

지하철 무개찰 시스템에서의 카드 판별에 관한 연구

김현\*, 박정균, 류형선, 최현영, 김시구, 김양모  
 충남대학교 전기공학과

A Study On Card Discrimination of Gateless Fare Collection System in the Subway

Hyun Kim\*, Jung-Gyun Park, Hyoung-Sun Ryu, Hyun-Young Choi, Si-Ku Kim, Yang-Mo Kim  
 Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National University

**Abstract** - In this paper, we propose gateless fare collection system in the subway, which is removed the gate and it's critical to find a way to collect fares without unnecessarily delaying passengers. The gateless fare collection system consists of data communication zone and card check zone. Card's checking zone system may extract fare from two or more cards that one person carries. In this system, the multiple carrier frequencies of 125KHz and 2.45GHz are adopted.

표적으로 사용되고 있는 개찰 시스템을 나타낸 것이다.

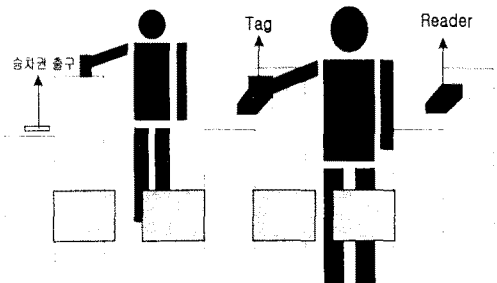


그림1. 현재 사용중인 Gate System

무개찰 시스템은 그림1과 같은 게이트를 제거하고자 한다. 즉, 게이트가 없으므로 일반 통로와 비슷한 구조를 가지게 된다.

1. 서 론

지하철 이용자가 최근에 급증하면서 지하철 개찰구 근처가 매우 혼잡하게 되었다. 지금의 개찰구는 승차권을 승객이 직접 구입해서 투입하는 방식이 주로 사용되므로 개찰구 앞에서의 정체가 심하다. 특히나 출근, 퇴근 시간대에는 개찰구 앞에서의 대기 시간이 많아서 승객의 이동 흐름을 빠르게 개선하는데 장애가 된다. 좀 더 효율적인 시스템으로 RF-ID용 게이트 시스템이 부분적으로 이용되고 있지만 이 시스템은 인식거리가 10cm내외로 짧아서 Tag로 사용되는 카드를 승객이 직접 인식시켜야 하므로 줄을 서서 자신의 순서를 기다려야 하는 것은 앞의 시스템과 비슷하다. RF-ID 시스템의 이용으로 보다 빠른 개찰이 이루어지긴 하였지만 게이트가 존재하므로 정체 시간은 여전히 남아 있다. 짐을 소지한 상태이거나 장애인이 이용을 하는 경우에도 이러한 시스템은 개찰을 위해서 표를 꺼내서 인식시켜야 하므로 승객에게 불편을 준다.

따라서, 본 논문에서는 개찰을 위해서 대기하는 시간을 제거하고 개찰을 위해서 표를 인식시켜야 하는 불편함을 개선하고자 2개의 주파수를 이용한 무개찰 시스템을 제안하였다. 또한, 카드의 판별을 위한 방법을 제안하고 모의실험을 통해서 무개찰 시스템의 요금징수에 관한 모니터링 화면을 제시하였다.

2.2 무개찰 시스템의 구조

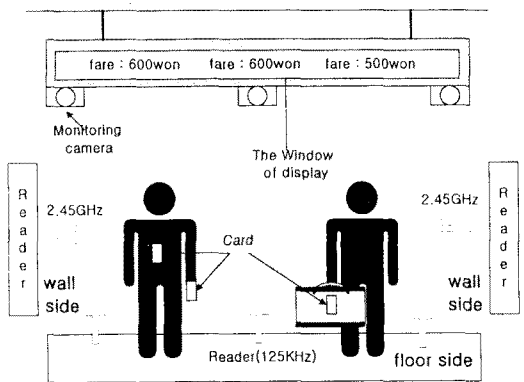


그림2. 무개찰 시스템 구성도

2. 무개찰 시스템

2.1 무개찰 시스템의 도입 배경

기존의 게이트 방식의 개찰 시스템은 점점 증가하는 승객의 흐름을 미처 따라가지 못하고 있는 실정이다. 출근, 퇴근시간처럼 사람의 왕래가 많은 때에는 길게 줄을 서서 기다리는 모습은 흔히 볼 수 있는 현상이다. 이러한 현상 이외에도 짐을 많이 소지한 승객이나 장애자는 개찰을 위해서 불편한 자세로 승차권을 인식시키고 게이트를 통과하게 된다. 이러한 불편을 제거하고 승객의 흐름을 빠르게 변화 시켜서 열차의 운행 시간을 단축하고자 무개찰 시스템을 구상하게 되었다. 그림1은 현재 대

무개찰 시스템의 구성은 그림2와 같이 바닥면에는 에너지 전송 및 카드 인식을 위해서 125KHz의 캐리어 주파수를 사용하고, 벽면에는 2.4GHz대의 주파수를 사용하여 데이터 송수신을 할 수 있도록 구성하였다. 이러한 시스템을 이용하면 승객이 승차권의 제시 및 개찰이 불필요하므로 승객의 소통이 원활해질 수 있다. 특히, 2.4GHz대의 데이터 송수신은 현재 개발된 Bluetooth를 이용하여 통신하는 방법을 구상하였다. Bluetooth의 주요 특징은 단순하면서 저전력, 저비용이며 데이터 전송 속도가 1Mbps정도로 빠르고, 데이터 전송거리가

약 10m정도라는 점이다. 1MHz 간격의 채널로 79개의 채널을 사용할 수 있으며 송수신의 복잡성을 최소화시키기 위해서 GFSK방식을 사용하고 있으며 주파수 호핑 스펙트럼방식(FHSS)으로 전송을 해서 interference와 fading의 영향을 줄이도록 하였다. 카드 내에 Bluetooth칩을 첨부하여 데이터의 송수신에 적용한다면 카드의 정보를 거리의 한계를 극복하고 빠른 시간안에 취득할 수 있을 것이다.[4]

### 2.3 승객의 카드분류 시스템

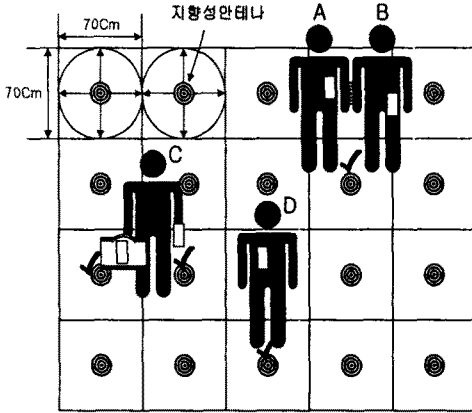


그림3. Card Check Zone

그림3은 승객이 다수의 카드를 소지하고 있는 상태를 판별하기 위해서 제시된 시스템이다. 그림과 같이 바닥면에 일정한 간격으로 가로, 세로 70cm정도의 루프형 지향성 안테나를 설치하여 승객의 흐름을 추적하고 Passive형 RF-ID형 카드에 전원을 공급하면서 최종적으로 제안된 무개찰 시스템을 통과하기 전에 단 하나의 카드만을 선택하도록 구성된 시스템이다.[1]

### 2.4 지향성 안테나의 설계

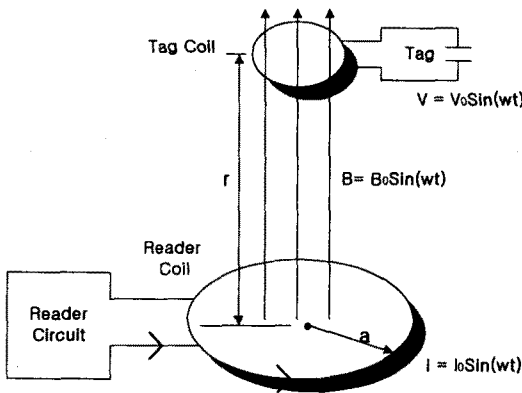


그림4. 전자유도 코일 안테나

Reader와 Tag 사이의 자장의 세기는 그림 4와 같은 형태로 간단히 나타낼 수 있는데 이것을 수식으로 표현하면 (1) 같이 나타낼 수 있다.

$$B_0 = \frac{u_0 I N a^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \quad (1)$$

$$= \frac{u_0 I N a^2}{2} \left(\frac{1}{r^3}\right) \text{ for } r^2 \gg a^2$$

단, 여기에서

- $r$  : Tag와 Reader 사이의 거리
- $a$  : Reader의 안테나 반지름
- $I$  : 전류
- $u_0$  : 진공의 투자율 ( $4\pi \times 10^{-7}$ )
- $N$  : Reader 코일의 감은 횟수

즉, 자장의 세기는 전류와 코일의 감은 횟수와 Reader의 면적에 비례하고 거리  $r^3$ 에 반비례한다는 것을 알 수 있다. 또한, Tag 안테나의 수평면과 Reader 안테나의 수평면이 서로 마주보고 있는 상태에서 가장 큰 자장의 힘을 얻을 수 있다. Tag가 받는 유도 기전력은 Faraday의 법칙에 의하면 (2)식과 같이 나타낼 수 있다.[2]

$$V_0 = 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos \alpha \quad (2)$$

여기에서

$f_0$  : 도착 신호의 공진 주파수

$N$  : Tag 코일의 감은 횟수

$$Q_0 : \frac{\text{One cycle 당 시스템에 저장된 Energy}}{\text{One cycle 당 시스템에서 방산된 Energy}}$$

$$\left( = \frac{B}{f_0} = R \sqrt{\frac{C}{L}} \right)$$

$S$  : Tag의 안테나의 면적

$\alpha$  : 도착 신호의 각도

(2)식을 이용하여 이 무개찰 시스템에 적합한 안테나를 구성하면 카드 측이 받는 자장의 크기는 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_0 = \frac{V_0}{2\pi f_0 N Q S \cos \alpha}$$

$$= \frac{5V}{2\pi \times 125 \text{kHz} \times 100 \times 15 \times (46.44 \text{cm}^2)} \quad (3)$$

$$\approx 0.9 \mu \text{Wb/m}^2$$

- $N = 100 \text{ turns}$
- $Q = 15$
- $S = 8.6 \text{cm} \times 5.4 \text{cm}$
- $\cos \alpha = 1$
- 일 때이다.

Card check zone에서 사용할 Reader 안테나의 크기를 지름 70cm로 정하고 NI 관계식을 식(1)에서 유도하면 식(4)와 같이 설계할 수 있다. 1m의 통신거리를 요구하고자 할 때를 나타낸 것이다.

$$NI = \frac{2B_0(a^2 + r^2)^{3/2}}{u a^2}$$

$$= \frac{2 \times (0.9 \times 10^{-6})(0.35^2 + 1^2)^{3/2}}{4\pi \times 10^{-7} \times 0.35^2} \quad (4)$$

$$\approx 12.19 (\text{ampere} - \text{turns})$$

## 2.5 카드 분리 원리

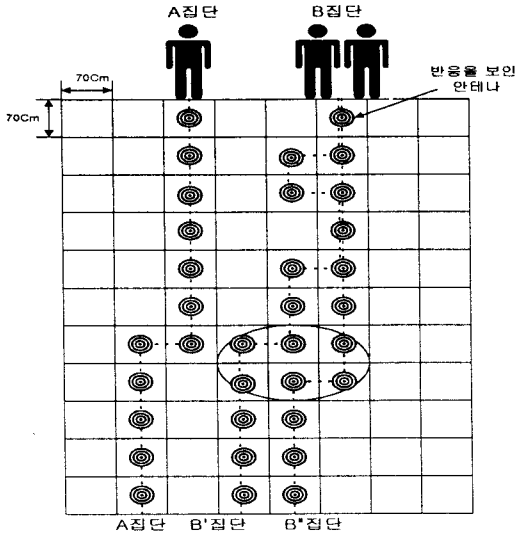


그림5. 안테나 반응으로 본 승객의 이동

실선으로 나타낸 방향으로 승객이 소지한 카드가 이동하면서 바닥에 설치된 125KHz용 안테나는 그림5와 같이 반응을 보인다. 이때 첫 번째 행에 카드가 진입하면 그 카드에 대한 데이터를 읽어들이고 카드를 추적하기 시작한다. 이 그림에서 B집단이 처음에는 한 명의 승객으로 인식되지만, 타원으로 표시된 부분에서 뚜렷한 변화를 보이므로 각각 다른 카드집단으로 분류하게 된다. 최종적으로 A집단과 B집단은 A, B, B\* 집단으로 분리함으로써 무개찰 시스템 통과시에 이런 결과를 바탕으로 요금을 징수한다.

## 3. 실험결과 및 PC 모니터링

### 3.1 Card check zone 모의 실험

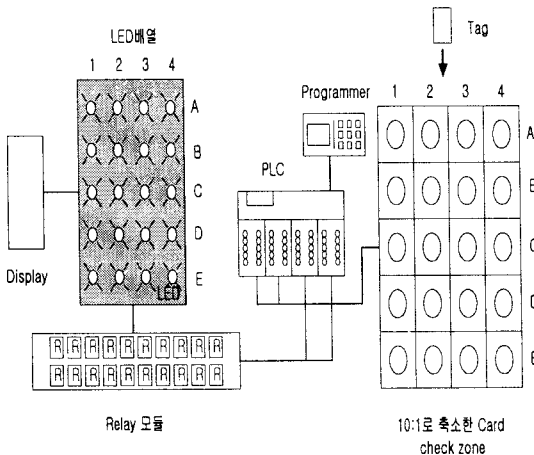


그림6. Card check zone 모의 실험 구성도

그림6는 Card check zone 모의 실험을 하기 위해서 구성한 그림이다. 바닥면에 안테나를 설치했을 때 Tag인 카드가 진입을 하면 A행에 배치된 안테나에 의해서 바로 Tag의 고유번호를 읽어서 Display를 시켰다. 동시에 PLC를 통해서 Relay를 동작시켜 Card check zone과 같은 배열의 LED를 들어오도록 프로그램 하였다. Tag가 진행되는 방향을 기억하도록 하여 Tag를 소

지한 승객의 이동을 추적하였다. 카드가 진입을 하면 카드의 이동에 따라 센서가 반응을 해서 LED로 전달하므로 해당 카드가 어떤 흐름으로 이동하고 있는지를 눈으로 확인할 수 있었다. 이 모의 실험에서는 단순히 한 사람이 소지한 2개 이상의 Tag가 진입하였을 경우를 고려하여 실험을 하였지만 이러한 원리를 이용하여 PC로 모니터링 할 수 있는 프로그램으로 변경하여 나타낸다면 다수의 Tag의 진행 방향과 분리가 가능하겠다.

### 3.2 PC 모니터링

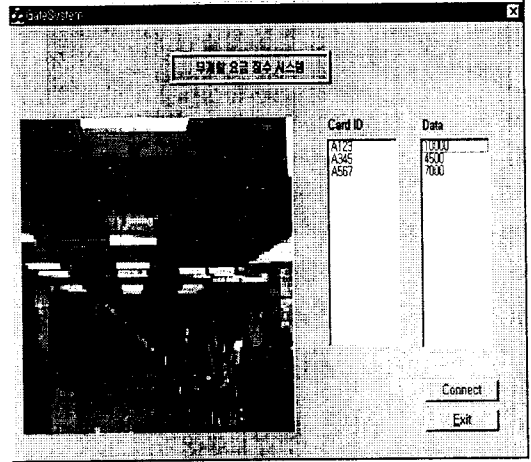


그림7. 무개찰 시스템 모니터링 화면

무개찰 시스템을 위한 화면 구성과 Tag의 고유 ID번호와 요금 정산을 위한 화면을 그림7에 나타내었다. A123이라는 ID를 가진 Tag가 무개찰 시스템의 Reader에 들어오면 그 ID를 읽어서 PC 화면에 전송하게 된다. 다시 Reader는 Tag로 요금 청구를 위한 데이터를 요구하면 Tag는 데이터를 Reader로 전송하고 그 값을 모니터링 한 후 요금 계산을 하고 정산 후의 Data를 다시 Tag로 전송함으로써 모든 과정이 끝난다. 본 논문에서는 실제의 시스템이 구현되지 않아서 PC 대 컨트롤러와의 전송만을 실행하였다.

## 4. 결론

본 논문에서 무개찰 시스템으로 게이트를 제거한 시스템으로 지하철을 이용하는 방법과 card check zone을 이용해서 승객이 소지한 다수의 카드를 분리하는 방법을 제시하였다. 이러한 시스템의 사용으로 승객이 편리하게 개찰을 하고 게이트 앞에서의 대기시간을 제거함으로써 혼잡한 시간대에도 정체 시간 없이 빠르게 이용할 수 있으므로 그 기대 효과가 큰 것으로 판단된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 김현, 양정복, 오세호, 김양모, "지하철 무개찰 시스템에 관한 연구", 2001년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환 시스템학회 춘계학술대회 논문집, pp.423-425, 2001.4.
- [2] "MicroID 125KHz RFID System Design Guide", MicroChip Technology Inc, 1998.
- [3] 이상열, "Visual C++ programming bible", 영진출판사, pp.1567-1607, 1998.
- [4] "Specification of the BLUETOOTH system", specification volume 1, Bluetooth, 1999.