

논문 2009-46IE-1-5

도로의 기하구조에 따른 전파모델 연구

(A Study on the Propagation Model according to the Geometric Structures of Roads)

김 송 민*

(Song Min Kim)

요 약

본 논문에서는 송·수신 차량이 편도 2차선의 일반국도를 80[km/h]의 속도로 주행하고, 곡선 반경은 교통사고율이 높은 통계 자료를 근거하여 280[m], 직선도로의 길이는 정지시거를 고려하여 140[m], 곡선의 길이는 90[m], 곡선도로를 11.25[m] 간격으로 8개 지점을 선정하여 시뮬레이션 하였다.

그 결과 송·수신 차량간 거리가 111[m] 이상이 될 경우에는 좌, 우측 반사체에 의해 이루어지는 반사파의 전파경로 보다는 인접한 차량들에 의해 이루어지는 반사파의 전파 경로가 반복 반사수가 증가함으로 더 길어지게 된다. 송·수신차량간 거리가 111[m] 미만인 경우에는 수신차량에 전파가 도달하기 위한 반복 반사는 1~2[회]정도 이었으며 송·수신 차량이 위치한 차선에 관계없이 인접한 차량에 의해 발생하는 반사파 보다는 좌, 우측 반사체를 경유하여 수신하게 되는 반사파의 전파경로가 1~1.5[m]정도 더 큼을 알 수 있었다.

Abstract

This study was to simulate it that the sending·receiving vehicles run on the general national roads with the one-way two-lanes at 80[km/h] speed. This study was to select 280[m] radius of curvature based on the statistical data with high rate of traffic accidents, 140[m] length of direct roads considering the stopping stadia, 90[m] length of curve, and 8 points of curved roads at 11.25[m] intervals.

As a result above, when the distance between the sending and receiving vehicles became more than 111[m], the propagation path of reflected wave by the adjacent vehicles became longer than the propagation path of reflected wave by the left/right reflectors because the number of repeated reflection increased.

In this study, the repeated reflection for the propagation's reach to the receiving vehicles was about 1~2[times] as it supposed it less than 111[m]. Accordingly, it found out that the propagation path of reflected wave received through the left/right reflectors was about 1~1.5[m] larger than the reflected wave produced by the adjacent vehicles regardless of lanes on which the sending and receiving vehicles were located.

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

I. 서 론

우리나라의 경우 경제성장과 소득수준의 향상에 따라 자동차 보급률이 증가하고 있으며 늘어나는 자동차

의 수용을 위해 기존도로의 유지, 보수와 새로운 도로의 개설 등에 매년 많은 비용의 사회간접 자본을 투자하고 있다. 그러나 급격히 늘어나는 자동차로 인해 사회간접 자본의 투자만으로 도로용량의 증대효과를 기대하기에는 한계점에 이르고 있다.^[1~2]

이를 해결하기 위한 방안으로 기존 도로이용 체계에 전자·제어·통신 등 첨단기술을 접목하여 교통시설을 효율적으로 이용하고 운전자의 편의성과 안전성을 극대

* 정회원, 익산대학 전자정보과
(Department of Electrical and Information Eng.
Iksan College)

접수일자: 2008년11월13일, 수정완료일: 2009년3월6일

화하는 차세대 교통정보 시스템에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다.^[3~4]

ITS(Intelligent Transportation Systems)이 적용될 경우 특정 지역의 교통 흐름을 전자센서로 감지, 각종 도로정보를 운전자들에게 전달해 교통체증을 줄이고 고속 주행 시에는 차간 거리를 일정하게 유지하도록 해주어 사고 발생을 억제할 수 있을 것으로 본다.

ITS 분야 중 하나인 첨단 차량·도로 시스템의 경우 송·수신 차량이 이동함으로써 차량 위치에 따라 전파환경이 각각 다를 수 있다. 그러므로 실제 주행 차량에 적용되기 위해서는 도로 기하구조를 고려한 새로운 전파해석 모델에 대한 연구가 선행되어야 한다.^[5~11]

이에 본 논문에서는 도로 기하구조를 고려한 전파환경 분석을 위해 송·수신 차량이 편도 2차선의 일반국도를 80[km/h]의 속도로 주행하는 경우를 가정하였다.

또한 도로구조는 직선도로와 직선도로 사이에 곡선도로가 존재하며 곡선도로의 최소 곡선 반경은 300[m] 이하인 지역에서 대소에 관계없이 교통사고율이 높은 통계자료를 근거하여 280[m]로 가정하였다. 이때 직선도로의 길이는 정지시거를 고려하여 140[m], 곡선의 길이는 90[m]이다.

그리고 반사파의 영향을 고려하기 위해 도로의 곡선 구간은 8개 지점으로 구분하여 11.25[m] 간격으로 시뮬레이션 하였으며, 전파수평경로 상 존재하는 장애물에 의해 이루어지는 반사형태는 벽면과 차량, 벽면과 벽면, 차량과 벽면에 의해 이루어지는 경우 전파경로와 경로 손실을 예측할 수 있는 모델을 제안하였다..

II. 전파경로해석 모델 제안

1. 도로의 기하구조^[12]

1) 곡선반경

우리나라의 경우 직선도로와 직선도로 사이에 완전한 원곡선 도로를 삽입하여 도로를 설계한다. 곡선도로에서 자동차가 안정된 상태로 주행할 수 있는 최소곡선의 반경은 식 (1)과 같다.

$$R = \frac{V^2}{127(f+i)} \quad (1)$$

V : 주행속도[km/h]

f : 횡방향 미끄럼 마찰계수

i : 편구배 [%]

표 1. 곡선의 반경

Table 1. Radius of Curve.

설계속도[km/h]	마찰계수(f)	최소곡선반경[m]	
		계산값	규정값
120	0.10	709	710
100	0.11	463	460
80	0.12	280	280
70	0.13	203	200
60	0.14	142	140
50	0.15	94	90
40	0.16	57	60
30	0.16	32	30
20	0.16	14	15

표 1은 식 (1)을 이용 최소 곡선반경을 구한 계산값과 규정값이다.

2) 곡선의 최소 길이

곡선도로를 주행하는 운전자는 도로교각이 5도 일 때 곡선의 길이가 실제보다 짧아 보이는 착각을 일으켜 핸들조작에 곤란을 느끼게 된다.

표 2는 도로교각 5도를 기준한 곡선의 최소 길이 규정값 이다.

표 2. 곡선의 길이

Table 2. Length of curve.

설계속도[km/h]	곡선의 최소길이[m]	
	5도미만	5도이상
120	700/θ	140
100	550/θ	110
80	450/θ	90
70	400/θ	80
60	350/θ	70
50	300/θ	60
40	250/θ	50
30	200/θ	40
20	150/θ	30

3) 정지시거

원활한 교통소통과 교통안전을 위해서는 도로 전 구간에 걸쳐 충분한 시거가 확보되어야 한다.

도로를 주행하는 운전자가 진행 방향에 있는 장애물 또는 위험 요소를 인지하고 정지하거나 장애물을 피해 주행 할 수 있는 길이는 식 (2)와 같다.

$$D = \frac{Vt}{3.6} + \left(\frac{1}{2gf} \times \frac{V^2}{3.6^2} \right) \quad (2)$$

V : 주행속도[km/h], t : 판단시간 (2.5[sec])

g : 중력가속도, f : 마찰계수

표 3은 자동차가 80[km/h]로 주행하는 경우 노면 상태를 고려한 정지시거이다.

표 3. 노면상태에 따른 정지시거
Table 3. Stopping sight distance according to the road conditions.

노면상태		비가왔을때	눈이왔을때
계수	마찰계수(f)	0.30	0.15
정지시거[m]	계산값	139.5	136.1
	규정값	140	140이상

2. 전파경로해석 모델

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

그림 1에서와 같이 곡선도로에 수신차량이 위치하는 경우 직접파 보다는 반사체에 의한 반사파에 의해 수신 이 이루어지게 된다.

곡선도로에 진입한 Rx차량은 n값에 따라 각각 그 위치를 달리하며 그 위치는 식 (3)과 같다.

$$Rx = \frac{S}{T}n + d_x \tag{3}$$

여기서 n=0 ~ 8, d_x = 0~140[m]

곡선도로에 위치한 Rx차량에 따라 Tx차량의 위치는 식 (4)와 같다.

$$Tx = \left(\frac{S}{T}n + d_x \right) - dc \tag{4}$$

Tx 차량의 위치에 따른 좌, 우측 반사체와 인접한 차량들에 의해 반사가 이루어질 경우 Tx 차량중심선에

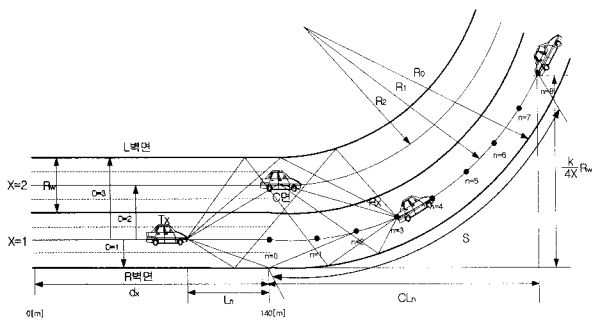


그림 1. 전파경로 해석 모델
Fig. 1. Supposition model for propagation path analysis.

서 반사체까지의 폭은 식 (5)와 같다.

$$w_n = \frac{(4D+K)Rw}{4X} - \frac{dw}{2} \tag{5}$$

여기서 X : 차선, D=1 ~ 2X

$$K = 2n + 1$$

송·수신 차량의 전파직선경로 dc[m]를 전파가 전송 되는 동안 다중 경로를 경유한 전파를 수신하게 되는 경우 반사체까지의 거리 D값에 따라 최초 반사구간, 반복 반사구간, Rx차량 수신구간으로 세분 할 수 있고, Tx 차량중심선에서 반사체까지의 폭은 그 값을 달리 한다.

Tx차량에서 송신된 전파가 도로변을 따라 수직인 반사체와 인접차량들에 의해 반사되는 경우 도로와 평행한 직선거리는 식 (6)과 같다.

$$d_L = \sum_{D=1}^4 w_n \frac{\cos \beta/2}{\sin \beta/2} \tag{6}$$

전파가 직선거리를 따라 실제 이동한 전파경로는 식 (7)과 같다.

$$r_L = \sum_{D=1}^4 \frac{w_n}{\sin \beta/2} \tag{7}$$

식 (6), 식 (7)에서 최초 반사구간에서 발생한 반사파의 경우 D=1, 2, 3이고, 반복 반사구간에서는 D=3, 4 이다.

Rx차량 수신구간에서 직선거리는 식 (8)과 같다.

$$d_R = L_n + CL_n - d_L \tag{8}$$

여기서 D=1, 2, 3이며 $L_n = dc - \frac{S}{T}n$,

$$CL_n = \frac{\left(2R_x \sin \frac{\theta}{2} \right) \cos \theta_x}{T} n,$$

$$\theta_x = \sin^{-1} \left(\frac{w_n}{2R_x \sin \frac{\theta}{2}} \right),$$

$$R_1 = R_0 - \frac{Rw}{2}, R_2 = R_0 - \frac{3Rw}{2}$$

이때 전파가 직선거리를 따라 실제 이동한 전파경로는 식 (9)와 같다.

$$r_R = \sqrt{d_R^2 + w_n^2} \tag{9}$$

그러므로 총 전파경로는 식 (10)과 같다.

$$R_T = r_L + r_R \quad (10)$$

3. 전파경로손실

곡선도로의 선형 변화가 차량 간 통신에 미치는 영향을 해석하기 위해 수신전파의 위상차에 의한 영향은 무시하고, 단순히 전력을 더함으로써 전파경로손실을 구하는 광대역 경로손실은 식 (11)과 같다.

$$L[dB] = 10 \log \left\{ \sum_{n=1}^N \left(\frac{\lambda}{4\pi R_n} \Gamma_n \right)^2 \right\} - L(d) \quad (11)$$

여기서 $L(d)$: 강우감쇠, Γ_n : 반사계수

III. 시뮬레이션 및 검토

도로 기하구조를 고려한 전파환경 분석을 위해 송·수신 차량이 직선도로와 직선도로 사이에 곡선도로가 존재하는 편도 2차선의 일반국도에 위치한 경우를 가정하였다.

전파수평경로 상 존재하는 장애물에 의해 이루어지는 반사형태는 벽면과 차량, 벽면과 벽면, 차량과 벽면에 의해 이루어지는 경우 표 4를 이용 시뮬레이션 하여 전파경로, 전파경로손실을 구하였다.

표 4. 시뮬레이션 조건
Table 4. Simulation specifications.

차선 X	2	
도로폭 R_w	3.5[m]	
도로교각 θ	18.4°	
곡선반경 R	280[m]	
최소곡선길이	90[m]	
차량폭 dw	1.7[m]	
파장 λ	5×10^{-3}	
송신전력 Pt	250[mW]	
차량사이거리 dc	111[m]	
차량속도 v	80[km/h]	
방사각 β	$\pm 5^\circ$	
대기감쇠 $L(d)$	16/km	
감쇠계수 Γ_n	콘크리트	0.68
	냉연강판	0.98

1. 수신차량의 위치 변화에 따른 전파경로

Tx차량과 Rx차량 사이의 직진경로가 최대 111[m] 일 때, 전파가 Rx차량까지 도래하는 동안 차량의 위치 변화에 따라 전파경로를 구한 결과는 표 5, 그림 2와 같다.

표 5. Rx에 따른 전파경로[m]
Table 5. Propagation path according to the Rx.[m]

D \ n	n									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Tx	29	32.1	35.1	38.2	41.2	44.3	47.3	50.4	53.4	
Rx	140	143.1	146.1	149.2	152.2	155.3	158.3	161.4	164.4	
1차선	직접파	111	102.7	94.4	86.2	77.9	69.7	61.5	53.3	45.2
	1,4,3	112.8	107.5	111.5	111.6	111.7	111.8	112	112.1	112.2
	1,3,2	111.4	103.2	95.1	87.4	80.5	111.5	111.6	111.7	111.8
	2,3,1	111.4	103.2	95.3	88.2	111.6	111.7	111.9	112	112.1
	3,4,1	111.8	111.9	112.1	112.2	112.4	112.6	112.8	113	113.2
2차선	직접파	111	102.7	94.3	86	77.7	69.5	61.2	53	44.9
	1,4,3	112.4	112.6	112.8	113	113.2	113.5	113.7	114	114.3
	1,3,2	111.8	103.8	96	88.8	83	112	112.1	112.2	112.4
	2,3,1	111.8	103.9	96.5	90.8	112.1	112.2	112.4	112.6	112.7
	3,4,1	114.7	110.8	112	112.1	112.2	112.4	112.5	112.7	112.8

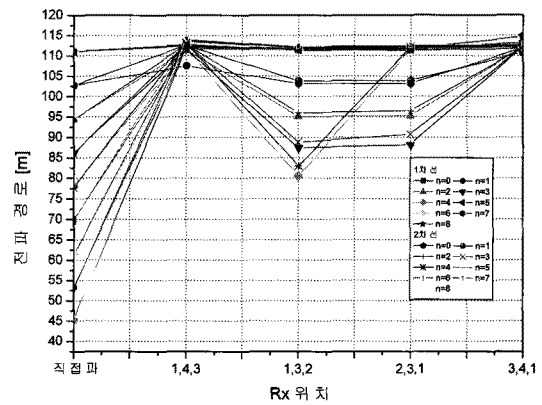


그림 2. Rx에 따른 전파경로[m]
Fig. 2. Propagation path according to the Rx.[m].

2. 수신차량 위치 변화에 따른 전파경로손실

다중경로를 통해 Rx차량까지 도래하는 동안 차량의 위치 변화에 따라 전파경로손실을 구한 결과는 표 6, 그림 3과 같다.

표 6. Rx에 따른 전파경로손실[dB]
Table 6. Propagation path loss according to the Rx.[dB].

D \ n	1차선					2차선				
	직접파	1,4,3	1,3,2	2,3,1	3,4,1	직접파	1,4,3	1,3,2	2,3,1	3,4,1
0	-122.7	-129.6	-129.5	-126.3	-126.2	-122.7	-129.6	-129.5	-126.3	-126.4
1	-121.9	-129.1	-128.7	-125.5	-126.2	-121.9	-129.6	-128.7	-125.6	-126.1
2	-121.1	-129.5	-127.8	-124.7	-126.2	-121.1	-129.6	-127.9	-124.8	-126.2
3	-120.1	-129.5	-127	-123.9	-126.2	-120.1	-129.6	-127.1	-124.2	-126.2
4	-119.1	-129.5	-126.2	-126.3	-126.2	-119.1	-129.6	-126.5	-126.4	-126.2
5	-118	-129.5	-129.5	-126.3	-126.2	-118	-129.7	-129.5	-126.4	-126.2
6	-116.8	-129.5	-129.5	-126.3	-126.2	-116.8	-129.7	-129.5	-126.4	-126.2
7	-115.4	-129.5	-129.5	-126.3	-126.3	-115.4	-129.7	-129.5	-126.4	-126.2
8	-113.9	-129.5	-129.5	-126.4	-126.3	-113.8	-129.7	-129.6	-126.4	-126.2

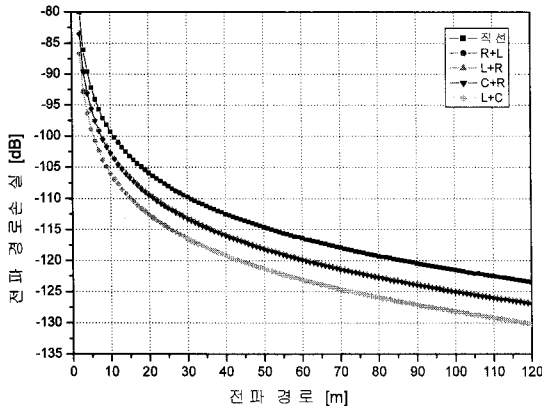


그림 3. Rx에 따른 전파경로손실[dB]
Fig. 3. Propagation path loss according to the Rx.[dB].

3. 전파경로, 전파경로손실 비교

수신차량의 위치가 곡선도로 시점에서부터 곡선도로 종점까지 변화 하는 경우 다중경로를 통해 수신된 반사파의 전파경로, 전파경로손실, 전파지연시간을 비교하면 다음과 같다.

1) 송·수신차량이 1차선을 주행하는 경우

- 도로 좌, 우측 반사체에 의해 반사가 이루어지는 (D값 1,4,3)경우 전파경로는 1.8~67[m], 전파경로손실은 -6.9~ -15.6, 전파경로지연시간은 10~220[nsec]이었다.

- 도로 우측 반사체와 인접차량에 의해 반사가 이루어지는 경우(D값 1,3,2) 전파경로는 0.4~66.6[m], 전파경로손실은 -6.8~-15.6, 전파경로지연시간은 0~220[nsec]이었다.

- 송신차량에 인접한 차량과 우측 반사체에 의해 반사가 이루어지는 경우(D값 2,3,1) 전파경로는 0.4~66.9[m], 전파경로손실은 -3.6~-12.5, 전파경로지연시간은 0~220[nsec]이었다.

- 도로 좌, 우측 반사체에 의해 반사가 이루어지는 경우 즉, D값이 3,4,1인 경우 전파경로는 0.8~68[m], 전파경로손실은 -3.5~-12.4, 전파경로지연시간은 0~230[nsec]이었다.

2) 송·수신 차량이 2차선을 주행하는 경우

- 도로 좌, 우측 반사체에 의해 반사가 이루어지는 (D값 1,4,3)경우 전파경로는 1.4~69.4[m], 전파경로손실은 -6.9~ -15.9, 전파경로지연시간은 10~230[nsec]이었다.

- 도로 우측 반사체와 인접차량에 의해 반사가 이루어지는 경우(D값 1,3,2) 전파경로는 0.8~67.5[m], 전파경로손실은 -6.8~-15.6, 전파경로지연시간은 0~220[nsec]이었다.

- 송신차량에 인접한 차량과 우측 반사체에 의해 반사가 이루어지는 경우(D값 2,3,1) 전파경로는 0.8~67.8[m], 전파경로손실은 -3.6~-12.6, 전파경로지연시간은 0~230[nsec]이었다.

- 도로 좌, 우측 반사체에 의해 반사가 이루어지는 경우(D값 3,4,1) 전파경로는 3.7~67.9[m], 전파경로손실은 -3.7~-12.4, 전파경로지연시간은 0~230[nsec]이었다.

전파경로를 비교한 결과 1차선에 위치한 경우 최대 68[m], 2차선에 위치한 경우 최대 69.4[m], 전파경로손실을 비교한 결과 1차선에 위치한 경우 최대 -15.6[dB], 2차선에 위치한 경우 최대 -15.9[dB]이다.

V. 결 론

본 논문에서는 송·수신 차량이 편도 2차선의 일반국도를 80[km/h]의 속도로 주행하고, 곡선 반경은 교통사고율이 높은 통계자료를 근거하여 280[m], 직선도로의 길이는 정지시거를 고려하여 140[m], 곡선의 길이는 90[m], 곡선도로를 11.25[m] 간격으로 8개 지점을 선정하여 시뮬레이션 하였다.

그 결과 송·수신 차량간 거리가 111[m] 이상이 될 경우에는 좌, 우측 반사체에 의해 이루어지는 반사파의 전파경로 보다는 인접한 차량들에 의해 이루어지는 반사파의 전파 경로가 반복 반사수가 증가함으로 더 길어지게 되나 본 논문에서는 111[m] 미만으로 가정함에 따라 수신차량에 전파가 도달하기 위한 반복 반사는 1~2[회]정도이다. 그러므로 송·수신 차량이 위치한 차선에 관계없이 인접한 차량에 의해 발생하는 반사파 보다는 좌, 우측 반사체를 경유하여 수신하게 되는 반사파의 전파경로가 1~1.5[m]정도 더 큼을 알 수 있었다.

향후 밀리미터파 대역에서의 전파환경별 무선채널 특성에 대한 측정과 모델링 연구가 지속적으로 이루어져 실시간으로 도로 주행에 필요한 정보를 차량간 통신 시스템을 통해 송·수신하게 되면 혼잡대기 및 교통사고 감소로 개인과 기업의 사회적 생산성 증대는 물론 운행 최적화로 물류비 절감효과가 기대된다.

참고 문헌

- [1] 김재형, 김동욱, “적정사회간접자본 및 투자수요의 추정과 정책과제”, 한국개발연구원, 1998.
- [2] 대한민국정부, “2004-2008년 국가 재정운영계획”
- [3] Kazuya TAKAHASHI, Tomoyuki UDAGAWA, “Intra-Vehicle Wireless 1394 System”, IEICE TRANS.COMMUN., VOL.E85-B, NO.5 MAY 2002, pp.938-941
- [4] 이상주, 박공만, “자동차 충돌방지용 밀리미터파 레이다 기술동향”, 전자공학회논문지, 제26권 10호, 1999년.
- [5] Akihito KATO, Katsuyoshi SATO, “Propagation Characteristics of 60 GHZ Millimeter Waves for ITS Inter-Vehicle Communication”, IEICE TRANS. COMMUN., VOL.E84-B, NO.9 SEMTEMBER 2001, pp.2530-2535
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Kazunori Kimura, Jun Horikoshi, “Prediction of Milliter-Wave Multipath Propagation Characteristics in Mobile Radio Environment”, IEEE Transaction on Electron Vol.E82-C, No7, pp.1253-1259, July 1999.
- [9] 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.
- [10] 김승민, “밀리미터파 대역에서 전파경로손실 예측 모델”, 전자공학회논문지, 제42권 IE 제2호, pp.23-28, 2005
- [11] 김승민, “도로의 평면선형을 고려한 전파경로 분석”, 전자공학회논문지, 제44권 IE 제1호, pp.27-31, 2007
- [12] 교통부, “도로선형설계와시공 도로토공설계와 시공”, 건설교통부

저자 소개

김 승 민(정회원)
대한전자공학회 논문지
제44권 IE편 제1호 참조