

상시기준국을 이용한 정밀위치결정 인프라 클러스터 전국단위 설계

National-Wide NETPPI-LT Cluster Design using CORS

신미리* · 안종선 · 손은성 · 허문범
한국항공우주연구원 기술연구본부 항법기술연구실

Miri Shin* · Jongsun Ahn · Eunseong Son · Moon-Beom Heo

Navigaton R&D Division, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, 34133, Korea

[요 약]

위성항법기반 교통인프라 클러스터는 육상교통 환경의 사용자가 정밀위치결정이 가능한 위성항법 보정정보 및 무결성 정보를 방송하는 인프라이다. 이는 실제로 신뢰성 있는 차로구분이 가능한 수준의 위치 결정이 가능하도록 한다. 그러나 정밀위치결정 정보 제공 서비스를 전국에 제공하기 위하여 새로운 부지 선정 및 지역수신국 구축은 큰 비용과 상당 기간의 소요에 대한 부담이 있다. 그리하여 본 논문에서는 상시기준국을 이용하여 위성항법기반 정밀위치결정 교통인프라 (NETPPI-LT; network-based precise positioning for land transportation) 클러스터 구성 및 설계 기준을 제시하고, 이에 따라 전국단위 클러스터를 설계하여 제안하였다. 이러한 클러스터 설계안의 정밀위치결정 사전 성능을 공간이격오차 기반으로 분석하여 클러스터 설계안의 정밀위치결정 사전 성능으로 그 적합성을 검증하였다.

[Abstract]

GNSS based transport infrastructure cluster is to broadcast satellite navigation correction information and integrity information capable of precise positioning for land transport users. This makes it possible to do lane-level positioning reliably. However, in order to provide the lane-level positioning and correction information service nationwide, new station sites selection and to build GNSS stations have a heavy cost and a burden for a considerable period of time. In this paper, we propose the cluster design criteria and national-wide network-based precise positioning for land transportation (NETPPI-LT) cluster design for a cluster-based precise positioning. Furthermore, it is analyzed the precise positioning pre-performance of this cluster design based on the spatial error and verified its suitability as the precise positioning pre-performance of the cluster design.

Key word : GNSS, Lane-level positioning, CORS, Cluster, Spatial error.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.6.577>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 7 November 2018; Revised 27 November 2018
Accepted (Publication) 24 December 2018 (30 December 2018)

*Corresponding Author ; Miri Shin

Tel: +82-42-870-3987

E-mail: maryshin@kari.re.kr

I. 서론

산업 사회가 고도화되며 1970년대 초부터 세계 선진 각국에서는 교통 체증 및 교통 안정성 문제가 사회적, 경제적으로 대두되었다. 이에 따라 효율적인 교통시스템 구축에 대한 필요성이 증가하여 유럽과 미국, 일본은 지능형 교통시스템(ITS; intelligent transportation system)의 초기 연구를 시작하였으며 현재까지 연구개발 및 시험운영을 지속적으로 진행하고 있다[1],[2].

우리나라 또한 1997년 ITS 기반구축의 국가적 계획안을 수립하며, 이후 본격적으로 첨단교통시스템을 도입하고 이에 대한 연구와 개발을 시작하였다[2]. 지난 20년간 ITS 분야는 도입기와 확산기를 거쳐서 2010년 이후 성숙기에 들어섰다. 하지만 여전히 교통사고 발생으로 인한 사회적 비용이 증가함에 따라, 교통 안전과 효율성을 증대하기 위한 협력형 ITS(C-ITS; cooperative ITS) 개발과 미래교통시스템 연구가 활발하게 진행되고 있다[3].

기존의 C-ITS 서비스를 넘어 고도화된 서비스를 제공하기 위해서는 차로구분(Lane-level) 수준의 측위가 요구되며 이는 위성항법 정밀위치결정 기술을 통해 가능하다. 이러한 위성항법 기반 차로구분 수준의 정밀위치결정 기술은 정확한 신뢰성을 기반으로 미래교통시스템인 U-Transportation의 자율주행, 군집주행, 충돌회피, 차로별 차량 통제에 활용될 수 있다[4].

또 다수의 위성항법 수신국 데이터를 이용한 네트워크 실시간이동측위(RTK; real time kinematic)를 통해 차로구분 수준의 정밀위치결정 기술이 구현될 수 있다[4],[5]. 결국 수많은 육상교통 사용자의 차로구분 수준의 정밀위치결정을 위해서는 다수의 위성항법 수신국으로 구성된 클러스터 인프라와 정밀위치결정이 가능한 사용자 단말기가 필요하다[4].

본 논문에서는 우리나라의 상시기준국(CORS; continuously operation reference stations)을 활용하여 전국에 위와 같은 차로구분 수준의 정밀위치결정 서비스가 가능하도록 다수의 인프라 클러스터를 효율적으로 설계하고 정밀위치결정 사전 성능 분석을 통해 차로구분 정밀위치결정 클러스터(이하 클러스터)를 검증하였다.

II. 전국 클러스터 설계

2-1 상시기준국 후보군

전국단위의 위성항법 수신국 클러스터 구축을 위하여 새로운 부지 선정 및 수신국 개발은 경제적으로 큰 예산이 소요될 뿐만 아니라, 상당 기간의 시간을 소요해야 한다는 부담이 있는 것이 사실이다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 전국에 이미 구축되어 있는 국가기반시설인 상시기준국을 활용하여 전국단위 클러스터를 설계하고, 이를 기반으로 각 상시기준국에서 제

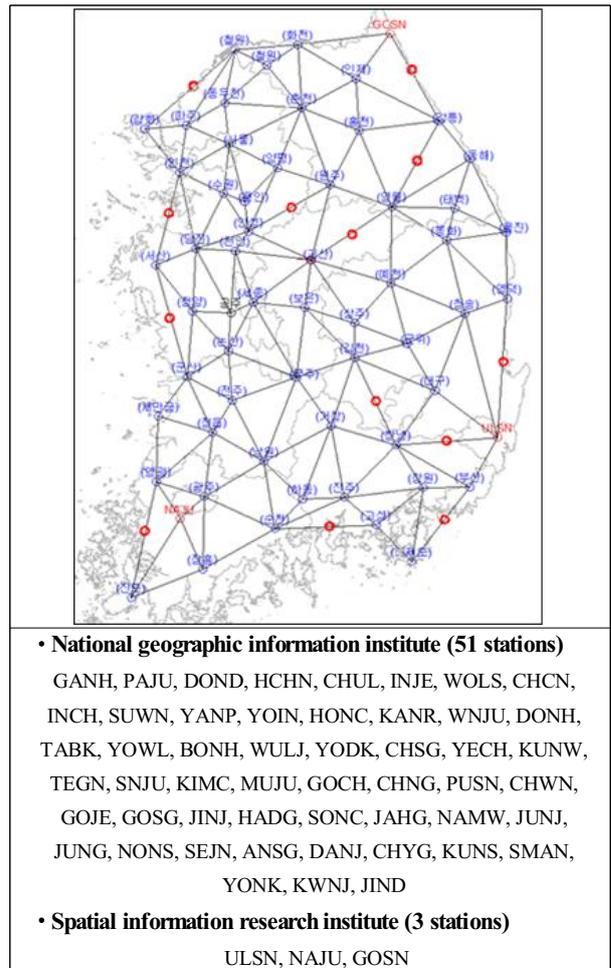


그림 1. 전국단위 클러스터 설계를 위한 상시기준국 후보
 Fig. 1. CORS candidates for national wide cluster design.

공되는 RINEX 후처리 데이터를 이용한 사전 성능분석을 진행하였다. 이 중 클러스터 설계를 위하여 현재 반송파 측정치가 기반의 RTK 서비스를 제공하는 곳을 기반으로, UNAVCO에서 제공하는 소프트웨어인 TEQC (translation, editing and quality checking)를 이용한 데이터 품질 기초 분석에서 데이터 취득률 95%, 이상 멀티패스오차 평균 0.45m 이하, 사이클슬립 발생률 0.1% [6]이하인 곳을 그림 1과 같이 선정하였다.

2-2 전국단위 클러스터 주요 설계 기준 및 설계(안)

정밀위치결정 기술은 C-ITS 서비스에 적용될 경우, 정밀한 차간 거리 정보를 통해 교통사고감소에 대한 효과를 기대할 수 있다. 그러므로 클러스터 설계는 국내 C-ITS 인프라 구축계획[7]과 단말기 보급방안 연구[8]를 반영하여 고속도로 중심의 클러스터 설계를 진행하였다. 특히 주요 고속도로의 사고 통계를 반영하여 교통사고감소 효과가 클 것으로 예상되는 고속도로를 선정하였다.

주요 고속도로의 사고량 통계치는 표 1과 같다. 여기서 대물피해환산법(EPDO; equivalent property damage only)은 교통사고 유형을 대물피해 기준으로 환산하는 방법[9]-[10]으로 식 (1)과 같이 계산할 수 있으며, 주요 고속도로 중 상대적인 교통사고 피해 크기를 확인하는데 사용하였다.

$$EPDO = 12 \times (\text{사망자수}) + 3 \times (\text{부상자수}) + 1 \times (\text{사고건수}) \quad (1)$$

EPDO가 가장 큰 노선은 경부고속도로이며, 이것은 곧 이 노선에서 교통사고로 인한 사회적 비용이 가장 크다는 것을 의미한다. 그러므로 그림 2와 같이 경부고속도로를 1단계 클러스터 설계 범위로 삼고, 2단계 설계에서 이를 중심으로 전국망이 퍼져가는 형태로 설계하였다.

클러스터 하나를 구성할 때 기본 조건은 3개 이상의 수신국이 필요하며, 주수신국과 부수신국의 기선이 70km 이하여야 한다. 또 전국망 클러스터 설계의 조건은 클러스터 핸드오버 횟수를 최소화 하는 것과 고속도로의 EPDO와 클러스터 수신국 개수의 밀도가 비례하도록 설계 하는 것이다. 여기서 클러스터 핸드오버란 사용자가 활용 클러스터를 변경하는 것을 의미하며, 핸드오버의 횟수가 최소화 될수록 전국망의 안전성 및 효율성이 높아질 수 있다.

설계된 전국망 클러스터(안)는 그림 2와 같다. 여기서 상시 기준국은 노란색 원, 기구축 수신국은 파란색 사각형, 신규로 기준국인 필요한 부분은 빨간색 원으로 표시하였다. 기구축 수신국(이하 KARI 수신국)과 클러스터는 차로구분 정밀위치결정 교통인프라 기술 실용화 연구(주관기관: 한국항공우주연구원, 기간: 2016년 4월 28일 ~ 2018년 12월 31일)에서 개발된 수신기와 클러스터를 의미한다.

그림 2에서 파란색으로 표시된 기구축 클러스터는 현재 차로구분 수준의 정밀위치결정 시험방송 및 운영평가가 진행 중에 있으며, 2단계 설계에서 기구축 클러스터 4개와 상시기준국

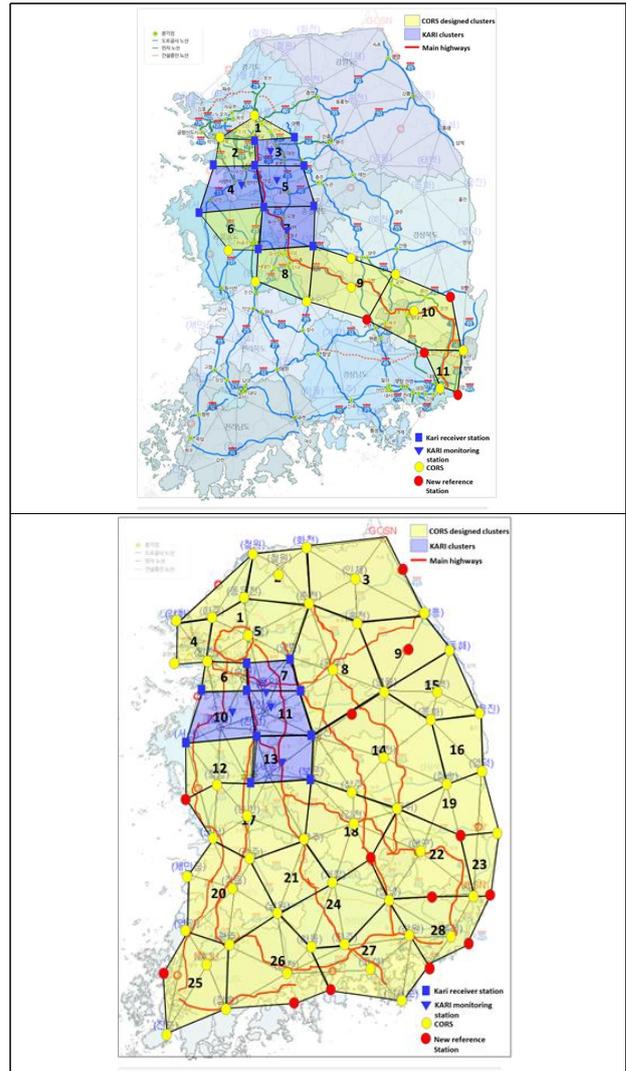


그림 2. 클러스터 설계 지도(위: 1단계, 아래: 2단계)
Fig. 2. Cluster design map (above: step 1, below: step 2).

및 신규 기준국으로 구성된 클러스터 24개로 설계안을 도출하였다. 또, 그림 2의 2단계 설계에서 EPDO에 따라 EPDO가 높은 지역인 4-7번 클러스터는 면적대비 수신국 개수가 많고, 반대로 EPDO가 낮은 지역인 3번, 14번 클러스터의 경우 면적대비 수신국 개수를 적게 하여 EPDO와 클러스터 수신국 밀도가 비례하도록 설계한 것을 확인할 수 있다.

III. 클러스터 설계 검증을 위한 사전 성능 분석

3-1 클러스터 사전 성능 분석 알고리즘

2장에서 설계된 클러스터의 정밀위치결정 성능 검증을 위하여, 클러스터 사전 성능분석을 수행하였다. 성능분석 방법은 현재 위성항법 데이터 수신 가능한 기구축 수신국과 상

표 1. 2016년 국내고속도로 사고 통계
Table 1. National highway accident statistics for 2016.

Route name	Number of accidents	Number of deaths	Number of the injured	EPDO
Gyungbu	1069	53	2951	10558
Seoul outer cycle	669	16	1273	4680
Youngdong	512	15	1430	4982
Seohaean	310	28	726	2824
Jungang	199	21	504	1963
Honam	185	14	456	1721
Jungbu	162	23	399	1635
Jungbu naeryuk	157	29	402	1711
Namhae	149	17	278	1187
Total	3412	216	8419	31261

시기준국 데이터를 이용하여 클러스터의 ‘공간이격 오차’를 계산한다. 이를 위치도메인에 투영시켜 예상위치오차를 구한다. 이를 차로구분 정밀위치결정 수준의 사용자 위치결정 오차 한계치와 가용성 기준을 활용하여 분석하였다. 사용자 위치결정 오차 한계치와 가용성 기준은 3-2절에서 소개한다.

본 논문에서는 논문[11]에서 제안하는 알고리즘을 활용하여 클러스터 사전 성능을 계산하고 이를 차로구분 정밀위치 기준에 적합하지 분석한다.

성능 분석에 사용된 공간이격 오차는 그림 3과 같이 반송파 측정치에 실제 기하거리, 위성시계오차, 시계바이어스, 초기 미지정수를 차분하고 나머지 잔여 바이어스는 코드기반으로 계산한 공간이격오차를 차분하여 남은 반송파 잔차로 구할 수 있다. 최종적으로 반송파 기반 공간이격오차를 위치도메인에 투영시켜 예상위치오차를 확인할 수 있다. 클러스터 사전 성능분석에서는 위와 같이 구해진 위치예상오차를 가지고 클러스터의 사전 성능을 확인하였다.

구체적으로 아래와 같이 알고리즘을 설명 할 수 있다. 코드 및 반송파 측정치는 각각 식 (2), (3) 와 같다.

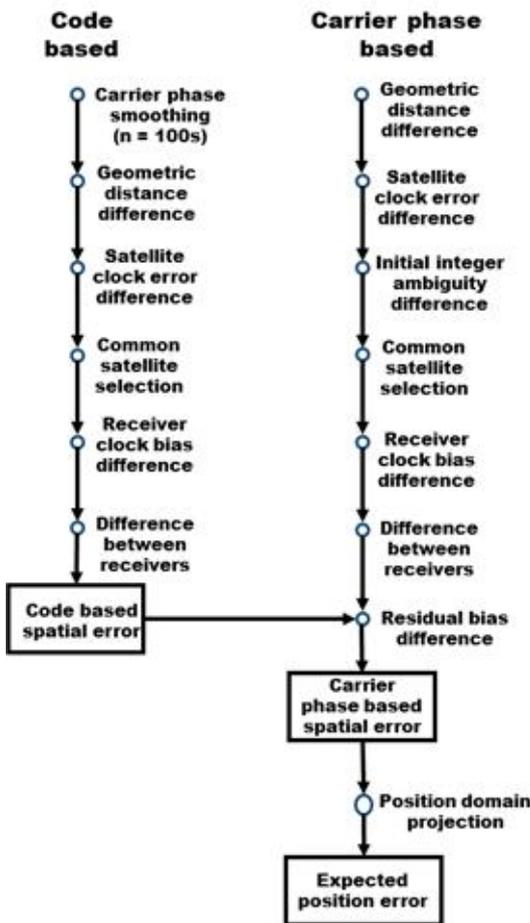


그림 3. 클러스터 사전 성능 분석 알고리즘
Fig. 3. Cluster pre-performance analysis algorithm.

$$\rho = r + c(b_u - B^s) + I + T + M + \epsilon_p \tag{2}$$

$$\phi = r + c(b_u - B^s) - I + T + N\lambda + \epsilon_\phi \tag{3}$$

여기서 ρ 는 코드 측정치이며, ϕ 는 반송파 측정치이다. 또, r 은 위성-수신기 간 거리이며, b_u 는 수신기 시계 바이어스, B^s 는 위성 시계 바이어스, I 는 이온층 지연, T 는 대류층 지연, M 은 다중경로 오차, N 는 미지정수, λ 는 반송파의 파장, ϵ_p , ϵ_ϕ 는 각각 나머지 코드, 반송파 측정치 오차이다.

코드 측정치의 경우, 식 (4)과 같이 반송파를 이용하여 스무딩을 먼저 진행하고 이후 알고리즘을 이어간다.

$$\rho_{s,m,n}(k) = \frac{1}{N_s} \rho_{m,n}(k) - \frac{N_s - 1}{N_s} (\rho_{s,m,n}(k-1) + \phi_{m,n}(k) - \phi_{m,n}(k-1)) \tag{4}$$

여기서 $\rho_{m,n}(k)$, $\phi_{m,n}(k)$ 은 각각 수신기 m 과 위성 n 의 k 번째 코드, 반송파 측정치이며, N_s 는 스무딩 데이터 개수, $\rho_{s,m,n}(k)$ 는 위와 같이 반송파 스무딩된 코드 값이다.

다음으로 코드와 반송파의 보정정보를 얻기 위하여, 기하거리, 위성시계오차를 차분하는 과정으로 식 (5), (6) 과 같다. 반송파의 경우 초기 미지정수도 차분한다.

$$\rho_{sc,m,n}(k) = \rho_{s,m,n}(k) - R_{m,n}(k) - \tau_{m,n}(k) \tag{5}$$

$$\phi_{c,m,n}(k) = \phi_{m,n}(k) - R_{m,n}(k) - \tau_{m,n}(k) - \phi_{ci,m,n}(0) \tag{6}$$

여기서 $\rho_{s,m,n}(k)$ 는 식 (4)의 연산을 통해 나온 결과이며, $R_{m,n}(k)$ 는 실제 기하거리, $\tau_{m,n}(k)$ 는 위성시계 보정값이며, $\phi_{ci,m,n}(k)$ 는 $\phi_{m,n}(0) - R_{m,n}(0) - \tau_{m,n}(0)$ 으로 초기 미지정수를 $\phi_{m,n}(k)$ 에서 차분해 준다.

다음으로 수신기 시계바이어스 보정은 식 (7), (8) 과 같이 계산된다.

$$\rho_{sca,m,n}(k) = \rho_{sc,m,n}(k) - \frac{1}{N_c(k)} \sum_{j \in S_c(k)} \rho_{sc,m,j}(k) \tag{7}$$

$$\phi_{ca,m,n}(k) = \phi_{c,m,n}(k) - \frac{1}{N_c(k)} \sum_{j \in S_c(k)} \phi_{c,m,j}(k) \tag{8}$$

여기서 $N_c(k)$ 는 k 번째 에폭에서 가용한 위성의 개수이며, $\sum_{j \in S_c(k)} \rho_{sc,m,j}(k)$ 는 k 번째 에폭에서 가용한 모든 위성($j \in S_c(k)$) 의 식(5)의 결과 값을 합해준 값이다. $\sum_{j \in S_c(k)} \phi_{c,m,j}(k)$ 도 반송파에 대하여 동일한 연산이 적용된다.

$$\rho_{scad,m,q,n}(k) = \rho_{sca,m,n}(k) - \rho_{sca,q,n}(k) \tag{9}$$

$$\phi_{cad,m,q,n}(k) = \phi_{ca,m,n}(k) - \phi_{ca,q,n}(k) \tag{10}$$

마지막으로 클러스터는 각각 다른 지역에 설치된 3~4기의 수신기의 측정값을 수신할 수 있으므로, 주 수신국 m 의 코드 및 반송파 보정 값에서 부 수신국 q 의 코드 반송파 보정 값을 식 (9), (10) 와 같이 차분하여 수신기 간의 차분이 이루어진다. 여기서 주 수신국은 클러스터의 수신국 중 하나의 수신국으로 선정되며, 부 수신국은 나머지 수신국들을 의미한다.

식 (9), (10)에서 최종 생성된 코드, 반송파 보정정보는 식 (11)에서 차분하여, 반송파기반 공간이격오차를 생성할 수 있다.

$$\phi_{cadp,mq,n}(k) = \phi_{cad,mq,n}(k) - \rho_{scad,mq,n}(k) \quad (11)$$

$$PL = (H^T H)^{-1} H^T \cdot \phi_{cadp,mq,n}(k) \quad (12)$$

식 (11)에서 구해진 반송파기반 공간이격오차에 관측 행렬 H 의 의사역행렬을 곱하면 식 (12)과 같이 공간이격오차를 위치 도메인으로 투영하여 사용자의 예상위치오차를 구하였다.

3-2 정밀위치결정 사용자 성능 수준

3-1절에서 계산된 예상위치오차는 차로구분 수준의 정밀위치결정 시스템의 사용자 위치결정 오차 허용치와 가용성을 만족시키는지 확인함으로써 설계된 클러스터의 후처리 데이터를 통한 사전 성능을 확인할 수 있다.

정밀위치결정 시스템의 사용자 위치결정 오차 한계 허용치는 1.5m 이며[12] 위치결정 가용성은 식 (13)와 같이 정의 된다.

$$P_A = \frac{N(\|p_k - \hat{p}_k\| \leq PL < 1.5m)}{K} \times 100 \quad (13)$$

여기서 $\|p_k - \hat{p}_k\|$ 는 사용자 k 번째 데이터의 실제 위치오차이며, PL 는 사용자 위치결정 수평 오차 예측치인 수평 보호수준이다. 위치결정 가용성은 사용자 시스템의 위치결정 정확성과 무결성 ($\|p_k - \hat{p}_k\| \leq PL$) 조건이 만족할 확률로 정의하며, 가용성 만족여부는 수평 보호수준이 위치결정 오차를 포함하며, 수평 보호수준이 한계치인 1.5m를 초과하지 않는 상황을 나타낸다. 이러한 사용자 가용성은 92% 이상이어야 한다[13].

표 2. 주수신국과 부수신국 사이의 기거거리 (*KARI 수신국)

Table 2. Distances between primary station and secondary station (*KARI station).

Master station	Sub station	Distance (m)
SOUL	DOND	31,642
	PAJU	34,819
	INCH	42,571
	CHCN	60,738
	NYJM*	40,355
	CNTM*	28,067
NAMW	JUNJ	52,297
	MUJU	68,703
	GOCH	56,557

$$P_A = \frac{N(PL < 1.5m)}{K} \times 100 \quad (14)$$

다만 본 논문에서는 사용자 시스템의 위치결정 무결성에 대한 평가가 어려우므로, 식 (14)과 같이 정확성을 기반으로 가용성을 판단한다. 즉 위치결정 오차 한계 값인 1.5m 를 넘지 않는 경우가 92% 이상이면 가용성 성능 수준을 만족한다고 볼 수 있다.

3-3 전국 클러스터 설계 검증을 위한 사전 성능 분석 결과

이 절에서는 3-1절에서 설명한 클러스터 사전 성능 분석 알고리즘으로 계산된 공간이격오차와 예상위치오차 결과를 확인하고, 3-2절의 정밀위치결정 성능 수준을 만족시키는지 검증한다. 여기서 분석 데이터는 각 상시수신국에 해당하는 2018년 3월 13일 00시~24시의 RINEX 데이터를 GNSS 데이터 통합센터 (<http://www.gnssdata.or.kr>) 에서 제공받았으며, KARI 수신국의 경우 동일 시간의 Novatel 수신기 데이터를 이용하였다.

먼저 그림 4에서 서울(수신국ID: SOUL)을 주수신국으로 하

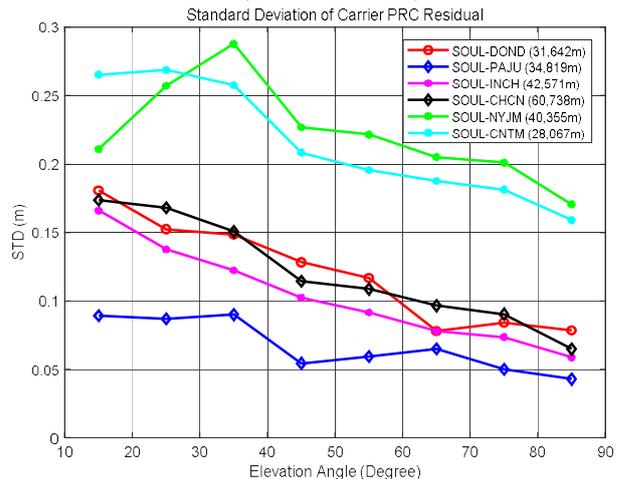


그림 5. [서울 클러스터] 앙각에 따른 공간이격오차

Fig. 5. [Seoul cluster] spatial error of each receiver according to elevation angle.

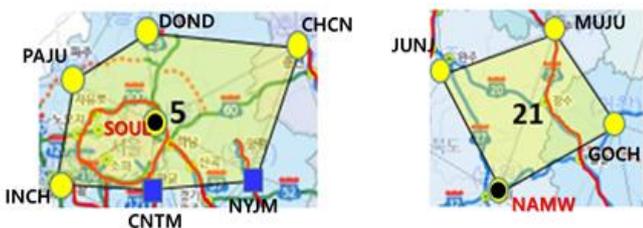


그림 4. 클러스터 구성 지도 (좌: 서울, 우: 남원)

Fig. 4. Cluster configuration map (left: SOUL, right: NAMW).

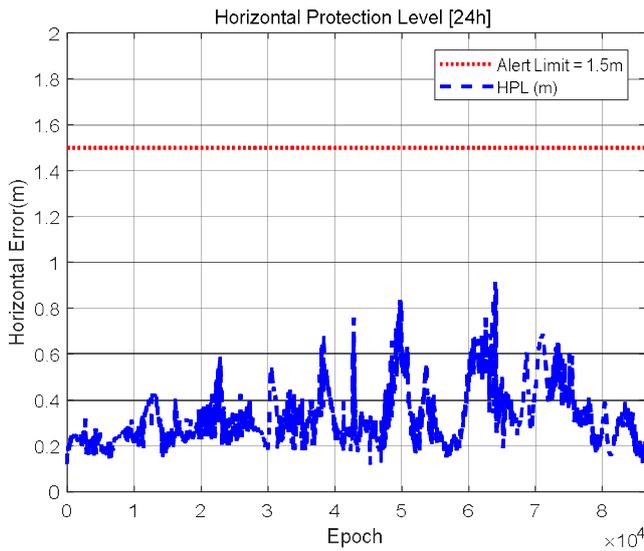


그림 6. [서울 클러스터] 예상 위치오차
 Fig. 6. [Seoul cluster] expected position error.

는 클러스터(이하 서울 클러스터)와 남원(수신국ID: NAMW)을 주수신국으로 하는 클러스터(이하 남원 클러스터)의 성능분석 결과를 그림 5~8에서 확인할 수 있다. 또한 이 클러스터에서 주수신국과 부수신국들 사이의 기하거리는 표 2와 같다.

그림 5는 서울 클러스터의 양각에 따른 공간이격오차 결과를 나타낸 그래프이다. 총 6개의 그래프는 주수신국인 서울(SOUL)과 각각의 부수신국인 동두천(DOND), 파주(PAJU), 인천(INCH), 춘천(CHCN), 북여주(NYJM), 성남(CNTM) 수신국과의 공간이격오차으로 식 (10)의 계산 결과이다. SOUL-DOND, SOUL-PAJU, SOUL-INCH, SOUL-CHCN의 공간이격오차는 0.2 m 이하의 값을 갖는다.

그림 6은 그림 5의 공간이격오차 결과를 식 (11)과 같이 위치

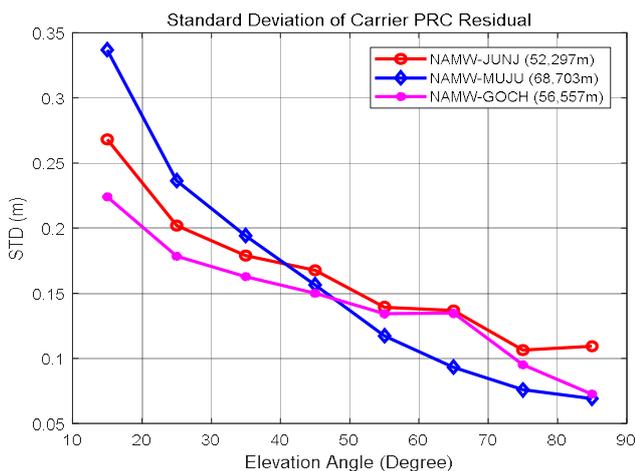


그림 7. [남원 클러스터] 양각에 따른 공간이격오차
 Fig. 7. [Namwon cluster] spatial error of each receiver according to elevation angle.

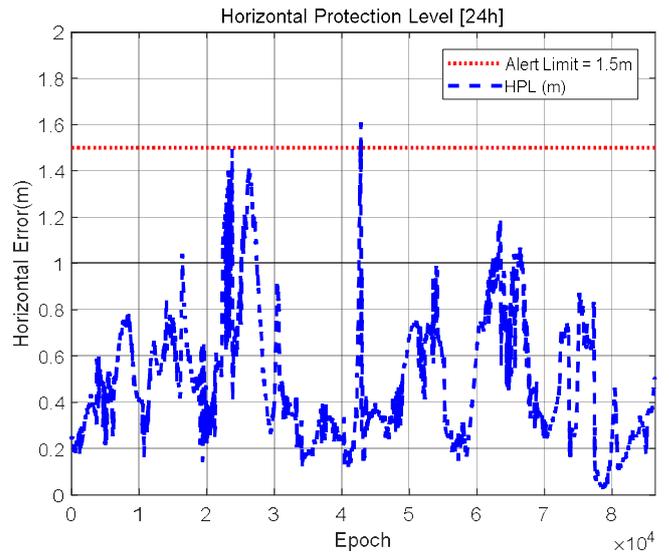


그림 8. [남원 클러스터] 예상 위치오차
 Fig. 8. [Namwon cluster] expected position error.

도메인에 투영한 예상 위치오차 결과이다. 구체적으로 3-2절에서 설명한 차로구분 수준 정밀위치결정 최대 오차 허용치인 1.5m 정확도를 기준으로 서울 클러스터의 하루 데이터를 분석한 결과이다. 여기서 예상 위치오차는 최대 1m를 넘지 않는 것을 확인하였다. 그러므로 최대 오차 허용치를 넘는 값이 없으므로 서울 클러스터의 가용성은 100%이다.

그림 7-8은 남원 클러스터의 공간이격오차와 예상 위치오차 결과이다. 중부(통영대전)고속도로가 지나가는 남원 클러스터는 경부고속도로와 서울외곽순환도로가 포함되는 서울 클러스터의 EPDO가 낮다. 그러므로 클러스터 설계 기준인 EPDO와 수신국 밀도 비례하도록 설계되어, 표 2에서 확인할 수 있듯이 주수신국과 부수신국의 거리가 멀다.

남원 클러스터의 공간이격오차는 그림 7에서와 같이 최저양각일 때 0.2~0.35 m 사이의 값을 갖는다. 최고양각일 때 0.05~0.15m 사이의 값을 갖는다. 이것은 서울 클러스터의 결과보다 공간이격오차가 전체적으로 0.05 m 정도 큰 결과임을 확인하였다.

그림 8에서 남원 클러스터의 예상 위치오차는 최대 오차 허용치인 1.5m를 넘는 값이 있는 것을 볼 수 있다. 이에 대하여 가용성을 계산한 결과, 남원 클러스터의 가용성은 99.98%이다.

위의 두 클러스터 성능 분석 방법과 같이 예상위치오차를 통해 가용성을 구하면 표 3과 같다. 2장에서 설계된 클러스터 구성 중 신규 수신국의 경우, 현재 분석에 사용할 수 있는 데이터가 없으므로 현재 데이터 사용이 가능한 상시기준국과 기구측 수신국만을 이용하여 클러스터 성능을 분석하였다. 표 3에서 클러스터 가용성 최하값은 93.63% (클러스터 11번)이며, 가용성 최고값은 다수의 클러스터가 100%의 결과를 나타냈다. 이러한 사전 성능 분석 방법의 결과로 볼 때 2장에서 설계된 클러스터 전국망의 각 클러스터는 모두 차로구분 수준의 정밀위치결정의 가용성 성능을 만족시키는 것을 확인할 수 있다.

그러나 3-2절에서 언급한 바와 같이 사전 클러스터 성능분

표 3. 클러스터 수신국 구성 및 가용성 사전 성능 결과
Table 3. Cluster station configuration and availability pre-performance results.

Number	Master station	Sub station	Availability (%)
1	DOND	PAJU, GANH, CHWN	100
2	CHWN	DOND, CHCN, HCHN	100
3	INJE	HCHN, CHCN, HONC, KANR	100
4	GANH	PAJU, INCH	100
5	SOUL	PAJU, DOND, CHCN, NYJM*, CNTM*, INCH	100
6	INCH	CNTM*, WHSM*, OSNM*	99.62
7	OSNM*	CNTM*, NYJM*, YJTM*	99.12
8	WNJU	CHCN, YANP, YJTM*, GSAN, YOWL, HOCH	99.55
9	HONC	KANR, DONH, YOWL	100
10	OSNM*	WHSM*, CHAM*, SSNM*	99.01
11	CHAM*	GSNM*, BONM*, GNJM*	93.63
12	CHYG	GNJM*, SEOS, ANSG	95.05
13	CHAM*	GSNM*, BONM*, GNJM*	100
14	YECH	GSAN, BOEN, SNJU, KUNW, CHSG, BONH, YOWL	100
15	TABK	YOWL, DONH, WULJ, BONH	97.72
16	BONH	CHSG, WULJ, YODK	95.62
17	NONS	CHYG, KUNS, JUNJ, MUJU, BONM*, GNJM*	99.38
18	KIMC	BONM*, SNJU, KUNW, GOCH, MUJU	100
19	CHSG	KUNW, YODK	95.63
20	JUNG	YONK, SMAN, KUSN, JUNJ, NAMW, KWNJ	99.04
21	NAMW	JUNJ, MUJU, GOCH	99.99
22	TEGN	CHNG, KUNW	96.82
23	(New)	(*composition of new stations)	-
24	GOCH	NAMW, HADG, JINJ, CHNG	99.85
25	NAJU	JIND, JAHG, KWNJ, YONK	95.35
26	SONC	JAHG, KWNJ, NAMW, HADG	100
27	GOSG	HADG, JINJ, CHWN, GOJE	100
28	PUSN	CHWN, CHNG	100

※ (STATION NAME)* is the KARI receiver station.

석에서 무결성 정보를 확인할 수 없으므로, 여기서 가용성은 차로구분 정확도 1.5 m 를 넘지 않는 횟수라 할 수 있다. 또 사전 성능 분석은 클러스터 설계에 대한 후처리 데이터의 공간이격 오차를 기반으로 한 클러스터의 수준 평가에 의미가 있다. 그렇기 때문에 향후 상시기준국 클러스터 기반 사용자 정밀위치결정 인프라 개발 시, 클러스터의 장시간 데이터 성능 분석과 실

시간 동적 데이터를 기반으로 한 성능 분석이 요구된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 전국에 차로구분 수준의 정밀위치결정 서비스가 가능하도록 상시기준국을 활용하여 차로구분 정밀위치결정 클러스터를 설계안을 제시하고 설계된 클러스터 각각의 정확도, 가용성을 분석하였다.

상시기준국을 이용한 전국 클러스터 설계에서는 데이터 품질 검사를 통해 선정된 상시기준국 후보를 활용하였으며, 교통사고감소가 가장 효과적으로 적용될 수 있는 고속도로 중심의 클러스터 설계를 진행하였다. 주요 고속도로 중 상대적인 EPDO를 활용해 경부고속도로를 선정하고 이를 중심으로 1단계 설계를 진행하였다. 최종적으로 클러스터 구성 조건과 설계 조건을 적용시켜 전국망 클러스터를 설계하였다.

이에 대한 차로구분 수준의 정밀위치결정 사전 성능에 대한 검증 및 분석을 위해 3-1절에서 설명한 공간이격오차와 예상위치오차를 정밀위치결정 사용자 성능 수준에 적용하여 정확성, 가용성 성능 분석 지표로 사용하였다. 그 결과 2장에서 설계된 전국망 클러스터 모두 가용성 92%를 넘는 것으로 확인하였고, 이것은 정확성 1.5 m를 기반으로 하여 계산되는 지표이므로 차로구분수준의 정밀위치 결정에서 요구되는 정확성과 가용성의 사전 성능을 만족한다고 판단할 수 있다.

이를 통해 본 논문에서는 상시기준국을 활용한 차로구분 정밀위치결정 서비스 가능 클러스터 전국망 설계안을 제안하였고, 이를 공간이격오차 기반으로 사전 성능을 확인하였다.

향후 상시기준국 클러스터 인프라 개발을 위해서는 클러스터의 장시간 데이터 성능분석과 실시간 동적 데이터 기반 성능 분석이 필요할 것이다.

Acknowledgments

본 연구는 2018년 국토교통부 교통물류연구사업 (18TLRP-C113269-03)의 연구비지원에 의하여 수행되었습니다.

References

[1] H. D. Moon, Y. C. Lee, and D. I. Lee, "A study on worldwide & Korea market trends of intelligent transportation system," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 17, No. 6, pp. 48-58, Dec. 2002

[2] H. J. Lee, "A study on ITS in domestics and advanced countries," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 13, No. 2, pp. 58-68, Apr. 1999

- [3] S. H. Lee, D. S. Oh, J. H. Seo, J. Y. Yoon, C. H. Choi, and S. C. Yoon, Establishment of intelligent transport systems (ITS), Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Republic of Korea, Government Publications Registration Number 11-1051000-000460-01, 2014.
- [4] E. S. Lee, J. I. Park, S. H. Lim, M. B. Heo, and C. H. Yeom, "Technical trend for performance improvement of GNSS based positioning in Land transportation environment," *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, Vol. 10, No.1, pp. 179-195, Jul. 2012
- [5] S. Stephenson, X. Meng, T. Moore, A. Baxendale, and T. Edwards (2013, February). Network RTK for Intelligent Vehicles, GPS World [Internet]. Available: <http://gpsworld.com/network-rtk-for-intelligent-vehicles/>.
- [6] J. S. Hwang, H. G. Kim, H. S. Yun, and J. M. Cho, "Standardization of data quality and management regulation for Korean CORS," *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 33, No.4, pp 245- 258, Aug. 2015
- [7] Cooperative Intelligent Transport Systems by Ministry of Land, Infrastructure and Transport & Korea Express Cooperation [Internet]. Available: <https://www.c-its.kr/introduction/history.do>
- [8] K. P. Kang, G. S. Hong, J. H. Lee, S. K. Jo, H. B. Jung and J. M. Kim (2013, October). C-ITS Technical Trends and Study on Domestic Instruction Plan. The Korea Transport Institute, pp. 449-480. [Internet]. Available: <http://www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView.do?dbt=TRKO&cn=TRKO201600014224&rn=&url=&pageCode=PG18>
- [9] J. K. Lim, J. H. Sul, J. U. Park, N. M. Sung, J. S. Choi, and J. W. Hyun, Effects and improvements on highway safety projects in Korea, The Korea Transport Institute, Republic of Korea, Basic-RR-16-07, Nov. 2016.
- [10] K. H. Kim and B. H. Park, "Developing the traffic accident severity models by vehicle type," *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 25, No. 3, pp. 131-136, Apr. 2010
- [11] G. Xie, Optimal On-airport monitoring of the integrity of GPS-based landing systems, Ph.D. dissertation, Stanford University, San Francisco, CA, March 2004.
- [12] M. H. Son, E. S. Son, E. S. Lee, M. B. Heo, and G. W. Nam, "Configuration of network based GNSS correction system for land transportation navigation," *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 21, No.4, pp 17-26, Dec. 2012.



신 미 리 (Miri Shin)

2011년 2월: 전북대학교 항공우주공학과 (공학사)
 2013년 2월: 서울대학교 기계항공공학부 항공전공 (공학석사)
 2014년 2월~현재: 한국항공우주연구원 항법기술연구실 연구원
 ※ 관심분야: 위성항법, 정밀항법



안 종 선 (Jongsun Ahn)

2007년 2월: 건국대학교 기계항공공학부 (공학사)
 2009년 2월: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 (공학석사)
 2015년 8월: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 (공학박사)
 2015년 9월~2016년 12월 : 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 박사후 연수연구원
 2016년 12월~현재: 한국항공우주연구원 항법기술연구실 선임연구원
 ※ 관심분야: 위성항법, 정밀항법, 무결성



손 은 성 (Eunseong Son)

2010년 2월: 인화대학교 지리정보공학과 (공학사)
 2013년 2월: 인화대학교 지리정보공학과 (공학석사)
 2012년 12월~현재: 한국항공우주연구원 항법기술연구실 선임연구원
 ※ 관심분야: GNSS 데이터 이상 검출, 미지정수 결정, 정밀측위



허 문 범 (Moon-Beom Heo)

1992년 2월: 경희대학교 기계공학과 (공학사)
 1997년 12월: Illinois Institute of Technology 항공기계공학과 (공학석사)
 2004년 12월: Illinois Institute of Technology 항공기계공학과 (공학박사)
 2005년 10월~현재: 한국항공우주연구원 항법기술연구실 책임연구원
 ※ 관심분야: 위성항법, 정밀항법, 항행시스템