공항 화물터미널 환경에서 실험적인 패스 로스에 관한 연구

The Study on Empirical Propagation Path Loss in the Airport
Cargo Terminal Environment

김 경 태 · 박 효 달*

Kyung-Tae Kim · Hyo-Dal Park*

요 약

본 논문에서는 인천공항 화물터미널 지역에서 항공정보통신 무선 채널의 패스 로스 모델에 관해 연구하였다. 인천공항은 송신소 사이트가 신불 및 왕산에 위치하였다. 신불 및 왕산에서 방사된 전파 상태를 분석하기 위해 각 사이트에서 동일한 송신기 및 파워를 이용해 전파를 방사하고 화물터미널에서 측정을 수행하였다. 송신 사이트에서 방사된 파워는 측정의 정확성을 위해 변조 신호를 제거한 캐리어 파워를 송신하였다. 측정 환경은 송신소와 안테나를 직결된 상태에서 전파를 방사한다. 수신은 전파 측정을 위해 수신기를 장착한 이동 차량을 이용하여 화물터미널 지역에서 전파 측정을 수행하였다. 화물터미널에서 측정된 데이터를 가지고 패스 로스 계수 및 실험적인 패스 로스 식은 기본적인 패스 로스 모델 및 하타 모델 등을 이용하여 추출하였다. 화물터미널 지역에서 추출된 패스 로스 계수는 신불에서 방사된 패스 로스는 3.67 이고 왕산에서 방사된 패스 로스 3.39이었다. 예측 에러의 편차는 각각 14.42 및 10.38이었다. 실험 결과에서는 추출된 패스 로스 계수와 다른 전파 패스 모델과 비교하였다. 이러한 결과는 항공정보통신 사이트 최적 위치 선정 및 항공정보통신 서비스 평가에 도움이 될 것이다.

Abstract

In this paper, The path loss model of Air Traffic Control(ATC) telecommunication radio channel has been studied at the Incheon International Airport(IIA) Cargo Terminal. We measured one frequency among VHF channel bands. The transmitting site was located at different locations with different heights. The transmitting site radiated the Continuous Wave(CW). The propagation measurement was taken using the moving vehicle equipped with receiver and antenna. The transmitting power, frequency and antenna height are the same as the current operating condition. The path loss exponent and intercept parameters were extracted by the basic path loss model and hata model. The path loss exponent at IIA Cargo terminal area were 3.67 and 3.39 respectively in first and second transmitting sites. The deviation of prediction error is 14.42 and 10.38. The new path loss equation at the IIA Cargo terminal area was also developed using the derived path loss parameters. The new path loss was compared with other models. This result will be helpful for the ATC site selection and service quality evaluation.

Key words : Path Loss, VHF, Cargo, Empirical Model, Telecommunication

I. 서 론

인천국제공항 화물터미널은 공항을 통해 국내외

인천국제공항공사 항행처(Navaids Group, Incheon International Airport Corp.)

*인하대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Inha University)

· Manuscript received September 3, 2013 ; Revised November 13, 2013 ; Accepted November 25, 2013. (ID No. 20130903-081)

· Corresponding Author : Kyung-Tae Kim (e-mail : tbt111@naver.com)

로 반출입 또는 통과되는 모든 화물의 운송, 보관, 처리를 위해 항공기와 지상수송을 연결하는 시설이다. 화물터미널 지역은 6개의 터미널로 구성되어 있으며, 각 항공사별로 독립된 터미널을 확보함으로써 특화된 서비스를 제공하고 있다^[4]. 인천공항 화물 물동량을 운송하는 화물 및 항공기 등으로 인해 화물터미널 지역은 전파 환경이 좋지 못한 지역이다. 특히 건물, 화물 적재 및 운송등 빈번한 차량 이동으로 전자장 해석, 시뮬레이션 및 전파 모델을 적용하기에는 어려움이 있다.

국내 관련법규 항공법 시행규칙 제10조(항행안전시설) 3항 항공정보통신시설은 “전기통신을 이용하여 항공교통업무에 필요한 정보를 제공 교환하기 시설이다”라고 규정되어 있다. 항공이동통신시설은 단거리이동통신시설(VHF/UHF Radio), 초단파디지털이동통신시설(VDL), 관제사 조종사간 데이터 링크 통신시설(CPDLC) 및 범용 접속 데이터 통신시설(UAT) 등이 있으며 그 외에도 단파 이동통신시설(HF Radio), 단파 데이터 이동통신시설(HFDL), 모드 S 데이터통신시설, 항공이동위성통신시설(AMS(R)S) 등이 있다^{[1][12]}.

항공통신 초단파 대역 주파수는 공항에서 중요한 통신 매개체로서 역할을 하고 있지만 지금까지 항공 주파수 채널에 대한 심도 있는 연구가 이루어지지 않았다. 화물터미널 지역에서 전파 채널 연구를 위해 측정 데이터에 기반을 둔 모델 적용을 확인 할 필요가 있다.

초단파 대역 무선채널에 대한 논문 [6]에서는 전파 경로 손실 계수 3.0~3.6, 새도인 편차 3.3~4.6를 갖는다고 보고했다. 측정은 rural Ottawa에서 2 m 높이의 안테나를 가지고 이동국에서 수신국까지 이루어졌다^[6].

항공정보통신 VHF 채널에 관한 논문은 미국 대형 공항에서 실시되었다. 2011년에 디트로이트 국제공항 터미널을 배경으로 쓰인 논문은 송신국 파워 5W CW를 방사하고 가시거리 및 비가시거리를 배경으로 추정 경로 손실 계수를 측정하였다. 가시거리 및 비가시 거리에서 경로 손실 계수는 각각 3.97 및 5.57이고 편차는 3.66 및 8.25로 측정되었다^[7]. 2012년에 클리브랜드홉킨스 국제공항에서 같은 실험을 수행하였다. 여기에서는 가시거리 및 비가시 거리

경로 손실은 2.9 및 4이고 편차는 3.9 및 5.5로 측정되었다. 미국 대형 공항에서 측정된 논문은 송신 안테나 위치가 19.5 m로 “2-Ray” 모델을 이용하여 경로 손실 계수를 도출하였다^[8].

전파 모델들은 송신기로부터 수신점까지의 패스 손실을 예측하는데 사용된다. 패스 손실은 송신기와 수신기 사이의 신호 감쇄이며 이런 모델들은 또한 송수신 사이의 신호 강도를 예측하는데도 사용된다. 패스 로스는 시스템의 성능을 증가시키는 중요한 요소이다. 전파 모델들은 실험적인 모델, 통계적 모델 및 결정적 모델로 분류 될 수 있다^[10]. 결정적 모델은 맥스웰 방정식의 반사 및 굴절 법칙 등을 이용한 수학적으로 해석한 모델이다. 실험적 모델은 측정 데이터 얻어진 데이터를 이용하여 현존하는 법칙을 적용해 패스 손실을 얻어내는 모델이다. 마지막으로 실험적 데이터와 결정적 모델에 기초한 통계적 모델이다. 본 논문에서는 실험적인 모델만이 고려된다. 실험적인 모델은 패스 손실 방정식을 모델하기 위해 측정 데이터를 사용한다. 이런 모델을 생성하기 위해서는 패스 손실을 알고자 하는 지역에 대해 광범위하게 수신 신호 강도를 측정해서 데이터 및 통계와 해야 한다. 이외에도 패스 로스 계산을 위해서 안테나 높이, 케이블 및 커넥터 손실 등을 파악해야 한다.

2장에서는 실험적인 경로 손실 모델에 대해 설명하고, 3장에서는 측정 조사 방법론, 4장은 실험 결과 및 검증에 대해 설명하였고, 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 실험적인 경로 손실 모델

2.1 자유 공간 경로 손실 모델

자유 공간에서 경로 손실은 송신기와 수신기 사이에 전파 구간에서의 신호의 강도가 얼마나 많이 손실되는 가를 정의한다. 자유 공간에서의 경로 손실은 주파수와 거리에 따라 다양한 값을 가진다. 자유 공간 방정식은 다음과 같다^{[3][10]}.

$$PL(dB) = 32.4 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (1)$$

여기에서, f 는 주파수, d 는 송신기와 수신기 사이의 거리이다.

2-2 경로 손실 및 경로 손실 지수

전파 손실은 송수신 파워 사이의 비율로 정의된다. 링크 버짓 방정식은 식 (2)와 같은 형태를 갖는다^[3].

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right) - PL \quad (2)$$

식 (2)에서 P_t 와 P_r 는 dBm을, G_t 와 G_r 는 dB를 단위로 사용한다. 경로 손실은 새도우잉 및 침투 효과 때문에 거리 분산 및 손실을 포함한다. 일반적인 경로 손실은 어떤 특정 지역에서 경로 손실을 추정하기 위해 사용된다. 식 (2)에서 경로 손실은 다음과 같다^[3].

$$PL(dB) = PL(d_o) + 10n\log_{10}\left(\frac{d}{d_o}\right) \quad (3)$$

$$n = \frac{\sum_i^N PL_i * 10\log_{10}(d_i)}{\sum_{i=1}^N (10\log_{10}(d_i))^2} \quad (4)$$

식 (3)에서 패스 로스 지수 n 은 식 (4)을 이용하여 구한다. 식 (4)에서 d_i 송신원과 측정원 사이에 거리이며 PL_i 는 송신원에 방사한 값과 수신원에 측정된 값으로 추출된 값이다. 패스 로스는 환경적인 및 지리적 영향 때문에 패스 로스는 차이가 발생한다. n 이 2이라는 것은 자유 공간을 의미하며 장애물이 존재할 때 n 의 값은 커진다. 실제적인 적용을 위해서는 식 (4)의 방정식을 이용하여 특정 지역을 측정하여 전파 패스 계수를 추출할 수 있다. 식 (4)에서 PL_i 는 패스 로스이며 d_i 는 송신국과 수신국 사이의 거리이다.

2-3 비가시거리에서 경로 손실 모델

송수신기 사이에는 스캐터링 물체가 존재하기 때문에 송신된 신호는 수신기에 직접적으로 도달하지 못한다. 스캐터링 물체들은 수신 안테나에 도달하는 평균 신호 강도에 크게 영향을 줄 수 있다. 가시거리 환경과는 다르게 비가시거리 환경에서 패스 로스 모델링은 더 복잡하며 모델에서 더 많은 환경적인 파라미터들을 포함한다. 이런 환경에서 경로 손실 모델은 아래와 같은 형태로 될 수 있다^{[3],[10]}.

$$PL(d) = PL(d_o) + 10n\log_{10}\left(\frac{d}{d_o}\right) + X_\sigma \quad (5)$$

식 (5)에서 $PL(d_o)$ 는 송신기로부터 기준 거리 경로 손실이며, X_σ 는 로그 노멀 새도우잉 효과를 설명하며 n 은 경로 손실 지수이다. 가시거리 및 비가시거리 환경에서 100 MHz에서 2 GHz의 주파수 범위를 포함하는 많은 실험들이 이루어졌다. 식 (5)에 의하면, 경로 손실은 경로 손실 지수 n 및 인터셉트를 가진 손실 거리의 선형 함수가 된다. 이 경로 손실 지수 및 인터셉트는 환경에 따라 다른 값을 갖는다.

2-4 오쿠로마 모델

오쿠로마 모델은 도시 지역에서 무선 신호 강도를 측정하기 위한 실험적인 모델이다. 모델은 도쿄 시내에서 측정된 데이터를 기반으로 한 것이다. 이 모델은 150 MHz에서 1,950 MHz의 범위의 주파수 및 거리 1 km에서 100 km 범위에서 적합한 모델이다. 이 모델은 안테나 높이가 30 m에서 1 km의 범위를 갖는 송신국에 사용된다. 오쿠로마 모델을 사용해 경로 손실을 결정하기 위해서는 송수신 점 사이에 자유 공간 경로 손실이 결정되어야 하며 $A_{mn}(f, d)$ 및 지형 타입에 따른 수정 팩터들이 더해져야 한다. 이 모델의 표현식은 식 (6)과 같다^{[3],[10]}.

$$PL(dB) = L_F + A_{mn}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{area} \quad (6)$$

여기에서 PL는 경로 손실, L_F 는 자유 공간 경로 손실, $A_{mn}(f, d)$ 는 자유 공간에 관련된 중간 감쇠, $G(h_{te})$ 는 송신국 안테나의 이득 팩터, $G(h_{re})$ 는 이동 측정용 안테나 이득 팩터, G_{area} 는 환경 타입 따른 이득이며 d 는 송수신 안테나 사이의 거리이다. 오쿠로마 모델은 초기 셀룰러 시스템의 경로 손실을 예측하는데 가장 간단하며 정확성 차원에서 최상이었다. 이 모델의 최대 단점은 지형 프로파일에서 급속한 변화에 대한 반응이 느리다는 것이다. 그래서 이 모델은 도시 및 교외 환경에는 좋지만 시골환경에는 적합하지 않다.

2-5 하타 모델

하타 모델은 오쿠로마 모델에 기초한 실험적인

모델이다. 하타 모델은 몇 가지의 수정 팩터들이 포함되어 주파수 범위는 150 MHz에서 1,500 MHz 대역에서 유효하다. 하타는 도시 지역 전파 로스 표준식을 유도했지만 수정 팩터를 부가적으로 이용해서 교외 지역 및 시골 지역에서도 적용이 가능하다. 계산 시간도 오쿠로마 모델보다 단축되며 단지 4가지 파라미터만이 요구된다. 도시 지역의 경우 패스 로스 식은 다음과 같이 주어진다^{[3],[5]}.

$$PL(dB) = 69.55 + 26.16\log(f_c) - 13.82\log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55\log_{10}h_{te})\log_{10}d \quad (7)$$

식 (7)에서 f_c 는 150 MHz에서 1,500 MHz 범위의 주파수, h_{te} 는 유효 송신 안테나 높이(30 m에서 200 m), d 는 송수신 사이의 거리(Km), $a(h_{re})$ 는 유효 안테나 높이에 대한 수정 팩터이다. 중소 도시의 경우, 이동 안테나의 수정 팩터는 아래와 주어진다.

$$a(h_{re}) = (1.1\log_{10}f_c - 0.7)h_{re} - (1.56\log_{10}f_c - 0.8) \quad (8)$$

대도시의 경우, 수정 팩터는 다음과 같다.

$$a(h_{re}) = 8.29(\log_{10}1.5h_{re}) - 1.1 \text{ for } f_c < 300\text{MHz} \quad (9)$$

$$a(h_{re}) = 3.2(\log_{10}11.75h_{re})^2 - 4.97 \text{ for } f_c > 300\text{MHz} \quad (10)$$

식 (9)는 300 MHz 주파수이하 대역에서 사용하는 안테나 수정 팩터이며 식 (10)는 300 MHz 주파수이상에서 사용되는 안테나 수정팩터이다. 교외 지역에서 패스 로스를 구하기 위해 하타 표준 형태는 다음과 같이 변형된다. 교외 지역에서 패스 로스를 구하기 위해 하타 표준 형태는 다음과 같이 변형된다.

$$PL(dB) = 69.55 + 26.16\log(f_c) - 13.82\log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55\log_{10}h_{te})\log_{10}d - 2\left\{\log_{10}\left(\frac{f_c}{28}\right)\right\}^2 - 5.4 \quad (11)$$

하타 모델이 오쿠로마 모델처럼 구체적인 수정 파라미터는 없다고 할지라도 이 모델은 대도시 환경의 대신호 모델에 적합하다.

2-6 COST-231 모델

COST-231 모델은 EURO-COST에서 개발된 하타 모델의 확장 버전이다. 이 모델은 150 MHz에서 2000 MHz까지의 주파수 범위를 갖는다. 이 모델은 하타 모델과 비교시 인터셉트 값에서 약간의 차이를 가진다. 이 모델의 경로 손실은 아래와 같이 주어진다^[3].

$$PL(dB) = 69.55 + 26.16\log(f_c) - 13.82\log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55\log_{10}h_{te})\log_{10}d + C_M \quad (12)$$

여기에서 C_M 은 대도시 지역의 경우는 3 dB 중소 도시 및 교외 지역은 0 dB이다. 11식에 파라미터들은 수신 안테나 높이가 1 m에서 10 m, 거리 1~20 km를 제외하고 하타 모델들과 같다.

III. 측정 조사 방법론

2012년 기준 인천공항은 국제 화물 처리 2위를 차지할 만큼 물동량이 많은 공항이다^[4]. 인천공항 화물터미널 지역은 6개의 터미널로 대항항공, 아시아나항공 및 외항사 터미널로 구성되어 있다. 화물 터미널 높이는 24.4~37.2(해발고 포함)이다.

3-1 측정 송신원

제1 송신소 및 제2 송신소는 그림 2처럼 41.6 m, 174 m 높이에 설치된 안테나에서 방사된다.

발신원 구성도에 대한 구성도가 그림 3에 나와 있다. 송신단은 현재 운영 중인 Park Air 5350A 장비에서 정선 박스를 거쳐 옥상에 설치된 안테나에 연결되었다.

그림 1. 화물터미널 전경

Fig. 1. View of cargo terminal.

그림 2. 제1/2 송신소 사이트
Fig. 2. 1st/2nd Tx site.

그림 3. 송신소 사이트 시스템 구성도
Fig. 3. Tx site system configuration.

3-2 이동형 측정 수신기

공항내 전파 측정을 위해 사용된 이동형 전파 측정 차량은 안테나 시스템(HE500), 전계측정기, DGPS(Vector Pro) 및 데이터 처리부 등으로 구성된다.

표 1는 송신원 및 이동형 전파 측정 시스템에 대한 설명 파라미터 자료이다. 송신원 제1 송신소와 제2 송신소로 분류하였다.

파워 측정은 장비 직결 상태에서 Agilent 및 Aeroflex, Inc. 파워 측정 장비를 이용하여 측정하였고, 케이블 로스 등은 Anritsu, Inc. 측정 장비를 이용하여 확인했다^{[12]~[15]}.

3-3 측정 루트 경로

측정 루트는 화물터미널 지역을 이동하면서 측정하였다. 화물터미널 지역은 송신소에서 대략 1~2 km에 위치해 있다. 이동용 측정 차량을 이용해 화

그림 4. 이동형 측정 수신 시스템 구성도
Fig. 4. Moving measurement receiving system configuration.

표 1. 송수신원 파라미터

Table 1. 128.2 MHz Tx and Rx parameter.

파라미터	제1송신소	제2송신소
Power(dBm)	43.30	
Tx. ant height(m)	41.6	174.5
Tx cable loss(dB)	1.94	1.90
Tx ant gain(dB)	0	0
파라미터	측정 수신기	
Rx ant height(m)	3	
Rx ant factor	19.3	
Rx cable Loss	2.22

그림 5. 화물터미널 지역에서 측정 경로
Fig. 5. Measurement route at cargo area.

물터미널 지역을 이동하면서 터미널 지역에서 패스 로스를 분석하였다. 측정 루트는 이동형 측정 차량에 장착되어진 DGPS에서 얻어진 GPS 좌표를 이용하여 거리를 계산하였다. 그림 5에 측정 루트를 도시하였다.

IV. 실험 결과 및 검증

4.1 실험 결과

화물터미널 지역에서 패스 로스를 확인하기 인천 공항 제1, 2 송신소에서 동일 장비를 설치하여 전파를 방사하고 화물터미널 지역에서 전파 패스를 확인해 보았다. 화물터미널 지역에서 전파 패턴을 확인하기 전에 그림 6처럼 제1 송신소 근처에서 LOS 전파 패턴을 측정하였다. 측정 결과는 표 1에 정리하였다. LOS 지역 측정 결과는 Cost 231 모델과 실험적인 모델과 거의 근접하였다.

그림 7은 제1 송신소에서 방사된 전파를 화물터미널에서 측정한 그림이다. 제1 송신소에서 화물터미널까지 거리는 0.924~1.7 km이었다. 측정 결과를

그림 6. 128.2 MHz LOS 지역 패스 로스
Fig. 6. 128.2 MHz LOS Area path loss.

표 2. 128.2 MHz LOS 지역 패스 로스 추출 결과
Table 2. 128.2 MHz LOS area path loss extraction result.

구분	제1송신소
$PL(d_o = 178)$	70
n	3.26
X_σ	10.26

그림 7. 제1 송신소 128.2 MHz 패스 로스
Fig. 7. 1st transmitting site 128.2 MHz path loss.

그림 8. 제2 송신소 128.2 MHz 패스 로스
Fig. 8. 2nd transmitting site 128.2 MHz path loss.

하타모델 및 COST 모델과 적용시 차이가 남을 확인할 수 있었다. 실험적인 모델 적용시 인터셉트 값은 110 정도였으며 패스 로스 지수 값은 3.67 정도이었다.

그림 8은 왕산에서 방사한 전파를 화물터미널에서 측정한 그림이다. 왕산에서 화물터미널까지의 거리는 대략 8.8~9.9 km이었다. 거리가 멀어질수록 하타 모델 및 COST 모델과 차이가 더 커짐을 확인할 수 있었다. 실험적인 모델 적용시 인터셉트 값은 103 정도였으며 패스 로스 지수 값은 3.4 정도였다.

그림 7, 8을 실험적인 모델로 도출한 식을 표현하면 아래와 같은 식을 유도할 수 있다.

$$PL(d) = 110 + 36.7 \log_{10} \left(\frac{d}{d_o} \right) + X_\sigma, \text{ for 1 TX} \quad (13)$$

$$PL(d) = 103 + 33.9 \log_{10} \left(\frac{d}{d_o} \right) + X_\sigma, \text{ for 2TX} \quad (14)$$

표 3. 패스 로스 추출 결과

Table 3. Path loss extraction result.

구분	제1송신소	제2송신소
$PL(do = 1000, 1035)$	110	103
n	3.67	3.39
X_σ	14.42	10.38

4-2 실험 결과의 통계적 검증

각 측정 점에서의 예측 에러를 정의하기 위해 예측치와 측정치를 식 (15)와 같이 비교하였다^[11].

$$Error_{i_pre} = |PL_{m_i} - PL_{i_pre}| \quad (15)$$

여기에서 PL_{m_i} 는 측정치의 개별적인 패스 로스이며 PL_{i_pre} 는 예측치의 개별적인 값이다. 평균 예측 에러는 식 (16)과 같이 얻어질 수 있다.

$$MeanError_pre = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Error_{i_pre} \quad (16)$$

예측 에러의 표준 편차는 식 (17)과 같이 계산되어진다.

$$StdError_pre = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Error_{i_pre}^2} \quad (17)$$

측정된 패스 로스 지수 값, 인터셉트 및 측정값의 표준 에러 오차를 정리하면 표 3과 같다.

V. 결 론

본 논문은 인천공항 화물터미널 지역에서 항공 통신 초단파 대역에 대한 측정을 수행했고 측정된 데이터를 가지고 전파 패스에 대한 연구를 하였다. 화물터미널 환경에서는 면밀한 분석이 수행되어야 하나 항공기, 토잉카 및 컨테이너등으로 정밀한 분석이 쉽지 않기 때문에 실험적인 모델을 이용하여 전파 모델을 도출하였다. 본 논문은 위치 및 높이가 상이한 제1 송신사이트 및 제2 송신사이트에서 동일 송신기를 설치하면서 전파 측정을 수행하였다. 제1 송신소 LOS 지역에서 패스 로스 지수 값은 3.26를 나왔으며, 제1 송신소 및 제2 송신소에서 전파를 방사하고 화물터미널에서 측정된 전파 패스 로스 값은 3.67 및 3.4로 도출되었다. 도출된 패스 로스 값들은

하타모델과 COST 모델과 차이가 발생함을 확인 할 수 있다. 공항 화물터미널 지역에서 전파 시뮬레이션을 적용하기 위해서는 측정치를 이용한 교정을 해야 함을 예측할 수 있다. 본 연구 논문은 향후 확장 예정인 화물터미널 건설시 전파 품질의 영향 및 운용 품질 기초자료 활용될 것이다. 향후 연구는 발신원 안테나 위치에 따라 패스 로스 변화 및 화물터미널 건물, 항공기 및 화물 등에 따른 전파 변화 등에 대해서도 보다 세부적인 연구가 필요하다.

References

- [1] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, "Aviation regulations", 2013.
- [2] ICAO, *Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems*, Second Edition, 2002.
- [3] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, 2000.
- [4] Incheon International Airport, Website, Apr. 2013, <http://www.airport.kr/>
- [5] Hata, "Empirical formula for propagation loss in the land mobile services", *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 29, no. 3, p. 317, Aug. 1980.
- [6] J. A. Pugh, R. J. C. Bultitude, and P. J. Vigneron, "Path loss measurements with low antennas for segmented wideband communications at VHF", in *Proc. IEEE Military Commun. Conf. (MILCOM 2006)*, pp. 1-5, Washington D.C., USA, Oct. 2006.
- [7] Q. Wu, W. Matolak, and R. D. Apaza, "Airport surface area propagation path loss in the VHF band", in *Proc. AIAA/IEEE Integrated Commun., Navigation, Surveillance Conf.*, pp. B4-1-B4-6, Herndon, USA, May 2011.
- [8] Q. Wu, W. Matolak, and R. D. Apaza, "Peer-to-peer VHF propagation path loss in the airport surface area", in *Proc. AIAA/IEEE Integrated Commun., Navigation, Surveillance Conf.*, pp. G1-1-G1-7, Herndon, USA, Apr. 2012.
- [9] Purnima K. Sharma, R. K. Singh, "Comparative analysis of propagation path loss models with field measured data", *International Journal of Engineer-*

- ing Science and Technology, vol. 2, no. 6, 2010.
- [10] Pooja Prajesh, Dr. R. K. Singh, "Investigation of outdoor path loss models for wireless communication in bhuj", *IJECET*, vol 3, Jul.-Sep. pp. 171-178, 2012.
- [11] J. R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis: the study of Uncertainties in Physical Measurements*, University Science Books, 1982.
- [12] NORTHROP GRUMMAN, Inc. Website, Apr. 2013, <http://www.airport-technology.com/>
- [13] ROHDE&SCHWARZ, Inc. Website, Apr. 2013, <http://www.rohde-schwarz.com/>
- [14] AEROFLEX, Inc., Website, Apr. 2013, <http://www.aeroflex.com/>
- [15] ANRITSU, Inc. Website, Apr. 2013, <http://www.anritsu.com/>

김 경 태

1997년 2월: 서울과학기술대학교
전자공학과 (공학사)
2005년 2월: 인하대학교 전자공학과
(공학석사)
2005년 2월~현재: 인하대학교 전자공학과 박사과정
1997년 2월~현재: 인천국제 공항

공사 항행처

[주 관심분야] 항공통신 시스템, ILS, 초고주파 회로 설계, 전파 공학, 안테나 공학

박 호 달

1978년 2월: 인하대학교 전자공학과
(공학사)
1985년: (불) 국립항공우주대학 전자공학과
(공학석사)
1987년: (불) 국립항공우주대학 전자공학과
(공학박사)
1992년~현재: 인하대학교 전자공

학과 교수

[주 관심분야] 항공통신 시스템 설계, 초고주파 회로 설계, 전자장 이론, 안테나 공학