

# 이종의 이동통신 시스템을 이용한 무인항공기 탑재용 통신시스템 개발

## UAV Communication System Development by Heterogeneous Mobile Communication System

고경완\*, 박평주\*, 이석신\*, 이병섭\*

Kyung-Wan Ko\*, Pyung-Joo Park\*, Suk-Shin Lee\* and Byung-Seub Lee\*

### 요 약

본 논문에서는 이종의 이동통신망을 이용하여 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)와 WiBro(Wide Broadband)를 결합한 무인항공기 탑재용 통신시스템 개발에 대하여 논하고자 한다. 현재 서비스 되고 있는 이동통신망을 무인항공기 통신시스템으로 사용하기 위해서는 이동통신망 사용 시 나타날 수 있는 몇 가지 문제점들을 해결하여야 한다. 해결과제로는 무인항공기의 활동 반경에 근거한 넓은 커버리지의 확보, 감시 정찰용 무인항공기를 위한 대용량의 화상데이터 전송, 네트워크 트래픽에 대한 안정적인 통신환경의 보장 등이 있으며 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 이종의 이동통신망을 이용한 통신시스템을 제안한다. 제안된 통신시스템은 HSDPA와 WiBro를 이용하여 구성되며, HSDPA를 사용함으로써 넓은 커버리지를 확보할 수 있고, WiBro 및 다수의 모뎀을 사용함으로써 대용량의 데이터 전송을 할 수 있으며, 이종의 이동통신망을 함께 사용함으로써 안정적인 통신환경을 보장할 수 있다. 또한 이러한 효과는 시뮬레이션과 실험을 통해 확인할 수 있다.

### Abstract

This monograph details the development of communication UAV(Unmanned Aerial Vehicle) in combined modems of HSDPA with Wibro by using two kinds of mobile network. In order to apply mobile network which is currently serviced to a UAV, it is necessary to solve some problems: insurance of wide coverage based on the range of the UAV, electrical transmission of extensive image data for UAV for watching and scouting, security of stable communication environment is related to network traffic. This paper proposes those difficulties to be solved by application of correspondence system to mobile network. The proposed system consists of two parts; HSDPA part and Wibro part. The use of those can not only secure wide range of coverage but also transmit huge data. Furthermore, through utilizing them along with two kinds of mobile network, stable communication environment can be built up. All of these effects can be confirmed by experimentations and simulations.

Key words : Heterogeneous, Wibro, HSPA, Mobile Communication System,

---

\* 한국 항공대학교 정보통신공학과(Information and Telecommunication Engineering Department, Korea Aerospace University)

· 제1저자 (First Author) : 고경완

· 투고일자 : 2009년 7월 10일

· 심사(수정)일자 : 2009년 7월 14일 (수정일자 : 2009년 8월 17일)

· 게재일자 : 2009년 8월 30일

## I. 서 론

무인항공기에 장착되는 통신 시스템은 일반적으로 넓은 커버리지가 필요할 경우 위성통신시스템을 사용하고 근거리 시야내의 운용일 경우에는 극초단파망을 사용해 왔다[1]. 일반적으로 사용되는 속도가 빠르고 활동반경이 넓은 무인항공기는 극초단파같이 작은 커버리지를 가지는 통신시스템이 아닌 넓은 커버리지의 위성통신시스템이 많이 요구되게 된다. 하지만 위성통신시스템은 높은 가격이 요구되므로 무인항공기용 통신 시스템 개발 및 운용에 많은 부담이 되어왔고 이에 대한 해결책이 필요한 실정이다. 근래에 이동통신 시스템이 발전함에 따라 위성통신시스템으로 인해 제기되었던 가격문제를 해결할 수 있는 무인항공기용 통신 시스템으로서 이동통신 시스템이 고려되고 있다. 하지만 이동통신 시스템을 무인항공기용 통신 시스템으로 완전하게 사용하기에는 아직 상용화가 미비한 실정인데 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 무인항공기용 통신시스템은 전송 가능지역이 넓어야 하는데, HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)를 제외한 WiBro나 HSUPA(High Speed Uplink Packet Access) 등의 통신 커버리지는 한반도 전역이 아닌 부분적으로 존재해 있으므로 HSDPA를 제외한 다른 이동통신시스템은 무인항공기용 통신시스템으로 적합하지 않다. 그리고 고도에 따라 신호의 수신율이 지상에 비해 낮아지거나 통신가능고도가 달라 질 수 있으나, 이는 지상에서의 커버리지가 확보될 경우 어레이 안테나를 사용하여 수신율 확보 문제 및 통신가능고도를 해결할 수 있으므로, 이를 통해 공중에서도 수신율을 유지한다[2].

둘째, 고화질의 영상 등의 대용량의 정보를 전송하기에는 현재 이동통신 시스템의 전송능력이 정보 전송량을 모두 처리할 수 없어 병목현상이 발생한다. 그러므로 현재의 단일 이동통신 시스템으로는 고품질의 영상통신을 사용하게 되는 무인항공기에서의 사용에 적합하지 않게 된다. 또한 이동통신은 지상 기준으로 설계된 통신시스템이므로 무인항공기에 탑재시 현저한 전송 속도의 저하가 나타나게 된다[2]. 이는 위에서 제기된 병목현상이 더 심해짐을 뜻하게 된다. 그러므로 가장 일반적으로 쓰이는 감시 정찰용 무인항공

기의 활용이 매우 힘들게 되며, 이에 따라 무인항공기용 통신시스템으로서 이동통신 시스템 사용이 제한된다.

셋째, 이동통신망은 음영지역이나 기지국의 위치, 안테나의 방향 등에 따라 현저한 성능차이를 보일 뿐만 아니라 이동통신망을 동시에 사용하는 타 사용자에게 의해 예측 불가능한 네트워크 트래픽이 발생하게 되므로 이는 통신 시스템의 안정성을 저하시키는 요인이 된다. 반면에 무인항공기는 빠른 이동환경속도를 가지는 비행체이므로 안정적인 모니터링이 필요한 만큼 통신시스템의 안정성이 요구된다. 그러므로 예측 불가능한 네트워크 상태에 대응할 수 있는 안정적인 통신시스템이 구현되어야 한다.

이러한 근거로 일반적인 이동통신망을 그대로 적용한 무인항공기 통신시스템 구현시, 커버리지 확보 문제와 더불어 불안정한 네트워크 상태를 가지며 대용량의 영상정보를 전송할 수 없는 무인항공기용 통신 시스템으로 제한되게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 여러 가지 방법이 있을 수 있으나, 본 논문에서는 통신망 구성으로 인해 서비스 제공 사업자의 추가 비용부담을 발생시키지 않는 것을 전제로 한 무인항공기용 통신 시스템 개발을 목표로 두어 논의하고자 한다. 이는 현재 서비스되고 있는 이동통신 시스템을 활용한 무인항공기용 통신 시스템 개발을 가정하여 바로 적용될 수 있는 현실성 있는 시스템을 뜻한다. 이러한 통신시스템의 개략적인 형태는 그림1과 같은 구조로서 현재 서비스되고 있는 HSDPA와 WiBro 이동통신 시스템을 독립적으로 병렬 사용하여 구성하도록 한다. 이렇게 제안된 통신시스템은 다음과 같은 강점을 가지게 된다.

첫째, WiBro와 HSDPA를 함께 사용하여 통신 시스템을 구성하여 WiBro는 수도권 지역을, HSDPA는 한반도 전역을 커버할 수 있도록 한다.

둘째, WiBro와 HSDPA를 병렬로 연결하고 다수의 통신 채널을 구성하여 전송속도를 높임으로써 앞서 제기된 병목현상 문제를 해결하고 대용량의 정보를 전송할 수 있도록 한다.

셋째, 두 가지 통신망을 독립적으로 사용함으로써 독립적인 네트워크를 사용할 수 있게 한다. 이는 하나의 통신망에 장애가 발생할 경우 다른 하나의 통신망

을 통한 통신성능 보장을 통해 통신시스템의 안정성을 향상하도록 한다.

본 논문에서는 그림 1과 같은 무인항공기 통신 시스템을 제안하도록 한다. FCC는 Flight Control Center로서 무인항공기에 탑재되는 메인 탑재체이다. 이는 영상 및 기체 정보, 환경 정보를 확보하며 여러 개의 모듈로 이루어져 각각은 기가비트 이더넷을 이용하여 구성된다. 또한 여기에는 여러 개의 WiBro와 HSDPA 모뎀으로 이루어진 송수신 시스템이 포함된다. GCS

는 Ground Control System으로서 FCC에서 확보된 각종 정보를 통신망을 통해 수신하여 디스플레이 하는 한편, 기체 제어를 위한 각종 정보를 FCC로 송신하는 역할을 수행한다. FCC와 GCS사이에는 HSDPA와 WiBro 통신망을 통한 다수의 통신 채널이 구성된다.

본 논문에서는 이러한 구성을 바탕으로 구현되는 통신 시스템을 자세하게 서술하고 이에 대한 시뮬레이션 및 실제로 측정된 수치적인 실험결과를 통해 제안된 통신시스템의 성능을 보여주도록 한다.

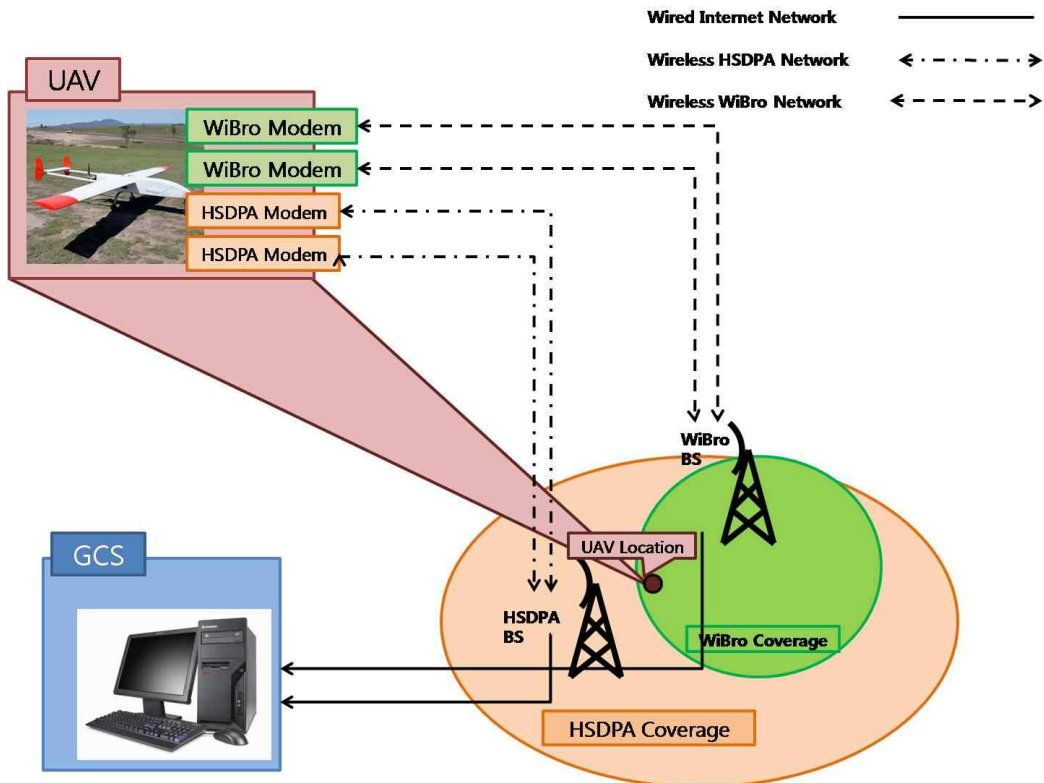


그림 1. 무인항공기용 통신 시스템의 개요도  
Fig 1. UAV communication system summary figure

## II. 기존의 기술동향

업링크 단에서 동일한 정보를 전송하며 물리적으로 독립적인 복수 개의 서버를 구성함으로써 다운로드 단에서의 속도를 증가시키는 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 그 예로 FCC를 미러사이트의 서버라고 가정하였을 때, GCS단에서 미러사이트로 병렬접속을 한다[3][4]. 하지만, 이는 무인항공기용 통신 시스템과 다음과 같은 차이점이 있다. FCC단을 미러 사이트의 서버라고 가정할 때 FCC단에서 모든 정보를 완전히 생성한 후, GCS에서 병렬접속을 하는 것이 아니라

FCC에서 하나의 정보를 여러 개의 데이터로 나누어 갖도록 독립적인 서버를 구축하고, 전송 후 서버를 갱신하는 구조이므로 기존의 미러 사이트와는 서로 다르다. 또한 FCC에서의 통신채널이 커버리지 안에서 무인항공기가 위치해 있는 지점에 따라 달라진다. 즉 그림1의 무인항공기 위치처럼 WiBro와 HSDPA 커버리지의 중첩 구간에 있을 때에는 무인항공기가 준비된 모든 이동통신망을 사용하지만, HSDPA의 커버리지에만 속하는 지역에 있을 때에는 HSDPA만을 사용하여 통신하게 된다. 그러므로 미러 사이트처럼 고정적으로 존재하는 것이 아니라 이동통신망의 상황에 따

라서 존재 유무가 바뀌는 점 또한 다르다. 본 논문과 비슷한 연구로는 셀룰러 데이터 네트워크에서 협력적 다중 경로를 이용한 파일 다운로드 시간 감소에 대한 연구가 있었다[5]. 이는 FCC에서 GCS로의 데이터 흐름과 전체적인 구조가 유사하나 위의 연구에서는 동일한 데이터 사이즈를 각 셀룰러 노드에 적용한다는 반면에, 본 논문에서는 차등하게 적용한다는 점에서 차이점이 있다. 또한 구조상으로는 언제나 켜진 상태의 셀룰러 노드를 사용하는 것이 아닌 작동지역을 벗어나 작동할 수 없는 지역에 위치할 수 있는 셀룰러 노드를 사용한다는 점이 다르다.

### III. 무인항공기 탑재용 통신시스템의 구조

무인항공기 탑재용 통신시스템의 데이터 흐름도는 그림 2,3과 같다. 그림2은 FCC에서 GCS로의 통신 시스템을 나타내는 그림이다. FCC에서 GCS로 전송시 4개의 데이터를 분할하여 각 장치에 할당하여 주고 있으며, 할당된 데이터는 WiBro나 HSDPA 모뎀을 통해 독립적인 병렬형태로 전송되고 있다. 전송된 데이터는 GCS에서 합성되어 원래의 1개의 데이터가 되어 GCS에 저장되게 된다. 그림3는 GCS에서 FCC로의 통신 시스템을 나타내는 그림이다. FCC에서처럼 데이터를 나누어 분산처리 하는 것과는 달리 GCS에서 FCC로 보낼 때는 동일한 데이터를 FCC의 각각의 장치에 보내도록 한다. 통신채널은 그림3과 같이 서로 독립적으로 전송하도록 한다.

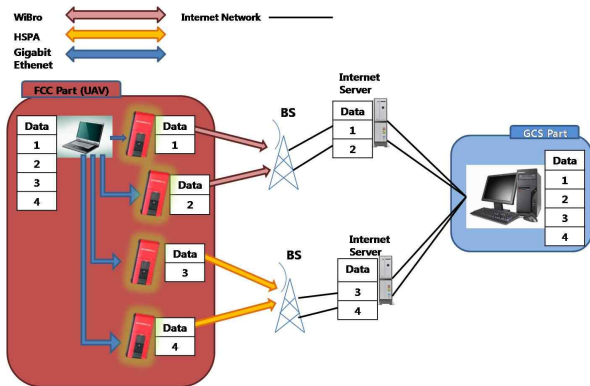


그림 2. FCC에서 GCS로의 데이터 흐름도  
Fig 2. From FCC to GCS data flow

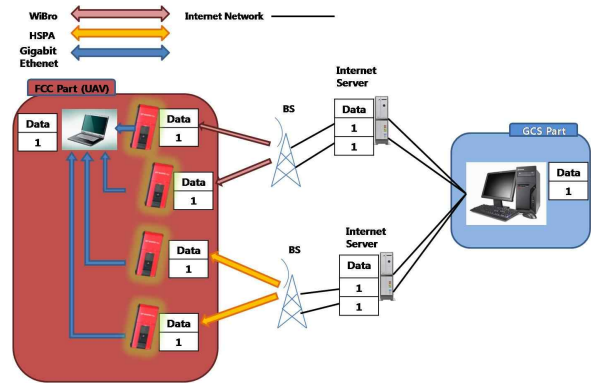


그림 3. GCS에서 FCC로의 데이터 흐름도  
Fig 3. From GCS to FCC data flow

이러한 통신 시스템의 세부구조는 그림 4에 제시되어 있다. FCC는 전송할 데이터를 분할하는 Distribution Process, 데이터를 합치는 Merging Process, 그리고 여러 데이터를 각각의 모뎀에 할당하여 송수신하는 모뎀으로 구성되어진다. 그중 Distribution process에 2개의 WiBro 모뎀과 2개의 HSDPA 모뎀이 결합되어 있는데, 여기서 하나의 컴퓨터는 HSDPA와 WiBro를 동시에 인식할 수 없으므로 이의 해결을 위해 1개의 모뎀당 1개의 모듈을 장착하도록 한다. 모듈은 모듈에 입력된 정보를 WiBro또는 HSDPA 모뎀을 통해서 GCS로 보내는 역할을 하는 것을 의미한다. 그러므로 그림4의 구조에서 WiBro 모뎀은 WiBro 모뎀이 장착된 모듈을 HSDPA 모뎀은 HSDPA가 장착된 모듈을 뜻한다. 또한 GCS는 FCC의 구성요소 외에 추가적으로 Network Information Process가 추가적으로 구성되어 있다. 또한, 각 구조는 다음과 같은 역할을 하도록 한다.

#### 3-1. Distribution Process

Distribution Process는 FCC단과 GCS단에 각각 존재하고 있으나, 각단에서의 역할은 다음과 같다.

##### 3-1-1. FCC단에서의 역할

FCC단에서 입력된 정보를 동일한 양의 데이터로 나누어 기가비트 이더넷을 사용하여 WiBro 또는 HSDPA 모뎀을 사용하고 있는 모듈에 분배하도록 한다. 분배시에는 GCS에서 전송된 ACK를 확인 후에 ACK가 온 모듈에 한하여 보내도록 한다. ACK를 확인하고 보내는 경우, 전송완료시 다음 정보를 보내게

되는 효과가 있으므로 모뎀의 전송속도에 따라 데이터가 분배되는 횟수가 다르게 된다. 이에 따라 모뎀의 전송속도에 따라 데이터가 적응적으로 분배되는 효과를 가진다. 위의 과정을 거쳐 각각의 WiBro 또는 HSDPA 모뎀을 사용하는 모듈은 Distribution Process로부터 기가비트 이더넷을 통해 나누어진 정보들을 갖게 되고, 이러한 정보는 모듈에 장착된 모뎀을 사용하여 GCS에 보내진다.

모듈에 데이터를 분배할 때는 패킷화하여 분배하게 되는데 패킷의 구조는 그림5,6과 같다. 제안된 통신시스템은 병렬 전송하므로 송신시의 패킷을 병렬로 동일한 시각에 보내게 되면, 수신시에 패킷의 순서에 따라 합성해야 하므로 패킷에 순서를 담는 정보가 포함되어야 한다. 그러므로 패킷에 순서에 대한 정보를 추가하도록 한다. 또한, 패킷의 구조는 저장된 동영상과 스트리밍 형태의 동영상에 따라 달라지게 되는데, 저장된 동영상을 보낼 시에는 그림5와 같은 구조를 가지게 된다. GCS에서 수신의 완료를 확인할 수 있도록 저장된 동영상의 크기에 대한 정보가 필요하므로 이에 대한 구조가 있어야 하기 때문이다. 그림6은 스트리밍 형태의 동영상을 전송시의 패킷 구조를 말한

다. 이때는 파일의 크기가 필요하지 않으므로 이에 대한 정보를 빼서 패킷의 헤더 크기를 줄이도록 한다.

3-1-2. GCS단에서의 역할

GCS단에서의 역할은 FCC단과 상이한데, 이는 상용 통신망이 업링크보다 다운링크의 속도가 높다는 점에 근거한다. GCS에서 FCC로 보내지는 정보의 종류에는 Network Information Process에서 계산된 ACK와 무인항공기에 대한 제어정보가 있다. 무인항공기에 대한 제어정보는 데이터의 양이 전송용량에 비해 충분히 작으면서 정보전달의 중요성 측면에서 FCC에서 GCS로의 전송 데이터보다 중요하므로, 데이터를 분할 전송하는 것보다는 각 모뎀을 통해 동일한 정보를 반복해서 보내는 것이 더 효율적이다. 그러므로 무인항공기에 대한 제어정보는 각 모뎀마다 동일하게 보내도록 하고, FCC에서 동일한 정보를 반복 수신할 때 지속적으로 보내질 경우 혼동의 여지가 있으므로 그림6의 경우와 같이 순서에 대한 헤더를 붙여 이와 같은 에러를 피하도록 한다. 반면, FCC에서 보내진 정보에 대한 수신여부를 알려주는 ACK는 FCC의 Distribution Process에 보내도록 한다.

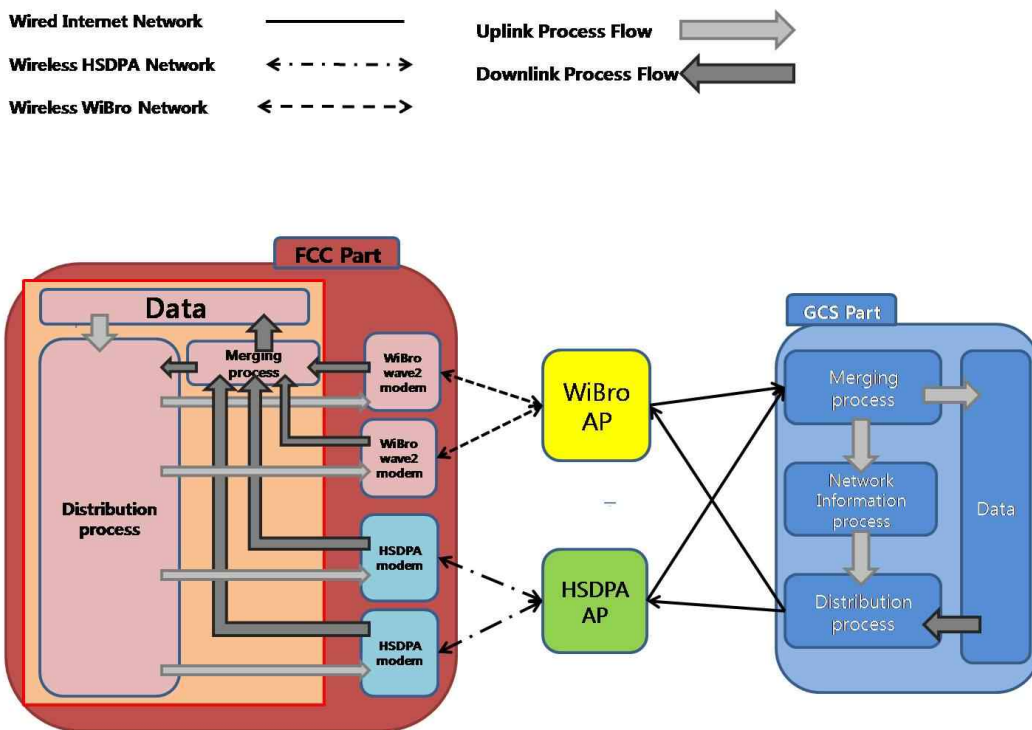


그림 4. 무인항공기 탑재용 통신시스템의 구조도  
 Fig 4. UAV communication system block diagram

Packet Form[0]	Packet num[0]	Packet num[1]	Packet num[2]	Filesize [0]	Filesize [1]	Filesize [2]	Filesize [3]	Filesize [4]	Data	...
----------------	---------------	---------------	---------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	------	-----

그림 5. 저장된 동영상을 보낼때의 패킷 구조  
Fig 5. Packet structure for saved video files

Packet Form[0]	Packet num[0]	Packet num[1]	Packet num[2]	Data	...	...	...	...	...	...
----------------	---------------	---------------	---------------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

그림 6. 스트리밍 형태의 동영상을 전송시의 패킷 구조  
Fig 6. Packet structure for streaming video files

3-2. Merging Process

Merging Process는 FCC단과 GCS단에 각각 존재하고 있으나, 각단에서의 역할은 다음과 같다.

3-2-1. FCC단에서의 역할

FCC의 경우 모뎀으로부터 전송받은 정보를 구분하여, 무인 항공기에 대한 제어정보와 ACK중에 어떠한 정보가 왔는지에 대한 판단이 우선적으로 이루어진다. 판단이 이루어진 후 ACK는 Distribution Process에 ACK의 수신을 알리도록 한다. 무인항공기 제어정보는 GCS로부터 수신된 데이터가 모뎀마다 동일하므로 헤더를 검사하여 한 개의 모듈에서 정보를 받았다면, 다른 모듈에서 받은 동일한 정보는 무시하도록 한다.

3-2-1. GCS단에서의 역할

GCS는 FCC로 부터 보내진 정보를 버퍼에 저장후 헤더를 통해 받은 정보를 순서를 확인하고 순서대로 배열하여 합성하도록 한다.

3-3. Network Information Process

FCC의 각 모듈마다 독립적으로 송신한 정보에 대하여 GCS에서 정보의 수신이 이루어졌음을 알리는 ACK을 생성하여 FCC의 각 모듈에 보내도록 한다.

IV. 실험 결과 및 분석

본 절에서는 Matlab을 이용하여 시뮬레이션을 하고 실험 모델링을 통한 수치적인 결과를 통해서 무인항공기용 통신시스템의 성능분석을 하고 그 결과를 분석하도록 한다.

시뮬레이션을 위한 무인항공기용 통신시스템은 총 전송속도를 구하기 위해 다음과 같은 요소들이 고려

되어야 한다. 다수개의 모뎀을 이용한 경우 전송시 독립적인 모듈로 동시에 송신하더라도, GCS에서는 하나의 모듈에서 수신하여 데이터를 저장하게 된다. 이때 데이터를 동시에 저장할 수 없으므로 FCC단에 연결된 모뎀의 개수가 늘어날수록 총 전송속도가 모뎀의 개수에 비례해 줄어드는 결과가 발생하게 된다. 그러므로 총 전송속도는 FCC에서 GCS로 각각의 모뎀을 통해서 보내는 패킷의 크기의 합에서 전송시 걸리는 시간을 나눈 값에 GCS로 인한 전송속도 저하상수를 곱한 값이 되며 이는 식(1)과 같다.

$$V_{Total} = \left( \lambda_W^{n_W} \times \lambda_H^{(n_H-1)} \times \frac{n_W \times D_B}{(n_{Total}-1) \times t_M + (t_{SW} + t_{SWA})} \right) + \dots \left( \lambda_W^{n_W} \times \lambda_H^{(n_H-1)} \times \frac{n_H \times D_B}{(n_{Total}-1) \times t_M + (t_{SH} + t_{SHA})} \right) , (n_W \geq 0, n_H \geq 1) \tag{1}$$

여기서 각각의 파라미터에 대한 정의를 내리면 다음과 같다.  $D_B$ 는 전송하는 패킷의 크기를 말한다.  $n_W$ 는 WiBro 모뎀의 개수,  $n_H$ 는 HSPA 모뎀의 개수를 의미한다.  $t_M$ 은 입력된 전체 정보를 그림 4에서 Distribution process를 통해 각각의 모듈로 기가비트 유선랜을 사용하여 전송하는데 걸리는 시간,  $t_{SW}$ 는 각 모듈에서 GCS까지 하나의 패킷을WiBro를 사용하여 전송시 걸린시간,  $t_{SH}$ 는 분배된 모듈에서 GCS까지 HSPA를 사용하여 전송시 걸린시간,  $t_{SWA}$ 는 WiBro를 통해서 FCC에서 GCS로 도착한 패킷에 대해

여, GCS에서 FCC로 도착함을 알리는 ACK가 오는데 걸린 시간,  $t_{SHA}$ 는 HSPA를 통해서 FCC에서 GCS로 도착한 패킷에 대한 ACK가 오는데 걸린 시간을 의미한다.  $\lambda_W$ 는 WiBro시스템 사용시 GCS 다운로드 수에 따라 다운로드 속도가 저하되는 정도를 뜻하는 상수이고,  $\lambda_H$ 는 HSPA 사용시의 다운로드 속도 저하 상수를 뜻한다.  $\lambda_H, \lambda_W$ 는 의 크기는 시스템 프로세스의 사용률, 서비스 사업자의 망의 허용 용량, 트래픽 등 많은 변수에 따라 달라질 수 있으나, 실험치에서는 2개 사용시 0.86정도의 크기를 갖게 되며, 이와 관련된 논문에서도 비슷한 크기의 수치로 입증한 사례가 있

다[5]. 식(1)을 바탕으로 한 시뮬레이션 결과는 그림 12,13과 같다.

수치적인 결과를 얻기 위해 그림 7,8,9와 같은 3가지의 시스템 구성을 하였다. 그림 7은 1개의 WiBro 또는 HSDPA 모델을 사용한 구조이며, 그림8은 2개의 WiBro또는 2개의 HSDPA 모델을 사용한 구조, 그림9는 1개의 WiBro와 1개의 HSDPA를 사용한 구조이다. 이러한 구조를 통해 수치적으로 성능분석을 할 수 있다. 시스템 구성은 Window XP 플랫폼에서 WiBro wave-1 모델, HSDPA 모델을 노트북에 연결하여 구성하였다.

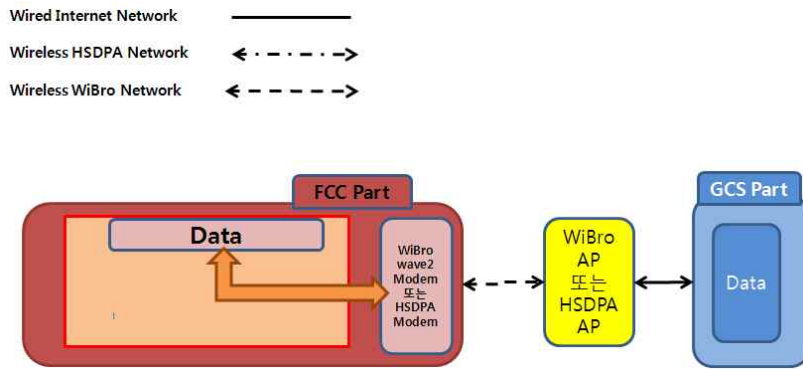


그림 7. 1개의 WiBro 또는 1개의 HSDPA를 사용한 통신 시스템의 구조도  
Fig 7. UAV communication system block diagram for 1 WiBro or 1 HSDPA

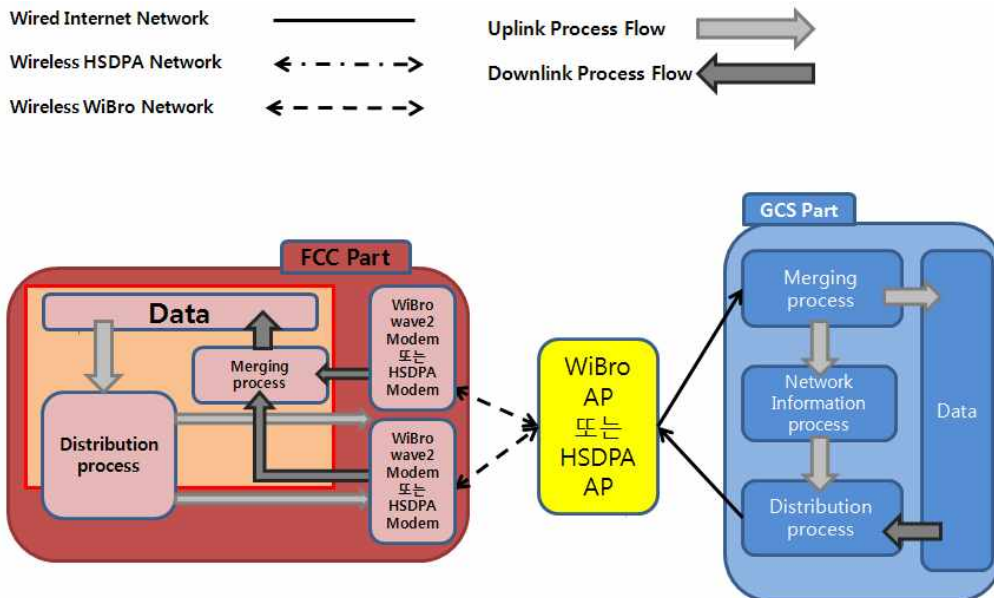


그림 8. 2개의 WiBro 또는 2개의 HSDPA를 사용한 통신 시스템의 구조도  
Fig 8. UAV communication system block diagram for 2 WiBros or 2 HSDPAs

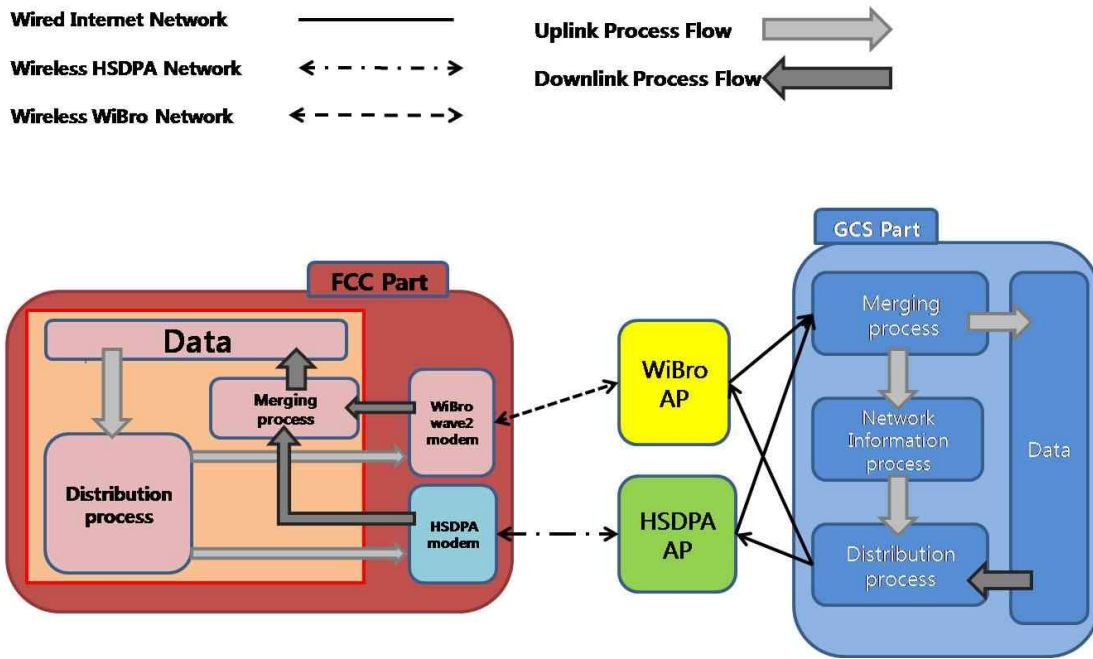


그림 9. 1개의 WiBro 와 1개의 HSDPA를 사용한 통신 시스템의 구조도  
 Fig 9. UAV communication system block diagram for 1 WiBro and 1 HSDPA

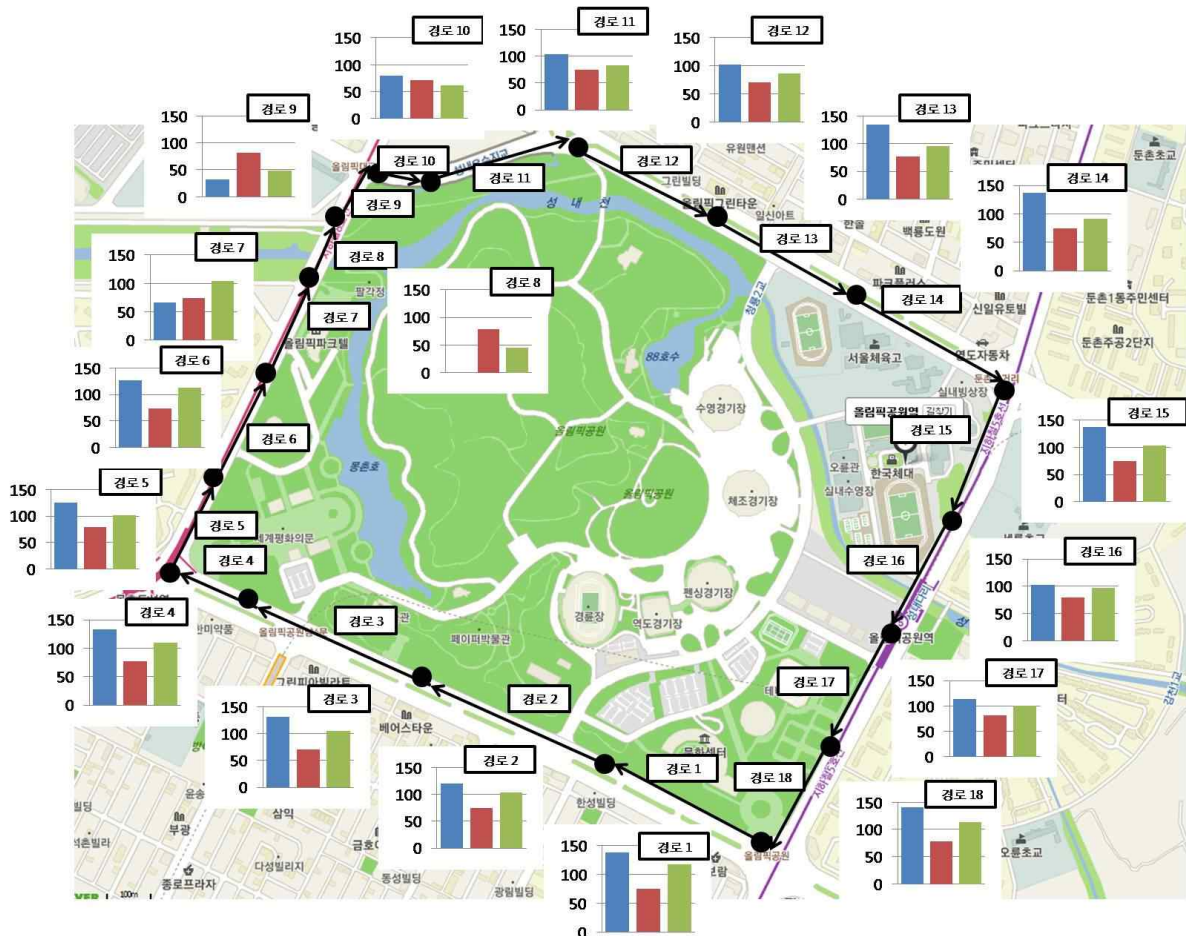


그림 10. 이동경로에 따른 2개의 WiBro, 2개의 HSDPA, 1개의 WiBro 1개의 HSDPA를 사용한 경우의 커버리지 맵  
 Fig 10. Coverage map for 2 WiBros and 2 HSDPAs and combined by 1 WiBro and 1 HSDPA



이러한 시뮬레이션과 모델링을 통한 수치적인 실험결과를 통해서 나타난 제안된 시스템의 성능을 살펴 보도록 한다.

#### A. 넓은 커버리지 보장

넓은 커버리지의 효과를 증명하기에 앞서 그림7과 같은 시스템 구조는 그림8과 동일한 커버리지를 가지고 있으므로 2개의 WiBro를 사용한 그림8의 구조를 가지는 시스템과 2개의 HSDPA를 사용한 그림8의 구조를 가지는 시스템과 1개의 WiBro와 1개의 HSDPA를 사용한 그림9의 구조를 가지는 시스템의 비교를 통해 커버리지 성능을 분석하기로 한다.

커버리지의 성능분석을 위해서 음영지역이 포함된 그림 10과 같은 곳에서 실험을 진행하였다. 경로상의 전송속도는 각 경로의 시작점과 끝점 사이의 평균 전송속도를 의미한다. 2개의 WiBro, 2개의 HSDPA를 사용한 통신시스템의 실측치의 결과는 경로 상에 있는 그래프의 첫 번째와 두 번째 데이터를 의미한다. 이종의 이동통신망을 혼합하여 사용한 상태의 통신시스템의 실측치의 결과는 경로 상에 있는 그래프의 세 번째 데이터를 의미한다. 또한 그림 10의 경로에 따른 전송속도의 분포는 그림 11에 나타나 있다. 이러한 커버리지 맵에 있는 3가지 통신 시스템에 의한 성능을 살펴 보면 경로8에 해당하는 WiBro음영지역에서 이종의 이동통신망을 활용한 그림 9의 구조인 통신시스템이 WiBro 음영지역에서 HSDPA망만을 사용하여 통신시스템이 동작하므로 통신시스템의 음영지역에서의 안정성을 확인할 수 있고, 그림10,11의 경로 8과 같은 WiBro의 커버리지가 아닌 지역에서도 HSDPA망을 사용하여 통신시스템을 지속적으로 동작시킬 수 있다는 점을 알 수 있다.

그러므로 커버리지를 고려했을 때 경로 8과 같은 음영지역에서의 통신시스템의 작동을 통해 1개의 WiBro와 1개의 HSDPA를 사용한 통신 시스템이 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

이러한 결과를 일반화하면 WiBro만 사용한 통신시스템보다 HSDPA와 WiBro를 같이 사용한 시스템 또는 HSDPA만 사용한 시스템의 성능이 커버리지 측면에서 더 우수하다는 것을 확인할 수 있다. 또한 WiBro의 커버리지가 수도권지역이고 HSDPA의 커버리지가 국내 전체임을 고려할 때 WiBro와 HSDPA를 사용한

통신 시스템이 수도권 이외의 지역에서 HSDPA망을 사용하여 통신할 수 있으므로 커버리지 측면에서 성능이 우수하고 넓은 커버리지를 보장 할 수 있음을 알 수 있다.

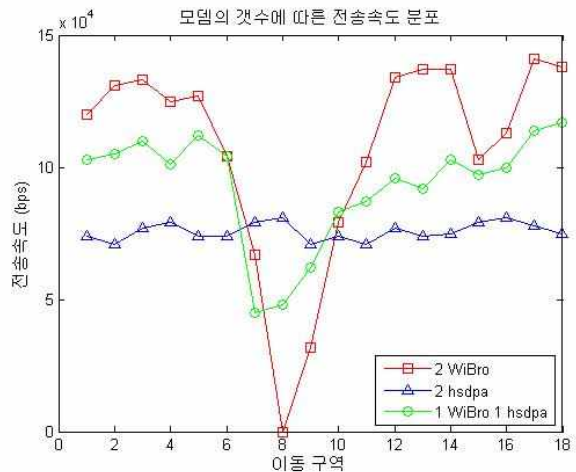


그림 11. 커버리지 맵에 따른 전송속도 분포

Fig 11. Spread of Speed by Coverage map

#### B. 대용량의 데이터전송 보장

시뮬레이션 결과를 살펴보면 n개의 WiBro와 n개의 HSDPA 모뎀을 사용 시의 총 전송속도는 그림 12,13과 같다. 시뮬레이션을 위하여 WiBro와 HSDPA의 성능은 각 이동통신망의 제공사에서 제공되는 각 이동통신망의 평균 속도를 이용하였다. WiBro의 성능은 WiBro를 서비스 하고 있는 KT WiBro, WiBro-wave2를 기준으로 하였고 WiBro Uplink Speed = 1.2Mbps, WiBro Downlink Speed = 3.0Mbps이다[6]. HSDPA는 HSDPA 사업자의 통계 조사에 따라 HSDPA Uplink Speed = 0.3Mbps, HSDPA Downlink Speed = 1.0Mbps의 성능을 가진다[7]. 이러한 성능에 근거하여, 이동통신망 모뎀 개수에 따른 무인항공기용 통신시스템의 전송속도는 그림 12과 같다.

또한 Wibro와 HSDPA의 실측치에 근거한 시뮬레이션도 진행하였는데, 이는 시뮬레이션시 그림12와는 다르게 WiBro와 HSDPA의 평균속도를 그림 13에 나와 있는 서울시 송파구에 위치한 올림픽 공원 주변에서의 측정된 평균속도를 이용하였음을 뜻한다. 측정시 WiBro는 WiBrowave1을 사용하였고 WiBro Uplink Speed = 76.5kbps, WiBro Downlink Speed = 191.3kbps의 평균속도가 측정되었다. HSDPA는 HSDPA 폰을

사용하여 HSDPA 모델을 구성하여 사용하였고 HSDPA Uplink Speed = 44.7kbps, HSDPA Downlink Speed = 111.7kbps의 평균속도가 측정되었다. 이러한 성능에 기초한 이동통신망 모델 개수에 따른 무인항공기용 통신 시스템의 전송속도는 그림 13과 같다.

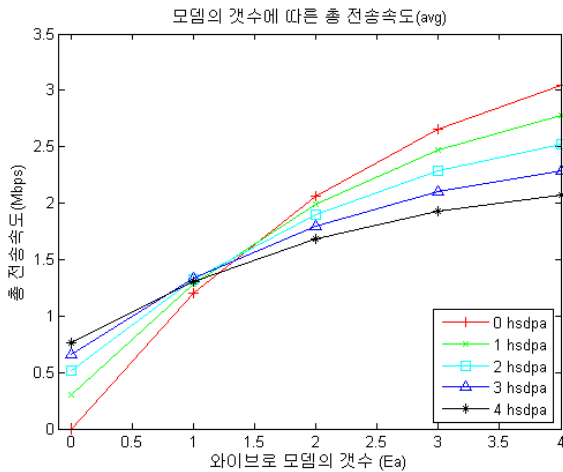


그림 12.n개의 이동통신 시스템을 사용한 경우의 총 전송속도

Fig 12. Official transmission base Transmission speed by several mobile communication system

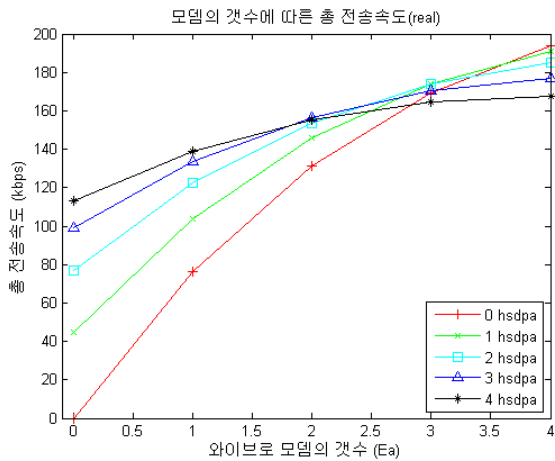


그림 13.n개의 이동통신망을 사용한 경우의 총 전송속도  
Fig 13. Surveyed transmission base Transmission speed by several mobile communication system

그림12과 그림13의 시뮬레이션 결과에 따르면 WiBro만 사용했을 경우 HSDPA가 0개일 때의 그래프를 의미하므로 WiBro 모델의 개수에 따라 전송속도가 증가함을 확인할 수 있었다. HSDPA만 사용하였을 경우에는 WiBro모델의 개수가 0인 지점의 값들을 의미

하므로 HSDPA의 증가에 따라 전송속도가 증가함을 확인할 수 있었다. 그러므로 WiBro 또는 HSDPA의 개수가 증가할 때 전송속도의 증가가 이루어 짐을 확인할 수 있었고, WiBro만 사용한 경우가 HSDPA만 사용한 경우보다 전송속도의 증가폭이 더 크다는 것도 확인할 수 있다.

그림12 와 그림 13의 시스템의 성능을 살펴보면, HSDPA의 경우에는 평균 속도에 기초한 그림 12의 경우에는 와이브로 모델의 개수가 1개일 때 까지 HSDPA에 따른 전송속도의 증가가 이루어지고, 실측치에 기초한 시뮬레이션인 그림13의 경우 2개일 때까지 전송속도의 증가가 이루어짐을 확인할 수 있었다. 즉, 그림 12의 WiBro모델의 개수가 1개 이상일 때와 그림 13의 WiBro모델의 개수가 3개 이상일 때 HSDPA 모델의 수가 늘어나면 총 전송속도가 감소하는 현상이 측정되었는데, 이는 식(1)에서의  $\lambda_W^{n_W}, \lambda_H^{(n_H-1)}$ 에 의한 것으로 볼 수 있다. 즉, 모델 개수 증가에 따른 총 전송속도의 향상 정도보다 모델 개수 증가로 인해 시스템에 가중되는 부하에 의한 전송속도의 감소량이 더 크기 때문이다.

이에 대한 근거를 살펴보면 다음과 같다. 제안된 시스템의 GCS단은 1개의 이더넷 카드를 사용하여, 여러 개의 병렬 다운로드가 실행되는 구조이다. GCS에서 병렬 다운로드 실행시 병렬 프로세스의 증가가 이루어지게 된다. 각각의 프로세스는 1개의 중앙처리장치를 공유하므로 이에 따라 프로세스의 성능이 모두 저하되게 된다. 또한 그림12,13에서 HSDPA의 증가에 따른 성능저하점이 서로 다른 모습을 보이고 있는데, 이는 HSDPA와 WiBro의 모델성능이 실측치와 평균치가 다르므로 이에 근거한 것으로 보인다.

또한 WiBro와 HSDPA를 함께 사용한 경우의 성능과 비교하기 위해, 시스템에 사용된 총 모델의 개수가 4개로 고정되어 있을 때의 WiBro와 HSDPA의 비율에 따른 총 전송속도의 증가를 알기위해 그림14,15와 같은 시뮬레이션을 하였다. 그림 14는 그림 12에 근거하여 만들어졌고, 그림 15는 그림 13에 근거하여 만들어졌다.

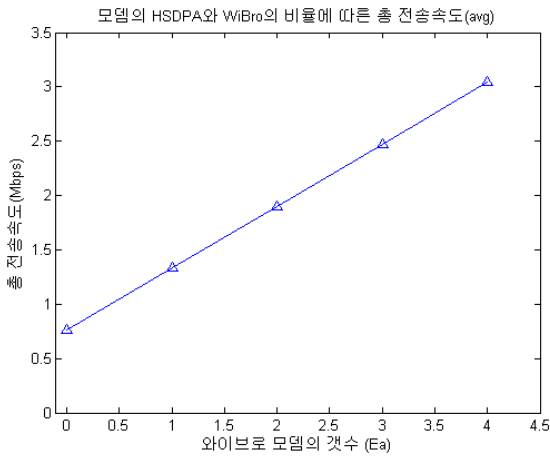


그림 14. WiBro와 HSDPA의 비율에 따른 통신시스템의 전송속도 그래프

Fig 14. Official transmission speed by WiBro and HSDPA ratio in several mobile communication system

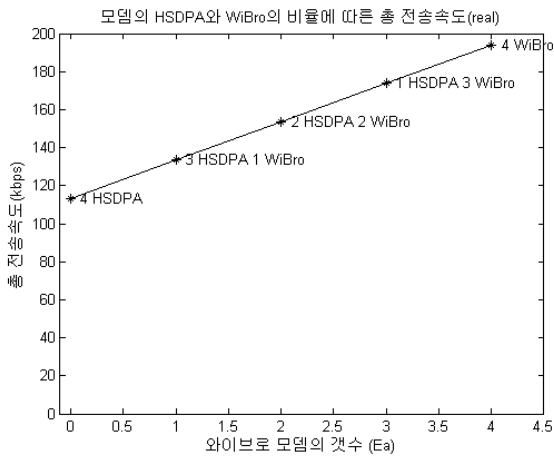


그림 15. WiBro와 HSDPA의 비율에 따른 통신시스템의 전송속도 그래프

Fig 15. Estimated transmission speed according to the WiBro modem to the HSDPA modem ratio

그림14,15에 따르면 HSDPA와 WiBro를 동시에 사용한 경우의 전송속도는 HSDPA만 사용한 경우보다 크고, WiBro만 사용한 경우보다 작다는 것을 확인할 수 있다. 또한 WiBro의 비율이 증가할수록 총 전송속도의 증가가 이루어짐을 확인할 수 있다.

그림12,13,14,15에 의한 결과를 일반화 하면 1개의 HSDPA 또는 1개의 WiBro를 사용한 시스템보다 다수의 HSDPA또는 WiBro를 사용한 시스템이 전송속도 증가하였음을 알 수 있다. 또한 모뎀의 개수가 고정되어 있을 때 HSDPA만 사용한 통신시스템보다 HSDPA와 WiBro를 같이 사용한 시스템 또는 WiBro만 사용

한 시스템의 성능이 전송속도의 측면에서 더 우수하다는 것을 확인할 수 있다. 또한 n개의 모뎀 사용시 성능 저하점 이하의 WiBro와 HSDPA의 모뎀수의 결정이 필요하다는 것을 알 수 있다.

C. 네트워크 트래픽에 대한 안정성 보장

네트워크 트래픽에 대한 전송속도를 측정하기 위해 모뎀의 개수가 2개로 동일하다는 전제 하에 실험을 진행하도록 하였다. 그러므로 총 2개의 Modem을 사용할 경우에 2개의 WiBro, 2개의 HSDPA, 1개의 WiBro와 1개의 HSDPA를 사용한 3가지 경우에 대해서 실험을 진행하였다. 또한 측정을 위해 그림10과 같이 각 경로상의 평균 전송속도를 측정하였다. 각 경로는 동일한 시간동안에 이동한 거리이므로 그림 10의 평균속도는 이동체에서의 동일한 시간동안의 평균 전송속도를 의미한다. 이러한 평균전송속도의 분포를 살펴보면 그림14와 같다.

그림16의 분포에 따른 표준편차를 살펴보면 2개의 HSDPA는 3.06k 이고, 1개의 WiBro와 1개의 HSDPA를 사용한 경우는 8.78k, 2개의 WiBro를 사용한 경우는 13.103k임을 확인할 수 있었다.

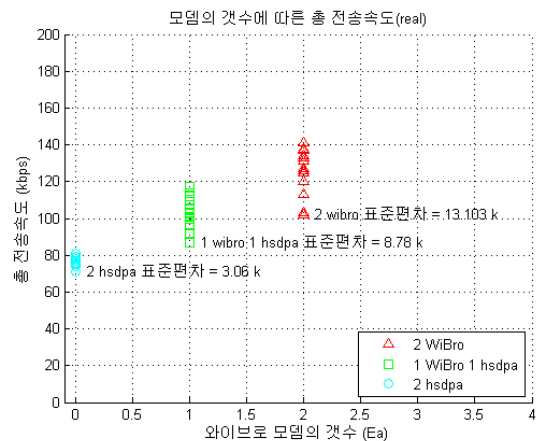


그림 16. 이동체에서 단위시간당 평균 속도의 분포  
Fig 16. Spread of average transmission speed in mobile environment

표준편차의 크기가 작을수록 네트워크 상태에 대한 안정성이 가장 높음을 뜻한다. 따라서 네트워크 상태에 대한 안정성은 2개의 HSDPA를 사용한 경우가 가장 크고, 1개의 WiBro와 1개의 HSDPA를 사용한 경우, 2개의 WiBro를 사용한 경우의 순서로 안정성이 줄어들음을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 이중의 이동통신망을 사용한 병렬 송수신 시스템을 가진, 무인항공기탑재용 대용량 통신시스템을 제안하였다. 무인항공기 통신시스템은 넓은 커버리지를 가져야 하고, 높은 전송속도가 보장되어야 하며, 네트워크 상태에 대한 안정성이 보장되어야 한다. 제안된 시스템의 성능분석을 위해서 시뮬레이션과 실측을 하였는데 넓은 커버리지의 경우 WiBro를 이용한 시스템보다 HSDPA와 WiBro를 이용한 시스템 또는 HSDPA를 이용한 시스템이 성능이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. 높은 전송속도의 경우에는 1개의 HSDPA 또는 1개의 WiBro를 사용한 시스템보다 다수의 HSDPA 또는 WiBro를 사용한 시스템이 전송속도 증가하였음을 알 수 있다. 또한 모뎀의 개수가 고정되어 있을 때 HSDPA만 사용한 통신시스템보다 HSDPA와 WiBro를 같이 사용한 시스템 또는 WiBro만 사용한 시스템의 성능이 전송속도의 측면에서 더 우수하다는 것을 확인할 수 있다. 네트워크 상태에 대한 안정성은 2개의 HSDPA를 사용한 경우가 가장 크고, 1개의 WiBro와 1개의 HSDPA를 사용한 경우, 2개의 WiBro를 사용한 경우의 순서로 안정성이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 또한 HSDPA와 WiBro를 이용한 통신시스템의 경우 HSDPA의 사용 비율이 높을수록 안정성이 향상됨을 알 수 있다.

위의 세 가지 해결과제에 대한 결과를 종합해 보면, 다수의 WiBro와 HSDPA를 이용한 이중의 이동통신망을 사용한 병렬송수신 시스템이 넓은 커버리지, 높은 전송속도의 보장, 네트워크 트래픽에 대한 안정성의 세 가지 조건을 모두 만족시킴을 알 수 있다. 그러므로 이상의 조건을 만족시키는 이중의 이동통신망을 사용한 병렬송수신 시스템을 가진 무인항공기탑재용 대용량 통신시스템을 제안하였다. 향후 연구로는 n개의 이중의 이동통신망을 이용한 통신시스템 구성 시 각 통신망 모뎀의 사용비율에 대한 연구가 있을 수 있다.

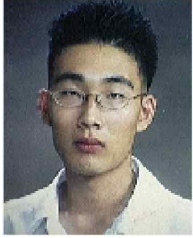
## 참 고 문 헌

[1] 박덕규, 강건환, 오세준, "스마트 무인기 기술개발

사업 2단계 최종보고서: 무인기 통신 주파수 확보 방안 연구", *산업자원부*, p.44, 2007. 5.

- [2] Pyung-Joo Park, Sung-Min Choi, Dong-Hee Lee, Byung-Seub Lee, "Performance of UAV(Unmanned Aerial Vehicle) communication system adapting WiBro with array antenna", *ICACT 2009. 11th International Conference on, Advanced Communication Technology*, Jan, 2009
- [3] Pablo Rodriguez, Andreas Kirpal, Ernst W.Biersack, "Parallel-Access for Mirror Sites in the Internet", *Proc IEEE INFOCOM*, pp864-873, 2000
- [4] J.W. Byers, M.Luby, M.Mitzenmacher, "Accessing multiple mirror sites in parallel: Using tornado code to speed up downloads", *Proc IEEE INFOCOM* pp-275-283, 1999
- [5] Danyu Zhu, Matt W. Mutka, Zhiwei Cen, "Using Cooperative Multiple Paths to Reduce File Download Latency in Cellular Data Networks", *Proc IEEE Globecom*, pp2480-2484, 2005
- [6] KT와이브로, "와이브로 특징", KT와이브로, <http://www.show.co.kr/index.asp?code=WA00000>, 2009. 8
- [7] 한국정보사회진흥원, "품질 기상도, 무선서비스 기상도", 한국정보사회진흥원, <http://pda-speed.nia.or.kr/nia-wireless-tester-pda/weather.do>, 2009. 8

## 고 경 완 (高炘完)



2009년 2월 : 한국항공대학교 정보통신공학과(공학사)

2009년 3월 : 한국항공대학교 정보통신공학과 석사과정

관심분야 : 통신시스템, 이동통신

## 박 평 주 (朴平周)



2008년 2월: 한국항공대학교

정보통신공학과 졸업

2008년3월~현재: 한국항공대학교

정보통신공학과 석사과정

관심분야 : 통신시스템, DSP,  
Noise Cancellation

## 이 석 신 (李錫臣)



2009년 2월 : 한국항공대학교 정보통신공학과(공학사)

2009년 3월 : 한국항공대학교 정보통신공학과 석사과정

관심분야 : 영상처리, 이동통신

## 이 병 섭 (李炳燮)



1979년 2월: 한국항공대학교 전자공학사

1981년 2월: 서울대학교 전자공학석사

1992년 2월: New Jersey Institute of Technology(공학박사)

1992년~현재: 한국 항공대학교 항공

전자 및 정보통신공학부 교수

관심분야: 위성통신, 신호처리, 이동통신