

완성 유도탄 탑재장비의 소프트웨어 업그레이드를 위한 MIL-STD-1553B 기반 간접적 데이터 전송 기술

김기표^{*,1)} · 유해성²⁾ · 이헌철¹⁾ · 윤석재³⁾ · 안기현¹⁾ · 우덕영¹⁾

¹⁾ 국방과학연구소 제1기술연구본부

²⁾ 국방과학연구소 제3기술연구본부

³⁾ 국방과학연구소 제3유도무기체계단

An Indirect Data Transfer Technique based on MIL-STD-1553B for the Software Upgrade of Embedded Equipments on a Missile Assembly with Booster

Kipyo Kim^{*,1)} · Haesung Yu²⁾ · Heoncheol Lee¹⁾ · Seokjae Yun³⁾ · Keehyun Ahn¹⁾ · Deogyong Woo¹⁾

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

²⁾ *The 3rd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea*

³⁾ *The 3rd Missile Systems PMO, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 9 January 2015 / Revised 7 December 2015 / Accepted 18 December 2015)

ABSTRACT

This paper addresses the problem of the software update or upgrade of embedded equipments on a missile assembly with booster. Because the embedded equipments are assembled delicately and closely one another with various communication and power cables, they should be very carefully disassembled to directly upgrade the software of a certain embedded equipment. This may cause not only the costs for disassembly and reassembly but also additional tests to verify the completeness of the reassembled missile as a missile assembly with booster. This paper presents an indirect data transfer technique based on MIL-STD-1553B through Guidance Control Unit to easily upgrade the software of other equipments without any additional costs caused by disassembly and reassembly. The presented technique was successfully applied to the software upgrade of various equipments on real missile assembly with booster.

Key Words : Missile Assembly with Booster(완성 유도탄), MIL-STD-1553B, Guidance Control Unit(유도조종장치), Indirect Data Transfer(간접적 데이터 전송)

* Corresponding author, kpkim@add.re.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

1. 서론

유도탄은 운용목적에 따라 유도조종장치, 관성항법장치, 구동장치, 표적탐색장치 등의 다양한 탑재장비들로 구성된다. 이러한 탑재장비들(embedded equipments)은 개별 시험을 통과한 후에 하나의 유도탄에 장착되고, 비행중 형상과 동일하게 된다. 이를 기본 유도탄(missile assembly without booster) 또는 기본탄이라 한다. 기본탄 점검은 먼저 조립 상태에서 탑재장비의 전기적 인터페이스, 고장유무 및 개별 성능을 점검한 후 엔진, 연료계통 성능 확인 및 관련 탄내 시스템의 이상 유무를 점검함으로써 진행된다. 이후 기본탄은 유도탄 발사준비상태, 발사절차, 비행상태, 종료유도비행까지 점검할 수 있는 모의비행점검 절차를 거치게 된다. 그리고 추가적으로 엔진시동 및 각종 파이로 작동까지 확인할 수 있는 지상종합점검 절차를 거친 후, 중량 및 외형을 측정하여 최종 조립을 마치게 되고, 이를 완성 유도탄(missile assembly with booster) 또는 완성탄이라 한다¹⁾.

유도탄의 각 탑재장비는 개발과정 및 점검과정에서 요구사항 변경, 기법 변경 등으로 인한 소프트웨어 업그레이드가 필요하다. 이를 위해 각 탑재장비는 Fig. 1과 같이 각 탑재장비 점검장비와의 직접적 통신이 가능하도록 설계되어 있다. 이러한 직접적 소프트웨어 업그레이드가 MIL-STD-1553B 통신을 기반으로 이루어지는 경우, 탑재장비 점검장비는 BC(Bus Controller)가 되고 탑재장비는 RT(Remote Terminal)가 된다.

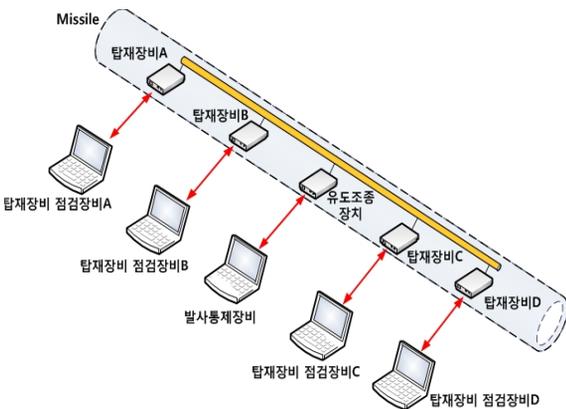


Fig. 1. The concept of the software upgrade of embedded equipments by direct communication

탑재장비들이 유도탄에 함께 조립되면 외부와 통신할 수 있는 유일한 통로는 유도탄 연동기와 연결되는 배꼽연결기 밖에 없고, 대부분의 탑재장비들은 배꼽연결기와 직접적으로 연결되어 있지 않기 때문에 탑재장비 점검장비와의 직접적 통신을 구성하는 것이 물리적으로 어렵게 된다. 완성탄 역시 조립 완료된 상태에서 탑재장비들의 고장유무 및 성능을 확인하는 점검 절차를 거치게 된다. 이 과정에서 탑재장비에 문제점이 발생되거나 성능향상 등의 목적으로 해당 탑재장비의 소프트웨어를 업그레이드해야 하는 상황이 발생할 수 있다. 특히 완성탄 단계에서는 특정 탑재장비 업그레이드를 위해 유도탄을 해체하는 것은 상당한 비용과 위험을 초래한다. 또한 유도탄 개발이 완료된 후 양산 단계에서도 직접적 소프트웨어 업그레이드는 과도한 비용을 초래하기 때문에 직접적 통신을 통한 탑재장비 소프트웨어 업그레이드는 분명한 한계점이 있다.

본 논문에서는 완성 유도탄에서 특정 탑재장비의 소프트웨어 업그레이드를 위한 MIL-STD-1553B 통신 기반의 간접적 데이터 전송 기술을 개발하고, 실제 완성 유도탄에 적용함으로써 해당 탑재장비의 소프트웨어 업그레이드가 성공적으로 수행되는지 확인하였다.

2. 간접적 데이터 전송

2.1 개념

유도조종장치가 간접적 데이터 전송을 하기 위해서는 지상으로부터의 명령 메시지 및 관련 정보 전달이 요구된다. 지상으로부터 간접적 데이터 전송의 시작 명령이 전달되면, 유도조종장치는 관련 탄내통신 환경을 구축하고, 종료 명령이 전달되면 구축했던 탄내통신 환경을 해제한다. 또한 특정 탑재장비와의 통신환경 구축을 위한 정보가 필요하다.

Fig. 2는 간접적 데이터 전송을 위해 구현된 통신환경을 나타낸다. 유도조종장치는 1553B 탄내통신버스를 통해 유도탄 내부 탑재장비들과 연결되고, 1553B 탄내통신버스를 통해 발사통제장비 및 탑재장비 점검장비들과 연결된다. 탑재장비 점검장비는 지상 메시지 A01을 통해 유도조종장치에게 임무수행을 위한 명령 및 정보를 전달할 수 있다.

업그레이드하고자 하는 탑재장비의 소프트웨어를 전달하기 위해 지상버스의 B01/B02와 탄내버스의 C01/C02 메시지를 추가로 구성하였다. 그리고 A01 메시지

에 새로운 명령기능을 추가하여 간접 데이터 전송의 시작/종료 명령 및 관련 통신환경 구축을 위한 정보를 전달한다. 특정 탑재장비로의 데이터 전송을 위한 통신환경이 구축되면, 유도조종장치는 B01/B02로 받은 소프트웨어 데이터를 C01/C02로 전달할 수 있게 된다. 유도조종장치는 소프트웨어 데이터 전송에 있어 교량 역할을 하게 되는데, 이를 통한 데이터 전송을 간접적 데이터 전송(Indirect Data Transfer)이라고 한다. 이의 구현을 위해서는 하드웨어적인 추가 필요사항은 없으나, 기존 통신환경에 새로운 통신 메시지의 추가로 인한 통신 부하(Load)가 증가되며, 이의 관리를 위한 소프트웨어적 설계변경이 필요하다. 간접적 데이터 전송 기능은 지상에서 수행하는 점검기능이므로, 유도조종장치 임무기능을 일시정지시킴으로써 통신 부하 문제를 해결할 수 있다.

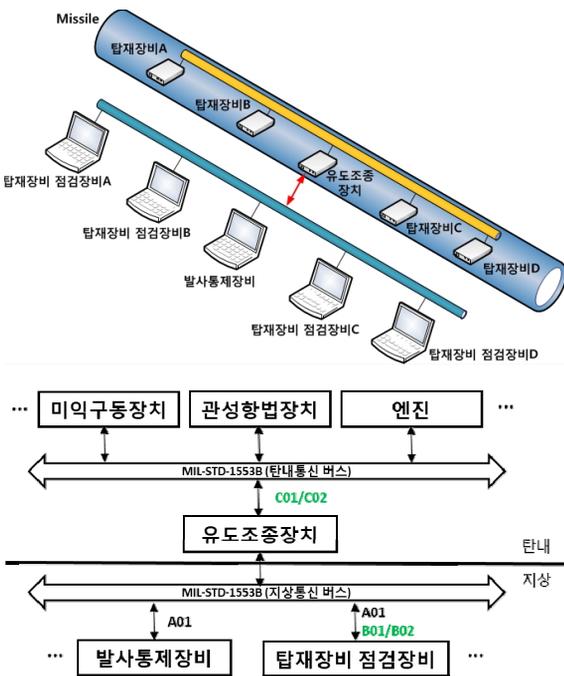


Fig. 2. The concept (upper) and diagram (lower) of the software upgrade of embedded equipments by indirect communication

B02와 C02는 각각 B01과 C01의 응답메시지로서, 전송된 데이터의 확인을 위해 사용한다. Fig. 3는 간접적 데이터 전송을 위한 메시지 구조(Message Structure)를 나타내었다^[2].

유도조종장치는 간접적 데이터 전송의 시작명령 메시지 Start(A01)을 통해 전달하고자 하는 탑재장비의 탄내통신 환경을 초기화한다. 그리고 실행중인 탄내통신은 일시정지 시킨다. 이 상태를 유도조종장치의 간접적 데이터 전송모드(IDTM : Indirect Data Transfer Mode)라고 한다.

간접적 데이터 전송모드에서 B01 메시지는 C01로 전달되고, C02 응답메시지는 B02로 전달된다. B02로부터 데이터 전송결과가 정상으로 확인되면, 탑재장비 점검장비는 다음 데이터를 전송하게 된다. 탑재소프트웨어 데이터의 전송이 완료되면, 종료명령 메시지 End(A01)의 종료명령으로 간접적 데이터 전송모드를 해제한다. 단, B01/B02와 C01/C02 메시지의 통신시간, 내용 및 B02로부터 비정상 확인에 대한 처리방식은 탑재장비마다 설계된 다운로드 프로토콜에 따라 다르게 구현될 수 있다.

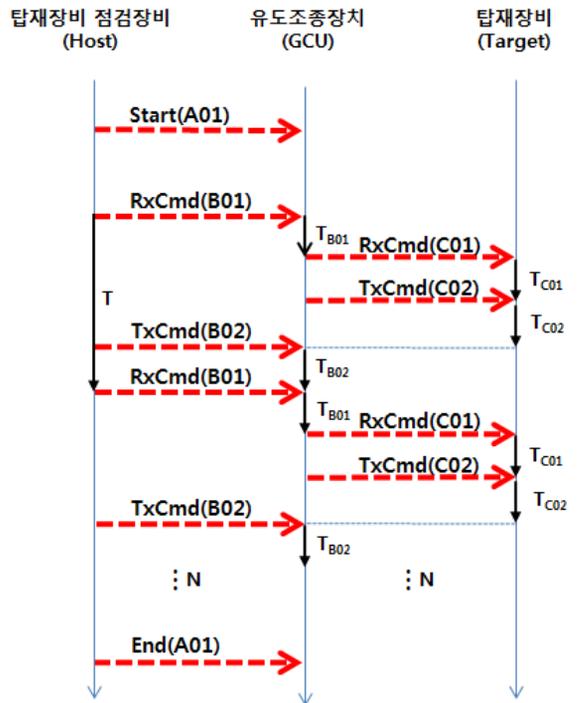


Fig. 3. Message structure for an indirect data transfer

2.2 메시지 통신시간

Fig. 3에서의 RxCmd(Receive Command Word)와 TxCmd(Transmit Command Word)는 각각 Table 1과 같이 1553B 통신에서의 수신과 송신 커맨드 워드(Command

Word)를 나타내고 있다. 1553B 커맨드 워드는 RT 주소(Remote Terminal Address), Tx/Rx(Transmit/Receive), 서브어드레스(Subaddress), 워드 카운트(Word Count)로 구성된다^{3,4)}.

B01/B02와 C01/C02 메시지의 통신시간과 그 처리를 위한 최소 시간을 Fig. 3에서와 같이 각각 T_{B01} , T_{B02} , T_{C01} , T_{C02} 로 나타낼 수 있다. 메시지의 통신시간은 1553B 통신 속도 및 메시지의 길이로 결정되며, 처리 속도는 시스템의 설계에 따라 다를 수 있다.

Table 1. 1553B command word

BIT	Description
15 (MSB)	Remote Terminal Address BIT 4
14	Remote Terminal Address BIT 3
13	Remote Terminal Address BIT 2
12	Remote Terminal Address BIT 1
11	Remote Terminal Address BIT 0
10	Transmit / Receive
9	Sub-address / Mode Code BIT 4
8	Sub-address / Mode Code BIT 3
7	Sub-address / Mode Code BIT 2
6	Sub-address / Mode Code BIT 1
5	Sub-address / Mode Code BIT 0
4	Data Word Count / Mode Code BIT 4
3	Data Word Count / Mode Code BIT 3
2	Data Word Count / Mode Code BIT 2
1	Data Word Count / Mode Code BIT 1
0 (LSB)	Data Word Count / Mode Code BIT 0

탐재장비 점검장비의 B01 메시지가 전송되면, 유도 조종장치는 T_{B01} 후에 C01 메시지를 전송하게 된다. 그리고 탐재장비의 T_{C01} 후에 유도조종장치가 C02를 전송하면 T_{C02} 후에 탐재장비 점검장비는 B02 메시지를 전송할 수 있다. T_{B02} 후 B02로부터 전송결과를 확인한다. B01의 전송주기는 T와 같으며, T_{B01} , T_{C01} , T_{C02} 및 T_{B02} 의 합과 같다. 전체 데이터 크기와 메시지의 길이에 따라 필요전송횟수 N이 결정된다. 총 N회의 필요

전송횟수 중 n번째 간접적 데이터 전송의 통신시간 규약은 Table 2와 같다.

Table 2. Communication time regulation for IDTM

Item	Time
Time from RxCmd(B01n) to RxCmd(C01n)	T_{B01}
Time from RxCmd(C01n) to TxCmd(C02n)	T_{C01}
Time from TxCmd(C02n) to RxCmd(B02n)	T_{C02}
Time from RxCmd(B02n) to RxCmd(B01n+1)	T_{B02}
Time from RxCmd(B01n) to RxCmd(B01n+1)	T

2.3 메시지 내용

Table 3 ~ Table 8은 간접적 데이터 전송에서의 메시지의 내용을 나타낸다. A01 메시지는 명령의 종류를 운영코드(Operational Code)로 구분할 수 있다. 간접적 데이터 전송모드의 시작을 위한 운영코드는 OP-CODE for IDTM로 정의하였고, 시작과 종료명령은 각각 IDTM START-CODE와 IDTM END-CODE로 구분하였다.

Start(A01) 메시지에는 C01/C02 탄내통신을 위한 RxCmd(C01), TxCmd(C02)를 포함하고 있다. 간접적 데이터 전송모드를 위한 통신환경 구축을 위해서, RxCmd(C01), TxCmd(C02)를 참조하여 전송하고자 하는 탐재장비의 C01/C02 메시지를 초기화하고, 실행중인 탄내통신은 일시정지 시킨다. A01은 메시지 전송오류 검증을 위해 CRC(Cyclic Redundancy Check)를 적용하였다. End(A01)의 메시지 내용은 IDTM END-CODE를 제외하고 Start(A01)과 동일하다.

Table 3. Start(A01) message contents

Word	Start(A01) Message Contents
Command Word	1553 Command Word for GCU
1	OP-CODE for IDTM
2	IDTM START-CODE
3	RxCmd(C01)
4	TxCmd(C02)
5~31	Reserved
32	CRC for Word1~31

Table 4. End(A01) message contents

Word	Start(A01) Message Contents
Command Word	1553 Command Word for GCU
1	OP-CODE for IDTM
2	IDTM END-CODE
3	RxCmd(C01)
4	TxCmd(C02)
5~31	Reserved
32	CRC for Word1~31

Table 5. B01n message contents

Word	B01n Message Contents
Command Word	1553 Command Word for GCU
1~32	Data Word 32n+1 ~ 32n+32 of Target Embedded Software

Table 6. C01n message contents

Word	C01n Message Contents
Command Word	1553 Command Word for Target
1~32	Data Word 32n+1 ~ 32n+32 of Target Embedded Software

1회에 전송가능한 데이터의 크기 32워드로서, 1553B 통신의 메시지 최대 워드 카운트이다. Table 5는 n번째 B01 메시지의 내용을 나타낸 것이다. B01n의 워드 1부터 32는 전송하고자 하는 탑재장비(Target)의 탑재소프트웨어 데이터의 32n+1부터 32n+32 번째 워드이다. (n = 0, 1, 2, ..., N) 유도조종장치는 B01n 수신완료 후, C01n을 전송한다. 그리고 T_{C02} 뒤에 C02n의 TxCmd를 전송한다. Table 6와 같이 C01n은 B01n으로부터 수신한 탑재소프트웨어 데이터의 32n+1에서 32n+32 번째 데이터를 그대로 탑재장비에게 전송한다.

Table 7과 같이 C02n의 데이터 내용은 전송된 탑재 소프트웨어의 데이터 이상 유무를 확인하기 위한 것이며, 탑재장비의 다운로드 통신 프로토콜에 따라 달라질 수 있다. C02n의 데이터는 B02n을 통해 지상의 탑재장비 점검장비로 전송되며, 다운로드 프로그램에 의해 이상 유무를 확인할 수 있다. Table 8의 B02n은

C02n 메시지의 워드 1에서 32를 그대로 지상버스로 전송한다. B01n과 B01n+1의 RxCmd 전송 간격은 탑재장비 다운로드 프로토콜에 따라 달라질 수 있다.

탑재장비 점검장비는 B02n를 B01n에 대한 전송결과를 확인하는 자료로 사용할 수 있으며, 그 비정상 결과에 대한 처리 및 최종 전송결과와 확인은 메시지 별 또는 전체 전송 데이터 대한 CRC, 1553B Status Word 및 재부팅 후 자체점검 등의 방법이 있을 수 있으나 탑재장비별 특성에 따라 설계될 수 있다.

Table 7. C02n message contents

Word	C02n Message Contents
Command Word	1553 Command Word for Target
1~32	Data to confirm the received Data Word 32n+1 ~ 32n+32 of Target Embedded Software

Table 8. B02n message contents

Word	B02n Message Contents
Command Word	1553 Command Word for GCU
1~32	Word1~32 of C02n

2.4 구현

앞에서 설명한 간접적 데이터 전송의 설계 개념을 바탕으로 개발 중인 유도조종장치의 간접적 데이터 전송모드를 구현하였다.

Table 9. Message design result for IDTM

Item	Result
OP-CODE for IDTM	Constant A
IDTM START-CODE	Constant B
IDTM END-CODE	Constant C
L01 Word Count	32
X41/X42 Word Count	32
RX41/TX42 Word Count	32
Time between RxCmd(RX41) and TxCmd(TX42)	2 msec

Table 9은 구현된 간접적 데이터 전송모드의 주요 메시지 설계 결과를 나타낸 것이다. 유도조종장치는 발사통제장비와 L01이라는 이름의 메시지로 통신을 수행한다. OP-CODE for IDTM으로 Constant A를 추가하여 간접적 데이터 전송모드의 시작과 종료를 위한 Start(L01)과 End(L01)을 정의한다. 시작을 위한 코드(IDTM START-CODE)는 Constant B, 종료를 위한 코드(IDTM END-CODE)는 Constant C로 하였다.

유도조종장치는 간접적 데이터 전송모드 상태에서 탑재장비 점검장비로부터의 X41/X42와 탑재장비로의 RX41/TX42를 이용하여 탑재장비 소프트웨어의 데이터를 전송한다. L01, X41/X42, RX41/TX42 메시지의 워드 카운트는 모두 32로 하였다. 32워드 메시지의 1553B 통신시간은 약 700 usec이며, 이를 고려하여Table 2의 T_{C01} 은 2 msec하고, 이를 제외한 T_{B01} , T_{C02} , T_{B02} 은 1 msec로 하였다. 따라서 탑재장비 점검장비의 T는 5 msec로 요구하였다.

유도조종장치는 RX41의 RxCmd 전송 후 2 msec를 기다린 후, TX42의 TxCmd를 전송한다. TX42 메시지 수신완료 인터럽트가 발생하면 TX42의 메시지 내용을 X42로 업데이트한다. 탑재장비 소프트웨어의 전송이 완료되면, End(L01)을 전송받아 간접적 데이터 전송모드를 해제한다. Fig. 4는 유도조종장치에서 구현된 간접적 데이터 전송모드의 순서도를 나타낸다.

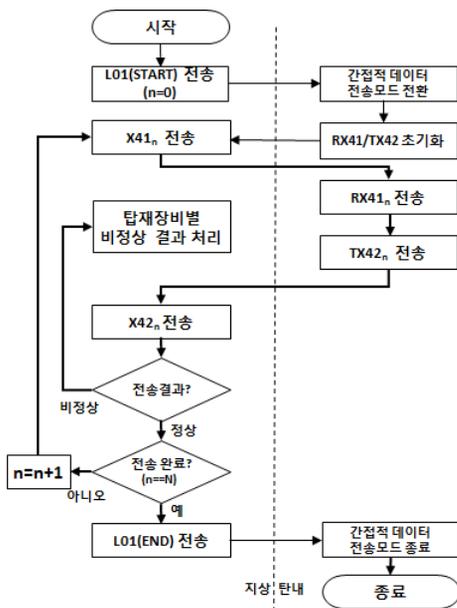


Fig. 4. IDTM implementation

3. 실험 및 결과

관성항법장치(Inertial Navigation System : INS)의 소프트웨어 업그레이드를 위해 실제 관성항법장치와 연동하여 유도조종장치의 간접적 데이터 전송모드를 실험하였다.

실험을 위해 관성항법장치뿐만 아니라 관성항법장치 점검장비에서는 간접적 데이터 전송을 위한 소프트웨어 다운로드 프로그램을 구현하였다. Table 10은 실험 결과로부터 저장된 지상 메시지의 통신시간 간격을 나타낸 것이다. 소프트웨어의 n번째 데이터 장입에서의 X41n과 X42n의 통신시간 간격은 약 8 msec이고, X41n과 X41n+1은 약 10 msec이었으며, 5 msec 통신시간 제약 사항을 고려하여 구현되었음을 알 수 있다.

Table 10. Message transfer period of INS embedded S/W downloader for IDTM

Item	Result
Time between X41n and X42n	8 msec
Time between X41n and X41n+1	10 msec

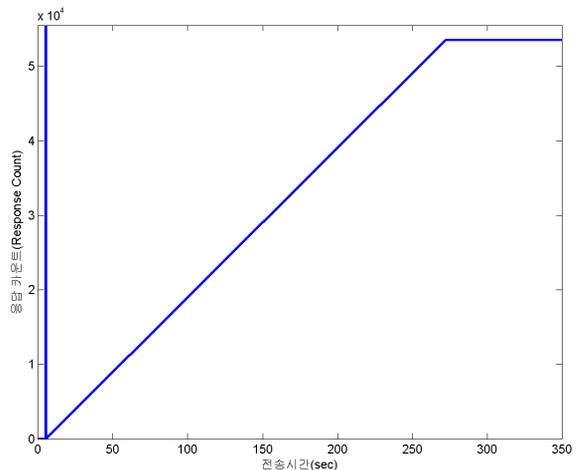


Fig. 5. Count data of X42n in INS IDTM download test

관성항법장치 소프트웨어의 전송결과는 X42 또는 RX42의 응답 카운트(response count) 값으로 확인이 가능하다. 관성항법장치 점검장비에서는 전송 및 응답 메시지의 CRC를 수행하고, 정상이면 응답 카운트를 2 증가시킨다. 따라서 그 증가 값이 2이면, 전송결과를

정상적으로 판단한다. Fig. 5는 X42 또는 RX42의 응답 카운트를 그래프로 나타낸 것이다. 응답 카운트가 증가하여 전송횟수가 27,252일 때, 응답 카운트 데이터는 54,504가 증가 되었다. X41n과 X41n+1의 전송간격 10 msec를 고려할 때, 데이터 전송시간은 약 273초가 소요되었다.

Fig. 6는 응답 카운트의 차이(response count)를 나타낸 것으로 데이터 전송구간에서 모두 2로 일정하므로, 소프트웨어 데이터는 정상적으로 전송되었다. 또한 관성항법장치의 재부팅 후 버전확인 및 BIT(Built-In-Test) 결과에서도 소프트웨어의 업그레이드가 모두 정상적으로 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

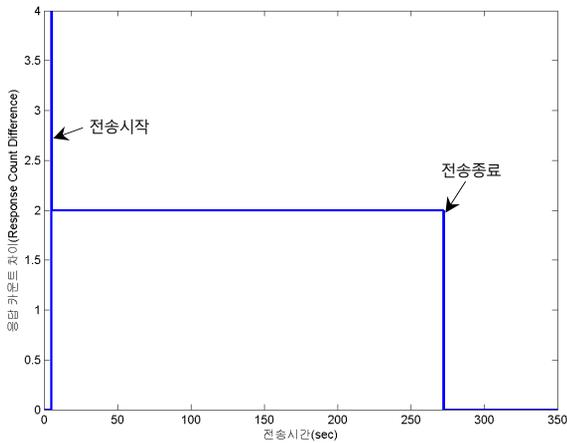


Fig. 6. Count difference data between X42n and X42n+1 in INS IDTM download test

4. 결론

완성탄 상태의 탑재장비 소프트웨어 업그레이드는 분해 후 재조립을 해야 하는 제약사항이 있다. 이를 극복하기 위해 유도조종장치에서는 업그레이드하고자 하는 탑재장비 소프트웨어의 간접적 데이터 전송 기술을 개발 적용하였으며, 관성항법장치와의 실제 실험결과에서 소프트웨어가 정상적으로 업그레이드되었음을 확인하였다. 개발된 기술의 활용성을 높이기 위해서는 유도조종장치와 통신하는 유도탄 탑재장비로의 확대 구현이 필요하다. 그리고 탑재 소프트웨어 외에 다른 목적의 데이터 전송이나 다양한 통신환경에서의 개발 및 연구가 요구된다.

References

- [1] S. Yun, et. al., "Simulated Flight Test Technique for Cruise Type Missiles," KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 49-50, Jun. 2014.
- [2] D. Woo, et. al., "Data Transmitting Apparatus of Flight System and Method Thereof," Korean Patent, 10-1244699, 2013.
- [3] "ACE Series BC/RT/MT Advanced Communication Engine Integrated 1553 Terminal User's Guide, Rev, G," ILC DATA DEVICE CORPORATION, 1997.
- [4] "MIL-STD-1553B NOTICE II," Department of Defence, Washington D.C. 20360. Sep. 1986.