

## 차상신호방식에서의 자동폐색시스템의 역할

김용규, 백종현, 유창근  
한국철도기술연구원, 남서울 대학교

### The Role of Automatic Block System in On-board signal

KIM Yong-Kyu, BAEK Jong-Hyun, Ryu Chang-Keun  
Korea Railroad Research Institute, Namseoul University

**Abstract** - 본 논문은 차상신호시스템의 설치시 기존의 자동폐색장치의 적용 가능성 및 개량 범위 등에 대해 분석하였다. 이는 주로 자동폐색장치의 특성 및 관련 폐색 거리, 폐색신호와 차상신호의 혼용 운영 및 차상신호 적용시의 폐색신호 인터페이스 방안 등을 중점적으로 검토하였다.

#### 1. 서 론

열차를 안전, 신속, 정확하게 운행하기 위해서는 열차 충돌 또는 추돌 사고가 발생하지 않도록 선형 열차와 후행 열차간에 열차 운행 간격을 유지해야 한다[1]. 폐색 구간은 이러한 목적을 위해 사용되며, 하나의 폐색 구간에는 단지 하나의 열차만이 점유하도록 한다[2]. 폐색 구간의 길이는 열차의 고속, 고밀도 운행과 밀접한 관계를 가지며, 관련 선로를 운행하는 열차 특성에 따라 적절한 형태로 폐색구간을 구성해야 한다[3]. 1998년부터 시작된 고속철도 연계 운행 및 시설물 정비 사업에 따라 초기에는 기존선 구간의 신호시스템을 자동폐색시스템(ABS)의 개량을 통해 실행할 예정이었지만, 차상신호시스템 도입 사업이 추진됨에 따라 선로에서의 운행 열차 속도 향상시에 사용 가능한 폐색 신호기 관련 열차 운행 속도의 검토를 필요로 한다[4]. 본 논문에서는 기존선 구간의 안전성 증가 및 속도 향상을 위해 현재 사용 중인 자동폐색장치를 검토함으로써 향후 사용 예정인 차상신호 방식에의 응용 방안 및 관련 특성에 대해 분석하였다. 분석 결과는 속도 향상 및 운전시각 관련 주요 변수로 사용될 예정이다.

#### 2. 폐색 구간의 정의

폐색구간에 설치되는 폐색장치는 운행 열차의 운전 조건을 지시하여 열차 안전운행 및 수송능률을 최대화하는 장치로 선로의 상태와 수송량에 따라 종사원 상호간의 협의에 의한 수동 폐색과 궤도회로를 이용하여 열차 자체에 의해 자동적으로 동작하는 자동폐색 방식으로 분류된다. 수동 폐색 방식은 통표 폐색과 연동 폐색으로 분류된다. 통표 폐색은 단선 구간에서 양쪽 정차장에 상호 전기적으로 채정된 통표폐색기를 설치하고 양쪽 정차장의 협의하에 폐색 수속을 하고 수속이 완료되면 출발역에서 한 개의 통표가 인출되어 기관사가 원대하고 열차를 운행하는 방식이며, 연동폐색식은 폐색구간의 양 끝에 폐색 취급 버튼을 설치하여 이를 신호기와 연동시킴으로서 신호 현시와 폐색 취급의 이중 동작을 단일화한 방식이다. 자동 폐색은 궤도회로를 사용하여 역간을 운행하는 열차에 의해 자동으로 신호를 제어하는 폐색 장치로 폐색 구간에 설치된 폐색 신호기에서 열차가 해당 구간을 점유 한 경우에는 정지신호를 현시하고 열차가 없으면 제한 또는 진행 신호를 현시하여 열차 운행을 실행한다. 이는 복선 자동폐색과 단선 자동폐색으로 구분된다. 복선 자동폐색은 열차 방향이 일정하므로 후행 열차에 대해서만

신호를 제어한다. 그러나, 단선 자동폐색은 대향 열차와 의 안전을 유지하기 위해 방향 쇄정회로를 추가해야한다. 방향 쇄정회로 취급시, 취급 방향의 신호기는 진행 신호를, 반대 방향 신호기는 정지 신호를 현시하며, 우리나라의 중앙선이 이러한 폐색 방식을 사용한다.

#### 3. 자동 폐색 시스템 구성

##### 3.1 제어장치

자동폐색 제어장치는 복선 폐색 구간 내의 궤도회로 조건에 의한 자동폐색 신호기를 제어한다. 또한 열차점유 검지 정보와 신호기 단심 검지 정보를 인근 연동 역으로 전송하며, 자동열차정지장치(ATS)와 연결되어 신호현시 조건에 따라 열차의 과속주행을 방지하는 기능을 수행하는 지상신호장치로 아래의 표와 같이 구성된다.

<표 1> 자동 폐색 제어장치 구성 요소

품명	규격	단위	수량	
폐 색 렉	5현시용	조	1	
제어계전기 유니트	F24-B	개	1	
주파수 전송 유니트	수 용 합	개	1	
	송신카드	T101~T118	장	4
	수신카드	R101~R118	장	3
	전원카드		장	1
기 구 합	철제특수 No.1	개	1	
고압입펄스 궤도회로 송 · 수신장치		조	1	

##### 3.2 폐색 주파수 전송

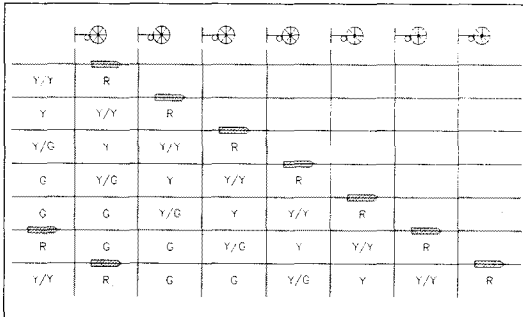
625Hz±20Hz~7125Hz±20Hz대의 가청주파수를 사용하는 ABS장치 송·수신 주파수는 60V의 입력전압에 의해 Se 계전기(Sending relay)가 동작하게 되고, Se 계전기의 동작으로 인해 송신 카드에 10V 전압이 인가되어 발진기 회로를 통해 f1~f18까지의 해당주파수를 송신한다. 수신카드에 수신된 주파수는 대역 통과 필터에 의해 해당주파수가 통과하게 되면 증폭기를 거쳐 트랜스를 통해 정류된 전압이 수신 계전기를 동작시키게 된다. 자동폐색 제어장치에서 연동 역 기계실로 전송되는 궤도점유 검지 정보와 단심 검지정보에 사용하고 있는 폐색장치 송·수신 카드 주파수(f1~f18)는 하나의 전송회선을 사용하기 때문에 한 구간에 동일한 주파수가 중복 사용되지 않도록 주의해야 한다. f1~f18까지의 송·수신 카드는 1 대당 각각 하나의 주파수가 할당되며, 관련 사용 주파수는 표 2와 같다.

<표 2> ABS 장치 송·수신 주파수

주파수 명	송신 카드	수신 카드	정격주파수	허용주파수(Hz)	
				최대	최소
f1	T101	R101	625Hz±20Hz	645	605
f2	T102	R102	875Hz±20Hz	895	855
f3	T103	R103	1,125Hz±20Hz	1,145	1,105
f4	T104	R104	1,375Hz±20Hz	1,395	1,355
f5	T105	R105	1,625Hz±20Hz	1,645	1,605
f6	T106	R106	1,875Hz±20Hz	1,895	1,855
f7	T107	R107	2,125Hz±20Hz	2,145	2,105
f8	T108	R108	2,375Hz±20Hz	2,395	2,355
f9	T109	R109	2,625Hz±20Hz	2,645	2,605
f10	T110	R110	3,125Hz±20Hz	3,145	3,105
f11	T111	R111	3,625Hz±20Hz	3,645	3,605
f12	T112	R112	4,125Hz±20Hz	4,145	4,105
f13	T113	R113	4,625Hz±20Hz	4,645	4,605
f14	T114	R114	5,125Hz±20Hz	5,145	5,105
f15	T115	R115	5,625Hz±20Hz	5,645	5,605
f16	T116	R116	6,125Hz±20Hz	6,145	6,105
f17	T117	R117	6,625Hz±20Hz	6,645	6,605
f18	T118	R118	7,125Hz±20Hz	7,145	7,105

3.3 자동 폐색 신호 현시

그림 1은 5현시 자동폐색구간의 선형열차 운행 상황에 따른 후행열차의 신호현시계통을 나타낸다. 5현시 자동폐색 신호기 설치구간에서는 운행 열차에 대한 선별 최고 속도인 진행(G), 감속(Y/G), 주의(Y), 경계(Y/Y) 및 정지(R) 신호를 현시할 수 있도록 신호현시계통을 선정한다.



<그림 1> 5현시 자동폐색구간 신호현시계통도

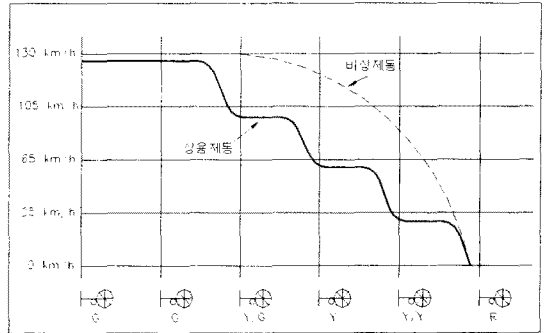
3.4 속도 제한

열차 운행 속도 제어는 진행(G) 신호를 제외한 다음 신호 현시에만 열차의 속도 제어를 시행한다. 만약 진행 중인 열차가 해당 신호의 허용 속도를 초과 운행한다면 자동열차제지장치(ATS)에 의해 비상 제동이 발생하며 폐색 구간 신호기 현시 신호별 허용 속도는 표 3과 같다. 여기서 3현시 신호 방식은 단선철도구간이나 열차운행빈도가 적은 일부 복선 철도 구간에서 사용하며, 4 현시 신호 방식은 수도권 전동차 운행 구간에서, 그리고 5 현시 신호 방식은 고속도, 고밀도 운행을 요구하는 경부선 등 주로 복선철도 구간에서 사용하고 있다.

<표 3> 5현시 자동폐색 구간 신호기 현시 속도

	진행 (G)	감속 (YG)	주의 (Y)	경계 (YY)	정지 (R1)	정대정지 (R0)
3 현시 디젤 기관차용	Free	-	-	-	-	정지
4 현시 전동차용	Free	65	45	-	0(15)	0
5 현시 디젤 기관차용	Free	105	65	25	-	0
5 현시 전동차용	Free	Free	45	25	-	0(15)

표 3에서 주어진 자동폐색 구간 신호기 현시 속도에 의한 운행 열차의 열차 운전속도 유형은 그림 2와 같다.



<그림 2> 5현시 신호 현시에 따른 열차 운행 속도 유형

4. 자동폐색장치 검토

4.1 폐색신호시스템 특성

가장 일반적인 지상신호 방식인 폐색 신호 시스템은 현재 우리나라 철도에서 사용하고 있는 신호방식으로 양호한 기후 조건에서는 신호현시 상태를 확인하는데 지장을 받지 않아 지정된 속도로의 운행이 가능하지만 폭우·폭설·안개 등 기후변화가 극심한 경우에는 신호기 현시 상태의 확인이 곤란하여 지정된 속도로의 운행이 불가능하고 감속운전이 불가피하다. 또한 열차안전운행에 위험 요소가 많을 뿐만 아니라 열차감속운전에 의한 열차 지연 사태 등 경제적인 손실이 발생하게 되므로 기후에 의한 안전도 확보가 요구된다. 열차 운행 속도 향상의 경우, 지상신호방식의 한계속도는 일반적으로 각 나라의 지형, 기후 및 인간의 신체조건과 지상신호기의 투시 및 현시 조건 등을 감안하여 최대 220km/h까지 사용하고 있지만, 우리나라 철도에서는 신호기 현시시간의 계동거리와 시설규정상의 신호기 투시거리에 의해 최고속도가 결정된다. 따라서 5현시 자동폐색신호방식은 5 현시의 경우 진행, 감속, 주의, 경계, 정지 순으로 신호현시별 속도 단계가 설정된다. 현재 사용중인 경부선의 경우에는 진행 신호 (G : 140km/h)에서 감속 신호(Y/G : 105km)으로 열차 운행 속도를 감속하는데 소요되는 계동거리가 가장 길며, 열차 운행 최고속도에 가장 큰 영향을 인가한다. 따라서 현재 사용중인 속도 체계는 속도 향상시 변경하거나 차상신호 방식으로 대체되어야 한다.

기존의 신호방식은 지상신호기의 현시상태를 기관사가 육안으로 확인한 후 열차를 운행하는 방식으로 선형열차와 후속열차가 일정한 거리간격으로 설치되어 있는 신호기의 현시조건에 따라 일정한 거리와 간격을 유지한 채 운행됨에 따라 선로 이용률이 저하되어 수송력 증대 한계를 갖는다. 5 현시 신호시스템의 경우, 선형열차와 후속열차의 가장 안전하고 정상적인 열차간의 간격은 4개 폐색구간 이상이며 진행신호 투시확인거리를 최소 600m 이상 확보하여야 하므로 경부선의 1개 폐색구간을 평균 800m로 계산할 경우 800m x 4 + 600m = 3,800m 이상의 거리를 유지하며 열차 운행을 실행해야 한다. 그러나, 실제 정지에 필요한 여객열차의 계동거리를 계산하기 위해 경부선 표준선 구간의 열차운행 최고속도 140km/h를 적용하면 계동거리(L)는 (980 + 77.78) + 194.45 + 38.89 = 1,291.12m이고, 여기에 계동여유거리 20%를 가산하면, 1,291.12 \* 1.2 = 1,549.35 = 1,550m가 된다. 따라서 1,550m 정도의 안전정지거리를 확보하려면 최소 3,800m 이상의 거리를 확보하여야 하기 때문에 선로 이용 효율은 그만큼 낮아 결과적으로 선로용량이 감소하게 된다. 따라서 지상신호방식은 열차간의 운행간격을 최소화시켜 선로용량을 증대시키는데 한계점에 도달하게 된다.

결과적으로 현재 사용중인 5 현시 신호 체계를 기본으로 차상신호와와의 운전시각을 비교 분석한 결과, 기존의 최적화한 ABS 시스템보다도 차상신호 시스템을 적용하는 경우에 운전시각 개량을 최적화할 수 있는 것으로 검토되었다.

#### 4.2 폐색구간 거리조정

폐색 분할은 선구의 균등 분할과 4구간 분할 원칙에 의해 작성하며 열차별 계동거리가 상이하기 때문에 폐색 구간 분할은 선구를 운행하는 열차중 최악 조건의 계동 거리를 고려해야 한다. 한 예로 5현시 구간의 경우, 열차의 계동 거리를 감안하여 폐색 구간은 600-800로 설정되어 있으며, 일부 열차 운행 빈도가 높은 선로 또는 구간에서는 600-650m까지 폐색 구간의 길이가 조정되어 있다. 만약 차상신호 방식을 사용할 경우에는 폐색 구간의 길이와 관계없이 선행열차의 위치를 검지한 후, 열차의 최대 속도, 계동기 계동 비율, 열차 하중, 열차 길이, 등의 열차에 한정된 고유 변수에 의해 프로그램된 차상 컴퓨터가 적절한 지점에서 열차를 정지시키기 위해 추종해야 할 안전에 입각한 계동 곡선과 계동 목표 거리를 계산함으로써 열차의 안전 운행에는 지장을 주지 않는다. 그러나 폐색 구간의 길이에 따라 열차의 점유시간 차이가 발생하여 운전시각에 영향을 인가하므로 열차 운행 효율성이 감소할 수도 있다. 일반적으로 차상신호시스템에 있어서 선행열차의 위치검지는 선행열차가 점유하고 있는 폐색구간의 시점을 의미하므로 폐색 구간이 긴 구간을 선행열차가 점유하면 점유 시간이 길어져 후행열차에 정보를 제공하는 시간이 길어질 뿐만 아니라 가장 제한적인 속도 한계 정보가 열차에 제공됨에 따라 후행열차가 다음의 발리스를 통과할 때까지 저속으로 운행되어 열차운행의 효율성이 감소하는 결과가 된다. 따라서 중앙선 또는 장항선의 폐색구간 길이 조정은 열차의 가,감속력에 영향을 주는 구배 및 곡률 반경을 고려하여 폐색구간의 길이를 검토하는 것이 효과적일 것이다. 유럽의 경우, 폐색 구간의 길이는 1,500m-2,500m로 우리나라에 비해 매우 크며, 폐색 구간의 길이에 의한 운전시각 손실을 보상하기 위해 현재 운영 중인 폐색 구간을 1/2로 감소하거나 이와 동등한 효과를 얻기 위해 기존의 폐색구간의 중간 지점에 추가로 In-Fill 발리스를 설치하거나 또는 폐색 구간의 종단에 In-Fill 루프를 설치함으로써 열차의 이동 권한 획득 시간을 단축하였다. 이러한 견지에서 볼 때, 우리나라에서 현재 사용 중인 폐색 구간은 600m-800m로 ERTMS/ETCS 레벨 1을 적용하기에 적절한 것으로 조사되었다.

#### 4.3 폐색신호와 차상신호 혼용 운영

고속철도 연계 운행 및 시설물 정비 사업에 따라 초기에는 경부선 호남선 기존선로에서의 열차 운행이 기존 신호시스템의 개량을 통해 실행될 예정이었다. 그러나 기존의 지상신호시스템을 차상신호시스템으로 전환하기 위한 사업이 2004년 1월 시작됨에 따라 우선적으로 고속철도 연계운행 구간에서 1단계 차상신호의 설치(2004년~2006년)가 결정되었다. 중앙선, 장항선 구간은 2 단계(2007년~2008년)에 실행될 예정이다. 따라서 중앙선, 장항선에 차상신호 지상장치 설치가 완료되는 2008년까지는 현재 철도청에서 사용하는 자동폐색장치와 자동열차정지장치를 사용하여 열차 운행을 실현해야 한다. 이러한 경우, ABS 시스템은 현존하는 시스템을 그대로 적용하여도 무방하지만, 틸팅 열차의 도입과 차상신호의 도입 및 관련 선로 운행 열차 속도의 향상시에는 폐색 신호기에 의한 열차 운행 속도를 검토해야 한다. 만약 기존의 자동폐색제어장치를 활용하여 차상신호시스템을 설치할 경우, 중앙선, 장항선의 최대 속도가 설계속도 150km/h, 운행속도 140km/h로 주어짐에 따라 기존 신호기의 속도 현시 체계와 큰 차이를 가져오지 않는다. 또한 차상신호를 설치한 열차는 차상신호에 의해 열차 운

행을 실행하는 동안 기존의 폐색구간 신호는 Backup 신호시스템으로 사용함으로써 이중의 안전성을 실현할 수도 있다. 이러한 경우에는 단지 두 신호방식간의 속도차이에서 문제가 발생할 수 있다. 한 예로 중앙선, 장항선과 같이 최고속도가 140km/h인 구간에서 차상신호방식을 사용할 경우, 차상신호시스템의 MMI(Man Machine Interface)에 140km/h가 현시되고, 지상신호방식은 폐색구간에 따라 Y 신호가 현시되어 65km/h 이하로 속도제한이 발생하는 경우, 만약 지상신호방식에 따라 65km/h 이하의 속도로 열차를 운전하는 것은 어떠한 문제점도 유발하지 않지만, 차상신호방식의 장점을 전혀 적용할 수 없다. 그러나 차상신호방식에 의해 130km/h 속도로 운행한다면 Y신호가 이전인 YG 신호(105km/h)에서부터 자동폐색신호기의 신호 현시를 무시하고 열차 운행을 실행해야 한다. 따라서 이러한 경우, 가장 중요한 것은 두 종류의 신호 사용에 따른 정확한 운전 규정이 설정되고, 기관사는 이러한 운전 규정에 의해 열차 운행을 실현해야 한다. 외국의 경우, 두 종류의 신호를 사용하는 구간이 존재하지만 대부분은 차상신호방식 위주의 열차 운행을 하고 지상신호방식은 단지 Backup 기능을 실행한다. 즉 차상신호방식 도입의 주된 이유가 열차의 운행 속도에 항상 무관하게 열차의 안전운행을 확보하기 위한 것으로 차상신호방식의 설치가 완료된 경우에는 차상신호방식에 의해 열차 운행을 실행하고, 지상신호방식은 단지 열차의 안전 운행을 위한 Backup 신호로 사용하는 것이 최적의 방안으로 주어진다.

#### 4.4 차상신호 적용시의 폐색신호 인터페이스

역 구내에서는 연동장치를 적용하여 차상신호시스템을 인터페이스 하는 것이 최적의 방안으로 제시된 반면, 역간의 경우에는 폐색 구간을 이용하여 차상신호시스템을 연결하는 것이 최상의 방안으로 주어진다. 역 구내를 제외한 폐색 구간내의 차상신호시스템은 폐색 신호기로부터 신호현시 상태 정보를 수신할 수 있도록 현장에 설치된다. 현장에 설치될 차상신호시스템의 구성요소인 선로변제어장치(LEU)는 폐색장치제어함과 발리스에 상호 연결되며, 이는 표준, 규격화한 케이블에 의해 인터페이스 되어야 한다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 차상신호시스템의 도입에 따른 자동폐색장치의 역할에 대해 검토하였다. 검토 결과, 역 구내에서는 연동장치에 의해 차상신호 관련 정보전송을 실현하는 것이 효과적인 반면, 역 간에서는 기존의 폐색 장치를 적용함으로써 정보전송 기능을 쉽게 실현할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 우리나라에서 현재 사용중인 폐색구간 거리는 차상신호시스템의 적용에 있어서 최적의 상태임이 검토되었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 김영태, "신호제어시스템", 테크미디어, 2003
- [2] 김용규 외, "폐색 구간 길이에 따른 동대구-부산간 운전시각 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B, pp1292-1294, 2002
- [3] 이종우 외, "자동열차제어장치 요구사항 도출에 관한 연구", 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp258-264, 2003
- [4] 김용규 외, "기존선 고속화를 위한 유럽의 열차제어시스템", 한국철도기술 문헌 38호, 한국철도기술연구원, pp23-26, 2002,