

논문 2007-44IE-1-6

도로의 평면선형을 고려한 전파경로 분석

(A Study on the Propagation Path Considering the Horizontal Alignment of Road)

김 송 민*

(Song Min Kim)

요 약

본 논문에서는 차량 이용이 많은 도심지역 편도 2차선의 도로 상에서 차량과 차량 사이에 통신이 이루어지는 경우 송·수신 차량 좌, 우측 반사체와 인접한 차량들에 의해 발생하는 다중경로파의 영향을 고려한 전파예측모델을 제안하였다. 이 때 곡선 도로의 반경을 600[m], 곡선도로의 거리는 5.24~471.2[m], 도로교각은 50~45o, 곡선도로에 위치한 수신차량은 도로교각과 곡선도로의 거리변화에 대응하여 최소 3.3[m]에서 최대 29.5[m]간격으로 변화시키면서 시뮬레이션 하였다.

그 결과 도로교각이 50~150인 경우 전파경로손실의 경우 수신 차량의 곡선도로 위치에 관계없이 1[dB]이내였고, 150~450인 경우 도로교각이 변화함에 따라 대략 1~8[dB]이었다. 그리고 전파경로의 경우에는 도로교각의 변화에 따라 0.4~120[m]까지 변화함을 알 수 있었다. 이 때 전파경로 차가 120[m] 발생함에 따른 전파지연시간은 400[nsec]이다.

Abstract

This study was to suggest the predictive model of propagation, considering the effect by the multipath waves produced by the sending and receiving vehicles' left/right reflectors and the adjacent vehicles when the communication between the vehicles on the one-way two-lanes road in the urban city with a lot of traffic jams.

Then, the radius of curved road was 600[m], the length of curved roads 52.4~471.2[m], and the bridge's pier of road was 50~45o. Also, it was simulated by changing the receiving vehicle located on the curved road's gap from minimum 3.3[m] to maximum 29.5[m], corresponding to the change of distance of the bridge's pier of road and curved road.

As a result of this research above, in case of 50~150 bridge's pier of road, it was within 1[dB] regardless of the receiving vehicle's position on the curved road in case of propagation path loss. In case of 150~450, it was approximately 1~8[dB] as the bridge's pier of road is changed. And, in case of propagation path, it found out that it was changed to 0.4~120[m] according to the change of bridge's pier of road. Then, the delay time of propagation was 400[nsec] as it produced 120[m] in the difference of propagation path.

Keywords : Intelligent Transport System, Inter-vehicle Communications system,
Prediction Model of Propagation Path Loss

I. 서 론

우리나라의 경우 급속한 경제성장으로 소득수준이 향상됨에 따라 자동차 보급률 또한 폭발적으로 증가하고 있다. 현대사회에서 자동차는 업무의 효율성을 증대시킬 뿐만 아니라 물류의 대부분을 수송하는데 이용되

고 있다. 이에 따라 매년 도로망 확충에 필요한 사회간접자본이 증액되고 있고, 이를 줄이기 위해 기존 도로를 효율적으로 이용하여 도로용량의 증가시키고, 도로를 이용하는 운전자에게 편리성과 주행 안정성을 제공하여 교통사고율을 줄일 수 있는 지능형첨단교통시스템 구축에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1~4]

ITS 응용분야 중 하나인 차량간 통신시스템은 운전자에게 차량운행 특성과 도로조건을 제공하여 주행 중 예측할 수 없는 요인을 줄여 안정성과 쾌적성을 제공

* 정희원, 익산대학 전자정보과
(Department of Electrical and Information Eng.
Iksan College)
접수일자: 2006년12월15일, 수정완료일: 2007년2월28일

원활한 교통소통과 교통 사고율을 줄일 수 있다.^[5]

차량간 통신의 경우 송·수신 차량이 동시에 상호 이동하는 특수성에 따라 차량이 위치하는 도로의 기하구조에 의해 서비스 품질에 많은 영향을 받게 된다.^[6~9] 그러므로 차량간 통신시스템이 구축되기 위해서는 전파 환경에 대한 분석이 선행되어야 한다.^[10~12]

본 논문에서는 차량 이용이 많은 도심지역 편도 2차선의 도로 상에서 차량과 차량 사이에 통신이 이루어지는 경우 직접파는 물론 건물벽면과 인접한 차량들에 의해 발생하는 다중경로파의 영향을 고려한 전파예측모델을 제안하였다.

제안 모델의 시뮬레이션은 현재 우리나라 전체 도로의 78.9[%]를 2차로 도로가 차지하는 점을 감안하였고, 설계속도 80[km], 제한속도 70[km], 직선부와 직선부 사이에 원곡선을 삽입하는 국도를 기준으로 수행하였다. 이때 신호등 횡단보도 등에 의해 차량 흐름에 제약이 되는 요건은 배제하였다.

그리고 도로교각을 θ_0 를 50~450까지 변화시키면서 곡선도로의 반경은 600[m], 반사파의 영향을 고려하기 위해 도로의 곡선구간은 16개 지점으로 구분하여 시뮬레이션 하였다.

II. 전파경로해석 모델 제안

1. 전파경로해석 모델

그림 1은 Tx차량과 Rx차량이 곡선도로 상에 위치한 경우 Rx차량에 도래하는 전파경로를 해석하기 위한 모델이다.

표 1은 전파경로를 해석하기 위한 파라미터이다.

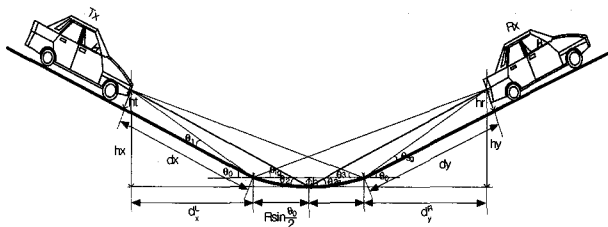


그림 1. 전파경로 해석 모델
Fig. 1. Supposition model for propagation path analysis.

2. 전파경로해석

그림 2는 곡선도로에 의해 발생하는 지면 반사파의

표 1. 전파경로해석 파라미터

Table 1. Parameter of propagation path analysis.

기 호	설 명
dT	총 직선경로
dx, dy	Tx차량에서 곡선도로 시점까지 거리, Rx차량에서부터 곡선도로 종점까지 거리
ht, hr	송·수신안테나높이
hx, hy	곡선도로 중심에서 Tx, Rx차량까지 높이
R	고선의 반경
d_x^L, d_y^R	곡선도로 중심에서 Tx, Rx차량까지 직선거리
Tx, Rx	송·수신차량
$\theta_x, \theta_{yg}, \theta_y, \theta_{yg}$	입사각, 반사각
θ_0	도로의 교각

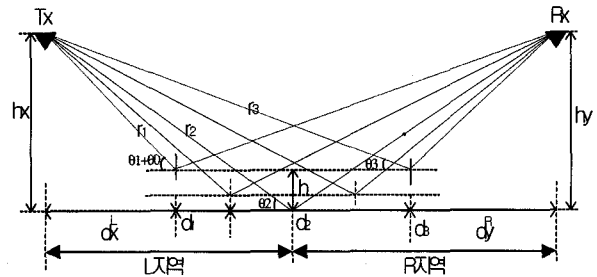


그림 2. 반사파경로 모델
Fig. 2. Model of reflection wave path.

표 2. 입사각과 반사각

Table 2. Incidence angle and reflection angle.

각도 거리	입사각	반사각
d1	θ_1	θ_{1g}
	$\tan^{-1} \frac{h_t}{d_1}$	$\tan^{-1} \frac{r_{3g} \sin(\theta + \theta_{3g})}{d_3^R + 2R \sin \frac{\theta_0}{2}}$
d2	θ_2	θ_{2g}
	$\tan^{-1} \frac{r_1 \sin(\theta_0 + \theta_1) + h}{d_1^L + R \sin \frac{\theta_0}{2}}$	$\tan^{-1} \frac{r_{3g} \sin(\theta + \theta_{3g}) + h}{d_3^R + R \sin \frac{\theta_0}{2}}$
d3	θ_3	θ_{3g}
	$\tan^{-1} \frac{r_1 \sin(\theta_0 + \theta_1)}{d_1^L + 2R \sin \frac{\theta_0}{2}}$	$\tan^{-1} \frac{h_r}{d_3}$

전파경로를 해석하기 위해 그림 1의 전파경로 해석 모델을 간략화한 모델이다. 표 2는 d1, d2, d3에서의 입사각과 반사각이다.

Tx차량으로부터 곡선도로가 시작되는 지점 d1까지의 도로직선거리와 Rx차량으로부터 곡선도로가 끝나는 지점 d3까지의 직선도로 거리는 식 (1)과 같다.

$$d_x = d_y = \frac{d_T - R\theta_0}{2} \tag{1}$$

곡선도로 중앙점 즉, d_2 지점에서 Tx, Rx차량까지의 높이는 식 (2), 식 (3)과 같다.

$$h_x = \left(\frac{d_x}{\cos\theta_1} \right) \sin(\theta_0 + \theta_1) \quad (2)$$

$$h_y = \left(\frac{d_y}{\cos\theta_{3g}} \right) \sin(\theta_0 + \theta_{3g}) \quad (3)$$

곡선도로 중앙점 즉, d_2 지점에서 Tx, Rx차량까지의 직선거리는 식 (4), 식 (5)와 같다.

$$d_x^L = \frac{h_t}{\sin\theta_x} \cos(\theta_0 + \theta_x) \quad (4)$$

여기서 $\theta_x = \tan^{-1} \frac{h_t}{d_x}$

$$d_y^R = \frac{h_r}{\sin\theta_{yg}} \cos(\theta_0 + \theta_{yg}) \quad (5)$$

여기서 $\theta_{yg} = \tan^{-1} \frac{h_r}{d_y}$

송·수신 차량이 위치한 도로를 따라 전파가 실제 이동한 전파경로는 곡선도로의 중앙점을 기준하여 L지역과 R지역으로 구분하여 식 (6), 식 (7), 식 (8), 식 (9)와 같이 각각 구하였다.

$$r_m^L = \frac{d_x^L + \left(\frac{n}{t} \right) R \sin\left(\frac{\theta_0}{2} \right)}{\cos\theta_m^L} \quad (6)$$

여기서 $\theta_m^L = \theta_2 + \frac{n}{t} [(\theta_0 + \theta_1) - \theta_2]$

$$\theta_2 < \theta_m^L < \theta_1 + \theta_0$$

$$r_{mg}^L = \frac{d_y^R + \left(\frac{2t-n}{t} \right) R \sin\left(\frac{\theta_0}{2} \right)}{\cos\theta_{mg}^L} \quad (7)$$

여기서 $\theta_{mg}^L = \theta_{1g} + \frac{n}{t} (\theta_{2g} - \theta_{1g})$

$$\theta_{1g} < \theta_{mg}^L < \theta_{2g}$$

$$r_m^R = \frac{d_x^L + \left(\frac{2t-n}{t} \right) R \sin\left(\frac{\theta_0}{2} \right)}{\cos\theta_m^R} \quad (8)$$

여기서 $\theta_m^R = \theta_3 + \frac{n}{t} (\theta_2 - \theta_3)$

$$\theta_3 < \theta_m^R < \theta_2$$

$$r_{mg}^R = \frac{d_y^R + \left(\frac{n}{t} \right) R \sin\left(\frac{\theta_0}{2} \right)}{\cos\theta_{mg}^R} \quad (9)$$

여기서 $\theta_{mg}^R = \theta_{2g} + \frac{n}{t} [(\theta_0 + \theta_{3g}) - \theta_{2g}]$

$$\theta_{2g} < \theta_{mg}^R < \theta_{3g} + \theta_0$$

그러므로 L지역과 R지역에서 전파가 실제 이동한 총 전파경로는 식 (10), 식 (11)과 같다.

$$R_{TL} = r_m^L + r_{mg}^L \quad (10)$$

$$R_{TR} = r_m^R + r_{mg}^R \quad (11)$$

3. 전파경로손실 예측모델

송·수신 차량이 곡선도로에 위치한 경우 직접파 보다 는 지면 반사파에 의해 통신이 이루어지게 되는데 이는 도로의 기하구조 때문이다.

이에 본 논문에서는 곡선도로의 선형 변화가 차량 간 통신에 미치는 영향을 해석하기 위해 전파경로 해석 모델을 이용 전파손실을 구하면 식 (12)와 같다.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L(d)} \left| \frac{\lambda e^{jk(R_{TL} + R_{TR})}}{4\pi (R_{TL} + R_{TR})} \Gamma \right|^2 \quad (12)$$

여기서 $L(d)$: 강우감쇠, Γ : 반사계수

P_t : 송신전력, G_t , G_r : 송·수신안테나이득

III. 시뮬레이션 및 검토

송·수신 차량이 곡선도로 상에서 통신이 이루어지는 경우를 가정하고, 도로의 선형을 변화 시키면서 표 3을 이용 시뮬레이션 하여 전파경로, 전파경로손실을 각각 구하였다.

1. 도로교각 변화에 따른 거리

표 4는 중심각 변화에 따른 L지역과 R지역 도로의 직선거리와 곡선도로의 길이 그리고 곡선도로 부분에 입사되는 전파의 간격을 구한 결과이다.

표 3. 시뮬레이션 조건

Table 3. Simulation specifications.

λ	5×10^{-3}
θ_0	$5^\circ \sim 45^\circ$
ht, hr	80[cm]
t	16
n	1~16
dT	500[m]
R	600[m]
V	80[km/h]
L(d)	16/km
Γ	0.33

표 4. 도로교각 변화에 따른 거리

Table 4. Distance according to the Road crossing angle.

입사 반사 θ_0	L지역				R지역			
	θ_m		θ_{nr}		θ_{nr}		θ_{nr}	
	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대
5	5.2	6.8	4.2	6.8	4.2	6.8	5.2	6.8
10	10.2	10.2	6.7	10.2	6.7	10.2	10.2	10.2
15	12.6	15.3	8	12.6	8	12.6	12.6	15.3
20	13.9	20.3	8.3	13.9	8.3	13.9	13.9	20.3
25	14.2	25.4	7.9	14.2	7.9	14.2	14.2	25.4
30	13.5	30.5	6.9	13.5	6.9	13.5	13.5	30.5
35	11.6	35.7	5.4	11.6	5.4	11.6	11.6	35.7
40	8.7	41.1	3.5	8.7	3.5	8.7	8.7	41.1
45	4.8	48.2	1.3	4.8	1.3	4.8	4.8	48.2

표 5. 도로교각 변화에 따른 전파경로[m]

Table 5. Propagation path according to the road crossing angle.[m]

θ_0 n	5	10	15	20	25	30	35	40	45
1	500.5	498.9	495.1	489.4	482.8	476.8	473.1	473.2	478.8
2	500.5	499.1	495.5	490.1	483.8	477.9	474.1	474	479.2
3	500.5	499.3	495.9	490.9	484.9	479.2	475.4	475.1	480
4	500.5	499.4	496.4	491.7	486	480.6	476.9	476.5	481.3
5	500.6	499.6	496.8	492.5	487.2	482.2	478.7	478.4	483.1
6	500.6	499.8	497.3	493.4	488.6	483.9	480.8	480.7	485.7
7	500.6	499.9	497.8	494.3	490	485.9	483.2	483.6	489.1
8	500.6	500.1	498.3	495.2	491.5	488.1	486.1	487.1	493.5
9	500.7	500.3	498.7	496.2	493.2	490.5	489.4	491.3	499.2
10	500.7	500.5	499.2	497.2	494.9	493.1	493.1	496.4	506.3
11	500.7	500.6	499.7	498.3	496.7	496.1	497.4	502.4	515.1
12	500.8	500.8	500.2	499.3	498.7	499.2	502.2	509.4	525.9
13	500.8	501	500.8	500.5	500.8	502.7	507.7	517.7	539.2
14	500.8	501.2	501.3	501.6	503	506.5	513.8	527.3	555.4
15	500.9	501.3	501.8	502.9	505.4	510.7	520.7	538.5	575
16	500.9	501.5	502.4	504.1	507.8	515.2	528.4	551.5	598.8

2. 전파경로, 전파경로손실

송·수신 차량사이의 전파직선경로 500[m]를 진행하는 동안 좌, 우측면 반사체와 인접차량에 의해 정반사가 이루어지진 후 수신차량에 전파가 도래하는 경우 차

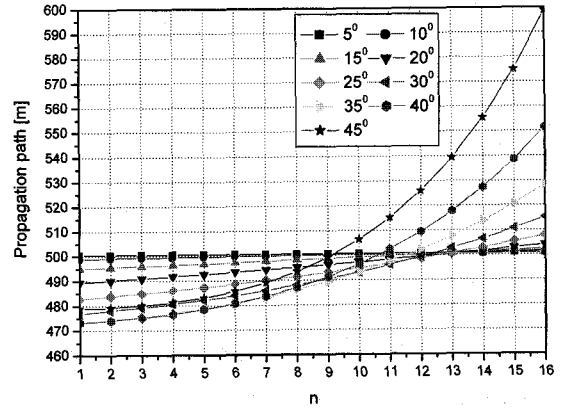


그림 4. 도로교각에 따른 전파경로[m]

Fig. 4. Propagation path according to the road crossing angle[m]

표 6. 도로교각에 따른 전파경로손실[dB]

Table 6. Propagation path loss according to the road crossing angle.[dB]

θ_0 n	5	10	15	20	25	30	35	40	45
1	-139.5	-139.2	-138.7	-137.8	-136.5	-134.8	-132.5	-129.3	-124.5
2	-139.6	-139.3	-138.8	-138	-136.9	-135.5	-133.7	-131.3	-128.4
3	-139.6	-139.3	-138.9	-138.2	-137.3	-136.1	-134.7	-132.9	-131
4	-139.6	-139.4	-139	-138.4	-137.7	-136.7	-135.5	-134.2	-132.9
5	-139.6	-139.4	-139.1	-138.6	-138	-137.2	-136.3	-135.3	-134.4
6	-139.6	-139.5	-139.2	-138.8	-138.3	-137.6	-136.9	-136.2	-135.6
7	-139.6	-139.5	-139.3	-138.9	-138.5	-138	-137.5	-137	-136.7
8	-139.6	-139.5	-139.3	-139.1	-138.8	-138.4	-138	-137.7	-137.6
9	-139.6	-139.6	-139.4	-139.2	-139	-138.7	-138.5	-138.3	-138.4
10	-139.6	-139.6	-139.5	-139.3	-139.2	-139	-138.9	-138.8	-139.1
11	-139.6	-139.6	-139.5	-139.4	-139.3	-139.2	-139.2	-139.3	-139.7
12	-139.6	-139.6	-139.6	-139.5	-139.5	-139.5	-139.5	-139.8	-140.3
13	-139.6	-139.6	-139.6	-139.6	-139.6	-139.7	-139.8	-140.2	-140.9
14	-139.6	-139.6	-139.6	-139.7	-139.7	-139.8	-140.1	-140.5	-141.4
15	-139.6	-139.7	-139.7	-139.7	-139.8	-140	-140.3	-140.8	-141.9
16	-139.6	-139.7	-139.7	-139.7	-139.9	-140.1	-140.5	-141.1	-142.4

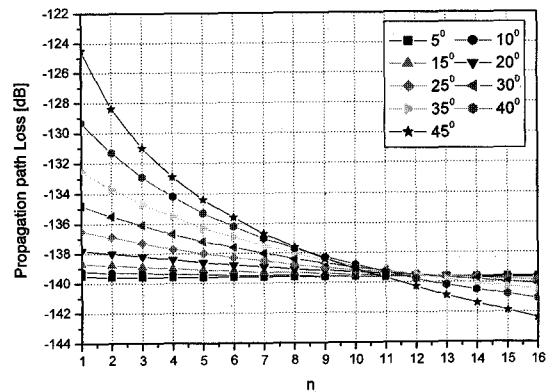


그림 5. 도로교각에 따른 전파경로손실[dB]

Fig. 5. Propagation path loss according to the the road crossing angle.[dB]

량의 위치 변화에 따라 구한 전파경로와 손실은 표 5, 그림 4와 같고, 도로교각에 따른 전파경로손실은 표 6, 그림 5와 같다.

전파직선경로 500[m]를 기준으로 할 때 도로교각을 5°~45° 변화시키고, 곡선도로를 16개 구간으로(3.3~29.5[m]) 간격으로 나누어 전파경로와 전파경로손실을 구한 결과는 다음과 같다.

- 1) 도로교각 5°, 곡선도로 3.3[m] 간격인 경우
전파경로 차는 2.5~2.9[m], 전파경로손실 차는 -5.5~-5.6[dB]정도 발생하였다.
- 2) 도로교각 10°, 곡선도로 6.5[m] 간격인 경우
전파경로 차는 4.9~7.5[m], 전파경로손실 차는 -5.3~-5.8[dB]정도 발생하였다.
- 3) 도로교각 15°, 곡선도로 9.8[m] 간격인 경우
전파경로 차는 8.1~15.4[m], 전파경로손실 차는 -4.9~-5.9[dB]정도 발생하였다.
- 4) 도로교각 20°, 곡선도로 13.1[m] 간격인 경우
전파경로 차는 8.4~23[m], 전파경로손실 차는 -4.1~-6[dB]정도 발생하였다.
- 5) 도로교각 25°, 곡선도로 16.4[m] 간격인 경우
전파경로 차는 8.4~23[m], 전파경로손실 차는 -2.9~-6.3[dB]정도 발생하였다.
- 6) 도로교각 30°, 곡선도로 19.6[m] 간격인 경우
전파경로 차는 5.8~44[m], 전파경로손실 차는 -1.3~-6.6[dB]정도 발생하였다.
- 7) 도로교각 35°, 곡선도로 22.9[m] 간격인 경우
전파경로 차는 4.1~59[m], 전파경로손실 차는 -1~-7[dB]정도 발생하였다.
- 8) 도로교각 40°, 곡선도로 26.2[m] 간격인 경우
전파경로 차는 1.2~79.5[m], 전파경로손실 차는 -0.7~-7.6[dB]정도 발생하였다.
- 9) 도로교각 45°, 곡선도로 29.5[m] 간격인 경우
전파경로 차는 0.8~121[m], 전파경로손실 차는 -0.7~-8.8[dB]정도 발생하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 편도 2차선 도로에서 차량간 통신이 이루어지는 경우 차량 위치 변화에 따른 전파경로의 변화 정도를 구하였고, 우리나라 도로 기하구조 상 직선도로 보다는 곡선도로가 삽입된 형태가 많은 점을 감안하여 전파경로와 전파경로손실을 시뮬레이션 하였다.

그 결과 수신차량이 곡선의 시점에 위치한 경우와 중점에 위치한 경우 전파경로 차는 120[m], 전파경로 지연시간은 400[nsec], 전파경로손실은 8[dB] 정도 발생하였다.

결과적으로 도심지역에서 평균 차량간격이 4~5[sec]임을 감안 할 때 두 차량 간 전파직선경로는 대략 100~150[m]이내이어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] W. Schafer, "Channel modeling of short-range radio links at 60GHz for mobile intervehicle communication," Proc. IEEE VTS 41th Vehicular Technology Conference, pp.314-319, 1991.
- [2] T. Wada, M. Maeda, M. Okada, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "Theoretical Analysis of Propagation and Network Characteristics in Millimeter Waves Inter-Vehicle Communication System", IEICE Trans., Vol.J81-B-II, No.12, pp.1116-1125, 1998.
- [3] Kazunori Kimura, Jun Horikoshi, "Prediction of Millimeter-Wave Multipath Propagation Characteristics in Mobile Radio Environment", IEEE Transaction on Electron Vol.E82-C, No7, pp.1253-1259, July 1999.
- [4] Robert Schneider, Dirk Didascalou, "Impact of Road Surfaces on Millimeter-Wave Propagation", IEEE Transaction on Vehicular Technology Vol.49, No4, pp.1314-1320, July 2000.
- [5] 이상주, 박공만, "자동차 충돌방지용 밀리미터파 레이다 기술동향", 전자공학회논문지, 제26권 10호, 1999년.
- [6] 김송민, "밀리미터파 대역에서 전파경로손실 예측 모델", 대한전자공학회 논문지, 제42권, 제2호, 2005.
- [7] 김송민, "지능형교통시스템의 차량간 통신을 위한 전파모델연구", 한국정보기술학회 논문지, 제4권 제4호, 2006.
- [8] 이상주, 박공만, "전파환경에 따른 밀리미터파 대역 경로손실 측정 및 분석", 한국전자과학회 논문지, 제11권 3호, 2000년.
- [9] 정남호외 4인, "전파환경에 따른 밀리미터파 대역 경로손실 측정 및 분석", 한국전자과학회 논문지, 제11권 3호, 2000년.
- [10] A. Kato, K. Sato, "Propagation Characteristics of 60-GHz Millimeter Waves for ITS Inter-Vehicle Communications", IEICE Transaction on Communications Vol.E84-B, No9, pp.2530-2539, September 2001.
- [11] A. Kata, M.Fujise and T.Horimatsu, "Measurements of inter-vehicle propagation and

data transmission at 60GHz band", Proc. Intl. Sym. Antennas & Propagat.(ISAP2000), pp.325-328, Fukuoka, Aug. ,2000.

- [12] K. Takahashi, T. Udagawa, H. Zhang, T. Arita, and M. Nakagawa, "Inter-Vehicle Wireless 1394 System", IEICE Trans. Commun., Vol.E85-B, No.5, May 2002.

저 자 소 개



김 송 민(정회원)

1998년 8월 조선대학교 대학원
전자공학과 공학박사

1998년 9월~2000년 8월 익산대학
전자정보과 전임강사

2000년 9월~2004년 8월 익산대학
전자정보과 조교수

2004년 9월~현재 익산대학 전자정보과 부교수
<주관심분야 : 이동통신, 전파환경분석, ITS>