

도시철도 차량별 혼잡도 개선 방안
**A study on the improvement of the congestion level for each car
in urban railways**

이기수*
Lee, Gi-SU

차관봉**
Cha, Gwan-Bong

윤인영***
Yoon, In-Young

ABSTRACT

In urban railways operated by 10 cars or 8 cars per trainset, passengers split up and board a train. On-board passengers for each car are not aware of congestion level of other cars of the train. Passengers waiting at stations can not predict congestion rate of the car which they get on. Therefore, the number of passengers is not equally distributed. The cars with a relatively low congestion level and the ones with a high level coexist in the train.

The objective of this paper is to enhance passenger convenience and improve train operational efficiency through operational headway adjustments according to congestion level of each car. It also aims to spread passengers out evenly and assess the degree of congestion on each car by measuring the weight of each car including passengers during peak and off-peak hours.

1. 서론

10량 1편성 또는 8량 1편성으로 운행되는 도시철도에서 복수의 차량들 각각에 승객들이 분산되어 탑승하게 된다. 각각의 차량들에 탑승한 승객들은 자신이 탑승한 차량 이외의 다른 차량의 혼잡도를 알 수 없다. 또한, 열차에 탑승하고자 하는 승객들도 자신이 탑승하고자하는 각 차량들의 혼잡도를 알 수 없다. 이로 인해 열차내의 각 차량들 간의 승객수의 분산이 적절하게 이루어지지 않고 있다. 즉, 하나의 열차내에서 혼잡도가 상대적으로 현저히 높은 차량과 혼잡도가 상대적으로 현저히 낮은 차량이 혼재하고 있다.

본 논고에서는 혼잡시간대 및 그 이외의 시간대에 운행되는 열차의 각 차량별 무게를 측정하여 차량별 혼잡도를 판단함으로써 승객의 차량별 분산 탑승을 유도하여, 승객수의 분산이 차량별로 적절하게 이루어지도록 제어하고 차량별 혼잡도에 따라 열차의 차간 간격을 제어함으로써 승객의 편의성을 향상시키고 열차운행의 효율성을 향상시키고자 함을 목적으로 한다.

* 서울메트로, 기술연구센터, 정회원
E-mail : lks550@seoulmetro.co.kr
TEL : (02)6110-5850 FAX : (02)6110-5839
** 서울메트로, 기술연구센터, 정회원
E-mail : charha@seoulmetro.co.kr
TEL : (02)6110-5852 FAX : (02)6110-5839
*** 서울메트로, 기술연구센터, 비회원
E-mail : vitamin3@seoulmetro.co.kr
TEL : (02)6110-5843 FAX : (02)6110-5839

2. 연구 배경

전철로 대표되는 도시철도는, 복수의 차량들이 연결된 형태의 운송 수단이다. 이러한 특성으로 인해 열차는, 열차의 운행 시에는 복수의 차량들 각각에 승객들이 분산되어 탑승하게 된다.

그러나 열차의 차량들은 서로 독립되어 있으므로, 각각의 차량들에 탑승한 승객들은 자신이 탑승한 차량 이외의 차량의 혼잡도를 알 수 없다. 또한, 열차에 탑승하고자 하는 승객들도 자신이 탑승하고자 하는 열차의 각 차량들의 혼잡도를 알 수 없다. 이로 인해 열차 내의 각 차량들간 승객수의 분산이 적절하게 이루어지지 않는다. 즉, 한 편성의 열차 내에 혼잡도가 상대적으로 높은 차량과 혼잡도가 상대적으로 낮은 차량이 혼재할 수 있다. 혼잡도가 높은 차량에 탑승한 승객들은 쾌적한 탑승 환경을 제공받지 못한다는 문제점이 발생한다. 이는 승객의 편의성을 저해하는 요인이 된다.

한편, 열차들간의 차간 간격은 시간대별로 조절됨이 일반적이다. 즉, 출퇴근 시간 등의 열차 탑승 승객이 많은 시간대와 낮 시간 등의 열차 탑승 승객이 적은 시간대 등으로 몇몇 시간대를 구분하고, 각 시간대별로 열차들간의 차간 간격이 조절된다. 그러나 이러한 차간 간격은 평균적인 실험치에 의해 설정된 것이므로, 수시로 변화하는 승객 탑승 현황을 반영하지 못한다는 문제점을 가진다. 이로 인해 열차들간 승객의 분산이 적절하게 이루어지지 않는다. 예를 들면, 선행 열차의 혼잡도가 현저히 낮음에 비해 후행 열차의 혼잡도가 현저히 높은 현상이 발생할 수 있다. 이는 열차 운행의 효율성을 저해하는 요인이 된다.

따라서 열차의 차량별 혼잡도 현시를 통한 승객의 자율적 선택기회를 제공하고 열차간격의 제어를 통해 승객의 편의성과 차량 운행의 효율성을 향상시킬 수 있는 열차의 차량별 혼잡도 개선의 필요성이 대두되고 있다.

2. 전동차 공기제동

2.1 전공연산제어

전공제동력의 연산은 제동유니트 차량 중 구동차의 제동작용장치(BOU)에 입력된 제동요구 신호가 제동전자제어유니트(ECU) 내에서 각차량의 중량(응하중신호)을 고려하여 구동차 및 부수차의 제동요구지령에 적합한 소요제동력(요구지령값)을 각각 산출하고 저크제어 후 이를 합하여 구동차(M)의 점착력범위 내의 유니트 소요제동력으로 견인전자제어장치(PE)에 보내진다.

견인전자제어장치(PE)에서는 제동전자제어유니트(ECU)에서 입력된 제동력 범위에서 견인 전동기의 유효회생제동력 달성신호(BEA, Regen. Brake Effort Achieved Signal) 로 보내게된다.

회생제동력 달성신호(BEA)는 회생제동전류 유효신호(BCV)에 의해 제동전자제어유니트(ECU)에 전달되면 구동차와 부수차의 소요제동력과 비교 후 제동력을 위의 제동력체결 우선순위로 부수차와 구동차의 전공변환중계밸브에 지령되어 회생제동력의 부족분이 공기제동력으로 보충된다.

2.2 응하중제어

제동장치에 있어서 응하중제어는 비상제동 및 상용제동 단계에서 규정된 감속성능을 유지하기 위해 공기스프링 압력신호를 제동출력에 연산하는 기능이다. 즉, 승객부하가 변해도 제동지령별 제동성능(제동시간, 제동거리)은 동일하게 유지하여 차량운행 상 정확성 및 안전성을 기하기 위함이다.

전후위 대차의 4개 공기스프링압력을 각각 감지하여 이를 전기적 신호로 변환시킨 후 이를 평균하여 차량별 제어신호로 만들어 구동차의 제동전자제어유니트(ECU) 내의 차종별 제동별 지령회로에 입력하면 승객부하 증감에 따른 전류신호 증감에 의해 제동력이 보상된다. 또한 구동차와 부수차의 응하중값을 합하여 구동차의 견인전자 제어장치(PE)에 보내져 견인력 증감을 제어하도록 하고 있다.

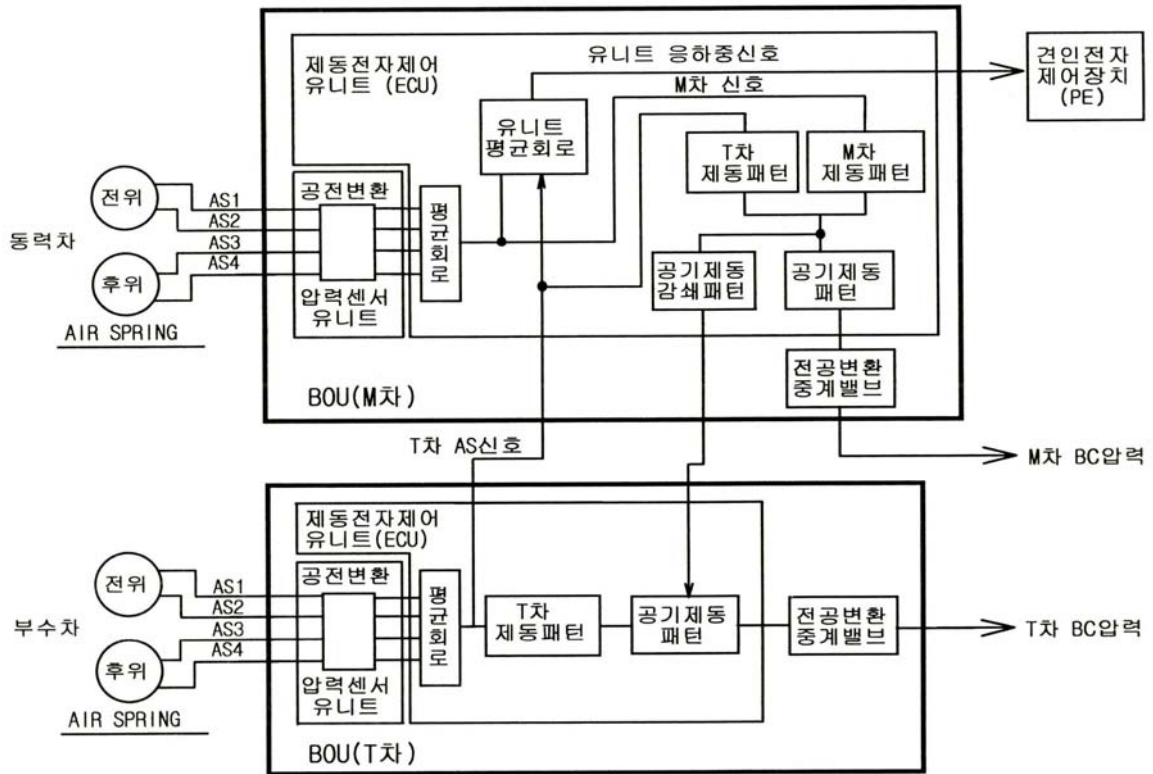


그림1. 응하중 제어 계통도

2.3 제동별 응하중 기능

도표 1. 제동별 응하중 기능

번호	제동 종류	적용 여부	입력신호	감지부품	연산 방법	한계설정
1	상용 제동	○	구동차 (M) 의 AS1, AS2, AS3, AS4	BOU 내의 압력센서 유닛 (PSU)	공기압력을 전류치로 바꾸어 A/D 변환을 거쳐 마이크로 프로세서에서 디지털 연산	AS1,AS2,AS3,AS4 의 각각에 대해 공차의 90% 만차의 120% 설정
			부수차 (T) 의 AS1, AS2, AS3, AS4	BOU 내의 압력센서 유닛 (PSU)		
2	비상 제동	○	각 차의 AS1, AS3	BOU 내의 응하중밸브	응하중밸브의 기계적 연산	각 차종별로 하한치를 조정
3	주차 제동	×	-	-	-	-
4	정차 제동	○	상용제동과 동일함 .			
5	보안 제동	×	승객하중에 관계 없이 제동통 압력 4kgf/ cm ² 로 설정			
6	구원 제동	○	상용 , 비상제동과 동일함 .			

2.4 ECU 응하중제어

응하중 제어 기능은 승객하중 20톤까지 하중의 변화에 무관하게 전동차의 가/감속을 일정하게 유지할 수 있도록 역행/제동력을 계산하는 것과 승객하중을 측정하는 것의 두가지 목적이 있다.

각 차량의 ECU에는 두 개의 공기스프링 압력(전위대차 평균 공기 스프링 압력, 후위대차 공기 스프링 압력) 데이터가 존재하며, 이들은 BCU에서 다시 제어 공기 스프링 압력으로 평균 연산되어 진다.

하중치는 승객하중 20ton까지 하중에 관계없이 일정한 전동차의 가감속력을 얻고자 하는데 사용되며, 실시간으로 보정되어진다.

또한 하중치의 신호는 통계적 목적의 승객 하중치를 구하고자 하는데에도 쓰이는데, 이 값은 IC 메모리카드에 입력되어 기지의 PC로도 출력이 가능하다.

$$\text{승객 부하율(Factor)} = ((\text{Pas}-\text{Pas0}) \times A \times 4) / (\text{Wc} \times g)$$

Pas : 공기 스프링 압력 [kPa]

Pas0 : 공차의 공기 스프링 압력 [kPa]

A : 공기 스프링 실린더 면적 [= 0.260m²]

Wc : 최대 승객 하중(20tonf)

g : 중력 가속도 = 9.80[m/s²]

만약, 한 개의 AS 압력이 고장나거나 공기스프링 압력센서가 공차중량의 90% 이하 또는 만차중량의 120% 이상 값이 감지되는 경우 ECU 자체내에서 제어 AS압력 값을 정정한다.

2.5 ECU ⇒ TCMS TD Sampling data format

도표 2. ECU ⇒ TCMS TD Sampling data format

TEXT	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0	비 고
0	데이터 정의 (31 hex)								
1	공기제동 장치 고장	자기진단 고장	RAM 점검 고장	회생제동 요구 비정상	응하중 비정상	전자제어 밸브의 고장	덤프밸브 고장 (전두대차)	덤프밸브 고장 (후미대차)	1. 고장
2	전두대차 AS 압력 센서고장	후미대차 AS 압력 센서고장	BC압력 센서고장	AC압력 센서고장	1축 속도 신호의 비정상	2축 속도 신호의 비정상	3축 속도 신호의 비정상	4축 속도 신호의 비정상	
3	0	공기스프링 누설 (후미대차)	공기스프링 누설 (후미대차)	제동력 부족 (ISBR)	공기제동 감쇄지령 비정상	제동지령 비정상	인통선 로직 비정상	회생제동 달성 비정상	
4	0	0	전두대차 AS고장	후미대차 AS고장	1축 스키드 신호	2축 스키드 신호	3축 스키드 신호	4축 스키드 신호	
5	제동지령(PWM): 0 ~ 100% / 00H ~ 64H								
6	추진지령(PWM): 0 ~ 100% / 00H ~ 64H								
7	파트너차 ECU고장 (PECUF)	0	출입문 닫힘 (DC)	보안제동 (SB)	비상제동 (EB)	EBAR	모터링 선택 (P)	제동 선택 (B)	
8	0	0	NRB	CPR	정차제동 (HB)	NRBD	CPRD	Trace Data Cleared	
9	AS 압력(ASP): 50~560kPa / 00H~FFH (2kPa / bit)								
10	응하중(LW): 0~102% / 00H~FFH (0.4% / bit)								
11	회생제동력요구(BED): 0~102% / 00H~FFH (0.4% / bit)								
12	회생제동력달성(BEA): 0~102% / 00H~FFH (0.4% / bit)								

TEXT	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0	비 고
13	공기제동감쇄지령(ABRC): 0~102% / 00H~FFH (0.4% / bit)								
14	AC 압력(ACP): 0~765kPa / 00H~FFH (3kPa / bit)								
15	BC 압력(BCP): 0~765kPa / 00H~FFH (3kPa / bit)								
16	0	0	0	Trace Data의 갯수 (0 ~ 4)					
17	BC 압력 시험결과	덤프밸브 시험결과	0	0	0	0	BC 압력 시험완료	덤프밸브 시험완료	1:OK 0:N
18	Rom Version 0~255(00~FFH)								
19	SPARE								
20	통신 ERROR CHECK #h'AA or #h'55								
21	통신 ERROR CHECK #h'AA or #h'55								

2.6 TGIS / TCMS

운행속도기록, 고장기록등의 기능을 가지고 있던 TIS(Train Information System) 이후 1993년 VVVF 전동차와 함께 TGIS(Train General Information System)이 도입되었고, 열차의 컴퓨터가 스스로 판단 하고 조치하는 능력을 중요하게 여겨지면서 “자체적인 판단과 제어”의 기능을 추가시킨 TCMS(Train Control and Monitoring System)가 적용되었다.

본 연구의 대상차량은 TGIS 및 TCMS 적용차량을 대상으로 한다.

2.7 TCMS 모니터 제동장치 상태정보

모니터 화면에 제동장치 / 추진장치로부터 수신된 정보를 현시한다.

2.7.1 BC 압

Brake Cylinder 압력(BC압)이 그래프와 텍스트 형태로 현시된다.

범위 : 0 ~ 8 [Kg/cm²] (0.01Kg/cm²단위)

2.7.2 회생제동력

추진장치로부터 수신된 실 전기 제동력이 그래프와 텍스트 형태로 현시된다.

범위 : 0 ~ 100 [KN]

2.7.3 AS 압

Air Spring 압력(AS압)이 그래프와 텍스트 형태로 현시된다.

범위 : 0 ~ 8 [Kg/cm²] (0.01Kg/cm²단위)

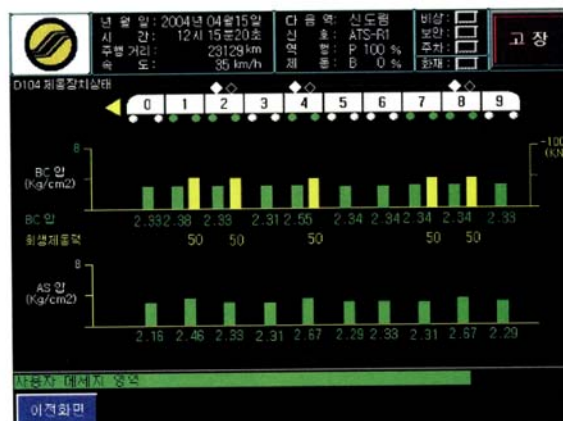


그림 2. 제동장치상태정보 화면

3. 구성방안

3.1 RFID(전자태그)를 이용한 시스템 구성 방안

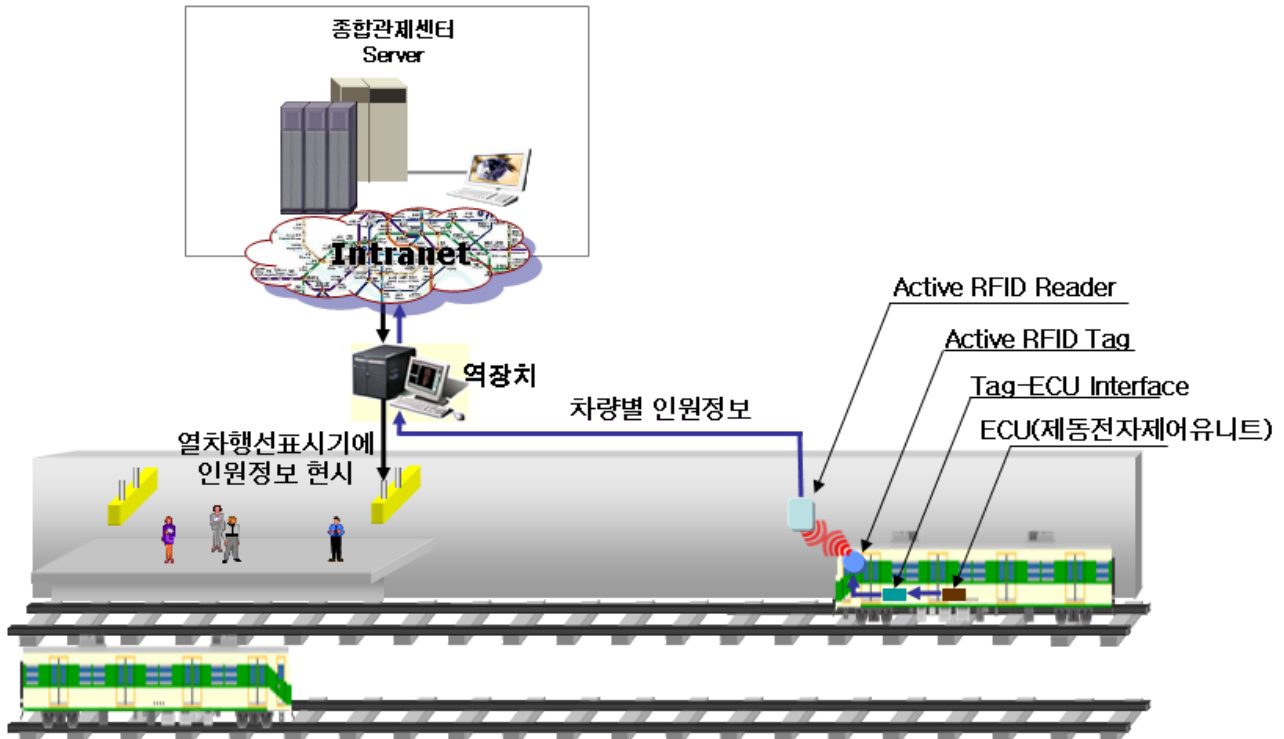


그림3. RFID를 이용한 시스템 계통도

3.1.1 동작 절차

- 가. 제동전자제어유니트(ECU)에서 출력되는 열차 차량별 응하중 정보를 Tag-ECU Interface 장치에 입력한다.
- 나. Tag-ECU Interface 장치에 입력된 응하중 정보를 한국인 표준 몸무게로 나누어 인원수를 산정한 후 차량별 인원정보를 읽기/쓰기 가능한 태그에 입력
- 다. 열차 운행 연선에 설치된 리더는 열차에 부착된 태그의 정보를 수신
- 라. 수신된 차량별 인원정보 등을 역장치를 통해 종합관제센터의 서버로 전송 해당역 열차행선안내게 시기에 인원수 및 혼잡도 표시

3.1.2 부가 기능

- 가. 서버는 받은 정보를 처리하여 인터넷 및 기타 서비스로 확장 가능
- 나. 리더의 입력포트를 통해서 각종 센서정보를 수신 받아 역사 터널내 상황을 실시간 모니터링 가능

3.1.3 태그 및 리더의 설치

인식률 및 인식거리 확보가 좋은 능동형 태그를 사용하며, 비상용 배터리를 내장하고 주 전원은 차량내부의 전원을 사용한다. 차량내부의 전면창 상단부 또는 전면 차체 하단부 등 필드 테스트를 통한 가장 적정한 위치에 설치한다. 리더의 설치위치로는 승강장 진입전 약 100~300m 지점에 설치하며, 설치비용의 최소화를 위해 기존 터널 벽면 또는 도상부에 설치할 수 있으며, 별도로 구조물을 설치하여 리더를 설치할 수 있다. 중요한 점은 용이한 유지보수 및 태그와 리더간의 송수신이 정보의 오류없이 이루어지도록 최적의 설치지점을 분석하여 설치하여야 한다.

3.1.4 태그의 데이터 입력 및 사용 주파수

태그에 데이터(차량별 인원정보)를 입력하는 방안으로는 설치된 태그에 데이터를 쓸 수 있도록 데이터 입력장치(Tag-ECU Interface 장치)를 설치하여 태그에 차량별 인원정보를 자동 입력한다.

본 논고에서는 수동형 보다 인식률이 높은 능동형 태그를 선정하였으며, 수 십m의 긴 인식거리와 고속의 데이터 전송특성을 갖는 2.45Ghz Active Tag를 고려하였다.

3.2 무선 LAN(Local Area Network)을 이용한 시스템 구성 방안

3.2.1 무선랜의 개요

LAN 기반 망과 단말기 사이를 무선주파수(Radio Frequency)를 이용하여 전송하는 시스템으로 그림 2에서 보듯이 구성요소로는 AP(Access Point), 단말기의 RF 모듈카드, 운용 S/W 등으로 구성되어지는 통신 시스템

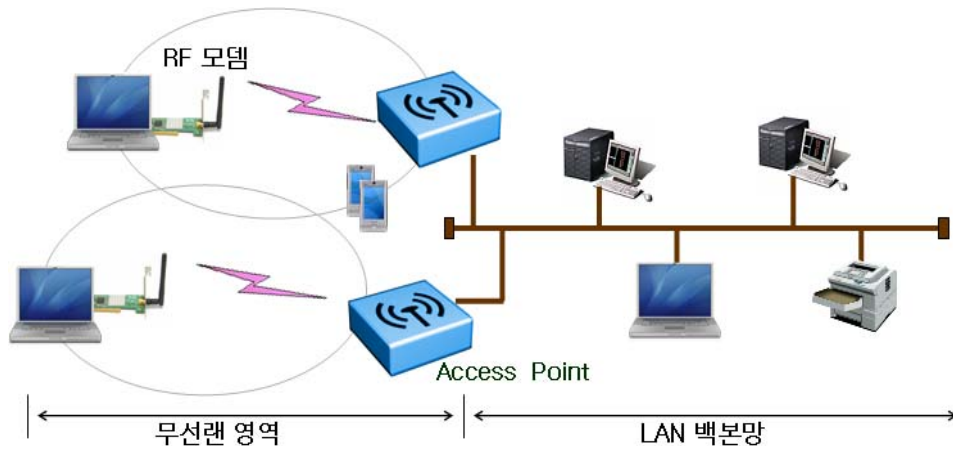


그림4. 무선랜의 기본 개념도

3.2.2 동작절차

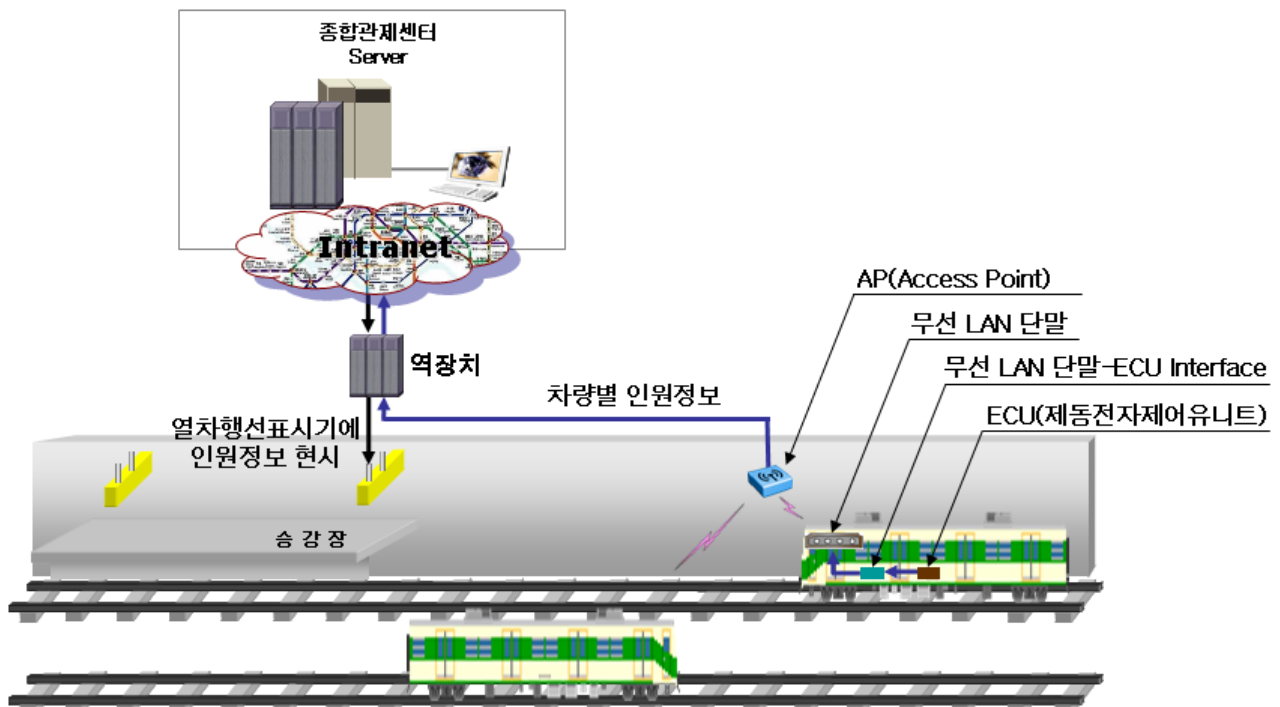


그림5. 무선랜을 이용한 시스템 계통도

- 가. 제동전자제어유니트(ECU)에서 출력되는 열차 차량별 응하중 정보를 무선랜 카드가 장착된 무선랜 단말에 응하중 정보를 한국인 표준 몸무게로 나누어 인원수를 산정한 후 차량별 인원정보를 코드화하여 송신한다.
- 나. 무선랜 단말장치는 AP와 RF통신을 통하여 해당 정보를 역에 설치된 역장치로 전송한다.
- 다. 역장치를 통해 기 구축된 사내 네트워크를 통해 종합관제센터의 서버로 전송 후, 해당역 행선안내계시기에 인원수 및 혼잡도 현시

3.2.3 무선랜 설계시 주의 사항

도표 3. 무선랜 설계시 고려사항

고려 항목	주요 내용	비고
데이타의 전송 조건	•실시간 전송 및 비동기 데이타 전송	
전송속도 및 무선주파수	•마이크로파, 적외선 등 •전송속도와 에러 발생율	
단말장치의 이동성	•서비스 제공 영역 •단말기의 통신 형태(고정, 이동) •이동 속도	
서비스 제공영역의 확장성과 기존 네트워크 상호 접속	•기존 통신망과의 인터페이스	
동일 지역에 여러 개의 무선랜 및 유사 무선시스템과의 공존	•독립적인 운용 •전송 채널 획득의 경쟁 •서비스 영역간의 간섭	
보 안	•허가 받지 않은 단말로부터의 접속 방지 •정보의 암호화	
유지보수 용이	•무선 주파수 및 시설 사용이 용이 •유지보수 용이	

4. 승객 혼잡도 개선 시스템

4.1 구성 및 출력

열차는 각 차량의 무게를 측정하는 응하중밸브와, 응하중밸브에 의해 측정된 각 차량의 무게를 공차 무게와 비교하여 해당 차량의 혼잡도를 연산하는 제어부로 구성된다.

출력 장치는 역사에 설치된 안내표시기, 열차의 운전실의 출력 패널, 열차의 각 차량들에 설치된 출력 패널, 열차의 각 차량들에 설치된 스피커 등으로 출력할 수 있다.

4.2 효과

열차의 차량별 혼잡도 제어 방법은 임의의 열차가 자신의 모든 차량들에 대하여 차량별 혼잡도를 판단하는 단계, 열차가 판단한 차량별 혼잡도를 관제 서버에 송신하는 단계, 관제 서버가 열차의 차량별 혼잡도를 수신하고 수신한 차량별 혼잡도를 기 설정된 출력 형태로 변환하여 출력할 수 있다.

차량별 혼잡도를 판단하는 단계는, 각 차량의 무게를 측정하는 단계와, 측정된 차량의 무게를 공차 무게와 비교하는 단계와, 비교 결과를 사용하여 해당 차량의 혼잡도를 연산한다.

구체적인 매카니즘은 관제 서버에서는 가량 응하중제어 승객 탑승량을 ECU에서 산출결과를 수신 차량별 혼잡도(정보)를 파악 운행전동차에 차량별 혼잡도정보를 제공함으로써 그 효과는

4.2.1 차량 과부하 감소

객실 내 행선안내계시기에 각 량별 승객 혼잡도정보를 현시하여 객실 간 균등한 부하를 유도하게 되

어 과부하차량 발생 해소 및 과부하로 인한 고장을 예방 할 수 있으며,

4.2.2 자율적 승객분산

플랫폼에서 열차 탑승을 기다리는 승객에게는 승강장 안내제시기에 도착되는 열차의 혼잡도 정보를 표출하여 혼잡도가 낮은 차량에 승객을 유도함으로써 승객 과부하를 방지할 수 있다.

4.2.3 관제운영 효율

또한 관제센터에서는 혼잡열차와 비혼잡열차를 식별하여 효율적 운전시각 조정으로 대 승객서비스에 만전을 기할 수 있으리라 판단됨.

5. 결 론

복수의 차량들의 연결에 의해 구성되는 열차에 대하여, 해당 열차의 각 차량별 혼잡도를 판단하고 출력한다. 이를 통해 승객들로 하여금 상대적으로 혼잡도가 낮은 차량에 탑승토록 유도하여 승객에 쾌적한 환경을 제공함으로써 사용자의 편의성을 향상시키고 차량간 불균등한 부하를 분산시킴으로서 일 부차량에 집중되는 피로도를 낮출 수 있다. 또한, 열차의 차량별 혼잡도에 따라 열차들간의 차간 간격 조절을 통해 효율적인 열차 운행이 이루어지도록 한다.

이와 같은 승객분산유도시스템을 활용함으로써 보다 쾌적한 승차환경을 제공 할 수 있어 승객에게 도시철도 이용의 편리함과 고객 만족도 향상에 도움이 될 것이다.

참고문헌

1. 정해원, “초고속 무선 LAN 표준화 및 기술개발 동향”, 한국전자통신연구원
2. 윤인영, 여용주(2007년), “열차행선안내제시스템 개선방안 연구”, 2007년도 추계 한국철도학회 학술대회 논문집
3. 남상엽, 변상기, 정교일(2006년), “RFID 구조 및 응용”, 상학당
4. 서울메트로(2005년), “서울메트로 2호선 전동차 VVVF전동차 정비지침서”