

## 미지정수 수준 조정을 고려한 다중클러스터 시스템 효율화 방안

# Efficiency Enhancement Plan of the Ambiguity Leveling System for Multiple Clusters

유선경 · 송준솔 · 기창돈\*

서울대학교 기계항공공학부

Sunkyong Yu · Junesol Song · Changdon Kee\*

Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul, 08826, Korea

### [요 약]

최근 동적 사용자의 정밀위치 요구가 높아지면서, Network RTK(real time Kinematics)를 동적사용자에게 적용하는 방안 연구가 활발히 진행되고 있다. Network RTK는 다수의 기준국 반송파 측정치를 활용해 약 50-70km 영역에 정밀위치를 제공하는 시스템이다. 이러한 Network RTK 보정정보를 제공하는 다수의 클러스터를 하나의 시스템으로 구성하면, 보다 넓은 영역의 동적 사용자에게 정밀위치를 제공할 수 있다. 본 논문은 다중 클러스터를 전국으로 확장하는 경우 효율적으로 운용하는 방안에 대해 연구했다. 다중 클러스터 시스템의 구성에 따른 계산량을 분석하고, 효율적인 운용을 위해 주 수신국 운용 방안 및 시스템 인프라 구성 방안을 제안했다. 또한 각 제안한 방안에 따른 효과를 분석하고자, 국토지리정보원의 기준국을 활용해 71개의 클러스터를 구성하여, 시뮬레이션을 수행했다. 시뮬레이션 결과 주 수신국 운용 방안에 따라 시스템 계산량은 66% 감소하고, 시스템 구성에 따라 시스템 구성비용을 90% 절감할 수 있었다.

### [Abstract]

As the demand of high accuracy positioning for dynamic users increases, Network RTK is actively researched for dynamic users. Network RTK is a system which provides precise positioning in the range of about 50 to 70km radius using carrier phase measurements from several reference stations. By configuring multiple clusters, which provide Network RTK corrections independently, as a single system, it could provide precise positioning for a wider area. In this paper, we have studied how to efficiently operate multiple clusters in the Korean Peninsula. We analyzed the computational load according to the configuration of a multi-cluster system and proposed a method of selecting the main reference station and system infrastructure configuration for efficient operation. In order to analyze the effects of each proposed method, 71 clusters were constructed using the reference stations of the National Geographic Information Institute and simulations were conducted. As a result of the simulation, system computation amount was reduced by 66% and system configuration cost was reduced by 90%.

**Key word** : Network RTK, Ambiguity difference, Reference station cell, Ambiguity level adjustment.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.6.572>



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 16 November 2017; Revised 20 November 2017

Accepted (Publication) 18 December 2017 (30 December 2017)

\*Corresponding Author ; Changdon Kee

Tel: +82-2-880-8052

E-mail: kee@snu.ac.kr

# 1. 서론

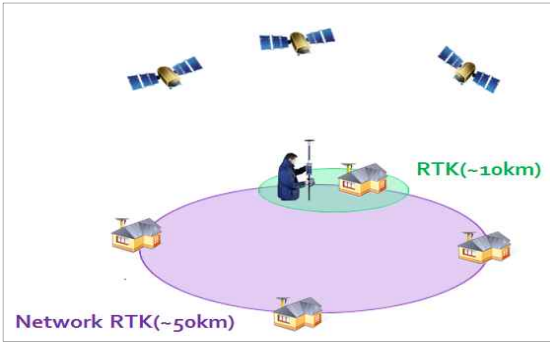


그림 1. RTK와 Network RTK 구성도  
Fig. 1. RTK and network RTK configuration diagram.

Network RTK(real time kinematics)는 반송과 위상을 활용한 정밀위치 항법 시스템의 하나로, 다수의 기준국 측정치를 활용하여 기존 RTK보다 넓은 영역에 정밀위치를 제공하는 보강항법 시스템이다. 과거에는 Network RTK로 구성되는 클러스터 내 정적 사용자에 대한 연구가 진행되었으나, 최근 차로 구분 등 동적 사용자의 정밀 위치 요구가 높아지면서, 동적 사용자에게 적용하는 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1]

동적사용자에게 Network RTK를 활용하는 방안 연구로는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 먼저, 보정정보의 시간지연오차를 감소하기 위해, 시간지연오차를 제거해주는 Compact RTK와의 결합한 Compact Network RTK 연구가 진행되었다.[2],[3] 본 연구는 동적 사용자를 위한 다중클러스터 확장 시스템의 계산량 분석을 목적으로 하기 때문에, Compact Network RTK를 기반으로 다중 클러스터 시스템의 구성을 분석하였다.

또한 동적 사용자가 클러스터 간 이동하는 경우, Network RTK 보정정보 불연속성을 제거하는 방안에 대한 연구가 진행되었다. Network RTK의 보정정보는 주 수신국의 미지정수 오차 성분이 포함되어 있기 때문에, 서로 다른 주 수신국을 가지는 클러스터 사이를 이동하는 경우, 보정정보 불연속성이 발생한다.[2]

먼저 기초 연구로 두 개의 클러스터 간 이동하는 경우 불연속성 해결 방안으로 미지정수 수준 조정 알고리즘을 제안하고, 검증하는 연구가 진행되어 왔다.[1],[4],[5],[6] 이러한 기초 연구를 바탕으로 전국 단위로 다중 클러스터를 확장하는 실용화 연구도 진행되었다. 전국 단위 다중 클러스터 확장 시, 고려사항을 도출하여 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 검증을 수행하였다.[7]

다중클러스터 시스템은 클러스터 수가 증가함에 따라 시스템의 구성과 계산량이 복잡해지기 때문에, 본 연구에서는 다중클러스터 시스템의 시스템 효율화 방안을 연구한다. 다중클러스터 시스템의 기반이 되는 Compact network RTK와 미지정수 수준 조정알고리즘을 간략히 소개하고, 다중 클러스터 시스템의 구성을 보정정보 생성 모듈과 미지정수 수준 조정 모듈로 나

누어 설명한다. 또한 시뮬레이션을 통해 주 수신국 운용 방안에 따른 계산량을 분석하며, 시스템 구성에 따른 시스템 구성비용, 통신량 등을 분석한다.

## II. 다중 클러스터 시스템의 보정정보와 미지정수 수준 조정 알고리즘

### 2-1 Compact Network RTK 보정정보

Network RTK는 다수의 기준국 반송과 위상 측정치를 활용하여 보정정보를 생성하여 사용자에게 제공하는 시스템이다. 보정정보를 생성하는 방식에는 MAC(master-auxiliary correction), VRS(virtual reference station), FKP(flächen korrektur parameter) 등이 있으나, 서로 상호 호환이 가능하기 때문에, 본 논문에서는 MAC 방식을 기반으로 설명한다.[8]

Compact Network RTK는 시간에 따라 급격히 변하는 성분을 제거하여, 시간지연에 강건한 보정정보를 생성한다. 수식 (1)은 주 수신국의 반송과 위상 보정정보인 CPC(carrier phase correction)를 나타낸 것이고, 수식 (2)는 부수신국 보정정보인 MAC(master auxiliary correction)을 나타낸 것이다.[1]

$$\begin{aligned} \delta\phi_{CPC} &= (-I + T - \delta b) + \delta B + \delta N_{master} \lambda \\ &= \delta\phi + \delta B + \delta N_{master} \lambda \end{aligned} \quad (1)$$

$$\delta\phi_{MAC} = -\Delta\delta\phi - \Delta\delta B - \Delta\delta N^{ref} \lambda$$

주수신국의 보정정보인 CPC는 이온층 오차(I), 대류층 오차(T), 위성 시계오차의 잔여오차( $\delta b$ ), 주수신국의 시계오차 잔여오차( $\delta B$ ), 주 수신국의 미지정수 오차( $\delta N_{master}$ )로 구성된다.

사용자는 수식 (1)의 CPC와 MAC의 보정정보를 수식(2)와 같이 각 보정정보의 가중치( $w_k$ )를 곱하여 계산한다. 이 때 위성 차분을 수행하면 수식 (3)과 같이 주 수신국의 미지정수 오차 성분을 포함한다. 따라서 서로 다른 주 수신국을 가지는 경우, 사용자 보정정보는 서로 다른 미지정수 오차가 포함하기 때문에 클러스터 간 이동시 보정정보의 불연속성이 발생한다.

$$\widehat{\delta\phi}_{user} = \delta\phi_{CPC} + \sum_{k=1}^m w_k \cdot \delta\phi_{MAC} \quad (2)$$

$$\nabla\widehat{\delta\phi}_{user} = -\nabla\delta\phi - \nabla\delta N_{master} \lambda \quad (3)$$

### 2-2 미지정수 수준 조정 알고리즘

2-1에서 설명한바와 같이 동적사용자가 서로 다른 클러스터를 이동하는 경우, 주 수신국 미지정수 오차 성분에 의해 보정정보에 불연속성이 발생한다. 본 절에서는 이를 보상하는 방안으로 미지정수 수준 조정 알고리즘에 대해 설명한다.

그림 2와 같은 클러스터 환경에서 이동하는 사용자는 각각의 클러스터에서  $\nabla\widehat{\delta\phi}_{user,clu1}$ ,  $\nabla\widehat{\delta\phi}_{user,clu2}$ 의 보정정보를

생성한다. 각각의 클러스터 보정정보는 수식 (4)와 같이 서로 다른 주 수신국 M1, M2의 오차 성분인  $\nabla \delta N_{M1}, \nabla \delta N_{M2}$ 을 포함하고, 보정정보는  $(\nabla \delta N_{M1} - \nabla \delta N_{M2}) \cdot \lambda$ 크기의 불연속 값을 가지게 된다.

$$\begin{aligned} \nabla \delta \widehat{\phi}_{user,clu1} &= -\nabla \delta \phi_{clu1} - \nabla \delta N_{M1} \lambda \\ \nabla \delta \widehat{\phi}_{user,clu2} &= -\nabla \delta \phi_{clu2} - \nabla \delta N_{M2} \lambda \end{aligned} \quad (4)$$

이를 해소하는 방안으로 []에서는 두 클러스터의 공유 수신국의 이중차분 미지정수를 활용하는 방안을 제안했다. 예를 들어 그림 2의 공유 수신국인 수신국 a의 이중차분 미지정수를 활용하는 방안이다. 각각의 클러스터에서 추정된 수신국 a의 이중차분 미지정수는  $\nabla_a \Delta_{M1} N, \nabla_a \Delta_{M2} N$ 로 MAC 보정정보를 생성할 때 계산된다. 이를 활용하면 다음 수식 (5)와 같이 레벨링 보정치(x)를 생성할 수 있다. 이 때,  $i, j$ 는 위성의 PRN을 의미한다. [7]

$$\begin{aligned} x &\equiv R_1^i - R_2^i = {}^i \nabla^j \delta N_{M1} - {}^i \nabla^j \delta N_{M2} \\ R_1^i &= {}^i \nabla_a^j \Delta_{M1} N + {}^i \nabla^j \hat{N}_{M1} = {}^i \nabla^j N_a + {}^i \nabla^j \delta N_{M1} \\ R_2^i &= {}^i \nabla_a^j \Delta_{M2} N + {}^i \nabla^j \hat{N}_{M2} = {}^i \nabla^j N_a + {}^i \nabla^j \delta N_{M2} \end{aligned} \quad (5)$$

본 논문에서는 미지정수 조정 기법을 활용하여 클러스터 간 불연속성을 해소하는 다중 클러스터 시스템의 연산을 효율화하는 방안에 대해 제안하고, 효율적인 시스템 구성을 위한 연구를 수행한다.

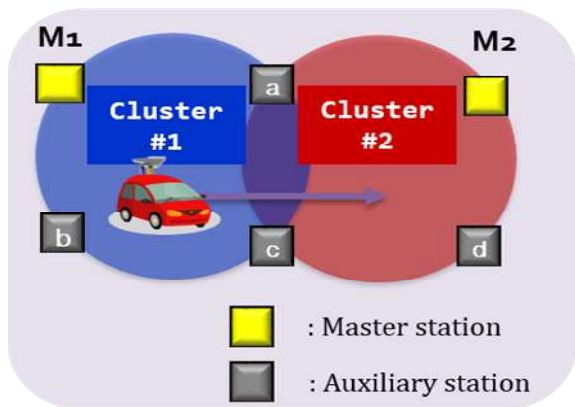


그림 2. 주 수신국이 다른 이중 클러스터 구성도 예시  
Fig. 2. An example of two clusters system configuration with different master stations.

### III. 다중 클러스터 시스템의 연산 효율화 방안 및 인프라 구성 효율화 방안

#### 3-1 다중 클러스터 시스템의 연산

다중클러스터 시스템은 그림 3과 같이 각 클러스터의 보정 정보 생성 모듈과 클러스터가 미지정수 수준을 조정하는 미지정수 수준 조정 모듈로 구성된다.

보정정보 생성 모듈은 그림 4와 같이 주 수신국 측정치를 활용하여 주수신국의 시계오차, 미지정수를 추정하여 CPC(carrier phase correction)를 생성하고, 주-부 수신국 측정치를 이용해 이중차분 미지정수를 추정하여 MAC(master-auxiliary correction)을 생성한다.

각각의 연산을 효율화 하는 방안을 모색해 보면, MAC 생성에 활용되는 이중 차분 미지정수는 모든 클러스터가 독립적으로 이중차분 미지정수를 추정하는 경우, 서로 다른 클러스터에서 이중으로 미지정수를 추정하는 상황이 발생할 수 있다. 따라서 클러스터 간 미지정수 정보를 공유하면, 중복으로 이중 차분 미지정수를 추정하는 등의 불필요한 연산을 줄일 수 있다.

또한 주수신국의 시계오차, 미지정수 추정과 미지정수 수준 조정 알고리즘은 주 수신국의 수에 비례하기 때문에, 클러스터 간 주 수신국을 공유하는 방안으로 계산량을 줄일 수 있다. 4-1에서는 시뮬레이션을 통해 이중차분 미지정수 공유 방안과 주 수신국 효율화 방안에 따른 계산량을 분석했다.

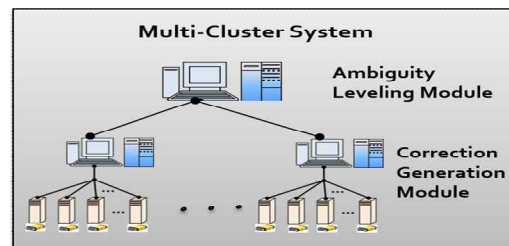


그림 3. 다중 클러스터 시스템 구성  
Fig. 3. Multiple clusters system configuration diagram.

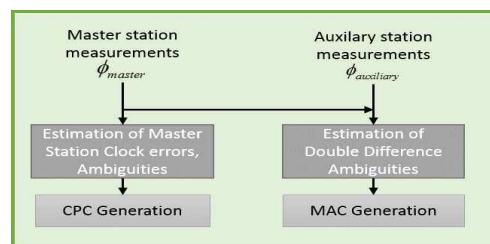


그림 4. 보정정보 모듈 알고리즘  
Fig. 4. The correction generation module algorithm.

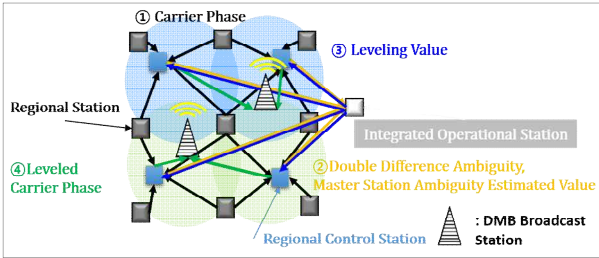


그림 5. 다중 클러스터 시스템 인프라 구성도  
 Fig. 5. Multi-cluster system infrastructure configuration.

3-2 다중 클러스터 시스템 인프라 구성

다중 클러스터 시스템은 그림 5와 같이 반송파 위상 측정치를 수집하는 ‘지역 수신국’, 수집된 측정치로 보정정보를 생성하는 ‘지역 제어국’, 미지정수 수준을 조정하는 ‘통합운영국’ 그리고 ‘보정정보 방송국’으로 구성된다. 그림 5, 그림 6의 각 클러스터는 4개의 지역수신국과 하나의 지역제어국으로 구성되는 경우에 대해 나타낸 구성도이다.

각 클러스터의 지역 수신국은 반송파 측정치를 수집하여 지역 제어국으로 송신하고, 지역 제어국은 이를 바탕으로 보정정보를 생성한다. 그런데 해당 보정정보는 클러스터 간 불연속성이 있기 때문에, 미지정수 수준 조정이 필요하다. 따라서 지역 제어국은 통합운영국으로 이중차분 미지정수와 주 수신국 미지정수 추정 값을 보내면, 통합운영국은 레벨링 보정치를 계산하여 회신한다. 마지막으로 지역제어국은 보정정보에 레벨링 보정치를 적용하여 보정정보 방송국으로 보내면, 보정정보 방송국은 이를 사용자에게 방송한다.

다중 클러스터 시스템 인프라를 구축하는 방안은 각 구성 요소들을 어떻게 구성하는지에 따라 달라질 수 있다. 따라서 3-3 절에서는 세가지 구성방안을 제안한다.

3-3 다중 클러스터 시스템 인프라 구성 방안 제안

다중 클러스터 시스템 인프라를 구성하는 방안은 크게 세가지로 나눌 수 있다. 먼저 각 클러스터가 하나의 지역제어국을 가지는 경우(System A)이다. System A는 클러스터 수 만큼 지역제어국을 가지기 때문에 시스템 구성비용이 많이 들게 된다.

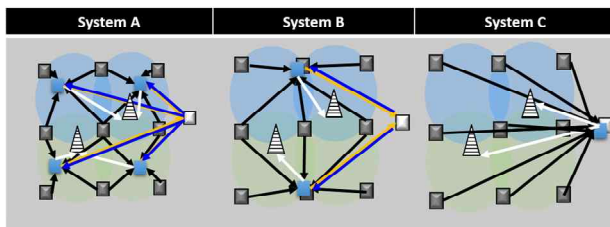


그림 6. 다중 클러스터 시스템 인프라 구성 방안 별 구성도  
 Fig. 6. Multi-cluster system infrastructure configurations of various scenarios.

다음으로 이중 클러스터 간 지역제어국을 공유하는 방안 (System B)이 있다. System B는 System A에 비해 지역제어국 수는 반으로 줄어들지만, 하나의 지역제어국에서 처리해야 하는 계산량이 늘어나기 때문에 이에 따른 필요 PC 수를 파악해 볼 필요가 있다.

더 나아가 다중 클러스터 시스템에서 하나의 지역 제어국을 활용하는 방안(System C)이 있다. 이 경우도 System C와 마찬가지로 지역제어국에서 처리해야 하는 계산량을 분석하여 필요 PC 수를 파악할 필요가 있다. 또한 동시에 다수의 지역수신국 으로부터 데이터를 수신해야하기 때문에 데이터 통신량을 분석할 필요가 있다. 각각의 방안에 대한 구성도는 그림 6에 나타냈으며, 이에 따른 시스템 특징을 4-2에서 분석했다.

IV. 다중 클러스터 시뮬레이션 분석 및 검토

4-1 주 수신국 운용 방안 분석 시뮬레이션 결과

1) 시뮬레이션 환경 및 분석 방법

시뮬레이션은 국토지리정보원 48개의 수신국을 활용하여 71개의 클러스터를 구성한다. 이 때, 3개의 수신국을 하나의 클러스터로 구성하여, 가장 많은 클러스터를 운영하는 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 각 방안에 대한 효율화 계산량은 최대 계산량을 기준으로 분석한다.

2) 이중차분 미지정수 공유 방안 계산량 분석

3개의 수신국을 하나의 클러스터로 구성하는 경우, 한 클러스터 내에 2개의 baseline이 존재하게 된다. 이중차분 미지정수 추정 계산량은 baseline의 수와 가시위성 수에 비례한다. 본 연구에서는 가시위성은 동일하다고 가정하여, 전체 시스템 baseline 수를 효율화 지표로 선정하여 분석을 수행하였다.

효율화가 전혀 고려되지 않은 case 1은 71개의 클러스터가 각각 2개의 baseline을 가지기 때문에 총 142개의 baseline에 대해 미지정수를 추정해 주어야 한다. 그런데, 이 경우 그림 7에서 중복하여 그려진 24개의 baseline은 다른 클러스터에서 미지정수를 추정해 주었음에도 불구하고, 미지정수를 추정해 주게 된다.

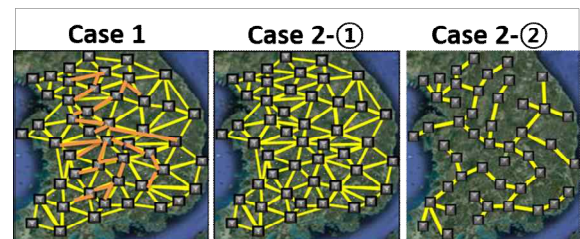


그림 7. 다양한 시나리오의 baseline 선정 simulation  
 Fig. 7. Various scenarios for selection of baseline.

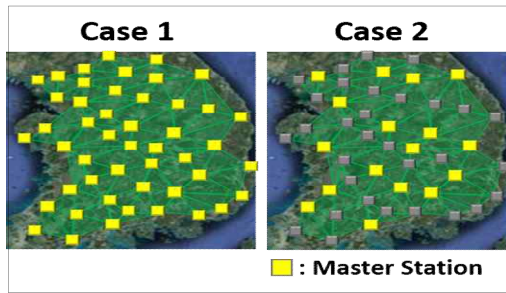


그림 8. 주 수신국 효율화 전 후 선정된 주수신국  
 Fig. 8. Before and after efficiency of master station selection.

따라서, 단순히 서로 공유하는 baseline의 미지정수만을 공유한 case 2-①은 142개의 baseline 중 24개의 중복된 baseline을 제거하여 118개의 baseline만을 가지게 된다.

더 나아가 시스템 전체 미지정수를 서로 공유하는 case 2-② 경우 최소 47개의 baseline의 미지정수만을 추정해 줄 수 있다. 따라서 최대 계산량인 142개의 baseline 수는 47개로 감소하여 계산량이 최대 67% 감소함을 확인할 수 있었다.

3) 주수신국 효율화 방안 계산량 분석

주 수신국의 시계오차 추정 및 미지정수 추정과 레벨링 연산은 주 수신국의 수에 비례한다. 따라서 본 절에서는 주 수신국 수를 효율화 지표로 분석을 수행하였다.

그림 8에서 보는 것과 같이 최대로 주 수신국을 활용하는 경우인 case 1은 시뮬레이션의 전체 수신국 48개를 모두 활용하는 방법이다. 그러나 인접 클러스터 간 주 수신국을 공유하게 되면 주 수신국에 따른 알고리즘 계산량은 크게 감소할 것이다.

본 논문에서는 효율화 방안으로 20여개의 클러스터군 마다 가장 적은 주 수신국을 선정할 수 있도록 최적화를 수행하여 전체 수신국 수를 줄였다. 최적화 수행 과정은 클러스터 군에 M개의 수신국이 존재하는 경우, 주 수신국이 1개인 경우부터 주 수신국 수를 늘려가며 모든 경우의 수를 조사하는 방식으로 수행되었다. 만일 주 수신국 수가 N개 일 때, M개의 수신국 중 N개의 주 수신국을 선정하는 경우의 수는  $M C_N$ 이 되는데, 이 경우 모든 클러스터가 주 수신국을 가질 수 있는지 여부를 판별하였다. 결과적으로 효율화 된 case 2는 17개의 주수신국을 가지기 때문에, 주 수신국 수는 최대 66% 감소할 수 있음을 확인했다.

4-2 다중 클러스터 시스템 인프라 구성 방안 시뮬레이션 분석

1) 시뮬레이션 환경 및 분석 방법

시뮬레이션은 4-1과 동일한 환경으로, 국토지리정보원 48개의 수신국을 활용하여 71개의 클러스터를 구성하였다. 각 방안별 지역 제어국 필요 PC 수를 계산하여 전체 시스템 구성 비용을 계산하고, 지역제어국 수신 데이터 량을 분석하였다.

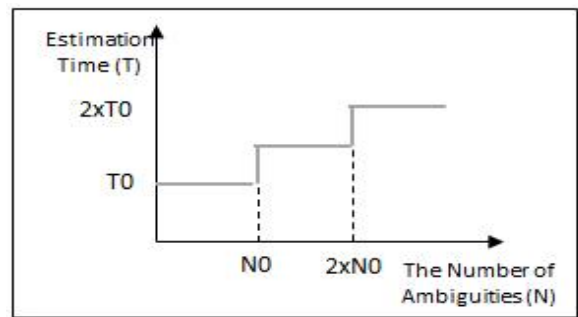


그림 9. 일반 PC의 실시간 동시추정 미지정수 개수에 따른 소요시간

Fig. 9. The estimation time according the number of ambiguities using a conventional computer.

2) 지역제어국 필요 PC 수

(1) 일반 PC 사양 가정

일반 PC의 성능은 CPU를 50% 활용하여 실시간으로 20개의 미지정수를 추정하는 경우 10분 소요된다는 가정을 바탕으로 연구를 수행했다. 즉, 일반 PC의 CPU 100% 활용하는 경우, 실시간 동시 추정 가능 미지정수( $N_0$ )가 40개일 때, 소요시간 ( $T_0$ )은 10분이다.

그림 9는 추정되어야 하는 미지정수 수에 따른 소요시간을 나타낸 것으로 40개를 추정하는 데는 10분이 걸리지만, 이를 모두 추정한 뒤에 다음 미지정수를 추정해야하기 때문에, 41~80개의 미지정수를 추정하는 데는 20분이 소요된다.

또한 다중클러스터 시스템은 이중차분 미지정수 결정에 의한 계산량이 크기 때문에, 그 외의 연산은 50% CPU로 수행함을 가정한다.

(2) 지역제어국 필요 PC 수

그림 10과 같이 각 시스템은 다음과 같이 동시에 처리해야 할 지역 수신국을 가진다.

각각의 지역 수신국 수( $R$ )에 따라 base line 수( $K$ )가 계산되고, 새로 뜨는 가시위성 수( $VS$ )가 2개인 경우 지역 제어국이 L1, L2 미지정수를 모두 추정한다면,  $2 \times VS \times K$  만큼의 미지정수를 추정해 주어야 한다.

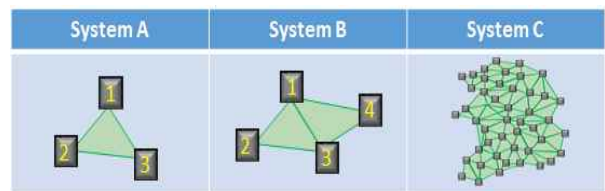


그림 10. 시스템 별 동시 처리 지역 수신국 구성도

Fig. 10. Regional stations configurations of various scenarios.

표 1. 시스템 구성에 따른 지역제어국 필요 PC 수 계산

Table 1. Required number of computers for a regional control station in various simulation scenarios.

System elements	System A	System B	System C
The number of Regional Stations for A Regional Control Station(R)	3	4	48
The number of Baselines for A Regional Control Station (K=R-1)	2	3	47
Required CPU for a Regional Control Station ( 2 X VS x K x S + Margin)	0.7 CPU	0.8 CPU	5.2 CPU
Required Number of PC for a Regional Control Station(M)	1	1	6

이 때, 시스템 별 필요한 CPU는 미지정수를 계산하기 위해  $2 \times VS \times K \times S$  만큼의 CPU와 그 외의 연산을 위한 Margin으로 가정된 0.5CPU의 합으로 계산된다. 따라서 시스템의 원활한 운용을 위해서 시스템 A, B, C는 각각 1, 1, 6대의 컴퓨터를 필요로 하게 된다.

3) 시스템 구성비용

앞서 계산된 지역제어국 필요 PC 수를 바탕으로 다음과 같이 시스템 전체의 필요 PC 수를 계산할 수 있다.

System A는 71개의 클러스터에 모두 1대의 PC가 필요하며, 통합운영국 용 PC 1대가 필요하기 때문에 총 72대의 PC가 필요하다. System B는 2개의 클러스터 당 2대의 PC가 필요하기 때문에 결과적으로 System A의 절반 수준의 PC가 필요함을 확인할 수 있었다. 마지막으로 System C는 6대의 PC로 시스템을 운용할 수 있으므로 8%의 제원으로 운용이 가능함을 확인할 수 있었다. 이 때, 일반 PC의 가격을 P라고 가정하면 각 시스템의 시스템 구성비용은 표2와 같이 표현 할 수 있다.

4) 시스템 데이터 통신량

RTCM(radio technical commission for maritime services) 버전 3.0의 1004번 메시지를 참고하여 GPS 측정치 수신량을 계산해 보았다. 각 지역 수신국은 가시위성 1개당 L1, L2 측정치를 보내는데 125bit가 필요하기 때문에, 가시위성이 8개인 경우 header까지 포함하면 1,064 bits가 필요하다.

표 2. 시스템 구성에 따른 총 필요 PC 수와 구성 비용

Table 2. Required number of computers and system costs for each system in various simulation scenarios.

	System A	System B	System C
Required Number of Computers for a System (e)	$71 \times 1 + 1 \times 1 = 72$	$(35 \times 1 + 1) + 1 \times 1 = 37$	$1 \times 6 = 6$
System Cost (e x P)	$72 \times P$	$72 \times P$	$6 \times P$

표 3. 시스템 별 매 시각 지역 제어국 데이터 수신량

Table 3. The data traffic from regional stations to a regional control station at each epoch.

	System A	System B	System C
The number of Regional Stations for A Regional Control Station(R)	3	4	48
The amount of GPS measurements from Regional Stations to a Regional Control Station at each epoch (RxD)	$1,064 \text{ bit} \times 3 = 3,192 \text{ bit}$	$1,064 \text{ bit} \times 4 = 4,256 \text{ bit}$	$1,064 \text{ bit} \times 48 = 51,072 \text{ bit}$

이를 활용하여 표3에서 각 시스템 별로 지역 제어국이 매 시각 수신하는 데이터 량을 분석해본 결과, TCP/IP통신으로 56 Mbps를 활용하는 경우, 1 msec 이내 모두 통신 가능함을 확인할 수 있었다. 따라서 통신량은 크게 증가하지만, 시스템을 구성하는 데는 무리가 없음을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

다중 클러스터 시스템의 운용을 효율화하기 위해, 미지정수 조정 알고리즘을 효율화하는 방안을 제안하고, 시스템 인프라의 구성방안에 따른 연산량을 분석하였다. 각 제안한 알고리즘 효율화 방안은 시뮬레이션을 통해 클러스터 간 미지정수 공유와 주수신국 효율화로 전체 알고리즘 연산량은 60% 이상 감소함을 확인했다. 또한 다중 클러스터 시스템의 인프라는 지역제어국과 통합운영국을 통합하는 경우, 8%의 비용으로 시스템을 운용할 수 있음을 확인했다. 본 연구는 시스템 구성에 따른 요소들을 수식과 함께 분석했기 때문에, 다양한 환경에서 인프라 설계자가 효율적이고 경제적으로 시스템을 구성하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업 차로구분 정밀위 치결정 교통인프라기술 실용화 연구(16TLRP-C113269-01)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

[1] J. Song et al, "Study on generating compact network RTK corrections considering ambiguity level adjustment among reference station networks for constructing infrastructure of land vehicle," *Journal of Korea Navigation Institute*, vol.17, no.4, pp.404-412, Aug. 2013.

[2] B. Park, C. Kee, "The compact network RTK method: An

effective solution to reduce GNSS temporal and spatial decorrelation error,” *Journal of Navigation*, vol. 63, no. 2, pp. 343-362, 2010.

- [3] J. Song et al, “Development of compact network RTK for land vehicle users and performance evaluation for selected networks in South Korea”, ENC 2012, Gdansk, Poland April, 2012.
- [4] B. Park, et al, “Study on the ambiguity difference adjustment between reference station cells for the improvement in Rover’s continuous network-RTK positioning,” *Journal of Korea Navigation Institute*, vol.16, no.4, pp.619-626, 2012.
- [5] J. Song, et al, “Generation of ambiguity leveled corrections from compact network RTK for land vehicle users,” Spring

Conference of The Korean Society for Aeronautical and Space Science, pp.663-666, 2012.

- [6] J. Song et al, “Ambiguity level adjustment among networks of compact network RTK for land vehicle users,” ION 2013 Pacific PNT Meeting, Honolulu, Hawaii, pp.138-145, April 2013.
- [7] S. Yu et al, “A study on ambiguity level Adjustment algorithm for multiple clusters in the Korean Peninsula,” IPNT 2017, Jeju, Korea, pp.97-100, Nov. 2017.
- [8] F. Takac, “The relationship between network RTK solutions MAC, VRS, PRS, FKP and i-MAX,” IONGNSS 2008, Savannah, GA., pp.348-355, September 2008.



**유 선 경 (Sunkyoung Yu)**

2013년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 공학사  
2013년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 기계항공공학부 석박통합과정  
※ 관심분야 : 위성항법, 궤도역학, 궤도결정, RTK



**송 준 솔 (Junesol Song)**

2008년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 공학사  
2016년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 공학박사  
2016년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 기계항공공학부 연구원  
※ 관심분야 : 위성항법, RTK, 측량



**기 창 돈 (Changdon Kee)**

1984년 2월 : 서울대학교 항공공학 공학사  
1986년 2월 : 서울대학교 항공공학 공학석사  
1994년 1월 : 미국 Stanford University 항공우주공학 공학박사  
1996년 9월~현재 : 서울대학교 기계항공공학부 교수  
※ 관심분야 : 위성항법, WADGPS, RTK, 의사위성, 무인항공기, 수신기