

철도 건널목 정시간 제어방식 개발

Development of a Time-Based Railway Crossing Control System

오주택

교통개발연구원 책임연구원

이선하

공주대학교 건설환경공학부 조교수

박동주

공주대학교 건설환경공학부 조교수

정천희

공주대학교 건설환경공학부 석사과정

김태곤

(주) 유 경 제 어

신성훈

교통개발연구원 연구원

목 차

I. 서론

1. 연구의 내용 및 목적
2. 연구의 방법

II. 철도건널목 국내 현황 및 관련연구 검토

1. 철도건널목 국내 현황
2. 기존 정거리 제어방식의 개념 및 문제점
3. 기존 정시간 제어방식의 개념 및 문제점
4. 관련연구 검토

III. 철도 건널목 정시간 제어방식 개발

1. 정시간 제어방식을 위한 검지센서의 설치위치
2. 정시간 제어방식을 위한 속도 연산처리

IV. VISSIM Simulation을 활용한 효과분석

1. 건널목 제어관련 및 시나리오 가정
2. VISSIM Simulation 결과분석

V. 결론 및 향후 연구과제

참고문헌

Key Words : 대기행렬길이, 열차속도 검지, 정시간, 정거리, 철도건널목, 통행시간, Vissim

I. 서론

1. 연구의 내용 및 목적

철도건널목 사고는 도로교차로 사고에 비하여 사고빈도는 작으나 사고 발생 시 대형사고로 이어져 막대한 사회적·경제적 손실을 초래한다. 장래 철도의 복선화, 고속화 및 도로 교통량 증가로 인해 철도건널목 사고위험은 현재보다 증가될 것이다. 철도건널목 사고를 줄이기 위해 건널목의 입체화가 매년 이루어지고 있으나 지형적 문제 및 경제적 여건 등으로 한계가 있다. 입체화가 이루어지지 않은 건널목의 경우 사고위험성을 줄이기 위하여 건널목의 지능화가 필요한 실정이다.

기존 우리나라의 철도건널목 진입경고 및 제어는 특정 위치에서 열차를 검지하여 경보등 및 경보음을 이용하여 열차의 진입을 알려주고 차단기의 하강을 정거리로 제어하는 방식으로 이루어지고 있다. 이러한 방식은 열차위주의 제어방식으로써

건널목 주변의 일반 차량에 대한 효율적 제어가 이루어지지 않는다.

정거리 제어방식의 경우 열차의 종류에 따른 접근속도의 편차를 고려하지 않고 단지 최고속도의 열차를 기준으로 한 건널목 대기시간을 차량운전자와 보행자에게 제공하고 있다. 이때 저속 열차의 통과 시 건널목 대기시간이 길어져 차량 운전자와 보행자에게 불편함을 주고 있으며 건널목 대기시간이 필요 이상으로 긴 경우, 차량운전자와 보행자는 경고를 불신하게 되고 잘못된 판단을 유도하게 되어 열차 진입 경보중임에도 불구하고 건널목 통과를 시도함으로써 사고가 발생할 가능성을 내포하고 있다. 그리고 철도건널목의 경보 및 차단기 제어시간에 따라 차량의 진행과 정지가 통제되어 인접교차로의 교통흐름에 큰 영향을 주고 있다. 이로 인하여 지속적인 정체와 도로의 기능 및 효율성 저하로 경제적인 손실이 발생한다. 따라서 열차의 속도와 도착예정시간을 반영한 보다 현실적인 실시간 제어에 대한 연구가 필요하다. 열차의 속도를 검지하면 고속열차와 저속열차에 따라 속도를 계산하여 일정한 지연시간을 두고

건널목 경보를 시작하여 건널목 경보시간을 조정할 수 있다.

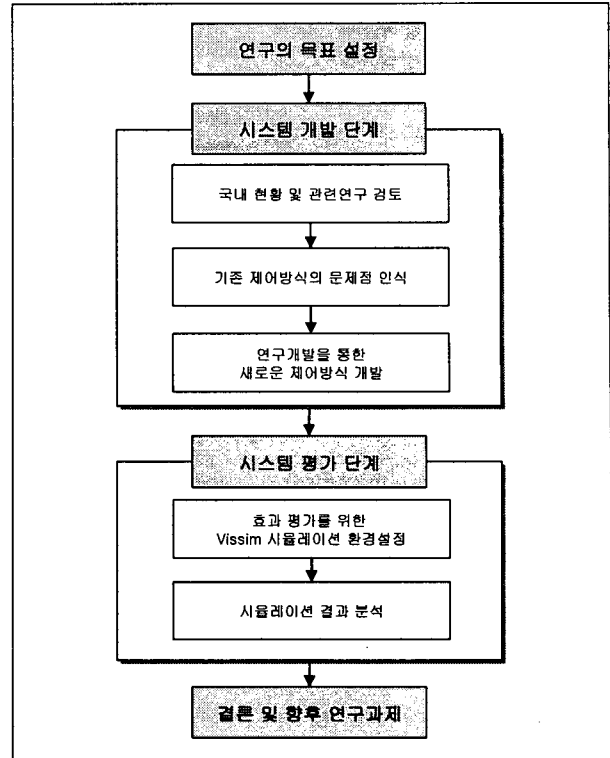
따라서 본 연구에서는 철도건널목의 정시간 제어방식을 개발하여 차량 운전자나 보행자의 건널목 대기시간에 따른 불편함을 해소하고 그로 인해 일어날 수 있는 건널목 사고를 사전 예방하며, 기존의 독립적으로 운영되던 철도 건널목 운영과 도로 교차로의 운영을 서로 연계 운영할 수 있는 근간을 마련하고자 한다.

2. 연구의 방법

본 연구의 목적은 철도 건널목의 정시간 제어방식의 운영을 통한 안전성 및 효율성의 향상이다. 철도 건널목의 제어방식을 정시간 제어방식으로 운영하기 위해서는 열차의 정확한 위치와 속도를 알아야 한다. 그러기 위해서는 열차 검지센서의 위치 선정 및 열차의 속도를 정확하게 연산할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 구간 내에 운행되는 열차의 최고속도를 기준으로 열차 검지센서의 위치 선정 및 속도검지를 바탕으로 연구를 행하였다.

연구를 행함에 있어 기존의 정거리 제어방식과 정시간 제어방식의 Before-after 효과분석은 실제 철도건널목 상에서 이루어지기에는 다소 어려움과 한계성이 있기 때문에 철도건널목 정시간 제어방식의 Before-after 효과분석을 하기 위하여 1992년 독일에서 개발된 미시적 교통시뮬레이션 소프트웨어인 Vissim Simulation을 통하여 효과분석을 시행하였다.

Vissim Simulation을 이용한 정거리 제어방식과 정시간 제어방식의 효과분석을 하기위하여 Vissim Program에서 철도건널목환경 및 차단기 제어관련 가정이 가능한지 검토 후 건널목 환경과 제어관련 가정에 가장 근접한 Vissim Simulation환경을 설정하였고, 여러 가지 가정된 시나리오를 구성하여 효과분석을 실시하였다. <그림 1>은 본 연구의 수행 절차를 나타내고 있다.



<그림 1> 연구수행 절차

II. 철도건널목 국내 현황 및 관련연구 검토

1. 철도건널목 국내 현황

국내 철도건널목은 「건널목개량촉진법(법률 202462호) 및 동법 시행령」과 「건널목 설치 및 설비기준 규정(철도청 훈령 제2578호)」에 의거 설치하며 건널목을 통과하는 도로 및 철도 교통량과 건널목 안전설비 설치여부에 따라 1종, 2종, 3종 건널목으로 구분하고 있다. 국내 철도건널목 종별 설치현황은 <표 1>과 같이 전체 1,744개소 중 1종 건널목이 1,611(92.3%)개소로 가장 많이 설치되어 있다.

<표 1> 철도건널목의 종별 구분

종별	내용	설치현황
1종 건널목	<ul style="list-style-type: none"> 차단기 및 경보기 설치 건널목 교통안전표지 설치 설치된 차단기를 주·야간 계속 작동 건널목 안내원이 배치된 건널목 	1,611개소 (92.3%)
2종 건널목	<ul style="list-style-type: none"> 경보기 교통안전 표지 	32개소 (1.8%)
3종 건널목	<ul style="list-style-type: none"> 교통안전표지 	101개소 (5.9%)

국내 철도건널목의 제어방식을 살펴보면 <표 2>와 같이 전체 1종 건널목 1,611개소 중 119개소(10.3%)만이 경보시간 길이가 일정한 정시간 제어방식을 사용하고 있으며, 이외 1,492개

소는 정거리 제어방식을 사용하고 있다.

<표 2> 정시간 제어방식 설치현황

정시간 제어 방식 설치현황				
1999	2000	2001	2002	소 계
4개소	27개소	50개소	38개소	119개소

2. 기존 정거리 제어방식의 개념 및 문제점

정거리 제어방식의 개념은 열차의 속도에 따라 경보시간 길이가 가변적인 제어방식이다. 정거리 제어방식은 <표 3>과 같이 철도건널목 1km 전방에서 열차가 감지되었을 경우 열차속도에 따른 건널목 도달 시간은 150km/h로 운행하는 열차의 건널목 도달시간이 23초, 20km/h로 운행하는 열차의 건널목 도달시간은 180초로 150km/h로 운행하는 열차와 20km/h로 운행하는 열차의 건널목 도달시간 차이는 무려 157초가 발생한다. 이로 인하여 철도 건널목 이용자로 하여금 조바심을 가지게 하고 경험에 의한 경보 무시를 유도하여 사고를 초래할 수 있다.

<표 3> 열차 속도에 따른 열차의 건널목 도달시간

열차속도(km/h)	건널목 도달시간(초)
150	23
140	26
120	30
100	36
80	45
60	60
40	90
20	180

3. 기존 정시간 제어방식의 개념 및 문제점

기존 정시간 제어방식의 개념은 열차의 건널목 접근속도에 따라 경보개시 기준을 30초로 설정하여 검지기 2조를 1.5~3m 간격으로 설치하여 열차의 진입을 검지함과 동시에 두 검지기 사이를 열차가 지나가는 시간을 측정하여 열차속도와 건널목 도달시간을 (식 1)과 (식 2)를 통해 산출하여 건널목 경보시간을 일정하게 하는 제어방식이다.

열차속도

$$V = 3.6L_1 / T \dots\dots\dots (식 1)$$

여기서, L_1 : 검지기와 검지기 사이의 거리
 T : 검지기 사이의 열차검지 시간

열차의 건널목 도달시간

$$T = 3.6L_2 / V \dots\dots\dots (식 2)$$

여기서, L_2 : 두 번째 검지기와 건널목사이의 거리
 V : 검지기사이에서 검지된 열차의 속도

기존 정시간 제어방식의 열차 검지방식은 휠 검지방식으로써 여러 가지 문제점이 제기되고 있다. 기존 휠 검지방식은 열차 바퀴를 센싱하여 열차의 검지유무를 판단함으로써 검지시간이 매우 짧고 열차 바퀴의 크기에 따라 민감하게 반응하며, 센서간의 거리가 1.5~3m간격으로 매우 짧기 때문에 열차의 정확한 속도를 연산하는데 한계를 가지고 있다.

또한 검지가 설치 위치가 레일에 부착되기 때문에 유지보수(선로갱환, 선로다지기, 선로보수)를 위한 센서 탈/부착 시 정밀한 설치를 요하므로 기술자에 의한 장시간 설치시간이 필요하며, 열차속도 검지이후 열차가 감속 시에는 별 다른 문제가 없으나, 가속 시에는 예정보다 빨리 열차가 건널목에 진입하여 위험한 상태로 전이될 수 있는 문제점을 가지고 있다.

4. 관련연구 검토

철도 건널목 정시간 제어방식에 관한 연구는 건널목 안전관련 연구가 활발히 이루어지고 있는 미국과 유럽 등지에서는 비교적 많은 연구가 수행되고 있다. 반면, 국내에서는 철도 건널목의 정시간 제어방식에 관한 연구가 현재로서는 전혀 이루어지고 있지 않은 실정이다.

철도 건널목 정시간 제어방식에 관한 국외의 연구로 1990년 Stephen H. Richards의 연구와 Texas A&M Hanseon Cho의 연구가 있다. 먼저 Stephen H. Richards의 연구는 정거리 제어방식으로 운영되던 건널목을 정시간 제어방식으로 전환하였을 때 효과를 Before-after 방법을 통하여 분석하였다. 그 결과 정거리 방식을 이용 하였을 때 건널목의 경보장치가 작동한 시점부터 열차가 건널목을 통과하기 직전 시간 사이에 건널목을 횡단한 차량의 수는 정거리 방식의 경우 열차 당 10.86대이며, 정시간 방식은 열차 당 3.35대로 연구되었다. 또한 열차가 건널목에 도착하기까지 남아 있는 시간을 20초로 가정하였을 때 건널목을 횡단하는 차량의 수는 정거리 방식의 경우 열차 당 1.82대이며, 정시간 방식은 열차 당 0.78대로 분석되었다.

Texas A&M에서 Hanseon Cho의 연구에 의하면 철도건널목으로부터 근접해있는 도로교차로에 대한 Signal Preemption Time값이 40초가 적정한 것으로 연구되었다.

III. 철도 건널목 정시간 제어방식 개발

1. 정시간 제어방식을 위한 검지센서의 설치위치

기존 철도건널목의 경보시간은 일반적으로 경보 시작 3초 후 차단기가 하강하기 시작하며 단기의 완전하강시간은 8초이고, 차단기가 내려간 후 최소 15초 이상 후에 열차가 통과하여야 하므로 보통 30초로 설정하고 있다.

그러나 본 연구에서는 기존 연구검토에 의한 도로교차로와

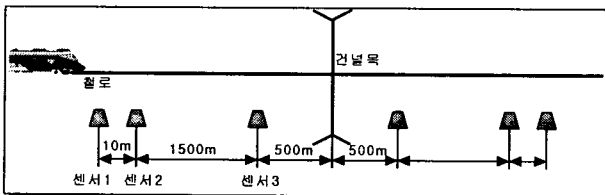
철도건널목 사이의 우선 신호시간이 40초인 점을 고려하여 기존 일반 경보시간에 15초의 시간을 추가한 45초를 철도건널목의 경보시간으로 산정하였다. 경보제어 시간의 길이는 (식 3)과 같이 산출된 경보시간과 그 구간을 운행하는 열차의 최고속도 곱으로 산출된다. 본 연구에서는 새마을호의 최고 속도인 160km/h를 구간 최고 속도로 가정하였다.

$$L = T \times V_{\max} \dots\dots\dots (식 3)$$

여기서, T : 건널목 경보시간(sec)
 V_{\max} : 열차 최고속도(m/sec)

그 결과 철도건널목 경보시간을 45초로 하였을 때 열차검지 센서의 위치는 <그림 2>와 같이 철도 건널목 전방 2km 지점에 10m 간격으로 설치하는 것이 타당한 것으로 연구되었다. 그리고 운행구간에서의 열차 가·감속이 비 주기적으로 수행되므로 열차의 가·감속에 대처할 수 있는 구간 감시센서(센서3)를 추가로 설치하여야 한다.

열차의 가속이 감지됐을 때, 즉시 경보를 울리고 차단기가 완전히 하강하기 위한 시간이 8초가 소요되므로 설치거리는 구간 통과열차의 최고속도인 160km/h를 기준으로 철도건널목 약 500m 전방에 설치하여야 한다. 이렇게 설치된 센서 3은 센서 1, 2에서 검지된 열차속도에 의해 예측된 열차 통과시간 대비 열차검지를 연산하여 경보 구간 내 열차의 가·감속을 판단할 수 있다.



<그림 2> 검지기의 양방향 운행열차 검지설치

2. 정시간 제어방식을 위한 열차 속도 연산처리

건널목 경보구간 내 진입 열차의 속도를 측정하여 경보시간 및 경보개시 시간을 산출하고 경보구간 내에서 열차의 가·감속을 산출하여 적정시간의 경보 시간을 확보하기 위해서는 로직을 구현하여야 한다. 속도 연산처리 부분은 연산오류 발생 시 치명적인 사고가 발생할 수 있으므로 2중 연산 처리를 시행하여 신뢰도를 높였다.

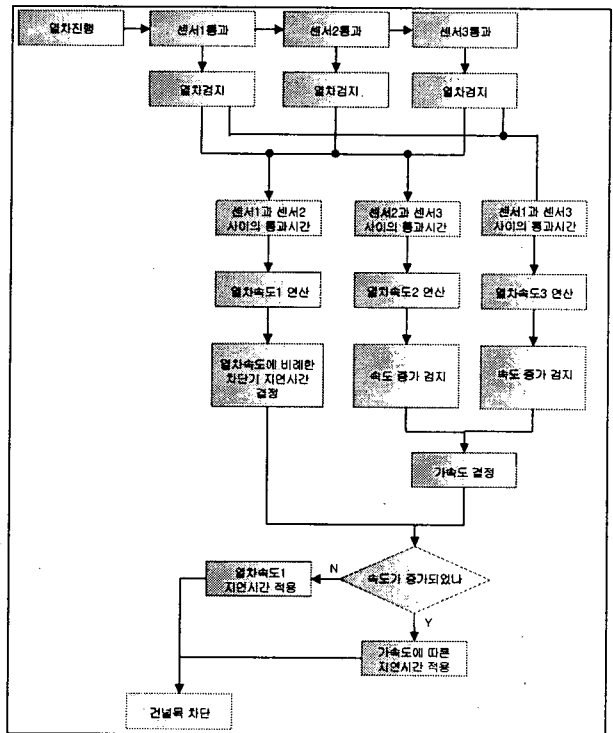
2) 검지센서의 열차 속도연산 논리

열차 검지센서는 <그림 4>, <그림 5>와 같이 열차검지 시점에 두개의 센서를 10m 간격으로 설치하고 세 번째 센서는 1500m 간격으로 설치하여 진입하는 열차를 3포인트에서 검지하여 열차속도를 연산한다.

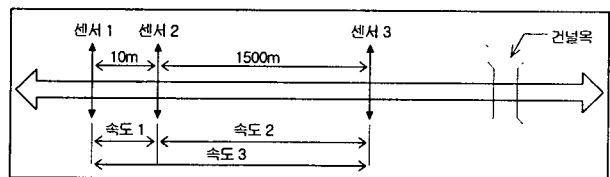
1) 열차 속도검지 방식 동작 알고리즘

열차가 진행하면 열차 진행 방향에 따라 <그림 2>의 센서 1을 통과하면 센서에 의해 열차가 검지되고 센서 2를 통과하면 다시 센서에 의해 열차가 검지가 되어 첫 번째 센서와 두 번째 센서에 검지되는 시간차를 알 수 있다. 이때 마이크로 프로세서는 두 센서의 거리와 두 개의 센서가 검지한 시간차를 연산하여 열차 속도 1을 계산해내며, 그에 따라 열차속도에 비례한 차단기 지연시간을 적용하여 차단기를 제어할 수 있다. 여기에 다시 센서 3에서의 열차검지로 센서 2와 센서 3 사이의 검지 시간차와 거리를 이용하여 열차속도 2를 알 수 있다.

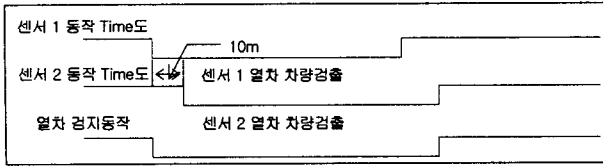
또한 센서 1과 센서 3 사이의 열차속도 3도 마이크로프로세서에 의해 계산되며 만약 열차가 센서 1과 센서 2 사이보다 센서 2와 센서 3 사이를 더 빠른 속도로 통과하고 열차속도 1보다 열차속도 2가 어느 비율 이상 크면, 열차속도 1과 열차속도 2 그리고 열차속도 3의 비교연산에 의해 가속도 여부가 정해져 가속도에 따른 차단기 지연시간이 적용된다. 동작 알고리즘에 대한 플로어 차트는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 열차속도 검지 알고리즘

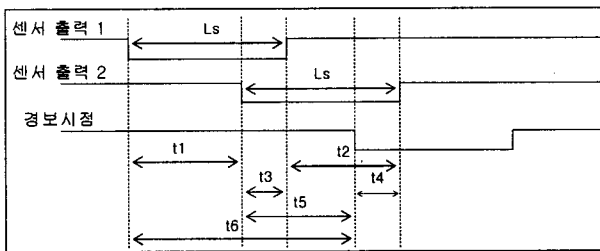


<그림 4> 열차 검지센서의 설치



<그림 5> 검지 센서 동작 타임도

건널목으로 진입하는 열차의 속도는 <그림 6>과 같이 센서의 3포인트에서의 속도 1, 2, 3을 입력조건으로 각 구간별 속도와 전체 가속도 및 평균가속도를 계산하여 최종 건널목 도착시간을 산출하였다. 속도 및 가속도 검출식은(식 4), (식 5)와 같으며, 열차 길이 검출식은(식 6)과 같다.



<그림 6> 센서 출력에 따른 열차의 시간차

- t_1 : 센서 1-2간의 열차 도착 시간차
- t_2 : 센서 1-2간의 열차 통과 시간차
- t_3 : 센서 2에서 검지 후 센서 1 통과 시간차
- t_4 : 센서 3에서 검지 후 센서 2 통과 시간차
- t_5 : 센서 2-3간의 열차 도착 시간차
- t_6 : 센서 1-3간의 열차 도착 시간차

$$V = \frac{L_d}{\Delta t} \dots\dots\dots (식 4)$$

여기서, V : 열차 속도
 L_d : 센서 1과 센서2 사이의 거리
 Δt : 센서의 열차 검지 차
 $\Delta t = [\Delta t_1 + \Delta t_2]/2$

$$a = \Delta V/t \dots\dots\dots (식 5)$$

여기서, a : 가속도
 ΔV_1 : (2센서~시점속도)-(1, 2 센서간 속도)
 ΔV_2 : (1센서~시점속도)-(2센서~시점간 속도)
 t : 각 센서간 통과 소요 시간

가속도 1 $a_1 = \Delta V_1/t_1$

가속도 2 $a_2 = \Delta V_2/t_6$

평균가속도 $\Delta a = \frac{a_1 + a_2}{2}$

여기서, t_1 : 1, 2센서간 소요 시간
 t_6 : 1센서에서 경보 시점간 소요 시간

$$L = V \times t_0 - L_s \dots\dots\dots (식 6)$$

여기서, L : 열차 길이
 $t_0 = [\Delta t_3 + \Delta t_4]/2$
 L_s : 센서에 검지된 시간

IV. Vissim Simulation을 활용한 효과분석

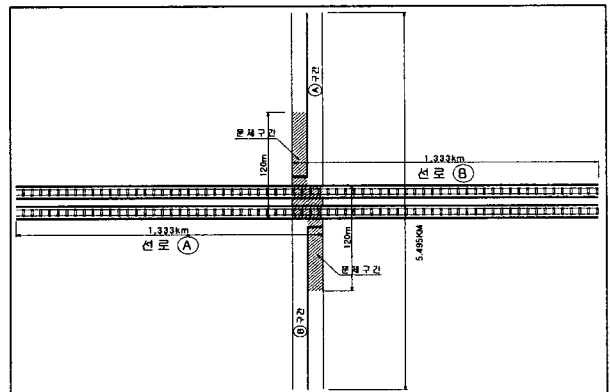
1. Vissim Simulation 네트워크 구성 및 시나리오 가정

1) 네트워크가정

건널목 제어방식에 따른 차량의 통행시간 및 지체, 정체시간을 분석하기 위하여 <그림 7>과 같이 도로 A, B양방향 구간 5.495km를 통행차량 분석구간으로 가정하고, 정지선을 중심으로 2.745km후방까지 도로 A, B양방향 구간을 차량대기행렬 길이 분석구간으로 가정하였다. 또한 도로차량 대기행렬 분석 시 차량의 운행속도 및 차두간격의 관련 가정은 다음과 같이 설정하였다.

- 5km/h ≤ 차량운행속도 < 10km/h 일때 대기행렬차량 대상
- 5km/h ≤ 차량운행속도 < 10km/h 그리고 차두간격이 20m이상이면 대기행렬차량에서 제외
- 차량운행속도 < 5km/h때 정지차량
- 관측 Interval 3,600초

그리고 철도건널목 환경 가정에서 문제구간은 모든 통과차량의 속도가 제한 및 감속하는 구간으로써 건널목 안전표지가 있는 위치 120m부터는 승용차량이 30~40km/h, 중차량 30~35km/h의 속도로 제한하였고, 문제구간을 제외한 나머지구간의 속도는 승용차량 65~70km/h, 중차량 60~65km/h의 속도로 운행하도록 설정하였다. 철도선로의 길이 B구간은 열차최고속도 160km/h로 진행 시 건널목 도달시간 30초를 기준으로 측정 한 거리이며, 열차의 길이는 130m로 가정하였다.



<그림 7> 건널목 제어관련 네트워크 가정

2) 건널목제어관련 및 시나리오 가정

(1) 정거리 제어방식 가정

정거리 제어방식의 건널목제어 시스템은 열차 출현 시 검지 센서에 의해 검지된 직후 차단기 경보 및 작동하고 열차가 건널목 통과 1초 후 차단기 상승과 동시에 경보를 해제하게 된다.

(2) 정시간 제어방식 가정

정시간 제어방식의 건널목제어 시스템은 열차검지 후 열차 도착시간 30초 전부터 차단기가 작동한다. 즉, 시속 100km/h의 속도로 1.333km전방의 건널목까지의 도달시간은 53.7초가 소요되는데 53.7초에서 23.7초를 제외한 시간부터 차단기의 경보 및 작동을 시작하며, 열차가 건널목 통과 1초 후 차단기 상승과 동시에 경보가 해제된다.

(3) 시나리오구성 가정

건널목 제어방식 시나리오구성은 크게 철도/도로교통량 및 도로 차선수, 차종구성비(중차량 10%, 일반차량 90%)로 구분하여 30개의 시나리오를 <표 4>와 같이 가정하였다.

<표 4> Vissim 시나리오 가정

시나리오 번호	도로차선 (왕복)	열차 교통량	도로 교통량	시나리오 번호	도로차선 (왕복)	열차 교통량	도로 교통량
1	2	3	100	16	4	3	100
2	2	3	250	17	4	3	250
3	2	3	500	18	4	3	500
4	2	3	750	19	4	3	750
5	2	3	1,000	20	4	3	1,000
6	2	5	100	21	4	5	100
7	2	5	250	22	4	5	250
8	2	5	500	23	4	5	500
9	2	5	750	24	4	5	750
10	2	5	1,000	25	4	5	1,000
11	2	7	100	26	4	7	100
12	2	7	250	27	4	7	250
13	2	7	500	28	4	7	500
14	2	7	750	29	4	7	750
15	2	7	1,000	30	4	7	1,000

- 주 : 1) 30개 전체 시나리오의 철도노선은 복선 임
- 2) 철도교통량은 단방향 한 시간 교통량 임
- 3) 도로교통량은 차선당 한 시간 교통량 임

(4) 열차속도의 가/감속 및 배차간격

열차가 모든 선로구간에서 정해진 속도로 운행하기는 쉽지 않기 때문에 본 연구에서는 열차의 가/감속 여부를 고려하여 시나리오를 가정하였고, 전체 30개 시나리오의 열차대수 150대 중 가속5%, 감속5%를 무작위로 추출하여 각각 5km/h의 속도를 경험하도록 구성하였다. 또한 열차의 배차간격은 균등분할하고 구간별로 최대한 간격을 두어 <표 5>와 같이 구성하였다.

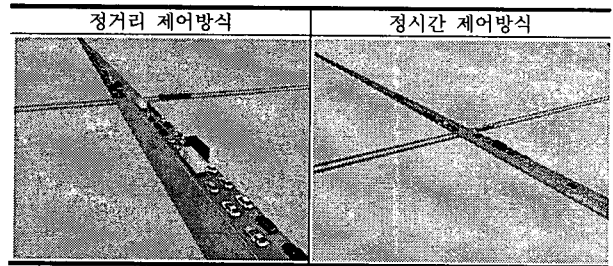
<표 5> 열차 출발시간 및 속도

열차 교통량 (대/시)	해당열차	출발 시간 (초)		열차속도 (km/h)
		A-구간	B-구간	
3 대	열 차 1	300	600	100
	열 차 2	1,650	1,950	160
	열 차 3	3,000	3,300	50
5 대	열 차 1	300	600	90
	열 차 2	990	1,290	120
	열 차 3	1,680	1,980	30
	열 차 4	2,370	2,670	60
	열 차 5	3,000	3,300	160
7 대	열 차 1	300	600	90
	열 차 2	750	1,050	50
	열 차 3	1,200	1,500	30
	열 차 4	1,650	1,950	70
	열 차 5	2,100	2,400	160
	열 차 6	2,550	2,850	130
	열 차 7	3,000	3,300	110

3. Vissim Simulation 결과분석

1) 전체 시나리오 분석결과

건널목제어관련 및 시나리오구성 가정을 통하여 분석한 결과 <표 6>과 같이 정시간 제어방식이 도로구간 A, B양방향 평균 7.0%의 평균통행시간이 감소되었으며, 차량 평균대기행렬 길이는 89.5%, 최대 대기행렬길이는 75.6%의 높은 감소율을 나타내었고, 차량평균지체 시간 및 평균 정지차량대수가 각각 72.7%와 60.0%의 감소효과를 나타내었다. <그림 8>은 Vissim 시뮬레이션 분석과정 중 30번째 시나리오로써 두 가지 건널목 제어방식을 비교분석 한 것으로써 한 눈에 알아볼 수 있을 정도로 효과가 있음을 제시한다.



<그림 8> Vissim 시뮬레이션 비교분석

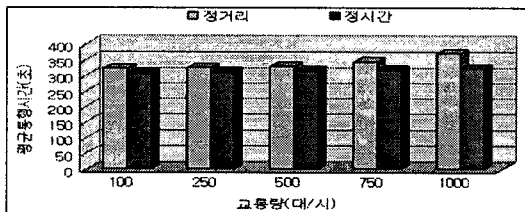
<표 6> Vissim 시뮬레이션 결과분석

분석구분		정거리 방식(A)	정시간 방식(B)	감소율(%) { $\frac{A-B}{A} \times 100$ }	
A-방향	평균통행시간(초)	337.4	314.5	6.8	
	평균지체시간(초)	32.2	9.5	70.5	
	대기행렬 길이	평균(m)	51.8	6.4	87.6
		최대(m)	1,869.0	259.0	86.1
	정지차량대수(대/시)	291.8	129.0	55.8	
B-방향	평균통행시간(초)	337.0	312.7	7.2	
	평균지체시간(초)	32.3	8.1	74.9	
	대기행렬 길이	평균(m)	58.5	5.1	91.3
		최대(m)	1,884.0	346.0	81.6
	정지차량대수(대/시)	317.9	115.1	63.8	
A-B평균	평균통행시간(초)	337.2	313.6	7.0	
	평균지체시간(초)	32.2	8.8	72.7	
	대기행렬 길이	평균(m)	55.1	5.8	89.5
		최대(m)	1,884.0	4,59.0	75.6
	정지차량대수(대/시)	304.8	1,22.0	60.0	

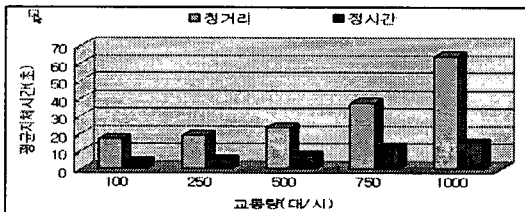
2) 각 시나리오별 분석결과

건널목 제어방식 효과평가에 있어서 도로교통량 및 철도교통량의 영향이 어떻게 작용하는지 알아보기 위하여 각 도로교통량, 철도교통량별로 구분하여 비교분석 하였다.

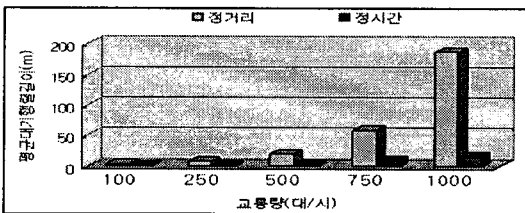
<그림 9, 10, 11>은 도로교통량 증가에 따른 평균통행시간, 평균지체시간 그리고 평균대기행렬길이를 비교분석한 것이다. 그림과 같이 도로교통량이 증가하면 감소율은 더 높아지는 것을 알 수 있다. 평균대기행렬 및 평균지체시간의 경우 정시간 제어방식에 따른 효과는 매우 높은 것으로 분석되었다.



<그림 9> 도로교통량 증가에 따른 평균통행시간



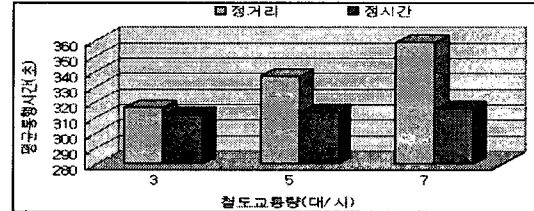
<그림 10> 도로교통량 증가에 따른 평균지체시간



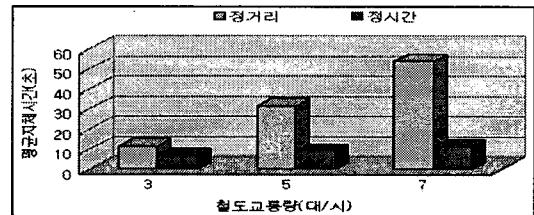
<그림 11> 도로교통량 증가에 따른 평균대기행렬길이

<그림 12, 13, 14>는 철도교통량 증가에 따른 평균통행시간,

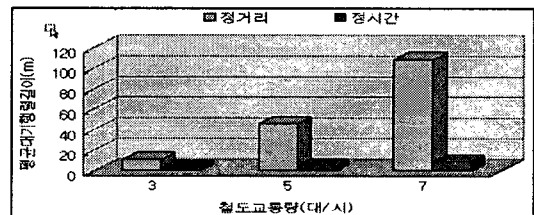
평균지체시간 그리고 평균대기행렬길이를 비교분석한 것이다. 그림과 같이 철도교통량이 증가하면 감소율은 더 높아지는 것을 알 수 있다. 평균통행시간의 경우 도로교통량 증가에 따른 효과와는 달리 더 높은 감소율을 나타내고 있으며, 평균지체시간 및 평균대기행렬길이 또한 정시간 제어방식에 따른 효과는 매우 높은 것으로 분석되었다.



<그림 12> 철도교통량 증가에 따른 평균통행시간



<그림 13> 철도교통량 증가에 따른 평균지체시간



<그림 14> 철도교통량 증가에 따른 평균대기행렬길이

V. 결론 및 향후연구과제

기존 철도건널목의 제어방식은 가변적인 경보시간편차와 열차 검지이후 가속하는 경우 예정보다 빨리 건널목에 도달하므로 위험한 상황으로 전이될 수 있는 문제점이 있다.

또한 ITS(Intelligent Transportation System)분야의 관심이 높아지고 이에 관한 연구가 활발하게 이루어지는 반면 철도건널목은 열차위주의 제어방식으로써 주변 도로와 연계운영되지 않아 효율적이지 못하고 있다. 이와 관련하여 본 연구에서는 기존 제어방식의 문제점을 보완하고 기존 정시간 제어방식 개념을 바탕으로 건널목 주변 도로교차로와의 연계제어를 동시에 고려할 수 있는 새로운 정시간 제어방식을 개발하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 기존 철도건널목 제어방식의 경우 경보시간을 30초를 기준으로 설정하고 있으나 본 연구에서는 Hanseon Cho의 연구에 의한 최소 Signal Preemption Time값이 40초인 점을 고려하여 일반 경보시간에 15초를 추가한 45초를 기준 경보시간으로 산정하였다.

둘째, 새로운 기준 경보시간과 구간은행 최고속도열차를 기준으로 검지기 위치를 선정된 결과 건널목 2km전방에 10m간

격으로 설치하는 것이 타당한 것으로 연구되었다.

셋째, 열차가 가속 시에 대응할 수 있는 검지기 1개를 건널목 전방 500m에 추가로 설치하는 것이 타당한 것으로 분석 되었으며, 추가로 설치된 검지기로 인하여 열차의 가/감속 여부를 판단 할 수 있게 되었다.

넷째, 미시적 교통시뮬레이션인 Vissim을 이용한 30개 시나리오의 제어방식 효과분석 결과 평균통행시간은 7%가 감소되었고, 차량 평균대기행렬 길이는 75.6%가 감소되었으며, 평균지체시간은 72.7%의 감소한 것으로 분석되었다. 도로/철도교통량이 증가할수록 감소율은 더 높아지는 것으로 분석되었다.

본 연구의 철도건널목 제어방식 개발 및 효과평가에 있어 현장에서의 시행사전-사후분석이 아닌 가상시나리오와 가상네트워크상에서 시뮬레이션을 이용하여 분석하였기 때문에 건널목 통행 위반차량의 특성을 고려하지 못하는 한계성을 가지고 있다. 그리고 본 연구에서는 철도건널목 중심으로 연구를 수행하였으나 향후 연구과제로는 철도건널목 지능화 및 첨단도로시스템과의 연계방안과 같은 연구가 활발히 이루어져야 할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Gunyoung Kim 등, Railway Gate Control System at Railroad-Highway Grade Crossing in Korea, TRB 2003
2. Mark D. Wooldridge, Daniel B. Fambro, Marcus A. Brewer, Roelof J. Engelbrecht, Scott R. Harry and Hanseon Cho, Issues Related to Design of At-Grade Intersections near Highway-Railroad Grade Crossings, Texas Transportation Institute, 2000.
3. Stephen H. Richards, Evaluation of Constant Warning Times Using Train Predictors at a Grade Crossing with Flashing Light Signals, TRR 1254, 1990.
4. Vissim3.50 User Manual
5. 교통개발연구원 철도건널목 진입경고 및 제어기술 개발, 2001
6. 박재영, 홍원식, 전병록, 철도신호공학, 동일출판사, 2001.
7. 철도청, 2002철도통계연보, 2003.
8. www.its.dot.gov