

# A VEE Algorithm Improvement Research for Improving Estimation Accuracy and Verification Responsibility of The AMI Meter Data

## AMI 계량데이터의 검증 신뢰성 및 추정 정확도 향상을 위한 VEE 알고리즘 개선 연구

Jaekwan Lee\*, Jinho Shin\*†, Yongjae Joo\*, Jaekoo Noh\*, YoungBae Park\*, Namjoon Jung\*  
이재관\*, 신진호\*†, 주용재\*, 노재구\*, 박영배\*, 정남준\*

\* KEPCO Research Institute, Korea Electric Power Corporation, 105 Munji-ro Yuseong-gu, Daejeon 34056, Korea

† jinho.shin@kepc.co.kr

### Abstract

계량데이터 관리 시스템은 수용가에서 검침된 계량데이터를 수집하고 관리하는 시스템이다. 이 시스템에는 검침된 데이터의 오검침과 유효성을 판단하는 검증과 누락된 검침값이나 오검침으로 판단된 구간값을 추정하는 VEE 알고리즘이 있다. 그러나 기존의 VEE 알고리즘은 현장 데이터의 특성을 반영하지 않고 검증하고 추정하기 때문에 그만큼 신뢰성과 정확도가 낮아지는 단점이 있다. 본 논문에서는 검증 신뢰성과 추정 정확도를 향상시킬 수 있는 차세대 VEE 알고리즘을 제안한다.

**Keywords:** MDMS (Meter Data Management System), LP(Load Profile), VEE(Validation, Estimation, Edition), Interpolation

### I. INTRODUCTION

최근 지능형 전력계량 인프라(Advanced Meter Infrastructure; 이하 AMI) 구축에 따라 수집되는 계량데이터의 관리가 요구되고 있다. 계량데이터는 고객들에게 사용한 전기요금 산정, 실시간 사용량 및 요금 제공을 하고 수요관리(Demand Response; 이하 DR) 등 에너지산업 창출을 위한 근간 데이터이므로, 계량데이터의 관리에 있어서 높은 신뢰성이 요구된다.

한전에서는 중장기 지능형 전력계량 인프라(AMI) 구축계획에 따라 2020년까지 전국 2,200만호에 스마트미터를 보급할 계획이며, 정부에서도 전력분야 10대 프로젝트 발표하고 2016년도 200만호와 2017년도 250만호의 확대보급을 요구하고 있으며, 이를 기반으로 해외 수출을 추진할 계획이다 [1]. 현재 250만호 보급이 완료되어 계량데이터 관리시스템(Meter Data Management System; 이하 MDMS)에서 전국 AMI 계량데이터를 수집 및 관리하고 있다. MDMS의 VEE(Validation, Estimation, Editing; 이하 VEE)는 계량데이터의 오검침과 유효성을 판단하는 검증기술과, 누락된 검침값이나 오검침으로 판단된 구간값을 추정하는 시스템이다. AMI 계량데이터의 오검침 검증 및 누락값 추정 알고리즘은 AMI 계량데이터의 신뢰성을 좌우하는 매우 중요한 부분으로 현장 데이터의 특성을 반영한 정교한 알고리즘이 필요하다. 그러나 기존의 검증 방법에서 데이터 수집 시 변경여부 검증, 순간피크 검증, 구간 내 제로값 발생수 검증 등은 전압, 계기타입, 검침 항목 등과 같은 현장 데이터의 특

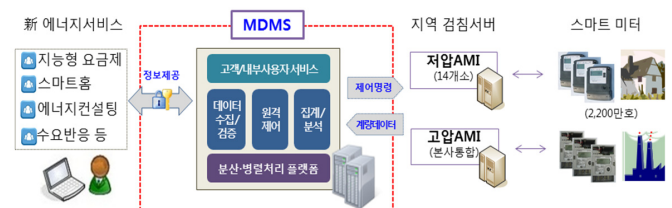


Fig. 1. MDMS 구성도.

성을 반영하지 않고 검증하기 때문에 그만큼 검증 신뢰성이 떨어진다. 또한 추정 방법에서는 누락된 구간을 보정할 때 선형보간법을 이용해서 추정을 한다. 그러나 이 방법은 LP (Load Profile; 이하 LP) 데이터가 일정한 출력이 발생되지 않기 때문에 비효율적이며 정확도가 낮아지는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 AMI 계량데이터의 검증 신뢰성과 추정 정확도를 향상시킬 수 있는 차세대 VEE 알고리즘 방식을 제안하였다.

### II. BACKGROUND

스마트 미터를 사용하는 저/고압 고객들의 전력사용량은 계량기를 통해 검침된 데이터들은 MDMS에서 관리된다. 이 데이터들은 VEE 시스템에서 누락 및 오검침된 부정확한 검침 데이터(Meter Read)를 식별하여 빌링 데이터 생성에 사용될 수 있도록 데이터 검증, 추정 편집하는 것을 의미한다. 이번 장에서는 기존의 VEE 검증 프로세스와 VEE 추정 프로세스에 대해 설명한다 [1]-[4].

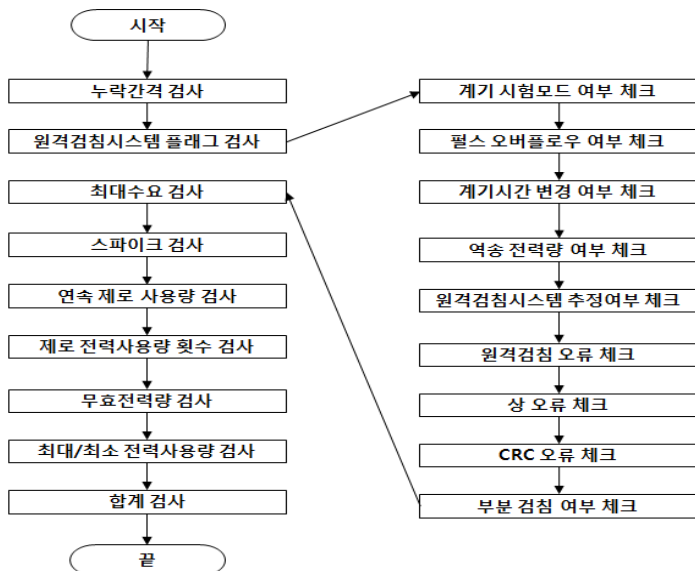


Fig. 2. 전력사용량 검증 절차.

A. 기존 VEE 검증 프로세스

Fig. 2는 원격 검침 데이터 유효성을 판단하기 위한 기존 방식의 전력사용량 검증 절차이다. 기존 검증 절차 방식에서 "CRC 오류 체크"는 데이터의 전달 도중에 오류 데이터가 있는지 검출하는 검증 방법이고 "스파이크 검사"는 전일 24시간의 검침 데이터 중 최대치로 사용된 데이터와 N(2번째로 높은 최대값)값에 대한 데이터를 선택하여, 그 이후에 N값이 사전에 설정된 스파이크 임계값보다 작은지 비교를 했을 때 정상이면 정상데이터로 판단한다. 만약 그렇지 않다면, 최대값 M에서 N값을 뺀 후 그 값을 N으로 나눴을 때 임계값 보다 크다면 한번 더 스파이크 점검 비율 검증을 한다. "제로 전력사용량 횟수 검사"에서는 단순히 이전 검침 블록 데이터를 조회하여 제로값에 대한 횟수를 카운트하여 사전에 설정된 임계치를 통해 정상 및 오검침 데이터로 확정하는 검증 방법이다.

B. VEE 추정 프로세스

Fig. 3은 전력 사용량 검증 이후에 누락 및 오검침된 데이터에 대한 추정을 하는 절차를 보여준다. 기존의 추정 절차에서는 작동하는 계기와 제로검침 추정에 대한 판별 이후에 선형보간법, 이력에 의한 추정 등을 통해 누락 및 오검침된 데이터를 추정한다.

III. 차세대 VEE 알고리즘

차세대 VEE 알고리즘은 목적에 따라서 다음과 같이 2가지 특징으로 나뉜다. 첫 번째 특징은 데이터 검증 프로세스이며, 이 프로세스에서 3가지 항목에 대한 개선한 알고리즘을 통해 데이터 검증 신뢰성 향상이 목적이며, 두 번째 특징은 데이터 추정 프로세스 항목에서 선형보간법에 대한 정확도 향상을 위해 기존 알고리즘 방식보다 높은 보정값에 대한 정확도를 높이는 것이 목적

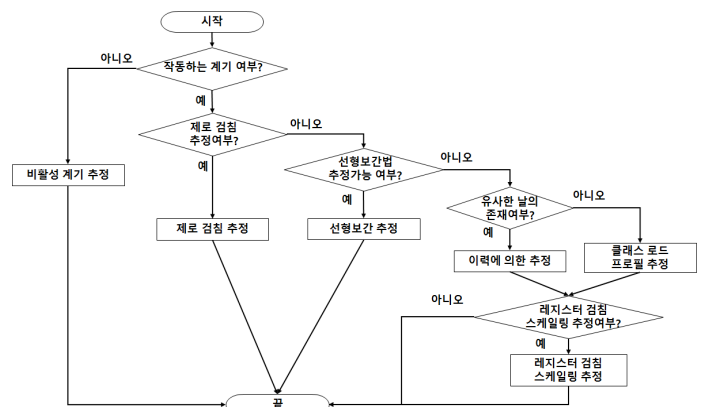


Fig. 3. 전력사용량 추정 절차.

※단계 구분 기준: 프로파일링 전 후

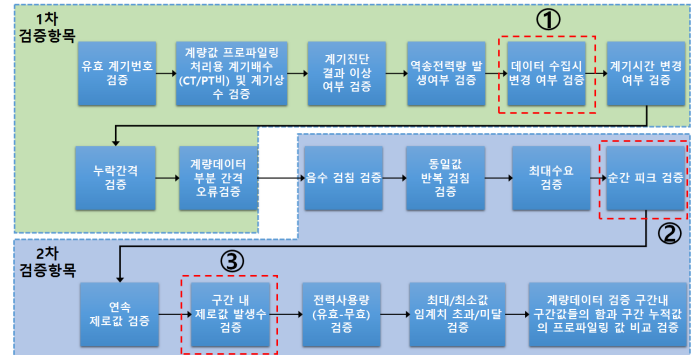


Fig. 4. 데이터 검증 절차.

이다. 기존 알고리즘에서 앞서 언급한 검증 항목들인 데이터 무결성 검증 및 인증(해시, MAC 알고리즘 등), 계기 타입(표준형, G-Type, E-Type, EA-Type 등), 검침 유형(LP, 현재, 정기 등) 및 전압(저압, 고압 등) 구분과 같은 조건에 따라 데이터 검증을 시도 하지 않기 때문에 검증 신뢰성이 떨어질 수 있다. 추정 알고리즘에서는 선형보간법의 단점인 누락된 구간이 많아질 때마다 데이터 보정값에 대한 정밀도가 낮아지기 때문에 정확도가 떨어진다. 이러한 단점들을 해결하기 위해 검증 알고리즘에서는 앞서 설명한 조건들을 통해 기존 알고리즘을 개선하여 데이터의 검증 신뢰성을 높일 수 있도록 개선하였다. 추정 알고리즘에서는 주로 추정 방법에는 기존 VEE 시스템의 적용 방법인 선형보간법이 있으며, 모수 회귀식 기반 누락 데이터 추정기법, B-Spline, 비모수 회귀식 기반 누락 데이터 추정기법 [5], Least square 기법을 적용한 누락 데이터 추정기법 [6], 인공지능망을 이용한 추정기법 [7] 등 누락 데이터의 형태에 따라 다양한 알고리즘 기법을 적용하여 보정을 한다. 그러나 앞서 서술한 알고리즘들은 한전의 LP 데이터가 Linear하지 않기 때문에 부적합하다. 따라서 누락 구간에 대한 정밀도를 향상시켜 정확도를 높이기 위해 Lagrange 다항식을 통한 개선 알고리즘을 제안하였다. 따라서 수용가(고객)에서 사용된 데이터를 정확하고 신뢰성 높은 보정값을 효과적으로 관리자 및 고객들에게 제공할 수 있다. 결론적으로, 본 논문에서는 데이터에 대한 검증 알고리즘과 추정 알고리즘의 개선된 방식으로 고객들의 전력량 결과 데이터를 효과적으로 제공할 수 있다 [8].

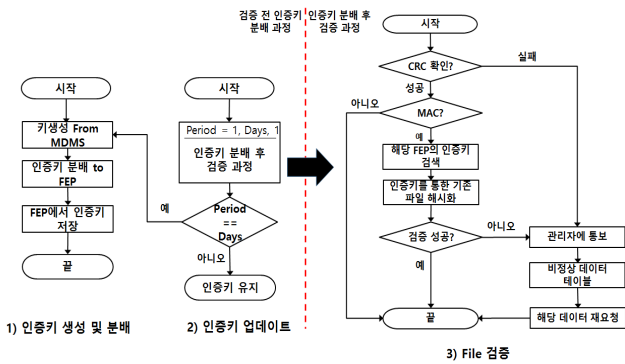


Fig. 5. 데이터 변경 여부 검증.

A. 검증 알고리즘

Fig. 4는 본 논문에서 제안하는 개선된 데이터 검증 절차를 나타내며, 위 그림은 기존 검증 절차의 ①, ②, ③의 항목에 대한 검증 알고리즘과 프로세스 방식을 개선하였다. 제안된 개선 방식이 기존 방식과 다른점은 실시간, 배치 처리를 효율적으로 수행하기 위해 1차, 2차 검증 항목으로 나누었다. 기존의 검증 알고리즘은 AMI 보급 확대에 따라 대용량 데이터가 실시간으로 발생될 경우에 데이터 처리 속도와 검증 신뢰성 측면에서 비효율적일 수 있는 단점이 있다. 따라서 개선된 방식으로 데이터 검증 처리를 할 경우 검증이 필요한 단일 항목(유효계기 번호, 계기시간, 변경 검증 등) 부분만 실시간으로 검증하고 나머지 2차 검증 항목은 일괄적으로 처리하기 때문에 처리속도 측면에서 효율적일 수 있다. 또한 선택된 3가지 검증 항목의 개선 방식을 통해 기존 방식보다 데이터 검증 신뢰성을 높일 수 있다. 1차 검증 항목은 프로파일링 전에 구간 데이터 없이 검증할 수 있는 부분이며, 2차 검증 항목은 프로파일링 이후에 검증할 수 있는 항목들을 보여준다.

1) 데이터 변경 여부 검증

위 Fig. 5는 개선된 데이터 변경 여부 검증 방식에 대한 알고리즘을 보여준다. 기존 알고리즘에서는 데이터가 네트워크를 통해 전송할 때 오류 여부를 판단하기 위해 CRC (Cyclical Redundancy Check; 이하 CRC)라는 체크섬 검사를 한다. 하지만 이 방법은 제 3자가 의도적으로 CRC값을 갖는 위조된 데이터를 생성할 수 있는 단점 때문에 데이터에 대한 무결성 체크를 하지 못해 데이터 검증 신뢰성이 떨어진다. 본 논문에서는, 이 단점을 해결하기 위해 해시 알고리즘을 사용하는 MAC (Message Authentication Code; 이하 MAC)을 통한 인증과 같은 알고리즘 방식을 적용하여 데이터의 무결성뿐만 아니라 사전에 인증된 기기(FEP 등)로부터 왔는지에 대한 인증을 통하여 검침 데이터의 검증 신뢰성을 높일 수 있는 장점이 있다. 개선한 알고리즘은 다음과 같은 3가지 방식을 통해 데이터 검증을 시도한다: 1) 인증키 생성 및 분배 2) 인증키 업데이트 3) File 검증이다. 1)은 향후 FEP과 같은 수집단에서 오는 데이터 검증을 위해 MDMS에서 생성한 인증키를 분배하는 과정이다. 2)는 인증키의 안전성 관리를 위해 관리자가 사전에 설정한 주기(시간, 일, 월 단위 등)를 통해 새로운 인증키를 생성

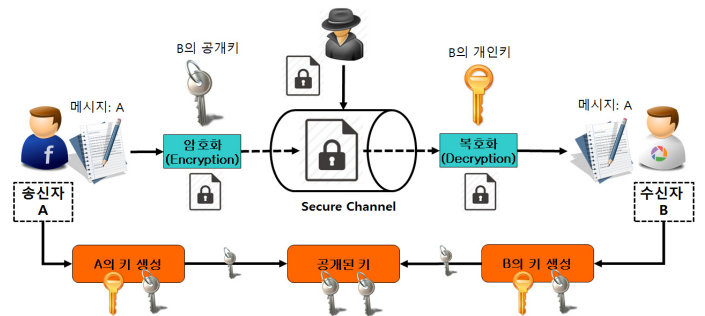


Fig. 6. 공개키 인증 방식.

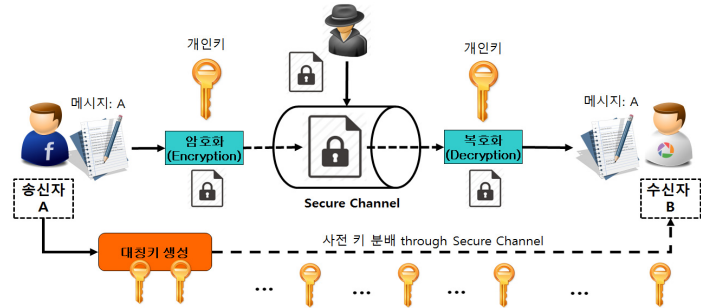


Fig. 7. 대칭키 암호·복호 방식.

하여 FEP과 같은 데이터 수집단에 재분배한다. 3)은 인증키 생성 후 MDMS 시스템이 운영될 때 FEP으로부터 전달되는 데이터를 검증하는 부분이다. 3) 과정에서는 사전에 공유된 인증키를 통해 기존 데이터를 검증하여 무결성과 인증에 대한 검증을 통과하지 못하면 해당 데이터(Meter\_ID, 고객ID 등)를 비정상 데이터 테이블에 따로 적재하고 추후 관리자가 설정한 주기(시간, 횟수, 요일 등)를 기준으로 동일 데이터 취득을 위해 FEP과 같은 데이터 수집단에 재전송 요청을 한다. 따라서 위와 같은 개선 알고리즘을 통해 기존의 알고리즘 방식으로 검증하지 못한 데이터 위·변조 에 대한 데이터 판단 여부를 수행할 수 있기 때문에 데이터 검증 신뢰성을 높일 수 있다. 하지만 위와같은 방법으로 인증키를 주기적으로 공유할 경우와 평문 메시지를 MAC코드와 같이 보낼 경우에 중간자 공격(Man-In the Middle)과 재전송 공격(Replay)과 같은 해킹 위협이 발생하는 문제점이 있기 때문에 공개키 인증 방식과 대칭키 암호화를 통해 기기 인증과 데이터에 대한 기밀성을 제공해야한다. 이러한 보어나 시스템은 앞서 기술한 두 가지 공격에 대응할 수 있다. Fig. 6과 Fig. 7은 공개키와 대칭키 방식에 대한 프로세스를 보여준다.

위 그림은 공개키 기반 인증 방식의 절차를 보여준다. 위 그림처럼 키쌍(공개키, 개인키)을 가지는 키들을 통해 서로간의 신분을 확인할 수 있고 인증키 분배 문제를 해결할 수 있다. 따라서 계기와 DCU 등과 같은 기기 인증과 함께 인증키 분배 시 상대방 or 기기에 안전하게 키를 전달할 수 있다.

위 그림은 MAC 코드값을 검증하기 위해 보내야하는 평문 메시지를 암호화하기 위해 사용하는 대칭키 방식의 암호화 과정을 보여준다. 위와 같이 데이터를 AES, ARIA 등과 같은 암호 알고리즘으로 암호화 하여 보낼 경우 데이터에 대한 기밀성을 보장할 수 있다.



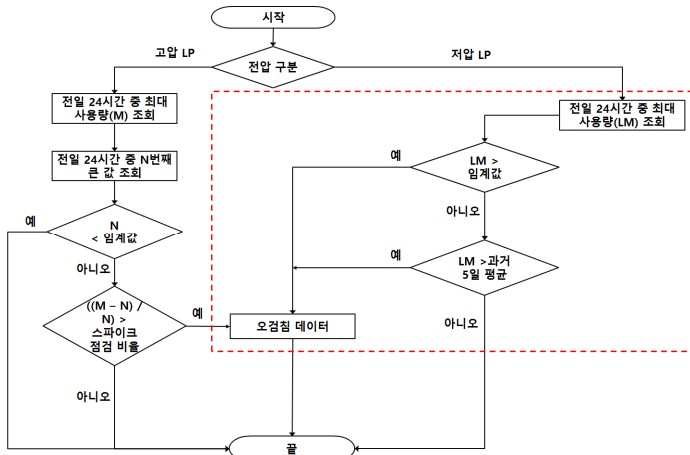


Fig. 8. 스파이크 검증.

2) 스파이크 검증

위 Fig. 8은 개선한 "스파이크 검증" 방식이다. 기존 방식은 계기 타입(표준형, G-Type, E-Type, EA-Type 등), 검침 유형(LP, 현재, 정기 등) 및 전압(저압, 고압 등) 구분과 같은 조건을 기준으로 검증 절차를 설계하지 않았기 때문에 현장 데이터에 부합하지 않아 검증 신뢰성이 떨어지고 비효율적일 수 있다. 예를 들어 고압의 표준형에서 정기검침 같은 경우는 누적값만 들어오기 때문에 스파이크 검증을 할 수가 없다. 전압이 구분된 이후에 스파이크 검증 과정에서 고압은 기존 방식과 동일하다. 반대로 저압의 경우는 앞서 설명된 조건(전압 구분 등) 수행이 완료된 이후에 설정된 임계값들로 스파이크 검증을 시도한다. 개선된 스파이크 검증 방식은 다음과 같다. 전일 24시간 중 최대 사용량(Low Maximum 이하 LM)을 조회하여 선택한다. 그 이후에 LM이 설정된 임계값보다 크면 오점침 데이터로 확정되어 데이터 추정 단계로 전달하고 작지 않으면, 동일한 과거 5일 평균값보다 큰지 확인한다. 만약 크다면 오점침 데이터로 판단하고 아니라면 정상 데이터로 판단하고 프로세스를 종료한다.

3) 구간 내 제로값 발생 수 검증

위 Fig. 9는 검침된 데이터 구간 내에서 제로값 발생 횟수에 대한 개선된 검증 알고리즘 방식을 보여준다. 기존 알고리즘 방식은 전압(저압, 고압 등)에 따른 계기 타입의 검침 주기(예: 15분, 1시간 등)가 다르기 때문에 구간 내 검침 횟수가 다르기 때문에 동일한 임계값을 사용하면 효과적이지 못하다. 따라서 기존의 제로 횟수 임계치는 검증 측면에서 비효율적일 수 있으며, 데이터 검증 신뢰성이 떨어진다. 이러한 단점을 개선하기 위해 알고리즘을 위와 같은 개선 방식으로 제안하였다. 우선 구간 내 검침 데이터 확보를 위해 누적값들은 프로파일링을 통해 구간값을 구한다. 그 이후에 계기 타입별로 이전 검침 자료를 조회한다. 그리고 각 구역마다 구간 내에서 발생한 제로값을 카운트하고 전압 구분을 통해 각 전압에 따른 임계치(고압:HZT, 저압:LZT)와 비교하여 오점침 데이터 여부를 판단한다. 따라서 제안된 알고리즘 방식으로 데이터에 대한 검증 신뢰성을 높일 수 있다.

B. 추정 알고리즘

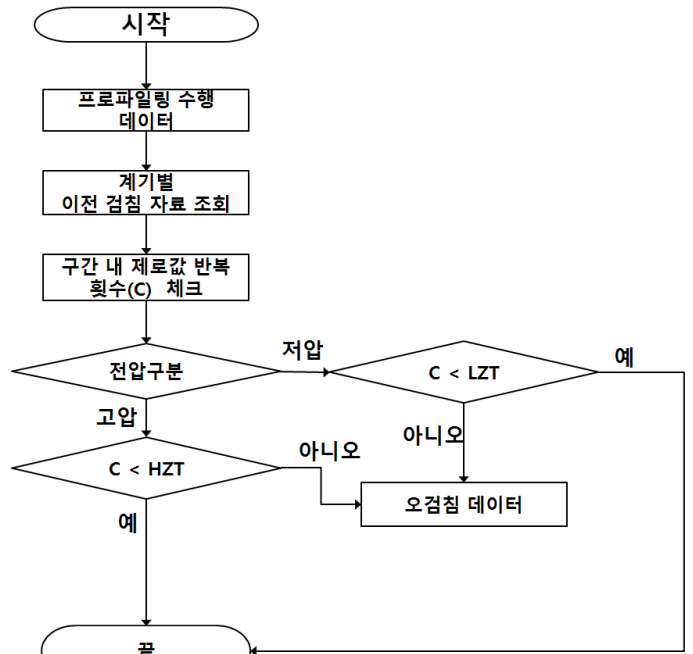


Fig. 9. 구간 내 제로값 발생 수 검증.

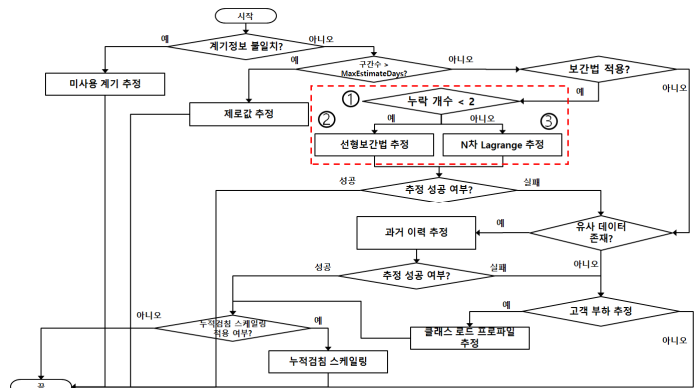


Fig. 10. 데이터 추정 절차.

Fig. 10은 개선된 추정 절차를 보여준다. 기존의 방식은 실시간 서비스를 제공하지 못하고 처리 속도 측면에서 비효율적이다. 제안된 방식은 실시간 서비스를 제공하고 많은 양의 데이터에 대해 빠르고 효율적인 추정 수행을 위해 기존 방식의 프로세스 절차를 개선하였다. 개선 방식은 1차 실시간 추정, 2차 배치 추정으로 구분하여 나뉜다. 1차 추정에서는 누락 및 오점침된 데이터를 실시간으로 처리하여 서비스 제공을 할 수 있도록 선형보간법과 Lagrange다항식을 적용하였다. 그 이후에 설정된 주기(Ex. 분, 시, 일)를 기준으로 2차 배치 추정으로 데이터가 전달되어 보정하지 못한 누락 및 오점침된 데이터를 산정한다.

1) Lagrange 다항식

위 Fig. 11은 기존에 적용된 선형보간법의 오차율을 줄여 정확도를 높이기 위해 제안하는 다항식 기반의 보간법 예시이며, Eq. 1은 Newton의 선형보간 방식을 Lagrange 방식(Aitken 보간법 기반)으로 재구성한 수식에서 수정된 공식이다.

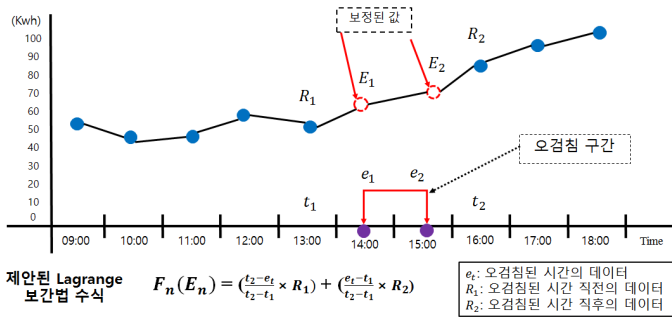


Fig. 11. Lagrange 다항식(Aitken 보간법) 예시.

$$F_n(E_n) = \left( \frac{t_2 - e_t}{t_2 - t_1} \times R_1 \right) + \left( \frac{e_t - t_1}{t_2 - t_1} \times R_2 \right)$$

(1)

- $E_n$ : 전력사용량 추정값
- $t_1$ : 누락 직전 시간
- $t_2$ : 누락 직후 시간
- $e_t$ : 누락 발생 시간
- $R_1$ : 누락 직전 AMI LP 검침값
- $R_2$ : 누락 직후 AMI LP 검침값

기존의 선형보간법은 누락된 구간 범위가 많아질 때마다 추정 정확도가 떨어지는 큰 단점이 발생된다. 따라서 누락된 구간들의 높은 정확도를 높이기 위해 제안된 Lagrange수식 (Eq. 2)은 다음과 같다. (Eq. 3은 기본 예시이며,  $x=t$ 이다.)

$$f(t) = \sum_{j=1}^n \left( R_j \times \prod_{i=1}^n \left( \frac{t_0 - t_i}{t_j - t_i} \right) \right)$$

(2)

- $f(t)$ : 누락이 아닌 시간 값
- $R_j$ :  $t$ 시간의 AMI LP 검침 값
- $n$ : 누락된 AMI LP 데이터 개수
- $t_0$ : 누락된 구간의 시간
- $t_1$ : 누락된 구간의 이후 시간
- $t_j$ : 누락된 구간의 이전 시간

$$f(t) = R_1 \frac{(x - x_2)(x - x_3)(x - x_4) \dots (x - x_n)}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)(x_1 - x_4) \dots (x_1 - x_n)} + R_2 \frac{(x - x_1)(x - x_3)(x - x_4) \dots (x - x_n)}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)(x_2 - x_4) \dots (x_2 - x_n)} + \dots$$

(3)

#### IV. 실험 결과

이번 장에서는 기존의 추정 알고리즘과 제안된 추정 알고리즘의 정확도 측정을 위해 실제 저압 고객의 데이터를 기준으로 실험한 결과에 대해 서술한다.

##### A. 저압 데이터에 대한 추정 정확도 측정

위 Fig. 12는 검침 구간 내에서 3개 이상의 누락 구

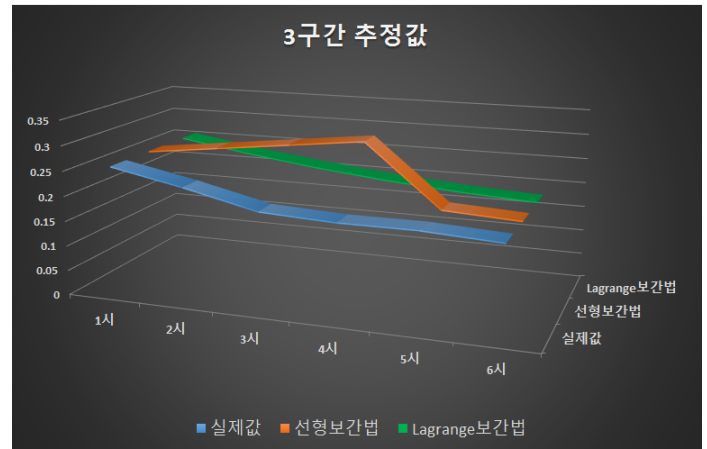


Fig. 12. 선형 보간법 및 Lagrange 다항식 비교 그래프.

간이 발생된 경우 기존 방식은 선형 보간법과 개선 방식인 Lagrange보간법에 대한 정확도를 측정한 그래프를 나타낸다. 상기 위에서 설명한 것처럼 누락 구간이 늘어날수록 선형보간법에 대한 정확도가 떨어지며, Lagrange 다항식은 누락 구간이 늘어나도 선형보간법보다 높은 정확도를 유지하면서 높은 보정값을 도출하는 과정을 확인할 수 있다.

##### B. 저압에 데이터에 대한 추정 정확도 비교

아래 Table 1은 실제 발생된 LP 데이터를 나타내며, 3 구간에 대한 실제 데이터 값을 강제 누락을 하여 기존 방식의 추정과 개선 방식의 추정에 대한 정확도를 평가하기 위한 지표이다.

Table 1의 비교표의 실제값들은 2016년 03월 18일 서울지역본부의 특정 저압고객 LP 데이터를 기준으로 작성한 실제 데이터 기준값이다. 위와 같이 검침 구간 내에서 1개 이상의 누락 구간이 발생된 경우, 기존 알고리즘의 선형 보간법과 개선 알고리즘인 Lagrange보간법에 대한 정확도를 측정하여 비교하였다. Table 1에 작성된 것처럼 선형보간법 보다 Lagrange 보간법을 적용한 결과 실제값에 가깝도록 높은 보정값이 도출된 것을 볼 수 있다. 따라서 기존의 선형보간법보다 Lagrange 알고리즘 방식을 적용해야 정확도가 높은 AMI LP 데이터 값이 추정된다는 것을 확인할 수 있었다.

#### V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 AMI 계량 데이터를 관리하는 MDMS의 기존 VEE 알고리즘과 기존의 단점을 개선하기 위한 차세대 VEE 알고리즘 방법들에 대해 살펴보았다. 특히, 검증에서는 인증된 기기를 통해 데이터를 검증하여 처리할 경우 해커로부터의 공격을 사전에 차단하여 데이터의 신뢰성을 높일 수 있으며, 추정에서는 선형보간법의 단점인 정확도를 높였기 때문에 미국처럼 추후에는 고객들에게 추정값을 통한 요금산정에 사용될 수 있는 기반이 될 것으로 보인다. 향후 연구 주제는 대용량 데이터의 실시간 처리를 위해 검증과 추정 알고리즘에 대한 시뮬레이션 검증과 최적화 방안에 대한 연

Table 1. 추정 정확도 비교결과 (단위: kWh)

구분	1시	2시 (누락)	3시 (누락)	4시 (누락)	5시	6시
실제값	0.255	(0.226)	(0.192)	(0.185)	0.185	0.177
선형 보간법	0.255	0.272	0.290	0.307	0.185	0.177
Lagrange	0.255	0.231	0.212	0.196	0.185	0.177
선형 정확도(%)	-	82.9	66.2	60.1	-	-
Lag. 정확도(%)	-	97.4	90.3	94.0	-	-

구를 진행할 예정이다.

### ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Korea Electric Power Corporation through Korea Electrical Engineering & Science Research Institute. (grant number : R15IA01)

이 논문은 한국전력공사의 재원으로 한국전력연구원의 2015년 선정 연구개발과제의 지원을 받아 수행된 것임. (과제번호 : R15IA01)

### REFERENCES

- [1] 이정일, 이종욱, “분산 클러스터 기반 검침데이터 검증 시스템 및 방법,” 10-2014-0109644, 2014.
- [2] 이지선, 김윤기, 한자경, “전력량 데이터 검증 장치, 전력량 데이터 검증 장치를 포함하는 전력량 데이터 검증 시스템, 및 전력량 데이터 검증 방법,” 10-2911-0082999, 8월, 2011.
- [3] Standards for Validating, Editing, And Estimating Monthly And Interval Data, California, 1998.
- [4] VEE Standard for the Ontario Smart Metering System, IESO\_STD\_0078, Jan, 16, 2013.
- [5] Chang, Hyunho, et al. “Multiple time period imputation technique for multiple missing traffic variables: nonparametric regression approach,” Canadian journal of Civil Engineering, vol. 39, no. 4, pp. 448-459, 2012.
- [6] M. T. Asif, N. Mitrovic, J. Dauwels and P. Jaillet, “Matrix and Tensor Based Methods for Missing Data Estimation in Large Traffic Networks,” IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol. 17, no. 7, pp. 1816-1825, July 2016.
- [7] Mohamed, Shakir, and Tshildizi Marwala. “Neural network based techniques for estimating missin data in databases,” 16th Annual Symposium of the Recognition Association of South Africa, Langebaan. 2005.
- [8] 정대원, “Newton 보외법에 의한 수요전력 예측 알고리즘,” 대한전기학회, pp2782-2784, 2001.