

# 콘코스 환경에서 항공 정보통신의 실험적인 전파 경로 모델에 관한 연구

김경태\*, 박효달<sup>o</sup>

## Empirical Propagation Path Loss Model for ATC Telecommunication in the Concourse Environment

Kyung-Tae Kim\*, Hyo-Dal Park<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 인천공항 Concourse 지역에서 항공정보통신 무선 채널의 경로 손실 모델에 관해 연구하였다. 항공정보통신 주파수 밴드인 VHF/UHF 채널 중에 두 개의 주파수에 대해 전파 측정을 수행하였다. 현재 운영 중인 송신 사이트에서 변조 신호를 제거한 캐리어 파워를 송신하였으며, 전파 측정을 위해 수신기를 장착한 이동 차량을 이용하여 Concourse 지역에서 전파 측정을 수행하였다. 송신 파워, 주파수, 안테나 위치 등은 현재 운용 조건과 같다. 경로 손실 계수 및 실험적인 경로 손실 식은 기본적인 경로 손실 모델 및 하타 모델 등을 이용하여 추출하였다. Concourse 지역에서 추출된 LOS/NLOS 경로 손실 계수는 128.2MHz 및 269.1MHz에서 각각 3.1/3.13 및 3.01/3.38이었고 예측 에러의 편차는 각각 2.77/3.17 및 4.01/3.66이었다. 추출된 경로 손실 계수를 이용하여 Concourse 지역에서 전파 경로 손실식과 실험적인 경로 손실 계수를 도출하였으며 또한 다른 전파 패스 모델과 비교하였다. 이러한 결과는 항공정보통신 사이트 최적 위치 선정 및 항공정보통신 서비스 평가에 도움이 될 것이다.

**Key Words** : Path Loss, Empirical model, Telecommunication, VHF/UHF, Concourse

### ABSTRACT

In this paper, we studied the path loss model of Air Traffic Control(ATC) telecommunication radio channel at the Incheon International Airport(IIA) concourse area. We measured wave propagation characteristics on the two frequencies among VHF/UHF channel bands. 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 exponents at Concourse area were 3.1/3.13 and 3.01/3.38 respectively in 128.2MHz and 269.1MHz. The deviation of prediction error is 2.77/3.17 and 4.01/3.66. The new path loss equation at the Concourse area was also developed using the derived path loss parameters. The new path loss model was compared with other models. This result will be helpful for the ATC site selection and service quality evaluation.

\* 주저자 : 인하대학교 전자공학과 초고주파 및 항공전자통신 연구실, tbt11@daum.net, 정희원

<sup>o</sup> 교신저자 : 인하대학교 전자공학과 초고주파 및 항공전자통신 연구실, hdpark@inha.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2013-07-310, 접수일자 : 2013년 7월 29일, 최종논문접수일자 : 2013년 9월 5일

## I. 서 론

항공정보통신시설은 항공교통 관제기관과 항공기 간의 관제운영에 필요한 필수 유무선 통신시설로 단거리이동통신시설(VHF/UHF Radio), 음성통신제어시설(VCCS), 공항정보방송시설(ATIS)로 구성된다<sup>1,3)</sup>. 항공 통신 서비스는 공대공, 지대공 및 지대지 서비스로 분류된다. 공대공 및 지대공 서비스는 가시거리 통신으로 분류될 수 있으나, 지대지 서비스는 다양한 환경으로 인해 LOS 영역보다는 비가시거리 통신이 주로 이루어진다<sup>4)</sup>. 특히 공항에는 다양한 전파 스펙트럼이 존재하고 이동하는 항공기로 인한 멀티패스가 발생하여 전파 환경이 좋지 않다. 공항 주요 건축물인 Concourse 타입도 여객서비스 및 항공기 주기의 편리성 및 효율성 차원에서 타입이 결정되기 때문에 전파 차원에서는 장애물로 작용한다<sup>5)</sup>. 여객 수요의 증가로 인한 공항 확장, 대형 항공기의 등장, 차세대 통신 서비스 등장 등으로 인한 공항 환경에서 전파 채널에 대한 연구가 필요하다<sup>2,13)</sup>.

그동안 초단파 대역에서 많은 연구가 이루어졌으나 연구 분야가 방송, 위성 및 이동 통신 채널에 집중되었다<sup>8)</sup>. 공항 서비스 진화 및 국내의 공항 건설이 활발해짐에 따라 공항 환경에 맞는 항공 주파수 무선 채널 경로 손실 계수에 대한 연구가 필요하다.

초단파 대역 무선채널에 대한 논문에서는 전파 경로 손실 계수 3.0-3.6, 새도인 편차 3.3-3.6를 갖는다고 보고했다. 측정은 rural Ottawa에서 2 m 높이의 안테나를 가지고 이동국에서 수신국까지 이루어졌다<sup>12)</sup>.

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 비가시거리에서 경로 손실 계수는 각각 3.97 및 5.57이고 편차는 3.66 및 8.25로 측정되었다<sup>8)</sup>. 2012년에 클리블랜드 홉킨스 국제공항에서 같은 실험을 수행하였다. 여기에서는 가시거리 및 비가시거리 경로 손실은 2.9 및 4이고 편차는 3.9 및 5.5로 측정 되었다. 미국 대형 공항에서 측정된 논문은 송신 안테나 위치가 19.5m로 "2-Ray" 모델을 이용하여 경로 손실 계수를 도출하였다<sup>7)</sup>.

Concourse 지역에서 항공기와 관제사의 통신에 이용되는 계류장 주파수 밴드에서의 지연 스프레드, 도플러 스프레드 및 코히어런스 대역폭은 정지된 환경 및 이동 속도가 느리기 때문에 소규모 통신 파라미터

에는 적용받지 않으며 주로 대신호 모델에 적용 받는 다<sup>8)</sup>.

이 논문에서는 항공주파수 밴드에서 전파 경로 손실에 적용 가능한 모델을 논하고 Concourse에서 측정된 데이터를 이용하여 공항에 적합한 전파 경로 손실 계수를 추출하고 Concourse 구조를 가진 공항에 맞는 경로 손실 식을 유도한다. 여기에서 논의된 연구는 공항 전파 음영 해소 방안 연구 및 공항 건설시 최적의 항공관제 통화 품질 서비스를 제공하기 위한 기초 자료로 활용될 것이다. 또한 공항 건설시 항공주파수 사이트 선정에 기초자료로 활용될 것이다. 2장에서는 공항환경에 적합한 경로 손실 모델인 오크로마 모델 및 하타 모델에 대한 기본 이론을 설명한다. 3장에서는 측정에 대한 세부적인 이론을 설명하고 4장에서는 측정 데이터를 기본으로 전파 경로 손실 계수를 도출하고 공항에 맞는 경로 손실 모델을 도출한다.

## II. 실험적인 경로 손실 모델

### 2.1. 자유공간 경로 손실 모델

자유공간에서 경로 손실은 송신기와 수신기 사이에 전파 구간에서의 신호의 강도가 얼마나 많이 손실되는가를 정의한다. 자유공간에서의 경로 손실은 주파수와 거리에 따라 다양한 값을 가진다. 자유 공간 방정식은 다음과 같다<sup>10)</sup>.

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

여기에서, f는 주파수, d는 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<sup>10,11)</sup>.

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

식 2에서  $P_t$ 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<sup>11)</sup>.

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

식 (3)의 경로 손실 지수는 특정 전파 환경에 한정

된다.  $n$ 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 경로계수를 추출할 수 있다. (4)식에서  $PL_i$ 는 경로 손실이며  $d_i$ 는 송신국과 수신국사이의 거리이다

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

### 2.3. 가시거리/가시거리에서 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<sup>[10,11]</sup>.

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (5)$$

식 (5)에서  $PL(d_0)$ 는 송신기로부터 기준 거리 경로 손실이며,  $X_\sigma$ 는 로그 노멀 채도우잉 효과를 설명하며  $n$ 은 경로 손실 지수이다. 가시거리 및 비가시거리 환경에서 100MHz에서 2GHz의 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 150MHz 에서 1950MHz의 범위의 주파수 및 거리 1km 에서 100km 범위에서 적합한 모델이다. 이 모델은 안테나 높이가 30m에서 1km의 범위를 갖는 송신국에 사용된다. 오쿠로마 모델을 사용해 경로 손실을 결정하기 위해서는 송수신 점 사이에 자유공간 경로 손실이 결정되어야 하며  $A_{mn}(f,d)$  및 지형 타입에 따른 수정 팩터들이 더해져야 한다. 이 모델의 표현식은 식 (6)과 같다<sup>[10]</sup>.

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

여기에서  $PL$ 는 경로 손실,  $L_F$ 는 자유공간 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 포함되며 주파수 범위는 150MHz 에서 1500MHz대역에서 유효하다. 하타는 도시 지역 전파 로스 표준식을 유도했지만 수정 팩터를 부가적으로 이용해서 교외 지역 및 시골지역에서도 적용이 가능하다. 계산 시간도 오쿠로마 모델보다 단축되며 단지 4가지 파라미터만이 요구된다. 도시 지역의 경우 패스 로스 식은 다음과 같이 주어진다<sup>[9,10]</sup>.

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

식 (7)에서  $f_c$ 는 150MHz에서 1500MHz 범위의 주파수,  $h_{te}$ 는 유효 송신 안테나 높이(30m에서 200m),  $d$ 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.

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

$$a(h_{re}) = 3.2 (\log_{10} 11.75 h_{re})^2 - 4.97 \text{ for } f_c > 300 \text{ MHz} \quad (9b)$$

교외 지역에서 패스 로스를 구하기 위해 하타 표준

형태는 다음과 같이 변형된다.

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

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 150MHz에서 2000MHz까지의 주파수 범위를 갖는다. 이 모델은 하타 모델과 비교시 인터셉트 값에서 약간의 차이를 가진다. 이 모델의 경로 손실은 아래와 같이 주어진다<sup>[10]</sup>.

$$PL(dB) = 69.55 + 26.16\log(f_c) - 13.82\log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55\log_{10}h_{te})\log_{10}d + C_M \quad (11)$$

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

## III. 성능 분석

### 3.1. 측정 방법

그림 1,2는 인천 공항 Concourse의 전경이다



그림 1. 인천공항 Concourse 전경  
Fig. 1. IIA Concourse View



그림 2. 인천공항 Concourse 상세 전경  
Fig. 2. IIA Concourse view details

Concourse는 위성 타입으로 건설되어 동시에 많은 항공기가 주기할 수 있지만 전파학적 차원에서는 전파 비가시거리가 존재한다. 인천공항 송신 사이트는 두개 사이트가 존재하나 두개 사이트 모두 비가시거리가 존재한다. 송신소에서 Concourse 지역을 2013년 3월부터 2013년 7월까지 측정을 하며 관찰을 하였다. 송신원은 그림 2처럼 41.6m 높이에 설치된 사이트에서 방사된다.



그림 3. 송신소 사이트  
Fig. 3. Tx Site

그리고 수신은 Concourse지역을 이동용 측정 차량을 이용해 30Km 속도로 이동하면서 1초 단위로 측정하였다. 측정 루트는 이동형 측정 차량에 장착된 DGPS에서 얻어진 GPS 좌표를 이용하여 거리를 계산하였다. 측정 루트를 이용해 그림 4처럼 도시하였다.



그림 4. 인천공항 송신소 사이트 위치 및 Concourse 측정 경로  
 Fig. 4. IIA Tx site location and Concourse measurement path

3.2. 발신원 및 이동형 측정 수신기

송신단 구성도 및 이동형 차량에 대한 구성도가 그림 5와 그림 6에 나와 있다. 송신단은 현재 운영 중인 Park Air 5350A 장비 및 안테나를 이용했으며, 주 예비 전환을 위한 릴레이 RF 스위치, 커플러, 캐비티 필터, 케이블로 구성되었다<sup>13)</sup>.

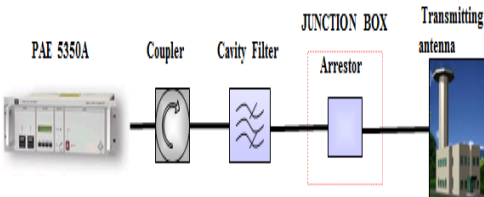


그림 5. 송신소 사이트 시스템 구성도  
 Fig. 5. Tx Site system configuration

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

표 1은 발신원에 대한 관련 데이터 및 이동형 전파 측정 시스템에 대한 설명 파라미터 자료이다.

표 1. 송수신원 파라미터  
 Table 1. Tx and Rx parameter

Parameter	128.2MHz	269.1MHz
Power(dBm)	45.26	44.29
Tx. Ant Height(m)	45.29	45.29
Tx Ant Loss(dB)	3.14	2.65
Tx Ant Gain(dB)	2.15	2.15
Rx Ant Height(m)	3	3
Rx Ant factor	19	15.5
Rx Ant Loss	2.2	2.9

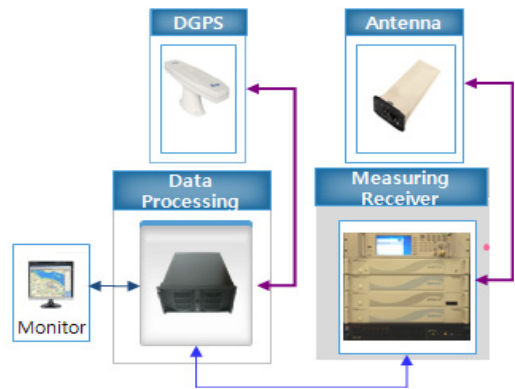


그림 6. 이동형 측정 수신 시스템 구성도  
 Fig. 6. Moving measurement receiving system configuration

3.3. 검증

각 측정점에서의 예측 에러를 정의하기 위해 예측치와 측정치를 식 (12)와 같이 비교하였다<sup>15)</sup>.

$$Error_{i\_pre} = |PLm_i - PL_i\_pre| \quad (12)$$

여기에서  $PLm_i$ 는 측정치의 개별적인 경로 손실이며  $PL_i\_pre$ 는 예측치의 개별적인 값이다.

평균 예측 에러는 식 (13)과 같이 얻어 질수 있다.

$$MeanError\_pre = \frac{1}{n} \sum_1^n Error_{i\_pre} \quad (13)$$

예측 에러의 표준 편차는 식 (14)와 과 같이 계산되어진다.

$$StdError\_pre = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n Error_{i\_pre}^2} \quad (14)$$

파워 측정은 장비 직결 상태에서 Agilent 및 Aeroflex, Inc. 파워 측정 장비를 이용하여 측정하였고, 케이블 로스 등은 Anritsu, Inc. 측정 장비를 이용하여 확인했다<sup>16-19)</sup>.

3.4. 실험 결과

송수신 파라미터를 가지고 Concourse 구조를 가진

Concourse의 전파 경로 손실을 예측했다. 그림 7-10은 128.2MHz와 269.1MHz의 로그 거리에 따른 경로 손실을 그린 것이다. 송신 사이트에서 2.6~3.6km이며 도시화 한 그림에 자유공간 및 다른 모델과 비교하였다.

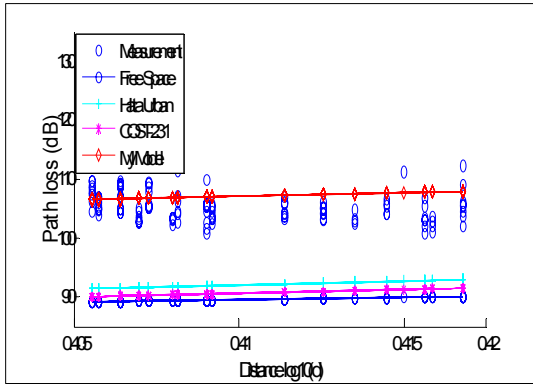


그림 7. 128.2MHz 가시거리 영역에서 패스 로스  
Fig. 7. 128.2MHz Path loss in LOS area

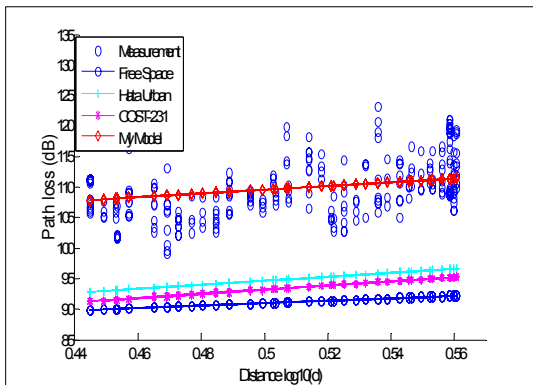


그림 8. 128.2MHz 비가시거리 영역에서 패스 로스  
Fig. 8. 128.2MHz Path loss in NLOS area

그림 7은 송신소와 가시거리에 장애물이 존재하지 않는 지역인 Concourse 프런트를 이동하면서 측정하였다. 그림 8은 송신소와 비가시거리인 Concourse 지역 뒤편에서 이동 전파 차량을 이동하면서 측정한 것이다. LOS 지역에서는 경로 손실 평균치가 106을 유지하였고 NLOS에서는 110 정도를 유지하였다. 하타 모델과 비교시 10~20dB 정도 차이가 발생했다. 그림 7,8에서 측정해서 추출된 경로 손실 계수는 표 2에 설명되었다.

그림 9와 10은 269.1MHz의 측정 결과를 도시하였다. 그림 9는 Concourse 앞면을 이동하면서 측정하는 그림이고 그림 10은 Concourse 뒷면을 이동하면서 측

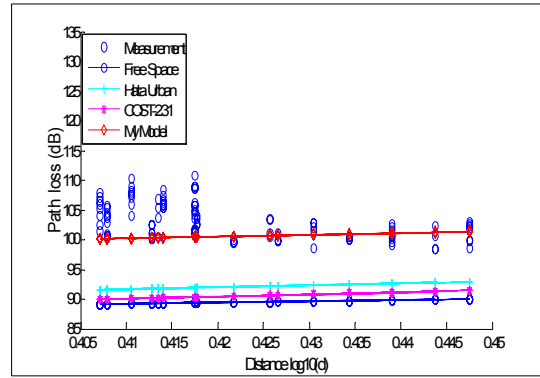


그림 9. 269.1MHz 가시거리 영역에서 패스 로스  
Fig. 9. 269.1MHz Path loss in LOS area

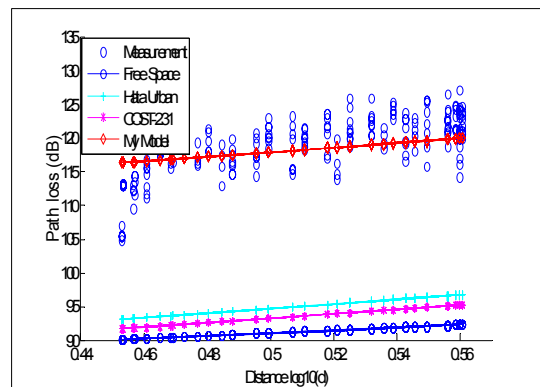


그림 10. 269.1MHz 비가시거리 영역에서 패스 로스  
Fig. 10. 269.1MHz Path loss in NLOS area

정한 그림이다. LOS 영역에서 경로 손실 평균치는 103을 유지하고 NLOS에서는 119을 유지하였다. LOS 및 NLOS에서 경로 손실 차이는 16dB 차이가 발생했다. 경로 손실 차이가 큰 이유는 269.1MHz가 직진성은 강하지만 장애물에 영향을 많이 받는 것으로 추정된다. 269.1MHz 측정치에 추출된 경로 손실은 표 2에 유도 제시하였다. 128.2MHz와 269.1MHz 분석 결과 장애물이 없는 지역에서의 경로 손실은 직진성이 좋은 269.1MHz이 3dB 정도 낮게 나왔다. Concourse 있는 장애물 구간에서는 128.2MHz보다 269.1MHz 구간이 로스가 9dB 크게 나왔다. 그 이유는 주파수가 낮을수록 회절성이 좋아 128.2MHz가 낮게 나온 것으로 추정된다. 또한 하타 모델이 측정치의 모델과 가깝게 나왔다. 패스 로스 지수에 얻어진 값으로 패스 로스 지수 및 인터셉트 치와 측정값의 표준 에러 오차를 표 2에 정리하였다.

표 2. 페스 로스 결과 요약  
Table 2. Summary of path loss result

Parameter	128.2MHz		269.1MHz	
	LOS	NLOS	LOS	NLOS
	(d0=126)	(d0=1166)	(d0=161)	(d0=1231)
$PL(d0)$	66	96	64	104
$n$	3.1	3.13	3.01	3.38
$X_{\sigma}$	2.77	3.17	4.01	3.66

#### IV. 결 론

ACI(AIRPORT COUNCIL INTERNATIONAL) GLOBAL TRAFFIC FORECAST 2012-2031에서 여객 트래픽은 연간 4.1% 성장할 것이며 아시아 공항들은 2011년 보다 거의 세배의 항공기 이동량을 처리할 것이다. 또한 항공기도 여객을 30% 이상 수용하는 대형 항공기가 등장 할 것이다<sup>4)</sup>. 세계 각국의 공항 당국도 기존 공항을 확장하거나 공항 건설을 계획 하고 있다. 그렇지만 항공기 주기에 적합한 터미널 및 Concourse 구조는 다양하게 응용되고 있지만 정작 항공 통신 무선 환경 연구에는 미흡한 실정이다. 이런 점을 감안할 때 실제적인 환경에서 정밀한 전파 측정을 수행하고 분석하는 것은 항공 통신에 중요하다. 본 연구는 공항내 콘코스 지역 전파 측정을 수행하여 경로 손실 계수를 분석한 결과 128.2MHz 및 269.1MHz에서 각각 3.1/3.13 및 3.01/3.38이었고 예측 에러의 편차는 각각 2.77/3.17 및 4.01/3.66이었다. 유도된 전파 경로 손실 식을 이용하여 콘코스 지역에서 전파음영지역, 송신 사이트 선정 및 항공통신 서비스 품질을 평가하는데 도움이 되고자 한다. 향후 발신원 안테나 위치에 따라 경로 손실 변화 및 콘코스 주기장에 따른 전파 변화 등에 대해서도 보다 세부적인 연구가 필요하다.

#### References

[1] International Civil Aviation Organization, "Aeronautical Telecommunication Annex 10," Jul. 1996.  
 [2] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, "Next-generation navigation system

(CNS / ATM) Roadmap for Research and Development," Aug., 2008.

[3] Incheon International Airport, "Aviation information and communication facilities maintenance manuals," Jun. 2013.  
 [4] Park Air Systems, "500M Series VHF and UHF Transmitters," Dec. 2009.  
 [5] Incheon International Airport, "Airport Design Standards," Jun. 2010.  
 [6] Airports Council International, "Global Traffic Forecast 2012-2031," Jan. 2013.  
 [7] 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, U.S.A., Apr. 2012.  
 [8] 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, U.S.A., May 2011.  
 [9] M. Hatay, "Empirical formula for propagation loss in the land mobile radio services," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 29, no. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.  
 [10] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, 2000.  
 [11] P. K. Sharma and R. K. Singh, "Comparative analysis of propagation path loss models with field measured data," *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 6, pp. 2008-2013, Jan. 2010.  
 [12] 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., U.S.A., Oct. 2006.  
 [13] Federal Aviation Administration, *NextGen*, Retrieved, Apr., 2011, from <http://www.faa.gov/nextgen/>.  
 [14] S. Gligorevic, R. Zierhut, T. Jost, and W. Wang, "Airport channel measurements at

- 5.2Ghz,” in *Proc. European Conf. Antennas Propagat. (EuCAP 2009)*, pp. 877-881, Berlin, Germany, Mar. 2009.
- [15] J. R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis: the study of Uncertainties in Physical Measurements*, University Science Books, 1982.
- [16] Park Air Electronics, Inc., “*Technical Handbook VHF and UHF Transmitters*,” Nov., 1996.
- [17] Incheon International Airport, “*IIA Moving radio direction-finding and Measurement System Manual*,” Dec., 1999.
- [18] Aeroflex, Inc., “*Operating Manual for Communications Service Monitor 2945A*,” Aug., 1999.
- [19] Anritsu, Inc. “*Quick Reference Cards for Site Master Cabel and Antenna Analyzer*,” Aug., 2008.

김 경 태 (金旻泰) (Kyung-Tae Kim)



1997년 2월 서울과학기술대학  
교 전자공학과(공학사)  
2005년 2월 인하대학교 전자공  
학과 전파공학과(공학석사)  
2005년 2월~현재 인하대학교  
전자공학과 박사과정  
1997년 2월~현재 인천국제공

항공사 항행처 근무

<관심분야> 항공통신 시스템, 계기착륙시스템, 초  
고주파 회로 설계, 전파 분석, 안테나

박 효 달 (朴孝達) (Hyo-Dal Park)



1978년 2월 인하대학교 전자  
공학과(공학사)  
1987년 (불)국립항공우주대학  
전자공학과(공학박사)  
1992년~현재 인하대학교 전  
자 공학과 교수

<관심분야> 항공통신 시스템  
설계, 초고주파 회로 설계, 전자장 이론, 안테나  
공학