

# 실시간 철도안전관제 플랫폼에서 빅데이터의 실시간 처리를 위한 고속 필터 및 인터페이스 방안 연구

신광호<sup>1)</sup> · 박지원<sup>1)</sup> · 안진<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>대아티아이(주)

## A Study on High-speed Filter and Interface for Real-Time Processing of Big Data in Real-time Railway Safety Supervisory Platform

Kwang-Ho Shin<sup>1)</sup> · Jee-Won Park<sup>1)</sup> · Jin Ahn<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Daeati Co.,Ltd

### 요약(Abstract)

4차 산업 혁명의 기술 발전으로 철도 분야에서도 빅데이터 기반의 통계분석을 통한 운행 수요 예측이나 장비 유지·보수 등 다양한 시도가 진행되고 있다. 최근 진행되고 있는 “실시간 철도안전 통합 감시·제어 시스템 개발” 연구에서도 “실시간 철도 안전관제 플랫폼”을 개발하여 현장 데이터를 통합 수집하고, 수집 데이터 기반으로 안전 수준을 판단하는 로직에 활용 중이다. 그러나 구축 데이터 용량이 수집 기간에 비례하여 증가함에 따라 실시간 처리 기반의 분석·예측에 활용되지 못하는 실정이다. 본 논문에서는 “실시간 철도 안전관제 플랫폼”에 적용된 시계열 데이터베이스 기반에서 실시간 통계분석을 수행하고자 고속 필터와 분산형 서비스 지원을 위한 웹 기반 인터페이스 방안을 제안하였다. 제안 방안의 검증에 위하여 기존 관제에서 활용되는 시뮬레이터를 통해 열차운행 실적정보 관련 빅데이터를 구축하고, 검증 시험을 수행하였으며, 실시간 데이터 처리 속도가 개선된 것을 확인하였다.

In this paper, we propose a web-based interface scheme for high speed filter and distributed service support to perform real-time statistical analysis based on time series database applied to "real-time railway safety platform". In order to verify the proposed scheme, the big data related to the train operation performance information was constructed through the simulator used in the existing control, the verification test was performed, and the real-time data processing speed was improved.

### 핵심용어 (Keywords)

철도, 신호 시스템, 안전관제, 빅데이터, 고속 필터

Railway, Signalling System, Safety Supervisory, Big Data, High Speed Filter

## 1. 서 론

철도안전을 위한 종합 관제 시스템 개발

투 고 일 : 2019년 05월 31일

심 사 일 : 2019년 06월 18일

게재확정일 : 2019년 06월 26일

\* Corresponding author : Jin Ahn

Tel. : [REDACTED]

E-mail : jinahn@daeati.co.kr

을 위해 국토교통부에서 철도기술 연구사업으로 ‘기존안전감시장치 및 현장 운영데이터 기반 실시간 철도안전 통합 감시·제어 시스템 개발[1]’을 수행하고 있다.

연구과제에서 개발되고 있는 실시간 철도 안전관제 플랫폼(이하 철도 안전관제 플랫폼)은 데이터 분산서비스(Data Distribution Service, 이하 DDS) 기반의 융합시스템으로 차량, 신호, 전력 및 안전감시 설비의 데이터를 통합·수집

하고, 철도 안전을 위한 실시간 감시·제어를 수행한다. 이벤트성 데이터만을 수집하는 기존 관제와 달리 실시간 철도 안전관제 플랫폼에서는 현장 센서의 상태 메시지 또한 주기적으로 수집하며, 수집 기간에 비례하여 대용량 데이터가 구축된다.

실시간으로 수집되는 이벤트 및 상태 데이터를 기반으로 안전 수준을 판단하는 로직에 활용하고 있으나, 축적한 데이터 기반의 실시간 분석 등에는 활용을 못하는 실정이다. 또한, 4차 산업 혁명의 기술 발전으로 철도 분야에서도 빅데이터 기반의 통계 분석을 통한 수요 예측[2], 고속철도 사고 위험예측[3], 열차지연 유형의 구분 연구[4] 등 다양한 시도가 진행되고 있으나, 실시간 빅데이터 처리를 통한 활용에는 미흡한 수준이다.

본 논문에서는 철도 안전관제 플랫폼에 적용된 시계열 데이터베이스 기반에서 빅데이터의 실시간 처리를 통하여 효과적으로 활용하기 위한 방안으로 다차원 통계분석을 지원하는 고속 필터와 편리한 응용 프로그램 개발을 지원하기 위한 분산형 서비스를 지원하는 웹 기반 인터페이스 방식을 제안하고자 한다.

또한, 시뮬레이터를 통해 기존 열차운행 관제에서 수집되는 운행실적 관련 빅데이터를 구축하고, 고속 필터의 실시간 빅데이터 처리 속도 검증 및 웹 기반 인터페이스를 활용한 응용 프로그램 적용의 편의성을 확인하고자 한다.

## 2. 실시간 철도 안전관제 플랫폼

### 2.1 시스템 개요

실시간 철도안전 통합 감시·제어 시스템은 철도안전 관리 고도화를 위하여 관제 시스템을 중심으로 차량 및 역사 관련 안전시

설의 상태를 감시하며, 이를 수행하기 위한 정보의 전달 및 공유체계 구축 기술 개발을 목적으로 한다.

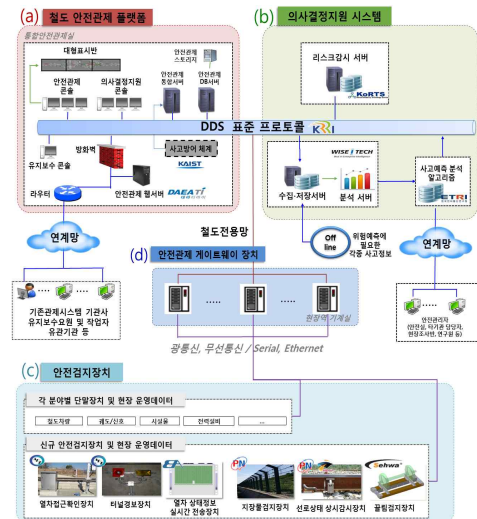


Fig. 1 Real-time Railway Safety Supervisory Platform H/W Architecture

Fig. 1은 실시간 철도안전 통합 감시·제어 시스템의 구성도[5]를 나타내며, 철도 안전관제 플랫폼(a)과 의사결정지원시스템(b) 및 안전감지장치(c)로 구분된다.

철도 안전관제 플랫폼에서는 현장 안전을 위하여 게이트웨이 장치(d)를 통해 안전감지장치의 데이터를 수집한다[6]. 게이트웨이 장치는 단일 장치들로부터 관련 데이터를 추출하고, 이를 DDS 기반의 공통 데이터 모델[7]로 변환하여 철도 안전관제 플랫폼 및 의사결정지원시스템으로 전송한다.

공통 데이터 모델은 긴급, 상태, 제어, 요청, 응답 5종의 메시지로 구분되어 있으며, 그 중 Fig. 2는 상태 데이터에 대한 ‘StateInfoMessage’ 모델 및 이와 대응되는 DDS Topic, 그리고 각 Topic에 대응되는 KRS 표준의 ‘Message Type’에 대한 매핑이다[8].

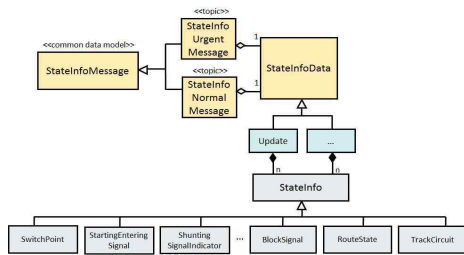


Fig. 2 Mapping Related 'Message Type' model of KRS SG 0062 to 'StateInfoMessage' model

의사결정지원시스템은 빅데이터를 기반으로 하여 철도차량, 열차정보, 선로결합분석, 고장정보, 사고정보 및 기상정보(기온, 계절)를 변수로 두어 사고·위험 예측을 통해 열차 사고 예방을 위해 위험 구간을 도출[9]하며, 이를 통해 운영 요원이 적합한 의사결정을 내릴 수 있도록 지원한다. 의사결정지원시스템의 운영 시나리오는 Fig. 3과 같다.

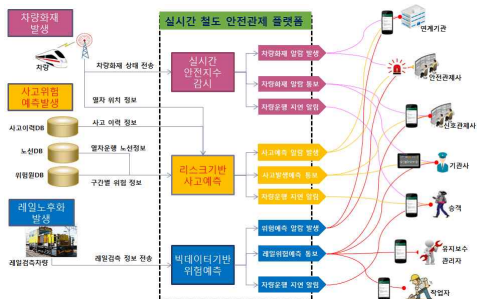


Fig. 3 Scenario for Operation Real-time Railway Safety Supervisory System

## 2.2 시스템 요구사항 분석

실시간 철도안전 통합 감시·제어 시스템은 원주-강릉 노선의 일부 구간을 테스트 베드로 운영 중이며, 9종의 안전감지장치로부터 센서 데이터를 수집하고 있다. Table 1은 각 안전감지장치의 데이터 발생량을 나타낸다.

각 장치의 센서는 초당 1건의 상태정보를 발생하며, 개별 데이터 크기는 20~1024바이트로 다양하다. 이벤트 발생 시에는 초당 1건

Table 1 Transaction of Safety detection device

Items	Number of sources	Contents (per source)	Result
Earthquake detection	24	1 Packet per second	2 Million per Day
Snow melting	2		172 Thousand per Day
Tunnel alarm	2		172 Thousand per Day
A drag detection	2		172 Thousand per Day
Line condition monitoring	2		172 Thousand per Day
Obstacle detection	2		172 Thousand per Day
train information	2		102 Thousand per Day
Platform Screen Door	1		86 Thousand per Day
Weather monitoring	2	1 Packet per 18 seconds	9 Thousands per Day
Total	(3.1 Million per Day) * 30 day = 9.3 Million + Event Packets ≈ 100 Million per Month		

의 긴급정보를 발생하며, 이는 해당 이벤트가 해제될 때까지 지속된다. 1일 동안 축적되는 상태정보는 약 300만 건으로, 이벤트가 간헐적으로 발생한다고 가정하였을 때, 1달이면 약 1억 건의 센서 데이터가 데이터베이스 내 적재된다. 안전감지장치 중에서도 열차상태정보 실시간전송장치의 경우 열차운행 관련 테이블과 관계형 구조로 구성되어 있다. 그에 따라 적재된 열차상태정보 센서 데이터 기반의 분석 및 통계를 수행하기 위해서는 대용량의 데이터 핸들링 및 관련 테이블 간의 데이터 조합이 필요하다.

본 논문에서는 기존의 열차 관련 테이블과 센서 데이터 간의 질의 성능을 개선하기 위하여 데이터베이스 내 통계 필터를 주입하는 방식으로 성능을 향상시키고자 한다.

## 3. 성능 개선을 위한 시스템 설계

### 3.1 다차원 기반 고속 필터 설계

기존의 관제 시스템에서는 관계형 데이터베이스를 통한 정형 데이터 수집을 선호하고 있으나, 관계형 데이터베이스를 활용하여 빅데이터 분석을 수행하기 위해서는 여러 단계의 질의문을 통한 다단계 분석이 요구된다. 그로 인하여 데이터베이스에서 관련 데이터 수집 시, 질의문 처리 성능이 저하되기에 다차원 기반의 고속 필터를 기존의 데이터베이스에 내장시키고, 편리한 인터페이스를 통하여 지원하는 방안을 구성하였다.

다차원 기반 고속 필터는 빅데이터 분석

을 통한 전처리, 표준화 등 실시간으로 수집되는 정보에 대한 가공처리 프로세스와 다단계 분석의 최소 단위를 설정하여 데이터베이스 내에서 주기적으로 수행하는 백업 프로세스를 말한다.

본 연구에서 수행되는 고속 필터는 여러 개의 테이블을 참조하여 시간, 일간, 연간 등 기초 통계를 한 번에 출력하고, 결과를 응용 프로그램에 리턴하고 동시에 결과 테이블에도 저장하는 기능을 수행한다는 의미에서 다차원 개념으로 설정하였다.

운행실적 정보를 활용하는 경우, 열차별 지연정보, 역별 지연정보, 노선별 혼잡도 분석을 위하여 기존의 운행실적 정보를 기반으로 열차별, 역별, 노선별 최소 시간 단위의 정보를 백업 프로세스에서 누적하여 기초 통계분석을 수행하도록 구현한다. 백업 프로세스는 저장된 이전의 데이터를 한 번에 처리하는 배치 처리의 방식과 실시간으로 수집되는 정보를 실시간으로 처리하는 2가지 방식을 모두 가능하게 적용한다. 기초 통계분석에 있어서는 누적 평균에 대한 기법을 적용하여 데이터가 추가될 때마다 평균을 계산하는 방식이 아니라 최종 누적값에 최근의 정보를 추가하여 최종 누적값을 결정하도록 구현하였다. Fig. 4는 빅데이터의 실시간 처리를 위한 다차원 기반 고속 필터의 구성도를 나타낸다.

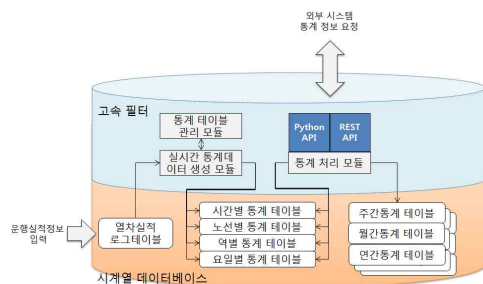


Fig. 4 Multidimensional Fast Statistics Filter Architecture

고속 필터는 외부 모듈 계층과 데이터베이스 계층 사이에 존재하며, 외부 모듈의

실시간 분석 및 예측 수행 지원을 목적으로 한다. 입력된 로그 데이터 기반의 통계 분할 처리 및 결과 데이터 관리를 통해 빅데이터 관련 서버 혹은 시각화 모듈의 쿼리 속도를 향상한다.

### 3.2 통계 테이블 설계

실시간으로 입력되는 열차운행 정보는 데이터베이스 내 열차운행 실적 테이블에 적재된다. 고속 통계 필터 내 실시간 통계 생성 모듈은 주기적으로 적재 데이터 기반 시간별, 노선별, 역별, 요일별 통계를 수행하여 해당 결과를 시간, 월간, 연간 테이블에 기록한다.

Table 2 Attributes for Average Delay Time Table

Items	Columns	Data Type
Software Version	SW_VER	integer
Train Number	TRN_NO	Varchar(10)
Station Code	STN_CD	Varchar(10)
Station Name	STN_NM	Varchar(10)
Order	ORDR	Integer
Week	WEEK	Short
Data Division	BASIC_DT	Varchar(10)
Delay Time	DLAY_TM	Integer

Table 2는 평균 지연시간의 데이터베이스 테이블 구조를 나타낸다. 평균 지연시간 테이블은 소프트웨어 버전(SW\_VER), 열차번호(TRN\_NO), 역 코드(STN\_CD), 역명(STN\_NM), 역 정차순서(ORDR), 주(WEEK), 분석기준일(BASIC\_DT), 지연시간(DLAY\_TM)을 의미하는 컬럼으로 구성되어 있다. 주를 의미하는 WEEK' 컬럼은 1~4 사이의 값을 기록하며, 분석기준일을 의미하는 BASIC\_DT' 컬럼은 통계가 수행된 일자를 기록한다. 외부 모듈의 통계 요청 시 분석기준일 기반으로 질의문을 수행하여 결과를 도출한다.

### 3.3 인터페이스 설계

고속 통계를 활용하기 위한 인터페이스의 경우 기존 시계열 D/B의 SQL 쿼리 구문을

활용하는 방식이 아니라, 설정 조건을 파라미터로 전달하는 프로그램 함수 방식으로 설계하였으며, 빅데이터 분석에 많이 활용되는 파이썬 프로그래밍 언어를 사용하도록 구성하였다.

통계 처리 모듈은 파이썬 기반의 프로그래밍 언어의 API를 통해 외부 모듈의 통계요청을 수신하며, 통계 결과 테이블에서 질의 결과를 추출하여 JSON 형식의 데이터를 반환하게 된다. 또한, 웹 또는 모바일 활용을 위한 웹 서비스 방식에서 많이 활용되고 있는 REST API를 지원한다.

## 4. 검증

### 4.1 모의 데이터

실시간 철도안전 통합 감시·제어 시스템은 원주-강릉 노선의 일부 구간을 테스트베드로 운영하나, 실제 열차가 운행되고 있지 않기 때문에 가상의 열차운행 시뮬레이터를 통해 모의 데이터를 구축하였다. 모의 데이터의 경우 열차 400대에 대한 총 1억건의 열차운행 실적으로 구성되었으며, 개별 데이터 크기는 75바이트이다. Table 3은 'D0064' 열차에 대해 생성한 모의 열차운행 데이터를 나타낸다.

Table 3 Data Set of Train Schedule

LN_ID	TRN_NO	STSTN_TM	STN_CD	ACHV_DTM	ACHV_DT	ACHV_TM	DALY_TM
2	D0064	2019-05-22 20:12	910407	2019-05-22 21:05	2019-05-22	43542	3
2	D0064	2019-05-22 20:12	910396	2019-05-22 20:59	2019-05-22	43181	138
2	D0064	2019-05-22 20:12	910376	2019-05-22 20:55	2019-05-22	42956	10
2	D0064	2019-05-22 20:12	910356	2019-05-22 20:52	2019-05-22	42764	142
2	D0064	2019-05-22 20:12	910344	2019-05-22 20:45	2019-05-22	42337	166
2	D0064	2019-05-22 20:12	910326	2019-05-22 20:35	2019-05-22	41718	91

모의 데이터는 시간대, 요일, 명절을 고려하여 지연시간이 발생하도록 생성되었으며, 각 열차가 해당 역에 도착한 시각과 계획 대비 지연이 발생한 시간 등을 데이터베이스에 입력하였다.

### 4.2 평가 환경

Table 4는 성능 평가에 사용된 시스템 환경을 나타낸다.

Table 4 H/W Specification

Item	Server
Operating System	RedHat Enterprise Linux Server release 6.8 (Santiago)
Kernel	2.6.32-642.3.1.el6.x86_64
Architecture	x86-64
CPU (Cores)	Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz (8)
RAM	8GB
Database	Machbase Standard Edition v5

CPU의 경우 Intel i7-6700 3.4GHz, 메모리의 경우 8GB로 구성되었으며, 데이터베이스 제품은 MACHBASE의 Standard Edition을 사용하였다. 실험에 사용된 데이터는 안전검지장치 현장 센서 데이터와 4.1절에서 생성한 모의 열차운행 실적 데이터로 구성된다.

### 4.3 성능 평가

본 논문에서 제안하는 기법의 효용성을 증명하기 위해, 기존 테이블과 제안기법 간의 질의문 수행속도를 비교한다. 평가 시험은 첫 번째로 'D0064' 열차에 대한 주간, 월간, 연간 평균 지연시간 질의 성능을 측정하고, 두 번째로 '서울역'에 대한 시간대별 지연율 질의 성능을 측정한다. 세 번째로 '1호선'에 대한 시간대별 노선 혼잡도 질의 성능을 측정한다. Fig. 5는 제안기법을 사용하지 않았을 때, '서울역'에 대한 월간 시간대별 지연율 결과 도출을 위한 질의문이다.

```
select date_trunc('month', plan_time) plan_time, avg(dely_tm)
from
(
  select plan_time, dely_tm
  from tb_bmstnschachy
  where stn_nm = '서울역' and plan_time between to_date('2018-01-01 10:00:00')
  and sysdate
)
group by plan_time order by plan_time
```

Fig. 5 Delay Rate Query for 'Seoul Station'



#### 4.4 웹 모듈 인터페이스 시험

Fig. 6는 웹 브라우저를 통해 플라스크 기반의 웹 서버에 접속하여 ‘D0064’ 열차에 대한 1월 통계 요청을 수행한 화면이다. 역별 평균 지연시간이 JSON 형식으로 반환된 것을 확인할 수 있다. 기존의 쿼리 방식을 사용하는 경우 다차원의 테이블 참조, 복잡한 조건의 표시 등 개발 기간이 많이 소요되나, 함수 형식의 인터페이스를 활용함으로써 간단하게 프로그래밍 인터페이스를 통해 수행이 가능하다.

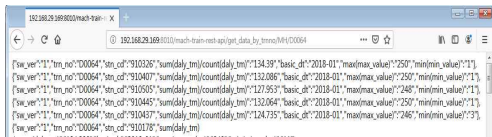


Fig. 6 Web Pages Based Result

#### 4.5 평균 지연시간 질의 성능

Table 5와 Fig. 7은 1억 건의 열차운행 데이터 중에서 ‘D0064’ 열차에 대한 주간, 월간, 연간 평균 지연시간 질의 성능을 비교한 일반 SQL 구문과 고속 통계 필터 간 평균 처리 속도를 나타낸다.

Table 5 Query Performance of Average Delay Time Per Line

Items	Week	Month	Year
Fast Statistics Filter	0.793	0.260	0.010
SQL	1.197	2.445	7.216

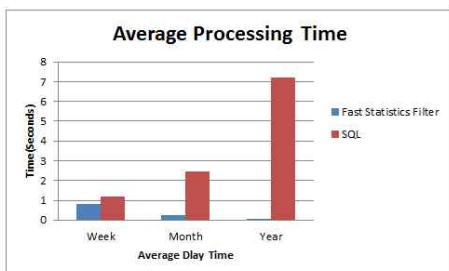


Fig. 7 Query Performance of Average Delay Time

주간 통계의 경우 제안기법을 이용 시 약 0.79초의 시간이 소요되었으며, 일반 SQL 구문은 1.19초가 소요되었다. 이는 일반 SQL 구문에 비하여 약 1.5배 빠르며, 월간 통계의 경우 약 9.3배, 연간 통계의 경우 707배 빠른 성능을 나타내었다.

#### 4.6 시간대별 지연율 질의 성능

Table 6과 Fig. 8은 ‘서울역’에 대한 시간대별 지연율의 주간, 월간, 연간 평균을 측정할 시, 일반 SQL구문과 고속 통계 필터 간의 평균 처리 속도를 나타낸다.

Table 6 Query Performance of Average Delay Time Per Hour

Items	Week	Month	Year
Fast Statistics Filter	0.045	0.016	0.023
SQL	1.983	2.532	7.796

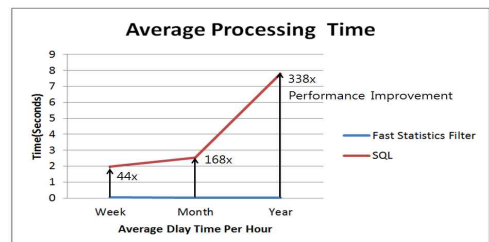


Fig. 8 Query Performance of Average Delay Time Per Hour

주간 통계의 경우 제안기법을 이용 시 약 0.04초의 시간이 소요되었으며, 일반 SQL 구문은 1.98초가 소요되었다. 이는 일반 SQL 구문에 비하여 약 44배 빠르며, 월간 통계의 경우 약 163배, 연간 통계의 경우 338배 빠른 성능을 나타내었다.

#### 4.7 시간대별 노선 혼잡도 질의 성능

Table 7과 Fig. 9은 ‘1호선’에 대한 시간대별 노선 혼잡도의 주간, 월간, 연간 평균을

측정할 시, 일반 SQL구문과 고속 통계 필터 간의 평균 처리 속도를 나타낸다.

Table 7 Query Performance of Average Delay Time Per Line

Items	Week	Month	Year
Fast Statistics Filter	0.012	0.004	0.001
SQL	2.150	2.366	4.550

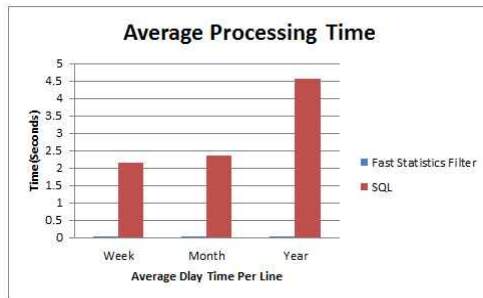


Fig. 9 Query Performance of Average Delay Time Per Line

주간 통계의 경우 제안기법을 이용 시 약 0.01초의 시간이 소요되었으며, 일반 SQL 구문은 2.14초가 소요되었다. 이는 일반 SQL 구문에 비하여 약 174배 빠르며, 월간 통계의 경우 약 639배, 연간 통계의 경우 3500배 빠른 성능을 나타내었다.

## 5. 결 론

4차 산업 혁명의 기술 발전으로 철도 분야에서도 빅데이터 기반의 통계 분석을 통한 철도 운행 수요 예측이나 유지 보수를 위한 예지 정비 등 다양한 시도가 진행되고 있으나, 대부분 배치 처리에 의한 것이고 실시간 빅데이터 처리를 통한 활용에는 아직 미흡한 실정이다.

실제적으로 빅데이터의 실시간 처리를 효율적으로 진행하기 위해서는 실시간으로 수집되는 데이터의 전처리, 표준화, 기초 통계 분석 등 데이터 가공을 위한 시간과 노력이

많이 소요된다.

이에, 최근 진행되고 있는 철도 안전관계 플랫폼 연구를 통하여 빅데이터의 실시간 처리를 지원하기 위한 다차원 통계분석을 위한 고속 필터와 분산형 서비스 지원을 위한 웹 기반 인터페이스 방안을 제안하게 되었다.

본 논문에서는 철도 안전관계 플랫폼에 적용된 시계열 데이터베이스 기반에서 기존 열차운행 관제에서 수집되는 운행실적 정보에 대하여 시물레이션을 통하여 빅데이터를 구축하였고, 제안한 실시간 빅데이터 처리를 위한 고속 필터를 적용하는 경우 기존의 로그 정보를 활용한 통계분석에 비하여 최소 1.5배 이상, 최대 3500배의 속도 개선에 대한 성능을 검증하였으며, 웹 기반 인터페이스와 파이썬 인터페이스를 활용한 응용 프로그램 구현이 기존의 쿼리방식에 비하여 편리한 방식으로 구현되는 것을 확인하였다. 이를 활용하는 경우 기존의 데이터 가공 및 통계분석에 따른 투입 시간을 대폭 줄이는 것이 가능해진다.

본 논문에서 수행한 운행실적 기반 열차별, 시간별, 노선별 지연정보 분석을 위하여 다차원 기반 고속 필터와 편리한 인터페이스를 적용한 사례는 빅데이터의 실시간 처리를 활용하는 다양한 응용프로그램의 개발을 위한 첫 단계 연구를 진행한 것으로, 운행실적 이외의 철도 분야에서 수집되는 다양한 정보에 대하여 적용을 확대하는 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 말

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(18RTRP-B082515-05)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] S.M. Kim, D.H. Shin (2014) Development

- of Real-time Integrated Railway Monitoring System, Magazine of Korean Society of Hazard Mitigation, 14(6), 48-52
- [2] G.H. Kim, H.S. Kim, (2011) KTX Passenger Demand Forecast with Intervention ARIMA Model, Journal of The Korean Society For Railway, 14(5), 2011.10, 470-476
- [3] S.S. Kim, Y.K. Jung, S.Y. Kwon (2019) A Study on the Use of Big Data for the Prediction of Accident Risk on the Kyoungbu High-speed rail, Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society, 2019(4), 2019.04, 3785-3785
- [4] H.S. Kim, J.H. Kang, Y.G. Bae (2013) Types of Train Delay of High-Speed Rail : Indicators and Criteria for Classification, Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society, 38(3), 2013.09, 37-50
- [5] K.H. Shin, J.W. Park, J. Ahn, (2018) A Study on Improvement of Collected Data Performance in Real-time Railway Safety Supervisory Platform, Journal of The Korean Society For Urban Railway 6(4), 2018.12, 233-241
- [6] K.H. Shin, T.H. Um, D.S. Lim, J. Ahn, (2016) Data Collection Methods to Standardize Protocols of Safety Supervision System, Journal of the Korean Society for Railway 19(2), 2016.4, 159-169
- [7] Y.J. Park, S.A. Kim, (2016) Research on Railway Safety Common Data Model and DDS Topic for Real-time Railway Safety Data Transmission, Journal of the Korea Society of Computer and Information 21(5), 2016.5, 57-64
- [8] S. A. Kim and Y. J. Park, (2015) "Application of DDS Middleware for Development of Real-time Railway Safety Monitoring and Control System" , in Proceeding of 2015 Fall Conference of the Korean Society for Urban Railway, 2015.07, 270-272
- [9] Y.J. Park, I.T. Hwang, S.A. Kim, (2016) Design of Integrated Monitoring System Structure for Real-time Railway Safety Monitoring and Control, Journal of The Korean Society For Urban Railway 4(4), 2016.12, 629-636