 현상을 시험하였다.

- ① 도래 전파를 수신하는 수신 안테나와 톨게이트에 포설된 중계용 송신 안테나 사이에 지연선을 삽입하여 기존 톨게이트 중계기에서 발생하는 귀환 발진 현상을 차단하였다. 일반적으로 터널이나 지하공간 중계장비는 터널내부 또는 지하공간에서 전송되는 신호가 외부에 가설된 수신 안테나로 귀환(feed back)되는 일이 없기 때문에 발진현상이 없으나 톨게이트와 같이 수신 안테나와 송신 안테나가 다같이 인접한 지점에 노출되어 있어야 하는 조건에서는 톨게이트 지붕 밑에 부설된 중계용 송신 안테나로부터 전송되는 전자파 신호가 수신 안테나로 귀환되어 발진을 일으킨다. 이와 같은 유해한 귀환 발진을 방지할 수 있는 톨게이트 전용 AM/FM 방송 중계용 시스템은 도래전파를 받아들이는 안테나로부터 수신된 AM과 FM의 방송 신호를 각각 일정기간(약 10μ sec) 지연시켜 전송해주며, 송신 안테나로부터 수신 안테나로 귀환되는 불필요한 유해 전파를 차단해 줌으로써 귀환 발진을 근원적으로 방지하는 기능을 갖춘 특수 중계 장치이다. 이 중계 시스템의 동작 계통도를 그림 5에 나타내었다.

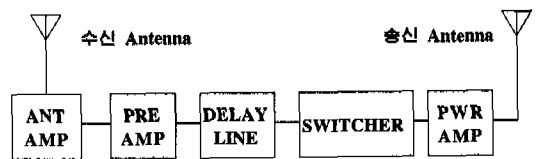


그림 5. 중계 시스템의 동작 계통도

- ② 다음의 그림 6과 같이 Splitter와 대역통과필터(BPF) 사이에 자동 이득 조절(Auto Gain Control) 기능을 수행하는 레벨 조절기를 삽입하여 수신 신호의 레벨이 높은 주파수는 낮추고 약한 주파수는 이득을 높임으로써 억압으로 인한 수신장해 현상을 보완하였다.
- ③ 잡음 차단 장치(noise isolator)를 전원단과 주 장비 사이에 설치하여 전력선에서 발생하는 잡음(약 40dBm)을 제거하였다. 또한, 전광판에서 발생하는 잡음은 약 -60dBm으로 측정되

있으며, 신호레벨을 잡음레벨보다 20dBm 이상 높이기 위하여 레벨 조절기와 전력 증폭기를 보강하여 출력을 -40dBm으로 상향시켜 전파 잡음을 제거하는 효과를 얻을 수 있다.

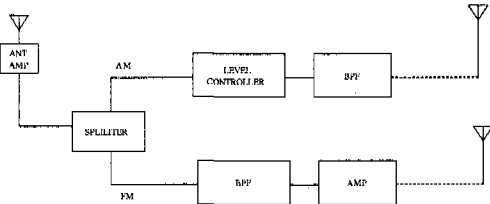


그림 6. 레벨조절기를 보완한 구조도

④ 전자파의 파장 및 회절 효과를 고려하여 AM, FM 신호를 방사하는 안테나의 방사효율을 높일 수 있도록 방사 케이블 교체하였다. 지하공간이나 전파불감지대에 포설되는 방사용 안테나는 일반적으로 누설 케이블이 사용된다. 특히 AM 방송대역은 그 파장이 최대 600m에서 최소 200m에 이르는 장파장에 속하므로, 케이블연장 길이도 최소한 1파장은 되어야 효율적으로 방사를 기대할 수 있다. 케이블에 고주파 전류가 흐르면 그 입력단과 종단사이에는 이 고주파 전류의 위상차에 해당하는 전위차가 생긴다. 이 전위차의 크기가 곧 케이블 주변의 전계강도로 나타난다. 그러나, 전자파의 회절효과는 파장이 길수록 커지므로 AM과 같이 비교적 긴 파장을 취급하는 케이블은 그 길이가 길어질수록 케이블 각 부위에 나타나는 전계는 상호 중첩되어 커지므로 케이블 주변의 전계강도는 그 만큼 커진다. 기존 톨게이트 설비는 터널 재방송용(1~2km)으로 설계된 케이블을 톨게이트에 그대로 사용하기 때문에 20~50m 정도로 짧은 톨게이트에서는 안테나의 방사효율이 낮게 나타나 다음과 같이 교체하였다.

1) AM

- 기존 : 800Ω 2선식 Feeder
- 개선 : 300Ω 2선식 Feeder

2) FM

- 기존 : RLF 9/23 LCX(누설동축케이블)
- 개선 : RLK 4.4/11.1 LCX

그림 7은 AM 주파수 대역에 대한 톨게이트내 부스 옆(B) 지역에서의 전파 수신 신호세기를 나타

내고 있다. 중계기의 설치를 통하여 대부분의 AM 주파수 영역에 대한 수신 신호세기가 톨게이트 외부에 비하여 약 3dBm 정도의 차이만을 나타내고 있으나, 주파수 대역간의 신호세기의 차가 심한 것을 알 수 있다. 이러한 주파수 대역간의 신호세기의 차는 앞에서 설명한 개선 방법을 통하여 해소됨을 볼 수가 있다.

그림 8에는 FM 주파수 대역에서의 톨게이트내 부스 옆(B) 지역에 대한 전파 수신 신호세기를 나타내었다. FM 주파수 대역에서도 AM 주파수 대역과 유사한 결과를 얻을 수 있었으며, 중계기와 개선된 장비의 설치를 통하여 톨게이트내 부스 옆(B) 지역의 전파 수신 감도가 오히려 톨게이트 외부보다도 좋아진 것을 알 수 있다.

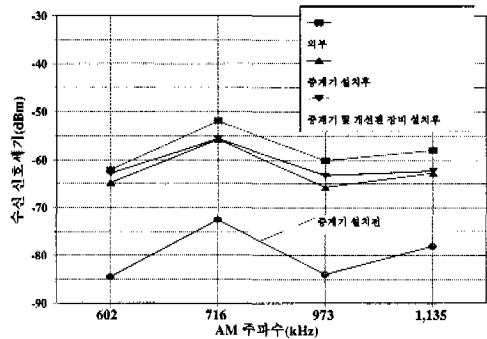


그림 7. 톨게이트내 부스 옆(B) 지역에서의 AM 주파수 대역에 대한 전파 수신 신호세기

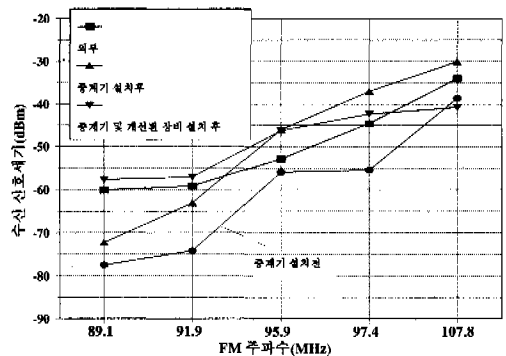


그림 8. 톨게이트내 부스 옆(B) 지역에서의 FM 주파수 대역에 대한 전파 수신 신호세기

그림 7과 그림 8로부터 전파장해가 집중적으로 발생하는 부스 옆에 개선된 장비를 설치함으로써

전체적으로 AM의 경우 18dBm이상(602, 973 kHz는 기존의 경우에 비해 2dBm 정도개선), FM은 9dBm이상(89MHz에서 14dBm 정도개선) 수신감도가 개선되었으며, 특히 S/N을 20dBm이상 개선함으로써 톨게이트내 전파장해를 완전히 해소할 수 있다.

IV. 결론

톨게이트를 통과하는 차량의 전파 수신 방해 원인으로서는 우선 톨게이트를 지탱하고 있는 철근 구조물에 의하여 발생하는 전자기적 차폐 효과에 의해 차량의 전파 수신의 방해와 톨게이트 내부에 설치된 전자장비에 의한 전자파 간섭이 전파 장애의 원인이 된다. 본 연구에서는 이러한 전자파 방해 원인을 현장 시험을 통하여 측정하고 해결방안을 제시하였다.

시험 결과로부터 톨게이트 내부에 설치된 전자장비에 의한 전자파 간섭의 영향보다는 톨게이트를 지탱하고 있는 철근 구조물에 의해서 발생하는 전자기적 차폐효과에 의해 차량의 전파수신이 방해를 받으며, 톨게이트의 부스 부근에서 심한 전자파 방해를 받는 것을 알 수 있다. 이러한 전파 방해는 잡음원 차단, 수신단에 자동 이득 제어 장치의 첨가 및 수신 안테나와 톨게이트에 포설된 중계용 송신 안테나 사이에 인접한 거리의 노출로 인한 귀환 현상을 차단함으로써 수신 신호의 품질을 향상시킬 수 있었다.

앞으로 전개될 차세대 교통 체계는 전자요금징수(Electronic Toll Collection) 체계, 차량간 통신 체계 및 노변방송 등과 같은 시스템은 여러 무선 주파수를 사용하여 톨게이트 및 고속도로 주변에 설치되므로 이러한 복합적인 무선 전파 환경 및 전파 장애에 대하여 추후 연구가 필요하다.


참 고 문 헌

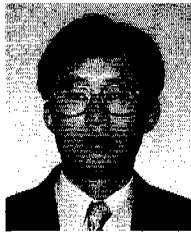
- [1] IVHS America, *Strategic Plan for Intelligent Vehicle-Highway System in the U.S.*, May 1992.
- [2] T. Sakai and C. Arimatsu, Metropolitan expressway radio system, In *Proceedings of 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems*, pp.650-655, Nov. 1995.
- [3] Smith, A. A., Attenuation of electric and

magnetic fields by buildings, *IEEE Transactions on Electromagnetic and Computability*, 20, pp.411-418, 1978.


- [4] 전파연구소, 지역별 전파환경 분포조사 및 분석 연구, 연구보고서, 1994, 1995, 1996.
- [5] 이기학, 전자파 및 안테나공학, 광문각, 1994.

김 광 수(Kwang Soo Kim) 비회원
 1968년 2월 : 한양대학교 전기공학과 졸업(학사)
 1968년 5월~1969년 12월 : 한국 관광공사 근무
 1969년 12월~1998년 7월 : 한국 도로공사 근무(정보통신처장 역임)
 1998년 8월~현재 : 고속도로 정보통신공단 기술이사 재직중
 <주관심 분야> 고속도로 정보통신시설


김 종 섭(Jong Sup Kim) 정회원

 1986년 8월 : 중앙 대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1994년 2월 : 한양대학교 산업대학원 전자통신 전공(석사)
 1986년 7월~1989년 8월 : 대한전선(주)기술연구소 근무
 1989년 8월~1996년 9월 : 한국통신기술 첨단통신기술실 근무
 1995년 9월~1996년 7월 : (주)대우 회장비서실 근무
 1996년 7월~현재 : 고속도로 정보통신공단 E.S팀장 재직중
 <주관심 분야> 고속도로정보통신시설

윤 태 석(Tae Sock Youn) 비회원

 1985년 2월 : 서울산업대 전자공학과 졸업(학사)
 1983년~1985년 : 동양정밀 개발실 연구원
 1986년~1994년 : 국제전자공업(주)선임 연구원

1996년 7월~현재 : 고속도로 정보통신공단 E.S팀
과장 재직중
<주관심 분야> 고속도로 부설통신시설

신 승 훈(Seung Hoon Shin) 비회원
 1995년 2월 : 인하대학교 전자
공학과 졸업
1997년 2월 : 인하대학교 전자
공학과 석사
1997년 3월~현재 : 인하대학교
전자공학과 박사
과정

<주관심 분야> 이동 및 위성 통신 시스템, 다중 접
속 방식

곽 경 섭(Kyung Sup Kwak) 정회원
 1977년 2월 : 인하대학교 전기
공학과 학사 졸업
1979년 2월 : 인하대학교 전기
공학과 석사 졸업
1981년 12월 : 미 Univ. of So.
Calif. 전자공학
석사 졸업

1988년 2월 : 미 Univ. of Calif. 통신 이론 및 시스
템 박사 졸업

1988년 2월~1989년 2월 : 미 Hughes Network
Systems 연구원

1989년 3월~1990년 3월 : 미 IBM Network
Analysis Center 연
구원

1990년 3월~현재 : 인하대학교 전자공학과 부교수

1999년 1월~현재 : 본학회 총무이사

<주관심 분야> 위성 및 이동 통신, 멀티미디어 통
신