

시험자료 획득을 위한 영상 송수신 시스템 구현

류 상 규^{*,1)}

¹⁾ 국방과학연구소 제1기술연구본부

Implementation of Video Transmitting and Receiving System for Acquisition of Test Data

Sang-Gyu Ryu^{*,1)}

¹⁾ The 1st Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 2 March 2017 / Revised 19 June 2017 / Accepted 8 September 2017)

ABSTRACT

This paper presents about an implementation of Video Transmitting and Receiving System(VTRS) for acquiring test data. The VTRS consists of two parts. The first is Transmitter Unit(TU) that is installed on a missile to acquire various kinds of data and transmit the data to the ground through RF signals. The second is Receiver Unit(RU) that receives the transmitted RF signals and reconstruct those to the original data. To gather a high speed data reliably and securely on the ground, the TU is designed by considering data transfer scheme, data compression, modulation method, encryption technic, link budget, and antenna radiation pattern. Further, a placement method of multiple receiving stations is suggested. The VTRS has been tested on a field to check the link margins and maximum receiving distance in a real environment. Finally, the VTRS is applied to a missile flight test and gathered high speed data reliably.

Key Words : Multi-Channel Video Transmission(다채널 영상 전송), Remote Video Transmission(원격 영상 전송), Video Transmitting and Receiving System(영상 송수신 시스템), Video Demonstration(영상 시현)

1. 서론

유도무기체계의 개발과정에서, 종합 비행시험은 각 개발단계에서의 성능을 검증하고 단계적인 목표의 달성 여부를 확인하기 위하여 실시한다. 이때, 유도탄의

정상사출 여부, 추진체의 정상동작 여부, 단의 분리, 유도탄 제어입력 및 출력에 따른 유도탄 기동 등 다양한 데이터를 획득하기 위한 계측시스템이 개발되어 왔다. 저장장치의 내충격성을 강화하여 비행시험 후 회수를 통해 비교적 대량의 데이터를 계측하였으며^[1], 이와 유사한 운용방식으로 더욱 소형의 비행체에 탑재되기 위한 메모리 저장식 계측장치도 개발된 바 있다^[2].

* Corresponding author, E-mail: rsk0305@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

반면에 비행시험 후 회수가 불확실한 경우, 무선전송 기술을 활용하여 지상에서 실시간으로 계측 데이터를 획득한다. 이러한 원격 계측 시스템에서는 유도탄에 센서를 부착하여 측정하고자 하는 물리량 데이터를 획득할 수 있으며^[3], 점차 발전하는 무선 통신 기술에 힘입어 과거보다 다량의 데이터를 안정적으로 획득할 수 있게 되었다. 이 때문에 최근에는 대부분의 무기체계 개발시험에서 원격 계측 시스템을 적용하여 유도탄을 개발하고 있다.

반면 유도탄의 복합적인 기계적 동작을 확인해야 하는 경우, 원격 계측 데이터만으로는 직관적인 판단이 어렵다. 또한, 유도탄이 오동작하여 센서의 계측 한계를 넘어서는 경우 계측 데이터의 신뢰성을 보장하기 어려우며, 유도탄의 외형적인 결함이 발생하는 경우 계측 데이터로 외형적 결함을 판단하기 어려울 수 있다. 따라서 영상 정보를 통하여 유도탄의 정상동작 여부를 종합적으로 판단하고, 오동작 및 외형적 결함을 직관적으로 확인할 수 있는 영상 획득 시스템의 개발 소요가 제기되었다^[4].

본 논문에서는 유도탄에 탑재되어 지상으로 영상을 전송하는 영상 송수신 시스템을 개발하였으며, 기존 시스템 대비 장거리에서 고화질 영상을 안정적으로 수신할 수 있음을 시험을 통해 검증하였다. 최대 9채널 영상을 동시에 지상으로 전송하며, 다양한 위치에서 촬영한 영상정보를 기반으로 유도탄의 정상동작뿐 아니라 예측하지 못한 동작의 원인을 분석하는 데 큰 도움을 줄 수 있다.

2. 영상 송수신 시스템 설계

2.1 영상 송수신 시스템 개요

영상 송수신 시스템(VTRS, Video Transmitting and Receiving System)은 유도탄에 탑재되어 유도탄의 내/외부 영상을 획득하여 지상으로 송신하는 송신장치(TU, Transmitter Unit)와, 지상 수신소에 설치되어 전송된 영상을 수신하는 수신장치(RU, Receiver Unit)로 구성된다. 영상 송수신 시스템 중 송신장치는 유도탄에 탑재되며, 발사 초기에 전도체인 발사관에서 사출되면서 전파적인 불연속성이 발생한다. 또한, 유도탄의 초기기동에 의해 전파 수신이 불안정하거나 연소가스 등에 영향을 받아 정상적인 추적이 어려운 경우가 발생한다. 이러한 경우 다중의 수신소를 운용하여

개선할 수 있으며, 안테나의 방사패턴과 주변 지형과 궤적을 고려한 전파모델의 시뮬레이션을 통해 다중의 수신소를 최적위치에 배치하기 위한 연구를 진행한 바 있다^[5]. 반면에, 다중 수신소를 운용할 경우 발생하는 비용 문제를 지적하며 추적 기법을 개선하기 위한 연구^[6]도 진행하였지만 제안한 추적 기법은 지연시간이 발생하는 단점이 있다.

본 영상 송수신 시스템에서는 다중의 수신소를 활용하여 지연시간 없이 수신 불안정 문제를 해결하면서, 추가 비용 문제를 최소화하기 위해 다음과 같은 수신소 배치를 제안한다. Fig. 1과 같이 발사장 근처의 근거리 수신소(수신소 1)와 발사장에서 이격되어 있는 원거리 수신소(수신소 2)로 수신 시스템을 구성하였다.

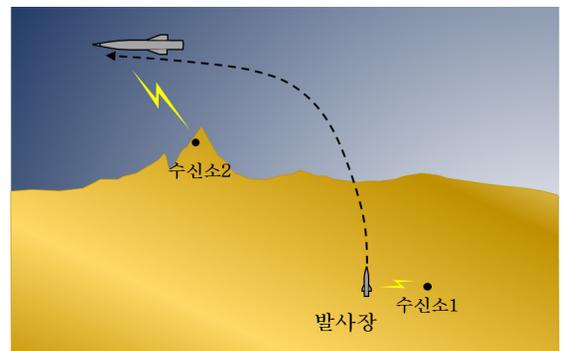


Fig. 1. Concept of VTRS

근거리 수신소는 유도탄 발사 초기의 추적 불안정성을 극복하기 위하여 근거리에서 간이형 안테나를 활용하여 전파를 수신한다. 근거리에서는 수신세기가 비교적 강하여 전방향성 수신안테나를 사용하여 전파를 수신할 수 있기 때문에, 추적 안테나 시스템에서 발생하는 추가적인 비용문제를 해결할 수 있다. 원거리 수신소는 유도탄이 초기 비행단계를 지나 안정적인 기동을 하는, 중·장거리에서도 안정적인 전파 수신이 가능하도록 높은 고도에 설치된 추적 안테나를 사용하였다. 다중 수신소를 활용한 영상 획득 결과는 4장의 시험 결과에서 기술하였다.

2.2 송신장치

송신장치는 유도탄에 탑재되어 소형 카메라를 통해 영상을 획득하며, 이를 디지털화하여 유도탄 외부에 장착된 안테나를 통해 지상으로 데이터를 전송한다. 지상으로 데이터를 전송하는 과정에서 보안성을 강화

하기 위하여 암호화하였으며, 암호화 시 지연시간을 고려하여 AES-128 bit 알고리즘을 사용하였다.

물리적인 형상은 Fig. 2와 같으며, 유도탄에 미치는 물리적 영향을 고려하여 크기와 중량을 최소화하여 설계하였다. 장비 내부에서 발생하는 열을 방열하기 위하여 장비 내부에서 열전달을 고려하여 설계하였으며, 하우징 외형을 열교환이 유리한 구조로 설계하여 장시간 운용이 가능하도록 설계하였다. 제원은 Table 1과 같다.



Fig. 2. Transmitter unit

Table 1. Specification of transmitter unit

구분	성능
영상 획득	초소형 SD급 카메라 9개
화질	FULL-HD (1920 × 1080)
압축 방식	H.264/AVC (30 fps)
변조 방식	QPSK-COFDM
암호화 방식	AES-128 bit 암호화
전송 데이터	영상 데이터 음성 데이터 송신장치 상태 데이터
제원	가로 : 250 mm 세로 : 180 mm 높이 : 80 mm
중량	3.7 kg

송신장치는 Fig. 3과 같은 과정을 통해 지상으로 데이터를 송신한다. 초소형 카메라에서 획득한 9채널의 SD(Standard Definition) 화질 영상은 BT.656 표준에 따라 영상 선택부로 전송한다. 영상 선택부에서는 9채널 SD 영상 중 4채널의 영상을 1/4 크기로 축소하여 1채널의 SD 화질 영상으로 구성하고, 이를 나머지 5채널의 SD 영상과 합해 총 6개의 SD 영상으로 가로 3열,

세로 2열로 배열하여 FULL-HD(High Definition) 화질의 1920×1080 영상으로 변환한다. FULL-HD 영상을 압축하기 위해 BT.1120 표준으로 영상 압축부로 전송하며, 압축부에서는 H.264/AVC(Advanced Video Coding) 압축 기법으로 압축을 수행한다. 이는, 기존의 MPEG-2 기법에 비해 최대 50 %, MPEG-4 기법에 비해 최대 30 %의 압축 효율을 향상시켜 보다 많은 데이터를 지상으로 전송할 수 있다⁷⁾.

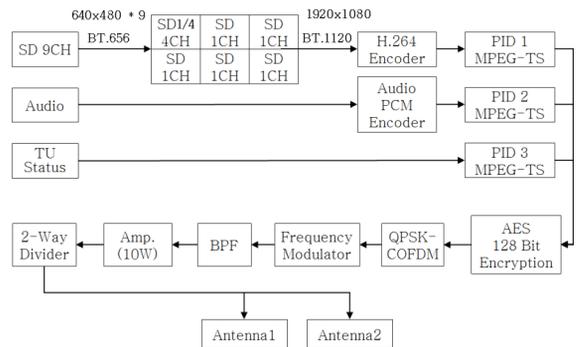


Fig. 3. Block diagram of TU

압축된 영상 데이터는 MPEG 전송 규격인 TS (Transport Stream) 규격에 따라 PID(Packet Identifier)를 가지며 PID 1번으로 구성된다. 또한, 음성 데이터 및 송신장치의 상태 데이터는 각각 PID 2번과 PID 3번으로 구성되어 직렬 통신을 통하여 암호화부로 전송되며, 암호화부에서는 AES-128 bit 알고리즘을 통하여 데이터를 암호화한다. 암호화 시에는 수번에 걸쳐 암호화 하는 보다 복잡한 기법이 적용될 수 있으나, 시스템의 지연 시간을 고려하여 암호 알고리즘을 선정하였다⁸⁾.

그 후, QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) COFDM (Coded Orthogonal Frequency-division Multiplexing) 변조 기법을 사용하여 변조하며, 데이터를 송신 시 S-Band의 8 MHz 대역폭을 사용하여 전송하였다. QPSK 변조를 사용하여 변조 시 주파수 효율은 최대 2 bps/Hz에서 통신환경에 따른 잡음전력밀도에 대한 비트에너지의 비(E_b/N_0)가 감소함에 따라 0까지 변화한다⁹⁾. 일반적인 환경에서 QPSK의 주파수 효율은 1.4 bps/Hz이며, 본 송신장치에서는 50 %의 여유를 가지기 위해서 7.5 Mbps로 초당 전송 비트율을 제한하기 위하여 CBR (Constant Bit Rate)로 압축하였다. 변조된 데이터는 최종적으로 주파수 대역 통과 필터를 통과하여 잡음을

제거하고 고전압 증폭기에서 증폭되어 송신 안테나를 통해 방사된다.

전파가 안테나를 통하여 멀리 전파되기 위해 고전압 증폭기(HPA, High Power Amplifier)로 전파를 증폭하는데, 고전압 증폭기는 가장 발열이 많은 부품으로 장시간 장비를 운용하기 위하여 방열해야 한다. 기본적으로 고전압 증폭기는 바닥에 열전도성 유틸리티를 도포한 후 하우징 바닥에 부착하여 하우징을 통해 방열하며, 고전압 증폭기의 상부에도 알루미늄 재질의 방열판을 부착하여 공기로 열을 방열한다.

기본적인 방열 설계를 적용하여 50 °C에서 장시간 시험한 결과, 고전압 증폭기의 운용 온도를 상회하는 열이 발생하여 장시간 운용이 불가능함을 확인하였다. 이는 알루미늄 방열판이 공기를 통해 방열하기 때문에 일정 시간이 지나면 장비 내부의 공기 온도가 높아져 알루미늄을 통한 방열 효과가 떨어지기 때문이다. 따라서 Fig. 4의 알루미늄 방열판 상부에 열전도도가 높은 방열패드를 적용하여 알루미늄 방열판이 하우징을 통하여 직접 방열하도록 추가 설계하였으며 50 °C에서 장시간 운용 가능함을 확인하였다.



Fig. 4. Aluminum heat sink of HPA

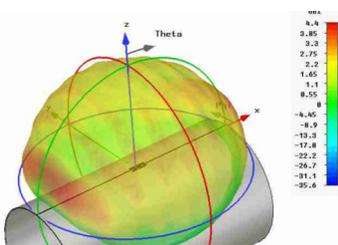


Fig. 5. Antenna radiation pattern

송신 안테나는 유도탄 외부에 부착되어 전파신호를 지상으로 전송하기 때문에 유도탄이 기동할 때도 안정적으로 전방향으로 전파를 방사하여야 한다. 따라서

Fig. 5와 같이 전방향의 방사패턴 및 3 dBi의 안테나 이득을 가진 역-F 안테나를 사용하였으며, 유도탄의 기동에 따른 사각을 최소화하기 위하여 유도탄에 180°대칭으로 2개의 안테나를 부착하였다.

앞서 설계한 송신장치, 송신 안테나의 이득, 수신안테나의 이득, 수신장치 등을 복합적으로 고려하여 링크 버짓을 분석하였다. 수신장치와 송신장치의 거리가 150 km일 때의 링크 버짓을 Table 2와 같이 분석하였으며, 그 결과 링크 마진은 15 dB로 계산되어 150 km 거리에서도 송수신할 수 있음을 계산을 통하여 검증하였다. 실제 환경에서의 시험 및 비행시험을 통한 본 설계의 유효성 검증은 3장에서 기술하였다.

Table 2. Link budget analysis

항목	단위	값
주파수	GHz	S-밴드
통신거리	km	150
송신 출력	dBm	34
송신 손실(RF케이블 등)	dB	1.7
송신안테나 이득	dBi	3
자유공간 손실	dB	143.3
수신안테나 이득	dBi	31
수신 손실(RF 케이블 등)	dB	3
수신기 입력신호 세기	dBm	-80
수신기 수신감도	dBm	-95
링크 마진	dB	15

2.3 수신장치

수신장치는 추적안테나에서 수신한 RF 신호를 역변조하여 영상, 음성, 상태 데이터로 분리 후 제함성하여 전시하도록 설계하였다. Fig. 6과 같이 하나의 추적 안테나에서 수신한 원형편파 신호인 RHCP, LHCP 신호는 각각 대역필터를 및 저잡음 증폭기를 거쳐 신호 증폭이 되며, 중간 대역의 주파수로 하향 변환된다. 중간대역의 신호는 편파 다이버시티 기법을 적용 후 기저대역으로 변환되며 최종적으로 IP Streamer를 통하여 IP Stream 규격에 적합한 신호로 암호 복호화부로 전송된다. 복호화부에서는 송신기에서 암호화된 신호들을 동일한 AES-128 bit 기법을 이용하여 복호화

한 후 PID를 이용하여 영상신호, 음성신호, 상태신호로 구분한다. 데이터 중 영상신호는 H.264 디코더를 통하여 영상을 압축 해제하게 된다.

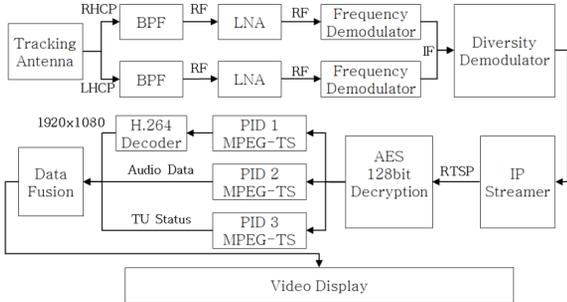


Fig. 6. Block diagram of RU

이러한 일련의 과정은 송신기에서 영상을 압축하여 송신하는 과정의 역과 유사하다. 위 과정을 통하여 구분된 신호는 최종적으로 출력되기 전 영상 신호와 음성신호, 상태신호의 시간 동기화를 통하여 통합되며 마지막으로 Fig. 7과 같은 시험 소프트웨어를 통하여 전시된다.



Fig. 7. Video demonstration software

3. 성능 검증

제안하는 영상 송수신 시스템은 실 환경에서의 성능을 검증하기 위해 30 km 이격된 거리에서 송수신 시험을 하였다. 송신 안테나가 유도탄에 탑재되었을 때 대부분 상황에서 송신안테나가 수신안테나를 정면으로 향하지 않는다. 따라서 안테나의 고각과 방위각을 송신지와 45° 이상 각도차이를 갖도록 설치하였다.

이후, 송신 세기를 감쇄시키며 안정적으로 수신이 가능한 최대 감쇄 dB를 측정하였다.

시험 결과 송신 세기를 최대 10 dB 감쇄시킬 때까지 안정적으로 영상을 송수신하였으며, 이 때 성능 검증을 실시하기 위해 RF 케이블을 길게 적용하여 4 dB의 신호가 추가로 감쇄되었다. 이를 고려하면 실제 운용 조건 대비 링크마진은 14 dB이며, 이는 성능을 검증한 30 km보다 약 5배 이격된 거리에서도 안정적으로 영상을 획득할 수 있음을 의미한다. 따라서 실 환경에서 LOS(Line of Sight)가 확보된다면 150 km 거리에서 영상을 수신 가능한 것으로 판단하였다.

Table 3. Link margin in real environment

항 목	단 위	값
통신 거리	Km	30
최대 감쇄 송신 세기	dB	10
추가 케이블 손실	dB	4
링크 마진	dB	14

4. 시험 적용 결과

4.1 신호 수신 결과

본 논문에서 설계한 영상 송수신 시스템을 실제 유도탄 비행시험에 적용하였다. 앞서 기술한 바와 같이 수신소 1은 발사대와 인접한 곳에 설치하였으며, 수신소 2는 고도 200 m에서 안테나 추적을 통하여 전파를 수신하였다.

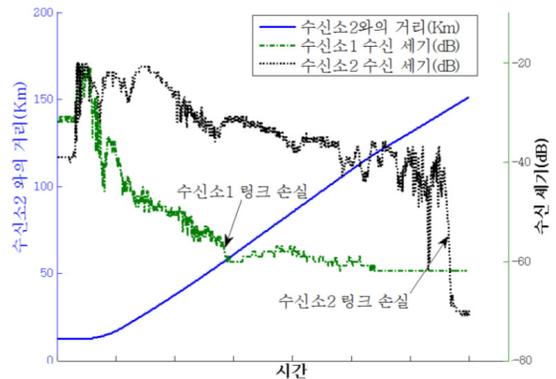


Fig. 8. Signal strength VS missile-receiver distance

Fig. 8은 수신소 1과 수신소 2에서 수신한 신호 세기 및 유도탄과 수신소 2와의 거리를 나타낸 그래프이다. 유도탄이 발사된 후 일정 시간이 지나면 발사장과 인접한 곳에 설치된 수신소 1의 링크가 손실되며, 수신소 2에서는 추적을 통하여 안정적으로 전파를 수신한다. 이후, 최종적으로 수신소 2와 유도탄 간의 거리가 150 km 거리가 이격되었을 때 수신소 2의 링크가 손실되어 영상 수신이 중단되었다.

이는 유도탄과 수신소 2와 유도탄의 LOS가 손실되어 나타난 결과이며 그에 대한 분석은 다음과 같다. 지구가 원이라 가정하고 가시선과 RF 신호의 회절을 고려한 최대 통신가능거리는 식 (1)과 같다. d_{min} 는 유도탄의 고도가 가장 낮을 때 통신 가능한 최소통신거리(km)이며, $h_{station}$ 는 수신소의 높이(m)이다^[10].

$$d_{min} \approx 4.12\sqrt{h_{station}} \quad (1)$$

식 (1)을 사용하면 약 58.3 km의 최대 수신거리를 가지며, 유도탄의 고도에 따라 최대 수신거리가 변화한다. 유도탄의 고도 $h_{missile}$ 를 고려한 수신 가능 거리는 식 (2)와 같다.

$$d \approx 4.12(\sqrt{h_{station}} + \sqrt{h_{missile}}) \quad (2)$$

식 (2)를 통하여 전파 관점의 LOS를 확보하기 위한 수신소 2와의 유도탄 간의 거리 및 유도탄의 고도를 고려하였을 때, LOS가 손실되는 시점의 유도탄 고도와 유도탄의 실제 고도가 일치하였다.

수신소 2에서 수신한 수신세기는 LOS가 손실되면서 급격히 감소하였다. LOS가 손실되기 직전 수신신호 세기를 고려하였을 때, LOS가 확보되었다면 더욱 먼 거리에서 영상을 획득할 수 있었을 것으로 판단한다. 또한, 유도탄 비행시험의 최종단계까지 영상을 수신하고자 한다면, 유도탄이 탄착하는 위치에 수신소를 추가 설치하여 종말 단계까지의 유도탄 영상을 획득할 수 있을 것이다.

4.2 영상 수신 결과

앞서 수신소 1과 수신소 2의 수신신호 세기를 분석하여 전파가 수신 가능한 거리를 계산하였다. 하지만 전파의 세기만으로 수신한 데이터의 품질을 판단할 수 없기 때문에, 수신한 영상의 프레임을 분석하여 수

신한 데이터의 품질을 비교하였다. Table 4는 유도탄 발사 단계를 초기, 중기, 후기로 나누어 각 수신소에서 수신한 영상 프레임의 손실 수를 측정하여 나타낸 표이다.

수신 결과 유도탄 발사 초기 단계인 120프레임까지는 발사대와 인접한 위치에 설치한 수신소 1에서 수신한 영상 프레임의 손실이 적은 반면, 수신소 2에서는 발사 초기에 전파가 불안정하여 안테나의 추적이 적절히 이루어지지 않았으며 손실 프레임이 다수 발생하였다. 발사 초기 단계가 지난 후 안정적인 추적이 가능한 중기 단계에서는 수신소 2에서 안정적인 수신을 하였으며, 유도탄이 발사장과 거리가 멀어지는 1001프레임에서 2000프레임 구간에서는 수신소 1에서의 손실 프레임이 증가하는 것을 확인하였다. 따라서 발사 초기에는 발사장과 근접한 수신소 1을 활용하여 데이터를 수신하고, 발사 후기는 수신소 2에서 추적 안테나를 통하여 안정적인 전파를 수신하는 방법으로 유도탄 비행시험 전 구간에 걸쳐 효과적으로 영상을 획득하였다.

Table 4. Frame loss in receiving station 1, 2

프레임 범위	손실 프레임 (손실프레임/총 프레임)	
	수신소 1	수신소 2
0 to 120 (초기)	1/120	27/120
121 to 1000 (중기)	0/880	0/880
1001 to 2000 (후기)	34/1000	0/1000

5. 결론

본 논문에서는 유도탄에 탑재되어 다채널 영상 및 데이터를 획득하고, 이를 지상으로 전송하는 영상 송수신 시스템의 구현 결과에 대해 서술하였다. 제안한 영상 송수신 시스템은 실제 비행시험에 적용되어 150 km 거리에서 영상 송수신이 가능하다는 것을 확인하였다. 본 시스템을 통해 획득한 자료를 기반으로, 유도탄의 정상동작 판단과 비정상적으로 동작할 때의

문제점을 직관적으로 파악할 수 있어 유도탄 개발 시 효율성을 크게 증대될 것이다. 향후에는 유도탄 영상에 최적화된 압축기법과, 전파 송수신 최적화를 통하여 더욱 장거리에서 안정적인 영상을 획득하기 위한 연구를 진행할 필요가 있다.

References

- [1] J. W. Hill-Lindsay, J. T. Yuen, "Ultra-High Impact Resistant Digital Data Recorder for Missile Flight Testing," *Trans. Components, Packaging, and Manufacturing Technology: Part A*, Vol. 17, No. 3, pp. 398-403, 1994.
- [2] J. Jung, "Development of Memory Type Instrumentation Device for Measuring Data of Small Flying Object," *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, Vol. 17, No. 4, pp. 721-727, 2015.
- [3] S. Lee, S. Choi and W. Kim, "Aeronautical Telemetry Link Development for High Speed Data," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 50, No. 7, pp. 1671-1679, 2013.
- [4] D. Cho and S. Ra, "Development of Data/Video Transmission System for Flying Vehicle," *Journal of The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 35, No. 11, pp. 1052-1057, 2007.
- [5] J. Hyun, S. Kim, Y. Oh, D. Seo and H. Kim, "Development of an RF Signal Level Prediction Simulator for Radiowave Propagation in Natural Environments," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 13, No. 5, pp. 725-733, 2010.
- [6] S. Lee, "A Study on a Tracking Method of Telemetry Signal using Self-Slaving," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 11, No. 3, pp. 50-56, 2008.
- [7] Y. S. Choi, S. J. Kim, B. H. Kim, Y. H. Choi, "Status and Prospect of Next-Generation Video Compression Technology-H.265," *The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 34, No. 8, pp. 899-909, 2007.
- [8] C. Ryu, B. Bae, S. Ryu, W. Cho, "Design Result of a Video Demonstration System for Acquiring Test Data," *KIMST Annual Conference Proceedings*, pp. 67-70, 2014.
- [9] S. Verdu, "Spectral Efficiency in the Wideband Regime," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 48, No. 6, pp. 1319-1343, 2002.
- [10] R. Busi. and H. Bouvard, "High-altitude VHF and UHF Broadcasting Stations," *European Broadcasting Union Technical Centre*, Geneva, p. 3180, 1967.