

전기철도 전력공급방식 변경(DC→AC) 방안

Case Study of Railway Power supply Modification(DC→AC)

이해원[†], 이인희*, 박종원*, 최장영**

Hae-Won Lee[†], In-Hee Lee*, Jong-Weon Park*, Jang-Yong Choi**

Abstract There are direct current(DC) method and alternating current(AC) method electric railway power supply system. The DC method has no communication induction disturbance, and the construction cost of the underground section tunnel is reduced, and the AC method is advantageous for the large capacity and high speed in the section of the main railway. Unlike Korea, which uses the DC method only in the subway, many countries including Europe have adopted the DC method in the main railway. Recently, some countries are changing the DC method to the AC method in order to improve railway speed and mass transport. In Korea, in order to improve the efficiency of direct operation of AC-DC connection section of Seoul Subway Line 1 and 4, there have been cases where the DC section was changed to AC type. In this paper, it will be meaningful to examine the changes and review cases of railway electric method at home and abroad, and to establish a basic procedure for changing the electric power supply system that can be referred to in the future for the modernization of North Korean railway.

Keywords : Electric railway, AC Electric method, DC Electric method, Power supply modification

초 록 전기철도 전력공급방식은 직류식과 교류식이 있다. 직류방식은 통신 유도장해가 없으며, 지하구간 터널 공사비가 절감된다. 교류방식은 간선철도구간에서 대용량, 고속화에 유리하다. 지하철에만 직류방식을 적용한 우리나라와 달리 유럽 등 많은 국가에서는 간선철도에도 직류방식을 많이 채택하고 있다. 최근 일부 국가에서는 철도 속도향상 및 대용량 수송을 위해 직류방식을 교류방식으로 변경하고 있다. 우리나라에서는 서울지하철 1호선과 4호선의 교류-직류 연계구간 직통운전의 효율성 향상을 위해 직류구간을 교류방식으로 변경을 검토한 사례도 있었다. 본 논문에서는 국내외의 전기방식 변경 및 검토 사례를 알아보고 향후 남북철도 직결운행을 위한 북한철도 현대화에 참고 할 수 있는 전력공급방식 변경 기본 절차를 정립해 보는데 의의가 있을 것이다.

주요어 : 전기철도, 교류전기방식, 직류전기방식, 전력공급방식, 전기방식 변경

1. 서 론

전기철도 전력공급방식(전기방식)은 직류식과 교류식이 있다. 직류방식은 통신 유도장해가 없으며, 지하구간에서 터널 공사비를 절감할 수 있다. 교류방식은 간선철도구간에서 대용량, 고속화에 유리하다. 지하철에만 직류방식을 적용한 우리나라와 달리 유럽 등 많은 국가에서는 간선철도에 직류방식 철도를 많이 채택하고 있다. 그러나 일부 국가에서는 철도 속도향상 및 대용량 수송을 위해 직류방식을 교류방식으로 변경하고 있다. 2008년에는 우리나라 서울지하철 1호선과 4호선의 교류-직류 직통운전 효율성 향상을 위해 직류구간을 교류방식으로

변경을 검토한 사례도 있었다. 본 논문에서는 스페인, 아제르바이잔의 전기방식 변경 사례, 국내 서울지하철 전기방식 변경 타당성 조사 내용을 알아보고, 향후 북한의 전기철도 현대화에 참고 될 수 있도록 전력공급방식 변경 기본 절차를 정리해 보고자 한다.

2. 본 론

2.1 전기방식의 종류

전기철도 전기방식은 Table 1과 같이 직류, 교류, 전압 또는 주파수, 상별로 매우 다양하다.

Table 1 Kind of Electric Power supply Method[1]

전기방식	전 압 종 별
직류식	600[V], 750[V], 1500[V], 3000[V]
단상교류식	16 2/3[Hz]:11[kV], 15[kV], 25[Hz]: 6.6[kV], 11[kV], 50[Hz]:6.6[kV], 16[kV], 20[kV], 25[kV] 60[Hz]: 25[kV]

† 교신저자: 한국철도시설공단 기술본부 전철처
(Lhw312@kr.or.kr)

* 한국철도시설공단 기술본부 전철처

** 충남대학교 공과대학 전기공학과

2.2 국가별 전기철도 전기방식

한국의 대도시 지하철은 DC 1500V방식, 간선철도는 모두 AC 25kV방식이다. 북한철도는 총연장 5,235km, 전기철도는 DC 3000V방식이며 전철화율은 약 80%이다. 평양 지하철은 2개 노선에 34km, 17개역을 운영중이며 전력공급은 DC 750V 제3레조 방식이다. 아울러 북한의 인접국인 중국 단둥 및 러시아 하산 지역의 전차선로는 AC 50Hz 25kV로 운영되고 있다.[2]

유럽은 국가별로 매우 다양한 전기방식을 가지고 있으며, Table 2는 전기방식별 주요국가를 나타내었으며, Fig 1에서는 유럽의 각 국가별 전기방식을 그래픽으로 표시 하고 있다. 유럽 및 중앙아시아 등에서는 간선철도에 직류 방식을 채택한 나라도 많다. 특히 스페인, 이탈리아, 벨기에, 러시아 등은 DC 3000V를 주로 적용하고 있으며, 독일, 스위스 등은 AC 15kV, 프랑스, 영국, 핀란드 등은 AC 25kV를 적용하고 있다.

Table 2 Electric Method of Europe Railway

전기방식		주요 국가
직류방식	DC 1500V	네덜란드, 프랑스(일부)
	DC 3000V	스페인, 이탈리아, 벨기에, 폴란드, 러시아
교류방식	AC 15kV	독일, 스위스, 스웨덴, 노르웨이, 오스트리아
	AC 25kV	프랑스, 영국, 핀란드, 벨라루스, 우크라이나

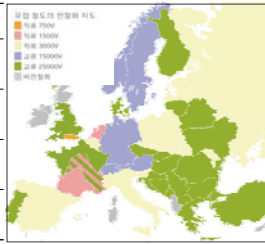


Fig. 1 Power supply Method of Europe.[7]

이처럼 국가별로 상이한 전기방식에서 직류와 교류 연결구간에서 직통운전하는 사례는 Table 3에 정리하였다.

Table 3 AC/DC Direct Running Case[8]

Country	Serviced area	Voltage(AC/DC)
France	RER-B(PARIS)	AC 25kV/DC 1,500V
	Lyon-Combslaville(TGV)	AC 25kV/DC 1,500V
Switzerland	CFR Line(Zurich)	AC 25kV/DC 1,500V
Austria	(듀얼차량 운행기준)	AC 25kV/DC 3,000V
Spain	(듀얼차량 운행기준)	AC 25kV/DC 3,000V
Japan	Joban Line	AC 25kV/DC 1,500V
	北陸本線	AC 25kV/DC 1,500V
	湖西線	AC 25kV/DC 1,500V
Korea	Line 1,4	AC 25kV/DC 1,500V

* 주파수 : 한국,일본 60Hz, 그 외 국가는 50Hz

2.3 직류방식 및 교류방식 비교

교류전기방식은 직류에 비하여 초기 투자비(83%) 및 유지보수비가 절감(81%)되고 대용량,

대출력 수송에 유리하다. 사고시 급전차단이 용이하고, 변전소 간격을 길게할 수 있으며, 전식의 우려는 없으나 통신유도 대책은 필요하다. 전 세계적으로 교류전기철도는 약 60%(UIC기준)를 차지하고 있으며[8], 한국, 일본, 프랑스, 스페인, 중국 등에서 교류 25kV로 건설하는 등 계속 확대되고 있다. 전기철도 직류식과 교류식의 주요 비교내용은 Table 4와 같다.

Table 4 Comparison DC and AC Power supply system

구 분	DC Method	AC Method
전식,유도	전식 대책 필요	유도장해 대책 필요
기기보호 차단	운전전류대 사고 전류 선택차단 곤란	운전전류가 작아 사전류 선택차단 용이
변전소간격	40~50km, 전압강하작음	4~5km, 전압강하 큼
집전성능	소형경량, 집전성능 우수	집전판대용량, 집전성능 보통

2.4 전기철도 전기방식 변경 사례

2.4.1 스페인 전기방식 변경

스페인에서 가장 많은 전차선로 시스템은 CA160이다. 이 시스템은 더 이상 설치되지 않고 고속 운행이 가능한 전차선로 CA220가 설치되고 있으며 설계속도는 220 km/h이다. DC 및 AC변전소의 주요사양은 Table 4 과 같으며, 노선별로 직류변전소를 리뉴얼하는 구간이 있는 반면, Sevilla ~Cadiz 121km구간의 전차선로는 Spain Vimar社에 의해 교류 25kV 방식으로 변경공사 완료 후, 교류변전소 건설이 완료될때까지 기존 DC 3,000V를 급전하였다.[3]

Table 5 DC and AC Substaion Configuration in Spain[3]

Item	DC SS	AC SS
Incoming Line	66kVac×2	110~220kVac×2
Power group	6MW	20MW
Out Line	3.3kVdc	25kVac

Table 6 Design Specification of CA220 Catenary[3]

Item	Catenary CA220
Design Speed	220km/h
Feeder Voltage(standard)	3,000 Vdc/25 kVac
Contact wire heigh	5.30m
System height	1.4m
Contact wire	150 mm ² CuMg0.1(×2)
Isolation distance	150mm/ 320mm
Length of section	1,200m(900m-curve)
A/S C-C distance	540mm
Contact wire sag	0.5×L/1,000

CA220 전차선로 시스템 사양은 Table 5와 같으며, 운행중인 선로의 전차선로 시스템 변경 절차를 다음과 같이 기술하고 있다.[3]

- 재설계, b)장비배치 c)자재 비축 d)기초설치 e)전철주 건주 f)브래킷 설치 h) 인류장치 및

흐름방지장치 i)급전선 설치 j)전기적 구분장치,개폐기 설치 k) 접지공사 l)시험 및 검사 순으로 시행하였다. 새롭게 설치된 설비의 주 유사진은 Fig 2와 같다.



Fig. 2 Tensioning device and Moveable Bracket, Substation insulator in Spain[3]

2.3.2 아제르바이잔 전기방식 변경

아제르바이잔은 2009년부터 Baku-Bayuk-kesik간 간선철도 503km 전 구간을 직류 3000V방식에서 교류 25kV방식으로 변경사업을 추진하였다. 이 사업은 World Bank조달로 2018년 9월 현재 거의 완료 단계에 있으며, 이노선은 Baku~Tbilisi(조지아)~Kars(터키)로 이어진다. 직류 급전계통은 Fig.3 과 같으며 급전전압은 110/3.3kV이며, 직류변전소 간격은 최소 14km, 최대 27km간격으로 설치되어 있었다. 이후 ADY(아제르바이잔 철도공사)는 전기방식 변경 방침에 따라 Fig.4 및 Table.5와 같이 교류급전계통을 계획하였고, 변전소 간격은 Baku도심 주변에서 최소 15km, 최대 63km이며, 연속급전전압은 27.5kV, 공칭전압 25kV, 50Hz, 급전용량 20MVA로 12 개소 배치하였으며, 전력공급은 Azerenergi에서 공급받는 것으로 되어 있다. 하지만 '18.10월 현재 교류급전은 하지 않고 기존의 직류로 급전하고 있는 것으로 파악되고 있다. 열차운행속도는 30~40km/h에서 140km/h로 향상될 것이다.[4]



Fig. 3 DC Feeder diagram in Baku~Bayuk-kesik[5]

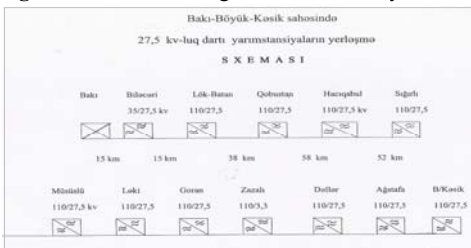


Fig. 4 AC Feeder diagram in Baku~Bayuk-kesik[5]

Table 7 Substation Plan in Azerbaijan[5]

S/S no	S/S	Input Voltage	MVA	Remark
No-1	Kesle	35kV	20/30	
No-2	Lok-Batan	110kV	20	
No-3	Qobustan	110kV	20	
No-4	Hagicabul	110kV	20	
No-5	Sigiule	110kV	20	
No-6	Mususle	110kV	20	
No-7	Leki	110kV	20	
No-8	Joluan	110kV	20	
No-9	Zavodskoy	110kV	20	
No-10	Delleu	110kV	20	
No-11	Agstafa	110kV	20	
No-12	Bayuk-kisik	110kV	20	border

2.3.3 서울지하철 전기방식 변경 타당성 조사

서울메트로에서는 지하철 1,4호선 교류-직류 연계 구간 직통운전 효율성 향상을 위해 2008년 직류구간을 교류전기방식으로 변경을 위한 타당성조사 용역을 시행한바 있다. 현재 서울지하철 1호선의 DC급전은 지하서울역에서 청량리역까지 약 9.0km구간이다. 이상적인 교류급전방식으로 변경시에는 중간지점(종로5가역)에 급전구분소(SP)를 설치하여야 하나 기존 DC변전소는 W60×D13×H4.47로 SP의 소요면적 W28×D18×H6.0에 비하여 작아 설치할수 없어, Fig.5와 같이 서울역 및 청량리역 지상구간에 각각 SP를 설치하여 계통을 계획 하였다.[6]

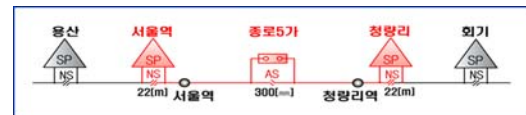


Fig. 5 Feeder diagram of Line 1 in Seoul Korea

1호선의 가압시험 및 시운전절차는 Fig 5 및 Table 6에서와 같이 기존 DC변전소 3개소(시청, 종로5가,제기)의 정급전선을 분리하고 이어서 DC 급전분기선 4개소를 분리한후, AC급전구분소 2개소의 TF급전분기선 4개소(서울 SP 상하선, 청량리SP 상, 하선)를 접속하여 교류전원을 급전하는 것으로 검토되었다.[6]

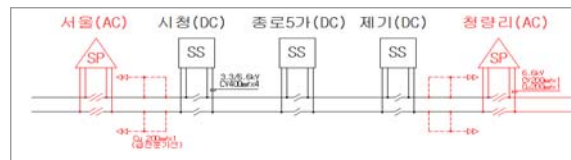


Fig. 5 Test of Power supply in Line 1

Table 8 Power supply Test and Changeover Procedure[6]

작업내용(1 호선)	수량	소요시간	비고
DC 지하변전소 정급전선 분리	개소량 4×4 조 총수량 16×3(개소)=48 조	20 분	총 소요 시간

DC 급전분기선 분리	서울 방향:2 개소 청량리 방향:2 개소	30 분	60 분(30 분×2회)
AC 용 급전분기선 (TF)접속	서울 SP:2 개소 청량리 SP:2 개소	30 분	

4호선은 창동에 154kV 변전소 1개소로 변압기 용량은 60MVA로 검토하였다. 남태령에 SP1개소, SSP3개소(당고개, 성신여대, 삼각지)설치하는 것으로 계획 하였으며, 가압시험 및 시운전 절차는 1호선과 유사한 방법으로 검토 되었다.[6]

지하구간 강체전차선의 시공은 1) R-bar 브래킷선시공 2) 구간별 T-bar 및 지지물 철거 3) R-bar 및 전차선 가선 4) Expansion joint 철거 및 신설 5) 급전분기 및 부속자재 연결 6) 급전선 브래킷 설치 및 가선 7) FPW가선 순으로 설치하고[6], 교류R-bar설비가 완전히 설치되기 전까지 열차운행시간대는 직류로 급전하면서 운행하고 중지시간대에 변경공사를 진행하는 것으로 검토 되었다.[6]

2.3.4 북한철도의 전기방식 변경 방안

북한철도는 건설이후 유지관리가 거의 이루어지지 않아 전기철도 설비도 매우 낙후된 상태로 알려졌다. 북한의 DC전철변전소는 최소 17km, 최대 25km간격으로 설치 되어 있으며, 공칭급전전압은 DC 3,000V이다. DC변전소 수전선로전압은 AC 60kV이며, 변압기 용량은 2,100KVA×2대를 운영하고 있다. 전차선로는 심플커터너리 조가방식으로 가고는 최대 1,800mm이며, 급전조가선 방식에 따라 조가선은 AL185mm²로 단면적이 크다. 직류급전방식임에도 전차선로에 별도의 급전선을 가선하지 않은 이유다. 남북의 전차선로 시스템주요 설비 비교는 Table 9와 같다.

Table 9 Comparison of Catenary system of North and South[9]

Item	South Korea	North Korea
Voltage	AC 25,000V DC 1,500V	DC 3,000V
Mast	H-Type, Steel	Concrete
Bracket Insulator	Stem	Suspension
Feeder Wire	Cu 150 mm ² , Al 510mm ²	Al 185 mm ²
Messenger Wire	St 90 mm ² , St 135 mm ²	ACSR 185 mm ²
Contact wire	Cu 110 mm ²	Cu 100 mm ²
Tensioning Device	WTB Type	Pulley Type
Contact wire Height	5,200mm	5,400mm
System Height	960mm	1,800mm
MW Tension	1,000kg, 1,500kg	1,400kg
CW Tension	1,000kg	1,000kg

북한철도는 속도향상을 위해 북측철도 직류방식(DC 3kV)을 교류방식(AC 25kV)으로 변경이 필요하다. 또한 노반 및 궤도개량시 궤도 중심선 이나 노반레벨의 변화에 따라 전차선로의 조정은 반드시 이루어 져야 한다. 그러나

북한의 전차선로 설비는 현재 조정할 수 없을 정도의 노후가 심한 상태이므로 전면개량이 동시에 이루어 져야 할 것이다. 이때 직류전차선 시스템을 교류전차선으로 단계적으로 우선 교체후 스페인과 아제르바이잔의 전기방식 변경 사례와 같이 교류전철변전소 배치계획을 수립, 설치하고 교류급전이 가능하기 전까지는 구간별로 기존의 직류로 급전하여 열차를 운행하면서 단계적으로 교류로 변경 급전하는 방법을 생각해 볼수 있을 것이다.

3. 결론

위 사례에서와 같이 전기방식의 변경은 모두 운행 중인 구간에서 이루어 졌다. 그리고 철도의 운행 단축을 최소화 할수 있도록 직류설비를 교류설비로 변경한 후 전체 급전구간에 전력을 공급하기 전까지는 직류 전원을 임시적으로 공급하는 것을 확인하였다.

전기철도 선로의 전기방식 변경은 먼저 교류전철 변전소 배치계획에 따라 설치하고, 구간별 전차선로를 교류시스템으로 가선한후, 교류전력 공급이 가능할 때까지 임시로 직류전력을 공급하면서 구간별 단계적으로 절체하는 것이다.

향후 북한철도의 현대화 초기단계에서 전기방식의 변경(DC→AC)도 함께 추진한다면 국내외의 사례들이 참고가 될 것이며, 효율적인 사업 추진을 위해서는 보다 체계적이고 상세한 연구가 있어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Kim.Y.S, You.H.C(2008) Electric Railway Engineering. p. 18.
- [2] MOLIT(2017) 한반도 통합철도망 마스터플랜 수립 연구, 기술분야 보고서, pp274~277
- [3] KRRI(2014) Technical Research for DC 3kV Catenary system Renewal and DC 3kV to AC 25 kV Catenary system Change(Spain), pp 3~20
- [4] ADY(2018) Project Administration Manual, Republic of Azerbaijan: Railway Sector Development Program. pp. 1-6.
- [5] KRNA, Lee.H.W(2008) Business trip Report in Azerbaijan
- [6] 서울메트로, (주)배산 ENG(2008) 서울메트로 1,4 호선 전력공급방식 변경 타당성조사 용역보고서, C03-03, C03-05.
- [7] <http://www.wikiwand.com/ko>
- [8] KRIC(2019) Railway Industry Information Center, <http://www.kric.go.kr>
- [9] 한국철도학회(2009) 남북철도 현대화를 위한 남북한 철도건설기준 비교분석. 제 12 권 6 호

(한국철도학회 정기학술대회 Full Paper
-Template 작성일: 2019.4.19.)