

복선구간의 단선운영 방안 시뮬레이션

정의진\*, 김종기\*, 이재호\*, 조봉관\*, 김양모\*\*

\*한국철도기술연구원, \*\*충남대학교

Single line Operation in a double line

E.J.Joung\*, J.K.Kim\*, J.H.Lee\*, B.K.Cho\*, Y.M.Kim\*\*

\*KRRI(Korea Railroad Research Institute), \*\*Chungnam National University

**Abstract** - In the emergency case such as a single line operation in a double line section because of a line broken or train's mal-operation, single line equipments that can operate without a line indication are needed.

The main purpose of this study is to verify and analyze the availability of the single line operation that is able to operate without the indication of up or down line, and to offer a realizably alternative method to improve this situation. In order to carry out this study, we concentrated on getting related information. And to adopt the single line operation to existing line, the technology survey of other countries signalling system and the technical analysis of the interior signalling equipment were performed.

As a result of this study, the required system and effect of the single line operation system were represented

1. 서 론

선로를 유지보수 하려면 열차소통에 지장을 주지 않기 위해서 부득이 열차가 운행하지 않는 야간에 작업해야만 한다. 이러한 야간 작업은 선로 보수원들의 안전작업을 방해하고 작업능률 저하라는 측면에서 적당하지 않다. 만약 열차소통에 지장을 주지 않으면서 주간에도 선로를 유지보수 할 수 있다면 보수원의 안전작업 뿐만 아니라 작업능률면에서 그 효과는 대단히 클 것이다.

현재 복선구간에서 사고복구나 선로 유지보수를 위해 부득이 주간에도 단선운행해야 할 경우, 열차운영방식으로는 반대방향의 열차운행을 위해 역과 역 사이를 한 폐색으로 설정하여 운행하는 대용 폐색방식을 적용하고 있어 적지 않은 열차지연을 유발하고 있으며 열차소통에 지장을 주고 있다.

본 논문에서는 중앙선과 같은 단선구간에 적용된 상·하행 운행이 가능한 자동폐색장치(Automatic Block System : ABS)를 복선구간에 적용할 경우, 기존 대용폐색방식과 비교하여 열차운행을 시뮬레이션 하였으며, 선로 유지보수시 열차소통에 지장을 주지 않으면서 열차를 운행시킬 수 있는 복선구간의 단선운영 방안에 대하여 고찰하였다.

2. 복선구간의 단선운영 사례

2.1 국내 복선구간에서의 단선운영 방법

사고나 유지보수시 복선구간에서 단선으로 운행해야 하는 경우, 현재 국철에서는 역간을 한 폐색으로 설정한 대용폐색방식을 적용하고 있다. 이때 운전사령은 전체 소통 열차의 운행상황을 파악하여 열차에 지도표나 지도권을 발부하고 이를 휴대한 열차만이 운행 가능하도록 되어 있다.

지도표나 지도권을 휴대한 기관사는 열차무선으로 지령을 받으면서 육안으로 해당 단선운영 구간을 운행하게 된다.

이러한 대용폐색방식은 복선구간을 정상적으로 운행할 경우보다 열차지연이 필연적으로 유발되고, 일일이 사람이 개입하여 열차운행을 조절해야 하기 때문에 최적의 열차소통을 이룰 수 없다.

현재 중앙선 등 일부 단선구간에서는 상·하행 운행이 가능한 자동폐색장치가 갖추어져 있어 선형열차의 운행상황에 따라 자동적으로 간격을 유지하여 운행하도록 되어 있다. 이러한 단선구간에서의 자동폐색장치를 사고시나 선로 유지보수를 위해 복선구간에서의 단선운영에 적용할 경우, 어떠한 열차운영 효과가 유발되는지 시뮬레이션 하여 보았다.

2.2 외국 복선구간에서의 단선운영 방법

2.2.1 스웨덴 국철 사례

스웨덴에서는 열차운영방식으로 ATP시스템을 이용하고 있다. 이 방식은 지상에 설치되어 있는 발리스라는 지상장치에서 지상데이터를 차상으로 전달하고 전달된 지상데이터를 차상에서 분석하여 미리 설정된 속도패턴과 비교하면서 운행하는 방법이다. 정보전송에 궤도를 이용하지 않고 지상에 설치되어 있는 발리스로 정보를 전송함으로써 궤도를 이용하는 방식보다 노이즈에 강하고, 별도 전원

필요하지 않고, 차량에서 전송되는 전력에너지를 이용하여 구동되므로 구동을 위한 케이블 설치 필요없으며, 발리스 간을 서로 연결시켜 전·후방의 정보를 전송하므로 신호케이블의 길이가 단축되며, 전송 케이블의 길이가 줄어들어 유지보수 면에서 유리하다 할 수 있다.

그림 1은 스웨덴 철도의 ATP 시스템 구성도를 나타낸 것으로 좌측에서 우측으로의 운행에는 A1, B1 발리스를 이용하고 우측에서 좌측으로의 운행에는 A2, B2 발리스를 이용하여 정보를 전송하도록 되어 있다.

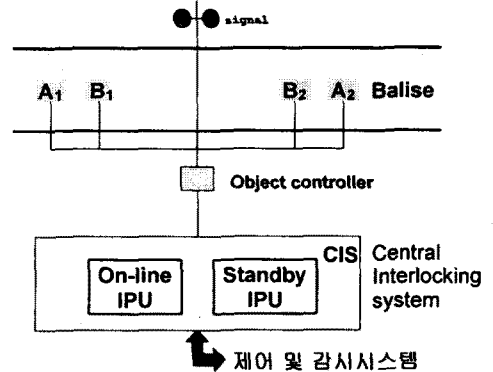


그림 1. 스웨덴 ATP 시스템 구성도

2.2.2 프랑스 국철 사례

경부고속철에서도 쓰이는 방식으로 기존의 ATC 차상신호방식에 궤도회로를 통하여 지상데이터를 차상으로 전달하는 기능을 추가한 것이다. 이 방식은 궤도를 이용하여 연속적으로 신호를 전송할 수 있으나 궤도를 이용하여 정보를 전송하므로 외부 노이즈에 약할 수 있으며, 각 궤도마다 송수신 케이블을 설치하여 열차위치 감지 및 신호전송을 하여야 하므로 설치 및 유지보수 비용이 많이 든다는 단점이 있다. 최근에는 연동장치와 궤도회로 송수신장치를 통합한 시스템이 개발되고 있다.

그림 2는 프랑스 국철의 ATC 시스템 구성도를 나타낸 것으로 열차 운행방향에 따라 궤도회로의 정보 송·수신방향을 절환해 주어야 하기 때문에 송·수신 절환장치가 설치되어 있다.

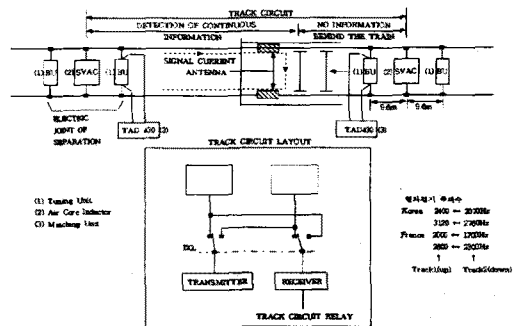


그림 2. 프랑스 ATC 시스템 구성도

### 2.3 외국의 신호시스템 기술 동향

경부선의 경우 ABS와 ATS를 이용한 Speed Step 방식을 이용하고 있는데 제동 공주시간이 길어 열차간 운전시격을 줄이는데 어려움이 따른다. 선진외국의 경우 지상 차상간 협조제어방식인 Distance to Go 방식으로 열차운행시킴으로써 열차간격을 줄여 운행할 수 있으며 통신의 발달로 최근에는 폐색을 없앤 이동폐색방식으로 열차를 운행시키는 방법이 연구되고 있으며, 일부 구간에서는 실용화되어 운행하고 있다.

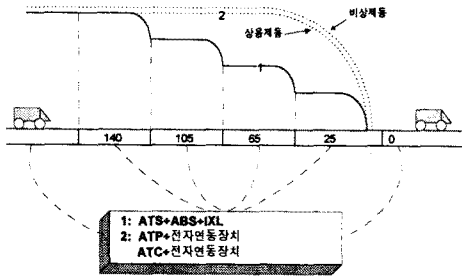


그림 3. 국내의 신호시스템의 속도제어패턴 비교

표 1. 선진외국의 열차운영 현황

구분	국가	스웨덴 스톡홀름-외태보리	프랑스 TGV 북부노선	경부고속전철 서울-부산	기존 경부선
신호방식		차상신호	차상신호	차상신호	지상신호
최고속도		250km/h	370km/h	300km/h	150km/h
분기부 통과속도		80km/h 이상	80km/h 이상	80km/h 이상	25, 45km/h
운전시격		12분대	4분대	4분대	6분대
신호설비		전자연동 CTC	전자연동 CTC	전자연동 CTC	계전연동 CTC
		ATP	ATC	ATC	ATS

표 2. 국내의 신호설비 비교

구분	국내	외국
운전방식	수동	자동
	기관차 육안운전	자동열차제어
신호현시	지상신호방식 (5현시)	차상신호방식
	ATS에 의한 방호운전	ATC 또는 ATP
연동장치	계전기방식	전자식(2중계)
	역구내시설 제어	역구내 및 역간설비 제어
폐색제어장치	컴퓨터 제어방식	컴퓨터 제어방식
	추적논리 없음	열차추적 가능
특징	안전성 강조	안전성+고속고밀도 운전

### 3. 복선구간의 단선운행 시뮬레이션

#### 3.1 열차운영 시뮬레이터 VISION

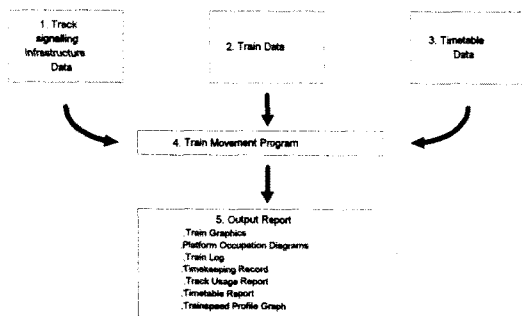


그림 4. VISION의 구성도

복선구간의 단선운행 시뮬레이션을 위해 열차운영 전문 시뮬레이션 프로그램인 VISION을 이용하였다. VISION은 선로 및 차량데이터를 현재의 운행상황과 똑같이 입력하여 열차운영 시뮬레이션을 할 수 있으므로 여러 조건에 대한 운행가능 여부의 판별 및 다이어그램에 이용할 수 있다.

#### 3.2 복선구간에서의 단선운행

##### 3.2.1 지연없는 단선운행 조건

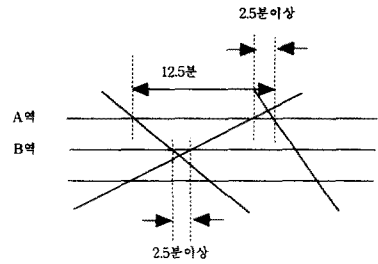


그림 5. 지연없이 단선운행할 때 필요한 조건

선로 유지보수에 열차소통에 지장을 주지 않고 지연없이 열차를 운행시켜야 하며, 이러한 단선운행을 만족시키는 조건을 그림 5에 나타내었다.

그림 5는 복선구간에 중앙선과 같은 상·하행 운행 가능한 신호설비를 구축하고, 열차속도는 140km/h, A역과 B역간의 거리를 역간 평균거리인 6.8km로 하였을 때, A역에 진입한 선행열차가 통과한 후 후속열차가 진입할 때까지 필요한 시간이 최소 12.5분 이상이어야 하며 역 근방으로 진·출입하는 상·하행 열차가 역으로부터 2.5분 정도 떨어져 있어야 만이 한쪽 선로의 유지보수나 나머지 한쪽선로로 상·하행열차가 운행 지연없이 다닐 수 있음을 나타낸 것이다. 이러한 조건을 만족하는 시간대를 경부선 전 구간에서 24시간 조사해 본 결과 낮 시간대의 경우는 복선구간의 단선운행 가능시간이 1시간 정도여서 선로유지보수에 적당하지 않음을 알 수 있었고 2시간 이상의 단선운행 가능 구간은 대부분 심야에 한정되어 있어 결국 유지보수를 위해 낮 시간대에 단선운행 하려 할 때는 지연이 필연적으로 유발되며 이러한 지연이 후속열차에 영향을 주어 다이어그램의 혼란을 초래할 수 있음을 알 수 있다.

##### 3.2.2 복선구간의 단선운행 시뮬레이션

정상운행중에 사고나 선로 유지보수를 위해 복선구간에서 단선으로 운행해야 할 경우, 반대방향 운행에 기존의 대응폐색방식으로 운행하는 경우와 기존설비를 보완하였을 경우에 대하여 시뮬레이션 하여 보았다.

시뮬레이션 구간은 서울-천안간으로 하였고 정상운행중 부곡-수원간 상행선의 고장으로 하행선을 이용하여 단독 운행할 경우의 열차지연현상을 확인하였다.

기존 열차운영 시간표를 적용하여 열차운영 시뮬레이션을 하였으며, 사고로 인한 단선운행시간은 10:00~13:30으로 하였고, 단선운행으로 야기되는 효과에 대하여 확인하였다.

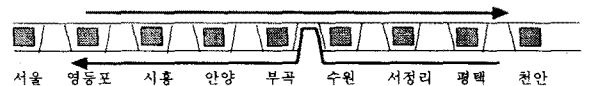


그림 6. 사고시 단선운행

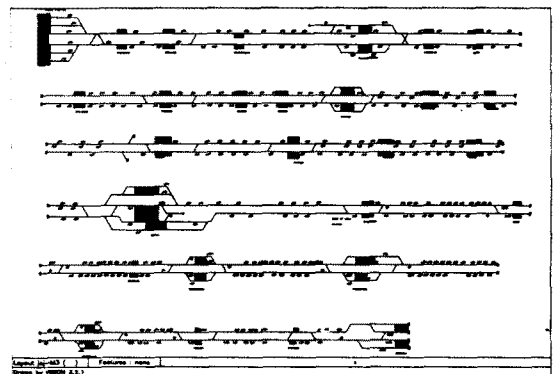


그림 7. 서울-천안간 선로구성도

### 3.3 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이션은 VISION을 이용하여 사람의 개입없이 프로그램상에서 열차 운행상황을 처리한 것으로 실제와 다를 수 있으나 표 3에 나타난 바와 같이 설비 개량전과 개량후의 비교에서 유지보수시간동안 소통한 열차 수는 개량전이 개량후보다 적으면서 지연시간은 더 많음을 알 수 있다. 추후 열차운행 효율성 측면과 시설비용에 대한 조사가 이루어져야 할 것이다.

표 3. 복선구간의 단선운행시 시뮬레이션 결과 (운전시격 : 12분)

개량 전	구 분	단선운행	총지연시분	평균지연시분	최고지연시분
	상행선	10개열차	4시간 58분	30분	1시간 23분
하행선	18개열차	1시간 29분	5분	23분	
사고이후 약 50분간 11개편성이 지연된 후 정상 다이아 복귀됨					
개량 후	구 분	단선운행	총지연시분	평균지연시분	최고지연시분
	상행선	16개열차	3시간 16분	12분	36분
하행선	21개열차	1시간 4분	3분	10분	
사고이후 약 40분간 5개편성이 지연된 후 정상 다이아 복귀됨					

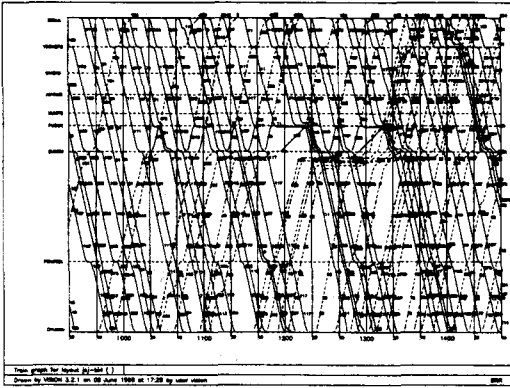


그림 8. 대응개색방식에 의한 단선운행

대응개색방식에 의한 단선운행 시뮬레이션 결과, 사고가 발생한 상행선 열차의 전체 지연 시분은 해당열차 10대에 대하여 4시간 58분이었고, 하행선의 경우 총 지연 시분은 해당열차 18대에 대하여 1시간 29분이었다. 각 열차군 별 평균 지연 시분은 상행선의 경우 30분(최고 1시간 23분)정도였고 하행선의 경우 5분(최고 23분)정도이었다. 여기서 상행열차의 평균지연시분이 많은 이유는 대응개색방식에 의해 하행선을 이용하여 반대방향으로 상행열차를 운행시킬 경우, 두 역간을 한 개색으로 설정해야 하므로 진로설정조건이 하행열차보다 어려워 지연이 발생한 것으로 분석되었다. 또한 3시간 30분 동안의 사고복구 이후 지연회복 시분도 하행선의 경우, 지연이 유발된 4개열차에 대하여 평균 6분 30초의 지연이 발생하였고(총 지연시분 26분), 상행선의 경우 열차소통이 많이 지연되어 11개 열차에 대하여 평균 9분 정도의 지연이 발생하였다.(총 지연시분 8시간 50분)

그런데 사고복구 후 후속열차에 파급되는 지연효과는 14:20분 정도에서 해소되는 것으로 보아 약 50분 후에 정상적으로 운행하는 것으로 분석되었다.

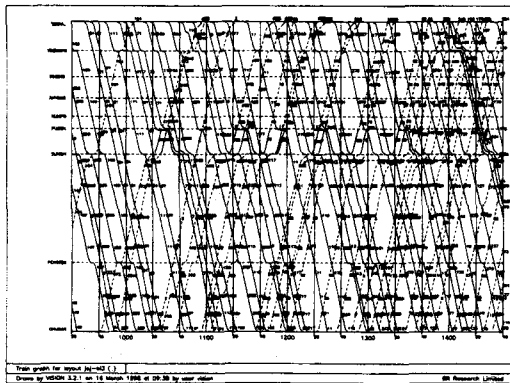


그림 9. 설비보완 후의 단선운행

복선구간에서의 단선운행을 중앙선과 같이 단선구간에서 상·하행 운행 가능한 신호설비로 개량한 경우에 대하여 시뮬레이션 하면, 상행열차의 전체 지연 시분은 3시간 16분이었고, 하행열차의 경우 총 지연 시분은 1시간 4분이었다. 각 열차군 별 평균 지연 시분은 상행선의 경우 12분(최고 36분)정도였고 하행선의 경우 3분(최고 10분)정도이었다. 여기서 하행선의 지연시분이 적은 이유는 하행선 열차의 진입조건이 상행선 열차보다 좋기 때문에 생긴 현상으로 분석되었다. 기존의 신호설비를 개량한 후에도 3시간 30분 동안의 단선운행에서 열차소통에 지연이 발생함을 알 수 있었다.

또한 상행선의 경우 사고시 열차 지연으로 5대의 후속열차가 추가로 지연이 발생하였는데 총 지연시분은 23분이었고 평균적으로 4분 30초 정도의 지연이 발생하였다. 또한 3시간 30분 동안의 사고복구 후 파급되는 지연범위는 40분 정도임을 알 수 있다.

### 5. 결 론

복선구간에서 단선운행을 하기 위해서는 전체 열차의 운행상황을 정확히 알 수 있어야 한다. CTC에서는 이러한 단선운행 상황이 발생하였을 때 각 열차로부터의 제원을 토대로 하여 열차의 운행을 정확히 계산하고 필요에 따라 운행다이나미를 변경할 수 있어야 한다. 이렇게 변경된 다이아를 검증한 후 CTC에 연계시키고 CTC의 지령에 따라 현장설비를 제어하는 지적 시스템이 복선구간에서 단선운행하는데 필요하다 할 수 있다.

현재 우리 나라의 철도운행상황은 지상중심 제어방식으로 개개 열차의 특성을 고려하지 않은 시스템으로 CTC에도 계산기능이 배제된 단순 감시기능만으로 열차가 운행하고 있을 뿐이다. 복선구간에서 단선운행하기 위해서는 지상 차상간 정보전송이 필수적이며 차상에서 지상으로 보내진 열차의 제원을 토대로 CTC가 운행상황을 계산하고 필요에 따라 운행다이나미를 변경하여 그때의 상황에 맞추어 원활히 시스템이 구동되도록 하여야 한다.

또한 5형식 고정개색식의 국내 열차운행은 현재 거의 포화상태에 다다라 있으며 사고시나 선로유지보수시 복선구간에서 단선운행을 하기 위해서는 열차운행 상에 여유가 있어야만 하고 열차다이아 변경으로 지연을 최소화하는 방법이 큰 효과를 거둘 수 있다. 향후 차량의 고속화와 전철화에 대응할 수 있고, 자동운전이 가능하도록 차상과 지상정보를 교환할 수 있는 차상신호방식으로 신호설비의 개량할 필요가 있으며 유지보수 인력의 절감을 위하여 역간에 산재된 시설물을 역구내로 집중하고, 역간 정보전송체계를 디지털화하고 고장감시와 자동계측을 위하여 장치물 2중계화할 필요가 있다. 그러므로 운전시격을 줄일 수 있는 새로운 신호설비에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

### [참고문헌]

1. 서울지방철도청, 신호설비실무, 1996
2. Colin Bailey, European Railway Signalling, 1996
3. ADtranz, EBICAB 900 1996
4. 한국고속철도건설공단, 고속철도핸드북, 1993
5. 전기학회 기술조사보고, 고속전철기술현황, 1992