

소프트웨어 기반의 GPS/WAAS 수신기 설계

*임덕원¹, 신미영², 김용현³, 박찬식⁴, 황동환⁵, 허문범⁶, 이상정⁷

¹충남대학교 전자공학과 (Tel.: 042-825-3991 E-mail: hero0710@cslab.cnu.ac.kr)

²충남대학교 전자공학과 (Tel.: 042-825-3991, E-mail: snyh@cslab.cnu.ac.kr)

³충남대학교 전자공학과 (Tel.: 042-825-3991, E-mail: shine01@cslab.cnu.ac.kr)

⁴충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 (Tel.: 043-261-3259, E-mail: chansp@chungbuk.ac.kr)

⁵충남대학교 전기정보통신공학부 (Tel.: 042-821-5670, E-mail: dhwang@cnu.ac.kr)

⁶한국항공우주연구원 위성항법그룹 (Tel.: 042-860-2266:, E-mail:hmb@kari.re.kr)

⁷충남대학교 전기정보통신공학부 (Tel.: 042-821-6582, E-mail: eesjl@cnu.ac.kr)

Abstract: 본 논문에서는 GPS와 WAAS를 동시에 수신하고 처리할 수 있는 GPS/WAAS 소프트웨어 수신기를 개발한다. WAAS는 GPS L1과 동일한 반송파 주파수와 C/A 코드, 데이터로 구성되며, 데이터 포맷이 다르므로 WAAS 데이터를 복조하기 위한 블록을 추가하여, 보정 정보와 무결성 정보, WAAS 위성의 위치 정보를 추출 및 적용한다. 본 논문에서는 보정 정보를 처리하는 블록이 추가된 GPS/WAAS 소프트웨어 수신기를 설계하여 수신기의 측위 성능 및 가용성을 높이고, 실제 측위치를 이용한 측위 실험을 통하여 그 성능을 검증한다.

Keywords: WAAS, SBAS, 보강 시스템, Fast 보정 정보, Long term 보정 정보

1. 서론

WAAS(Wide Area Augmentation System)는 미연방항공청(FAA: Federal Aviation Administration)이 북미 전역(캐나다, 멕시코 포함)에서 항공기 정밀 접근의 최소 요구 성능을 유지하기 위하여 1992년부터 개발하기 시작하여 1998년에 운용 체계를 개발하였고, 2000년에는 육상 및 해상 항법을 위한 신호로 확장되었으며 2001년부터 상업적인 WAAS 수신기가 이용되고 있다. WAAS는 3가지 주요 기능이 있다. 첫째는 무결성 기능을 부가하여 안전성을 높이는 것이다. GPS 위성이 고장을 일으키면 사용자의 안전과 직결되는 중요한 문제를 초래하기 때문에 무결성 기능이 부가된 보강 항법 시스템을 이용함으로써 위치오차가 기준치 이상으로 커질 경우 사용자에게 경고 메시지를 전송하여 그 피해를 막아준다. 둘째는 의사거리 보정 정보(PRC: Pseudo Range Correction)를 제공하여 사용자 위치 정확도를 높이는 것이며, 셋째는 GPS 신호와 유사한 측위 신호를 전송하여 사용자의 가용성(Availability)을 향상시키는 것이다. WAAS는 2007년에 FOC(Full Operational Capability)가 될 예정이며, 2013년에는 성능 향상 및 GPS 현대화에 따른 시스템 개선이 예상되므로 GPS 신호뿐만 아니라 WAAS 신호도 처리할 수 있는 수신기 개발이 필요하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선, 2장에서는 WAAS의 신호 구조를 정리하고 3장에서는 GPS/WAAS 소프트웨어 수신기의 개발 과정에 대하여 설명한다. 그런 다음, 4장에서 실험 및 성능 평가가 이루어지고 5장에서 결론을 맺는다.

2. WAAS 신호구조

WAAS 신호구조는 GPS L1 주파수 대역(1575.42Mhz)과 동일한 주파수의 반송파, 1,023칩의 C/A(Coarse/Acquisition) 코드, BPSK 변조된 데이터로 구성된다. 코드 위상 및 시각은 GPS와 동기되어 있다. C/A 코드는 G2 레지스터 지연 방법과 G2 레지스터 초기화 방법으로 생성이 가능하며, PRN에 따른 생성 파라미터 값은 표 1과 같다. 데이터는 콘볼루션

인코딩되어 500sps로 전송된다. 콘볼루션 인코더의 구조는 그림 1과 같고, K = 7, Rate = 1/2이다. 양각에 따른 WAAS 신호의 수신 전력은 그림 2와 같다.

표 1. WAAS C/A 코드 생성
Table 1. Generation of WAAS C/A CODE

PRN	G2 Delay (Chips)	Initial G2 Setting (Octal)	First 10 Chips (Octal)	Geostationary Satellite PRN Allocations
120	145	1106	0671	INMARSAT AOR-E
122	52	0267	1510	INMARSAT AOR-W
134	130	0706	1071	INMARSAT POR

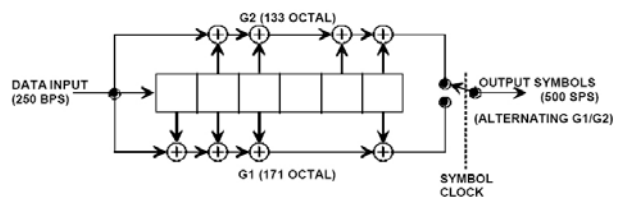


그림 1. 콘볼루션 인코더
Fig. 1 Convolution encoder

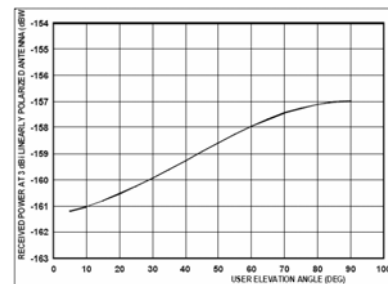


그림 2. 양각에 따른 수신 전력
Fig. 2 Received power according to the elevation angle

3. GPS/WAAS용 소프트웨어 수신기

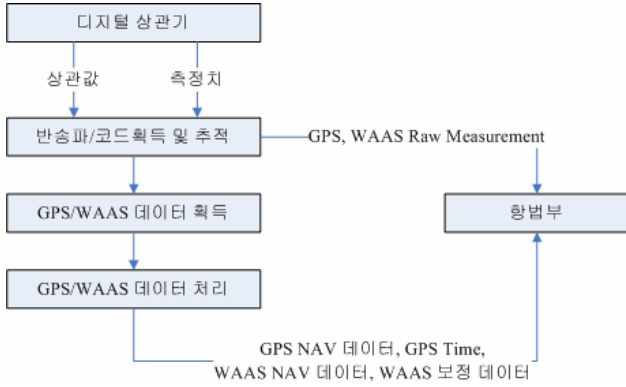


그림 3. GPS/WAAS 소프트웨어 수신기 구조
Fig. 3 Structure of GPS/WAAS software receiver

GPS/WAAS용 소프트웨어 수신기는 그림 3과 같이 디지털 상관부, 반송파와 코드 획득 및 추적부, GPS/WAAS 데이터 획득부, GPS/WAAS 데이터 처리부와 항법부로 구성된다. 디지털 상관부와 반송파/코드 획득 및 추적부, 항법부는 일반적인 GPS 소프트웨어 수신기 구조와 동일하다.

3.1 GPS/WAAS 데이터 획득부

반송파와 코드를 획득하고 추적이 수행되면 GPS는 비트 동기 및 프레임 동기 과정을 거쳐 데이터를 획득하고, WAAS는 심볼 동기 및 블록 동기 과정을 거쳐 데이터를 획득한다. 본 논문에서는 GPS 관련 수신기 구조는 생략한다.

3.1.1 WAAS 심볼 동기

WAAS는 GPS와 달리 데이터가 콘볼루션 부호화되어 있으므로 데이터 복조를 위한 Viterbi Decoder를 추가하였다. GPS는 20밀리초 마다 비트 변이가 일어나지만 WAAS는 2밀리초 마다 심볼 변이가 발생하므로 이를 고려하여 심볼 변이가 발생하는 지점에서 계수기를 증가시켜 일정한 값보다 커지면 심볼 변이가 발생했다고 판단한다.

3.1.2 WAAS 블록 동기

동기된 심볼로부터 비트를 검출하게 되면 데이터를 검출하기 위한 블록 동기를 수행한다. WAAS의 데이터 구조는 그림 4와 같이 총 250비트의 블록으로 구성되어 있으며, 데이터 전송 시간은 1초이다. WAAS의 데이터 블록은 8비트의 Preamble, 6비트의 메시지 타입 ID, 212비트의 데이터, 24비트의 패리티 비트로 구성된다. Preamble은 연속된 세 개 블록의 데이터로 구성되며, '1010011 10011010 11000110'와 같다. WAAS 수신기는 패리티 비트를 이용하여 식 1과 같이 CTC-24Q(Q for Qualcomm Corporation)구조의 CRC 체크를 수행한다. 블록 동기는 Preamble 체크와 CRC 체크 과정을 통해 이루어지며, 블록 동기가 선언되면 메시지 타입 별로 데이터를 저장한다.

$$g(X) = \sum_{i=0}^{24} g_i X^i$$

$$g_i = 1 \text{ for } i = 0, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 14, 17, 18, 23, 24$$

$$= 0 \text{ otherwise}$$

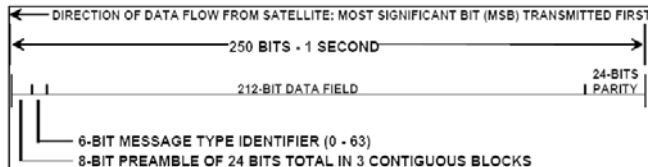


그림 4. WAAS 데이터 구조
Fig. 4 WAAS data format

3.2 GPS/WAAS 데이터 처리부

GPS 데이터로부터 위성 상태, GPS 시각 정보, 위성 궤도 정보를 추출하고, WAAS 데이터로부터 표 2와 같이 GPS 측정치 보정 정보와 이온층 보정 정보, 무결성 정보, WAAS 위성의 궤도 정보를 추출한다. GPS 측정치 보정 정보는 의사거리를 보정하는 Fast 보정 정보와 GPS 위성 위치 및 시각을 보정하는 Long term 보정 정보가 있다.

표 2. WAAS 메시지 타입
Table. 2 WAAS message types

타입	내용
0	Don't use for safety applications(for WAAS testing)
1	PRN Mask assignments, set up to 51 of 210 bits
2~5	Fast corrections
6	Interiority information
7	Fast correction degradation factor
8	Reserved for future message
9	GEO navigation message (X, Y, Z, time, ect)
10	Degradation Parameters
11	Reserved for future messages
12	WAAS Network Time / UTC offset parameters
13~16	Reserved for future messages
17	GEO almanacs message
18	Ionospheric grid point masks
19~23	Reserved for future message
24	Mixed fast corrections / Long term satellite error corrections
25	Long term satellite error corrections
26	Ionospheric delay corrections
27	Reserved (WAAS Service Message)
28	Clock-Ephemeris Covariance Matrix Message
29~61	Reserved for future messages
62	Reserved (internal Test Message)
63	Null Message

3.2.1 WAAS 데이터 구조

3.2.1.1 PRN Mask

WAAS 메시지의 1번 타입을 사용하여 PRN 1번부터 210번 중 51개의 위성을 선택한다. 이후 제공되는 보정 정보는 PRN Mask에서 선택한 51개의 위성에 대한 정보이다. 위성에 따라 할당된 PRN은 표 3과 같다.

표 3. WAAS PRN Mask 할당
Table. 3 WAAS PRN Mask assignments

위성 종류	RRN 할당
GPS/GPS Reserved	1 ~ 37
GLONASS	38 ~ 61
Future GNSS	62 ~ 119
GEO/WAAS	120 ~ 138
Future GNSS/GEO/WAAS/Pseudolites	139 ~ 210

3.2.1.2 Fast 보정 정보

Fast 보정 정보는 WAAS 메시지 타입 2번부터 5번, 24번 안에 포함되어 있으며 PRN Mask에 의해서 선택된 위성에 대한 의사거리 보정 정보(Pseudo Range Correction, PRC)를 제공한다. Fast 보정 정보는 모든 사용자에게 공통적으로 적용되는 의사거리 보정 정보이며, 스칼라 형태이다. 위성의 의사거리는 식 (2)와 같으며 의사거리율 보정 정보(Pseudo Range Rate Correction, RRC)는 식 (3)과 같다. $PR_{current}$ 와 $PR_{previous}$ 는 현재와 바로 이전의 Fast 보정 정보이고, Δt 는 보정 정보 생성 시간인 $t_{of,current}$ 와 $t_{of,previous}$ 의 차이이다.

$$PR_{corrected}(t) = PR_{measured}(t) + PRC_f(t_{of,current}) + PRC \times (t - t_{of,current}) \quad (2)$$

$$RRC(t_{of,current}) = \frac{PRC_{current} - PRC_{previous}}{\Delta t} \quad (3)$$

3.2.1.3 Long Term 보정 정보

Long Term 보정 정보는 메시지 타입 25번에 포함되어 있으며, WAAS 위성이 아닌 다른 위성의 Ephemeris와 관계된 보정 정보로서 WGS-84 좌표계 상의 위성 위치 오차, 위치 변화율 오차, 클럭 오프셋과 변화율(Drift)을 제공한다. 4차원 벡터(X, Y, Z, T) 형태로 사용자 위치에 따라 다르게 적용되며, t_k 시점에서의 위성 위치 오차와 위성 시계 오차는 식 (4), 식 (5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} \delta x_k \\ \delta y_k \\ \delta z_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta \dot{x} \\ \delta \dot{y} \\ \delta \dot{z} \end{bmatrix} (t_k - t_0) \quad (4)$$

$$\delta \Delta t_{sv}(t_k) = \delta a_{f0} + \delta a_{f1}(t_k - t_0) \quad (5)$$

3.2.1.4 이온층 보정 정보

이온층 보정 정보는 GPS L1 신호에 대해 IGP(Ionospheric Grid Points) 지점에 대한 보정값을 제공하며, 메시지 타입 18번과 메시지 타입 26번을 사용한다. 메시지 타입 18번은 IGP Mask와 Band Number를 제공하고, 메시지 타입 26번은 IGP Mask에 해당되는 15개의 IGP 수직 지연 오차 정보와 GIVEI(Grid Ionospheric Vertical Error Indicator)를 제공한다. IGP는 그림 5와 같이 전 세계를 9개(밴드 0~8)의 수직축과 2개(밴드 9~10)의 수평축으로 나눈 11개의 밴드 안에 포함되어 있다.

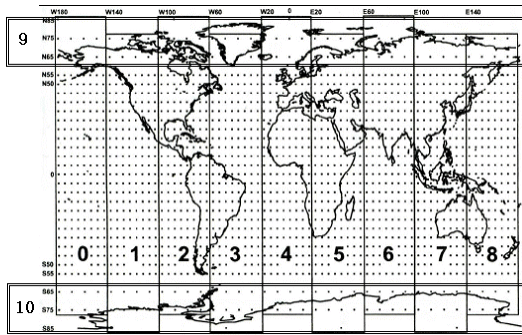


그림 5. 세계지도 상의 IGP
Fig. 5 Predefined global IGP grid

3.2.1.5 무결성 정보

무결성 정보(σ_{UDRE}^2)는 사용자 위치 계산 시 이용되는 위성의 무결성 정보를 제공한다. σ_{UDRE}^2 는 Fast 보정 정보와 Long Term 보정 정보에 대한 정확도를 나타내며, 메시지 타입 2번부터 5번, 24번, 6번에 포함되어 있는 UDREI(User Differential Range Error Indicator)에 의해 계산된다. 표 4는 UDREI와 σ_{UDRE}^2 의 관계를 나타낸다.

표 4. UDREI와 σ_{UDRE}^2 의 관계

Table. 4 Relation of the UDREI and σ_{UDRE}^2

UDREI _i	UDRE _i Meters	$\sigma_{i,UDRE}^2$
0	0.75	0.0520
1	1.00	0.0924
2	1.25	0.1444
3	1.75	0.2830
4	2.25	0.4678
5	3.00	0.8315
6	3.75	1.2992
7	4.50	1.8709
8	5.25	2.5465
9	6.00	3.3260
10	7.50	5.1968
11	15.00	20.7870
12	50.00	230.9661
13	150.00	2078.695
14	Not Monitored	Not Monitored
15	Do Not Use	Do Not Use

3.2.1.6 WAAS 위성 위치 계산

WAAS 위성의 위치 정보는 메시지 타입 134번에 포함되어 있으며, 지구 중심 고정 좌표계로 변환한 위성 위치 정보와 위성 시계 오차 정보를 제공한다. t_k 시점에서의 위성 위치 정보와 위성 시계 오차 정보는 식(6), 식(7)과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_{Gk} \\ Y_{Gk} \\ Z_{Gk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{X}_G \\ \dot{Y}_G \\ \dot{Z}_G \end{bmatrix} (t_k - t_0) + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \ddot{X}_G \\ \ddot{Y}_G \\ \ddot{Z}_G \end{bmatrix} (t_k - t_0)^2 \quad (6)$$

$$t_G(t_k) = t_G + \Delta t_G(t_k) = t_G + a_{Gf0} + a_{Gf1}(t_k - t_0) \quad (7)$$

3.2.2 WAAS 보정 정보 구현

본 논문에서는 GPS/WAAS 소프트웨어 수신기에 Fast 보정 정보와 Long term 보정 정보를 적용하였으며, 구현 순서도는 그림 6, 그림 7과 같다.

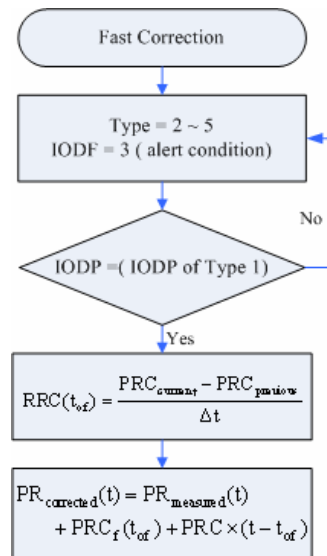


그림 6. Fast 보정 정보 구현 순서도
Fig. 6 Block diagram of fast correction

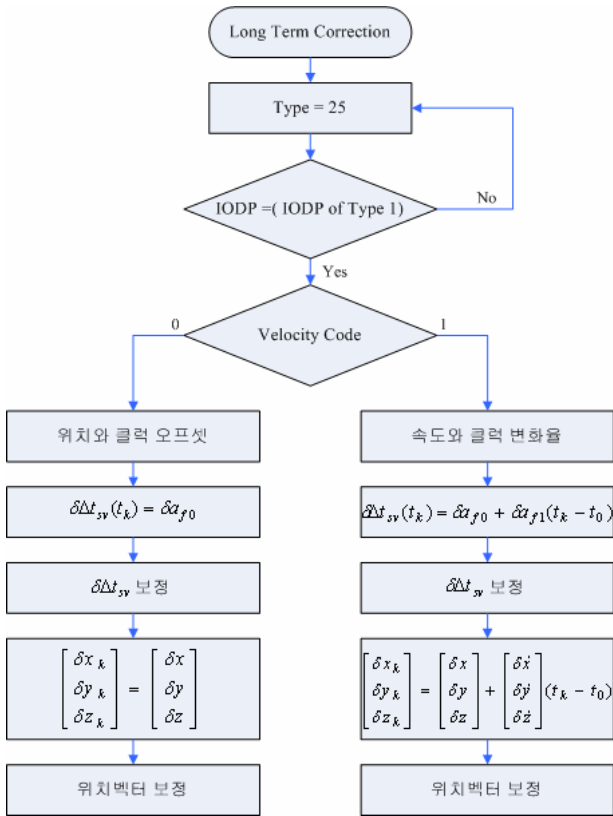


그림 7. Long term 보정 정보 구현 순서도
Fig. 7 Block diagram of long term correction

4. GPS/WAAS용 소프트웨어 수신기의 성능 평가

본 논문에서는 구현한 GPS/WAAS 소프트웨어 수신기의 성능을 평가하기 위한 목적으로 2006년 8월 30일 오전 10시에 충남대학교 공과대학 2호관 옥상에서 데이터를 수신하여 그림 8, 그림 9와 같이 GPS 위성만을 이용한 측위 결과와 WAAS의 Fast 보정 정보와 Long term 보정 정보를 이용한 측위 결과를 비교하였다. 실험 결과는 표 5에 정리하였다.

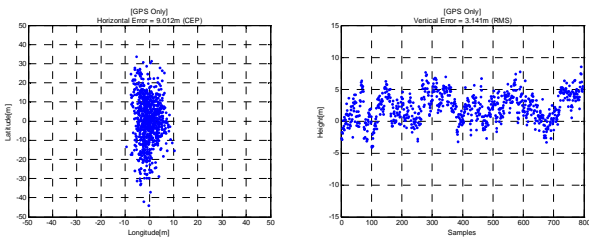


그림 8. GPS 수신기를 이용한 측위 시 위치 정확도
Fig. 8 Position accuracy using the GPS receiver

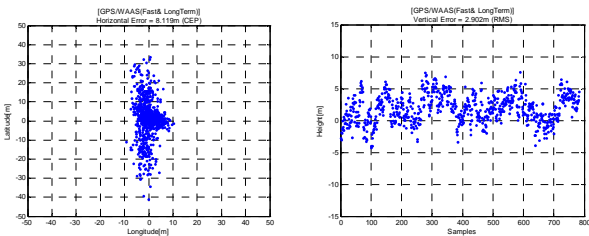


그림 9. GPS/WAAS 수신기를 이용한 측위 시 위치 정확도
Fig. 9 Position accuracy using the GPS/WAAS receiver

표 5. 위치 정확도 비교
Table. 5 Comparison of the positioning accuracy

구분	수평정확도 (CEP)	수직정확도 (RMS)
GPS	9.012m	3.141m
GPS/WAAS(Fast 보정)	8.327m	2.616m
GPS/WAAS(Long term 보정)	8.166m	2.965m
GPS/WAAS(Fast&Long term 보정)	8.119m	2.902m

표 5와 같이 WAAS를 이용하여 보정을 한 결과, GPS 위성만을 이용하여 측위를 한 것보다 수평 정확도가 1m 정도 향상된 것을 확인하였다. 정확도가 크게 향상되지 않은 것은 WAAS의 Fast 보정 정보와 Long term 보정 정보가 미국에서의 항공기 정밀 접근을 위한 목적으로 전송되는 정보이기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 GPS/WAAS용 소프트웨어 수신기를 구현하고, Fast 보정 정보와 Long term 보정 정보를 적용하는 블록을 추가하였다. 그리고 실제 측정치를 이용한 측위 실험을 통하여 GPS 신호만 사용한 경우와 WAAS 보정치를 추가로 적용한 경우에 대하여 측위 성능을 비교하였다. 실험한 결과, GPS 위성만을 사용한 경우보다 수평 정확도가 1m 정도 향상된 것을 확인할 수 있다. 측위 성능이 크게 향상되지 않은 것은 WAAS가 주로 미국에서 사용하기 위한 목적으로 구현된 보강 항법 시스템이기 때문인 것으로 판단되며, MSAS를 이용할 경우 더 나은 측위 성능을 얻을 수 있을 것으로 예측된다.

WAAS를 이용한 측위 결과가 비록 GPS만을 이용한 측위 결과보다 크게 향상되지는 않았지만 SBAS 신호의 기본 구조는 모두 동일하므로, 본 연구 결과는 우리나라와 지리적으로 근접한 일본에서 운영 중인 MSAS의 수신기에 적용이 가능하다. 또한 향후 국내에서 개발·계획 중인 보강 항법 시스템의 수신기 설계를 위한 기초 자료로 활용할 수 있으며, 현재는 Fast 보정 정보와 Long term 보정 정보에 대한 적용만 수행하였지만 이온층 보정 및 무결성 기능, 측위 기능 블록을 추가적으로 적용할 계획이다.

참고 문헌

1. E. D. Kaplan, C. J. Hegarty, *Understanding GPS Principles and Applications*. 2nd Edition, Artech House, 2005.
2. RTCA Inc. Document, *Minimum Operational Performance Standards for GPS/WAAS Airborne Equipment*. RTCA/DO-229C, 2001.
3. ICD-GPS-200C, *Interface Control Document : Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces*. U.S. DOD, IRN-200C-001, 2003.
4. FAA Document, *Specification of the Wide Area Augmentation System (WAAS)*. FAA-E-2892B, 1999.
5. 김민승, "GPS/WAAS 수신 알고리즘 설계," *충남 대학교 석사 학위 논문*, 2002.