

한국, 중국 및 러시아 화물철도 차량 상호운영을 위한 연결기 연구

천준호
리애펜테크(주) 기술연구소

A Study on the Coupler for Interoperability of Freight Railway Car between Korea, China and Russia

Jun-Ho Cheon

Institute of Technology, Leentech Corp.

요약 최근 러시아를 포함한 동북아 경제의 중요성이 커지고 있으며, 유라시아 이니셔티브 정책에 따르면 동북 아시아의 운송, 물류 및 연결성 향상은 미래 성장 동력의 과제 중 하나로 부상하고 있다. 그러나 각국의 차량 시스템이 다르기 때문에 국가 간 철도 차량은 원활하게 운행되지 못하고 있는 실정이다. 서로 다른 시스템의 차량을 안전하게 연계 운행하려는 시도는 유럽-러시아간에 활발하게 이루어지고 있는 실정이나, 동북아-러시아간에는 근래에 들어 연구가 시작되고 있는 추세이다. 특히, 화차의 연결기는 국내 및 중국은 미국의 AAR(Association of American Railroads) 규격을 기본으로 한 연결기를, 러시아는 국가 표준인 GOST(USSR State Standards)를 적용한 연결기를 사용하고 있어, 헤드 형상이 서로 상이하여 상호간 연결이 불가능한 실정일 뿐 아니라, 요구하고 있는 재료의 화학적 성질과 기계적 성질이 상이하다. 이에, 본 논문에서는 국내 철도용품 기술기준과 러시아의 GOST 규정을 만족하는 연결기를 상호 연결할 수 있는 가변형 연결기 및 연결기 어댑터를 개발하는데 있어, 각 국가에서 제시하고 있는 요구사항을 조사하고, 특히, 연결기에 대하여 요구하는 기계적 성질을 만족하는 재질을 개발하는 과정에서 시험을 통한 그 가능성을 분석하여, 향후 각 국가에서 안전하게 사용할 수 있는 연결기 어댑터 제작의 발판을 마련하고자 한다.

Abstract Recently, the importance of the northeast economies including Russia has been growing, and according to the Eurasian initiative policy, the enhancement of transportation, logistics and connectivity between the northeast Asian countries is emerging as one of the challenges for future growth. However, due to the different vehicle systems used in each country, the railway connections between countries are not operating smoothly. Especially, the couplers of the railway cars which pass through the countries of northeast Asia including Russia have different regulations, which render their shape and characteristics incompatible. In this study, we propose a method of interconnecting the AAR type coupler used in Korea and China and the CA-3 type coupler compatible with the Russian GOST standard, and verify that its structural safety conforms with each set of regulations. We analyze the possibilities offered by this method of interconnection by performing tests while developing materials satisfying the mechanical properties required for the freight coupler.

Keywords : Coupler, Coupler adapter, Freight car, Interoperability, Variable Coupler

1. 서론

철도차량의 연결기는 추진력 및 제동력을 차량간에

전달하는 기능을 하는 안전상 매우 중요한 구성품으로서, 최근에 들어 화차의 장대화의 필요성으로 인하여, 그 구조적 안전성이 더욱 중요해지고 있다. 최근에 개정된

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(16RTRP-B118949-01).

*Corresponding Author : Jun-Ho Cheon(Leentech Corp.)

Tel: +82-31-391-7965 email: junoch1866@gmail.com

Received January 11, 2018

Revised February 13, 2018

Accepted April 6, 2018

Published April 30, 2018

철도안전법 규정에 따라 2016년부터 시행하는 철도용품 기술기준에서는 안전상의 중요성으로 차륜, 차축과 더불어 연결장치를 형식승인의 대상으로 규정하고 있다[1]. 즉, 국내에서 운용되는 모든 철도차량은 국토교통부에서 정한 철도차량 형식승인을 받아야 운행할 수 있도록 되어 있다. 국내의 철도차량 화차의 연결기는 미국의 AAR(Association of American Railroads)의 규정에 의한 AAR E형의 연결기를 주로 사용하고 있으며, 일부 항목에 대해서는 국내 실정에 맞게 관련 검사 및 시험을 통과하여야만 사용할 수 있도록 되어 있다[1,2].

최근에 러시아를 포함하는 동북아 경제에 대한 중요성이 대두되고 있고, 유라시아 이니셔티브 정책에 따라 동북아시아간의 교통, 물류, 연계성 강화가 미래 성장 동력을 위한 과제 중 하나로 부상하고 있다[3]. 남북 및 유라시아 철도 연계구축을 위해서는 국경지역에서 발생하는 화물의 운송을 원활하게 수행할 수 있는 제도적 장치뿐 아니라, 서로 다른 차량시스템을 가진 철도차량의 연계운행이 가능하여야 한다. 서로 다른 시스템의 차량을 연계 운행하려는 시도는 유럽-러시아간에 활발하게 이루어지고 있는 실정이나, 동북아-러시아간에는 근래에 들어 연구가 시작되고 있는 추세이다. 최근에 표준궤(1,435mm)와 광궤(1,520mm)를 둘 다 주행할 수 있는 궤간가변대차 차량에 대한 연구가 있었다[4]. 특히, 화차의 연결기는 국내 및 중국은 미국의 AAR 규격을 기본으로 한 연결기를, 러시아는 국가 표준인 GOST(USSR State Standards)를 적용한 연결기를 사용하고 있어, 헤드 형상이 서로 상이하여 상호간 연결이 불가능한 실정일 뿐 아니라, 요구하고 있는 재료의 화학적 성질과 기계적 성질이 상이하대[5].

이에, 본 논문에서는 국내 철도용품 기술기준과 러시아의 GOST 규정을 만족하는 연결기를 상호 연결할 수 있는 가변형 연결기 및 연결기 어댑터를 개발하는 데 있어, 각 국가에서 제시하고 있는 요구사항을 조사하고, 특히, 연결기에 대하여 요구하는 기계적 성질을 만족하는 재질을 개발하는 과정에서 시험을 통한 그 가능성을 분석하여, 향후 각 국가에서 안전하게 사용할 수 있는 연결기 어댑터 제작의 발판을 마련하고자 한다. 다음 Fig. 1. 은 국내 화차의 연결기 결합형태를 보여준다.



Fig. 1. Connection of freight coupler(AAR Type)

2. 본론

2.1 화차 자동연결기 규정 조사, 분석

국내, 미국(AAR), 러시아(GOST) 규정에서 요구하고 있는 철도차량 화차의 연결기 재질의 요구사항에 대하여 조사·분석하였다. 다음 Table 1.은 연결기 재질에 대한 각국의 요구사항을 비교한 것이다.

Table 1. Standards-related coupler

no.	Standard No/Name	Remark
1	KRS CP 0002-13	Korea
	Railway Rolling Stock-Test methods : Coupler	
2	KRTS-CO-part3-3-2016	Korea
	Korean Railway Technical Specification	
3	AAR M-211	USA
	Foundry and product approval requirements for the manufacture of couplers, coupler yokes, knuckles, follower blocks, and coupler parts	
4	AAR M-201	USA
	Castings, Steel	
5	GOST 22703-91	Russia
	Moulded pieces of automatic coupler equipment for 1520mm gauge railway rolling stock. General specification	
6	GOST 54749-2011	Russia
	Coupler and automatic coupler device of railway rolling stock. Technical requirements and acceptance rules	

국내의 철도용품 기술기준에서 요구하는 연결기의 화학적 성분 및 기계적 성질은 AAR에서 요구하는 것과 동일하다. 그러나, 러시아의 GOST 22703에서는 연결기의 사용부품에 따라 Group을 분류하고 있으며, 자동연

결기 캐리어 및 요크는 Group1으로 분류되고 있으며, Group1은 강종을 20GL로 사용하도록 되어 있다. 각 규정에서 요구하고 있는 연결기의 재질에 대한 화학적 성질, 기계적 성질을 요약 하면 다음 Table 2.와 같다.

Table 2. Chemical composition, Mechanical properties of casting steel

Division		KRTS /AAR M-201, Gr.E	GOST 22703, 20 GL
Chemical Composition	C	lesst than 0.32	0.17 ~ 0.25
	Mn	lesst than 1.85	1.10 ~ 1.40
	Cr	-	lesst than 0.30
	Ni	-	lesst than 0.30
	Si	lesst than 1.50	0.30 ~ 0.50
	Cu	-	lesst than 0.30
	P	lesst than 0.04	lesst than 0.04
Mechanical Property	S	lesst than 0.04	lesst than 0.04
	Tensile Strength (MPa)	more than 826.8	more than 600
	Yield Strength (MPa)	more than 689	more than 500
	Elongation (%)	more than 14	more than 12
	Contraction Ratio (%)	more than 30	more than 25
	Hardness (BH)	241 ~ 311	192 ~ 262
Impact strength	V-Notch : 27J (at -40℃)	U-Notch : 20J (at -60℃)	

20GL의 화학성분 중 C, Mn, Si의 함유량은 M-201에서 요구하는 수치보다 낮으며, 추가적으로 Cr, Ni, Cu의 함유량을 제한하는 것으로 알 수 있다. 즉, 20GL의 주요 화학성분을 만족하면, AAR에서 요구하는 재질의 화학성분을 만족할 수 있다. 또한, 러시아는 상대적으로 기온이 낮은 환경에서의 철도차량 운행이 가능해야 하므로, GOST 규정에서는 내한성을 위하여 -60℃에서의 충격강도를 추가적으로 요구하고 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서 개발되는 재질의 화학적 성분은 AAR과 GOST규정을 모두 만족하는 성분을 가지며, 기계적 성질은 상대적으로 우수한 규격, 즉, 인장강도, 항복강도, 연신율, 단면수축율은 AAR Gr, E 재질의 값을 만족하고, 경도(BH)는 241 ~ 262사이, 충격강도는 -60℃에서 20J 이상의 물성치를 갖는 재질 개발을 목표로 하였다.

2.2 실험 방법 및 고찰

2.2.1 시편 준비

본 실험에서 각종 시험편 제작을 위해서 1,500kg 전기로에서 목표 화학성분을 달성하기 위한 각종 금속성분을 배합하여 용해하였다. 용해온도 1,550℃, 용해시간은 2시간 진행하였다. 용해 후 상부의 불순물을 제거하고 성분 확인용 시험몰드에 용탕을 주입하여 화학성분을 확인하며 공시재 사형몰드에 주입하였다. 시편 채취를 위한 공시재의 화학성분은 다음 Table 3.과 같이 나타났다.

Table 3. Chemical composition of Casting steel

Division		Content
Chemical Composition	C	0.27
	Mn	1.0
	Cr	0.7
	Ni	0.52
	Si	0.48
	Cu	0.04
	V	0.001
	P	0.006
	S	0.010

공시재의 화학적 성분을 분석한 결과 본 연구에서 목표로 한 AAR과 GOST 규정을 모두 만족할 수는 없었으며, Cr, Ni의 화학성분이 GOST에서 규정하고 있는 값보다 약간 높은 것을 알 수 있다. 이는 Jin Huang 등이 연결기의 너클 파괴 분석에 대한 이전의 연구에서 재료 내의 Cr, Ni 함유량의 증가에 따라 인장강도 및 항복강도 등의 기계적 성질이 우수하게 나온 것을 참조하여 주물 화학성분 조성을 수행한 결과이다[6]. 즉, 인장강도를 증가시키는 동시에 충격강도를 증가시키기 위한 화학적 성분을 구성하도록 하였다.

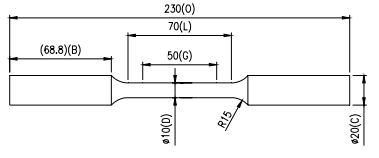
주물 후 열처리에는 다음의 절차에 의하여 수행하였다. 900~920℃에서 4시간 동안 노말라이징한 후, 공냉시키고, 이후, 880~900℃로 온도를 높혀 약 3.5시간 유지 후 수냉시켰다. 최종적으로 510~550℃에서 4시간동안 템퍼링 후 공냉시키는 방법을 사용하였다.

2.2.2 인장강도 시험

연결기 재질에 대한 인장강도시험편은 각국에서 시편의 크기 및 형상을 지정하고 있다. 이에 각국에서 요구하고 있는 시편 형태를 조사하였으며, 이는 다음의 Table

4.와 같다. 국내에서는 KS 및 ASTM (American Society for Testing and Materials)을 주로 인정하고 사용하고 있는 실정이며, GOST 규정의 시편의 크기도 거의 유사한 형태를 요구하고 있는 것을 알 수 있어, 인장강도 시험 시편은 KS규격에 의거 수행하였다.

Table 4. Specimen of tensile strength test

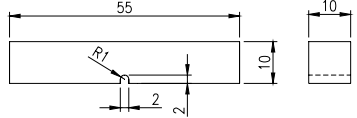
Division	Korea (KRTS)	USA (AAR M211)	RUSSIA (GOST 22703)
Spec.	KS B 0801 Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials	ASTM A370, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products	GOST 1497, Metals. Methods of tension test
Shape			
Diameter (D)	10	12.5	10
Gauge length (G)	50	50	50
Length of reduced (L)	70	60	70
Radius (R)	min. 15	10	2
Grip Dia. (C)	-	20	16
Length of Grip(B)	-	about 35	10
Overall Length(O)	-	125	-

2.2.3 충격강도 시험

화차의 연결기는 차량간 연결하는 경우와 운행 중에 추진 및 제동에 의하여 충격을 많이 받아 충격강도가 안전상 매우 중요한 항목이다. KS, ASTM, GOST규격을 조사한 결과 시편의 크기는 동일함을 확인하였다. 시험 방법은 GOST에서 -60℃에서 수행하도록 되어있어, U-notch 충격시험편을 사용하여 충격강도 시험을 수행하였다. 충격강도 시편은 총 3개로 수행하여 평균값을 도출하였다.

각 국에서 요구하고 있는 충격강도 시험편의 규격은 다음 Table 5.와 같다.

Table 5. Specimen of impact test

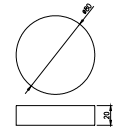
Division	Korea (KRTS)	USA (AAR M211)	RUSSIA (GOST 22703)
Spec.	KS B 0809 Impact Test Pieces for Metallic Materials	ASTM A370, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products	GOST 9454, Metals. Method for testing the impact strength at low, room and high temperature
Shape			

2.2.4 경도시험

경도시험을 수행하기 위하여 각국의 규격을 비교한 결과 크기는 규정되지 않고 있으며, 다만, 압흔 깊이의 8 배 이상의 시편 두께를 요구하고 있어, 다음과 같은 규격으로 제작하고, 누르개 지름 10mm, 공칭시험하중 29,420N으로 시험을 수행하였다.

각 국에서 요구하고 있는 경도 시험편의 규격은 다음 Table 6.와 같다.


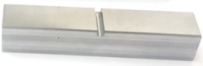

Table 6. Specimen of brinell hardness test

Division	Korea (KRTS)	USA (AAR M211)	RUSSIA (GOST 22703)
Spec.	KS B 0805 Method of Brinell Hardness Test	ASTM A370 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products	GOST 9012 Metals. Method of Brinell hardness measurement
shape			

2.2.5 시험결과

개발된 연결기 재질에 대한 기계적 성질 시험을 위한 시편의 형상은 다음 Table 7.과 같다.

Table 7. Shape of test specimen

Division	Shape
Tensile Test Piece	
Impact Test Piece	
Brinell Hardness Test Piece	

준비된 시편으로 수행한 기계적 성질 시험결과는 다음의 Table 8.과 같이 나타났다.

Table 8. Test result

Division	Requirements	Results
Tensile Strength(MPa)	more than 826.8	912
Yield Strength(MPa)	more than 689	710
Elongation(%)	more than 14	24
Contraction Ratio(%)	more than 30	46
Hardness(BH)	241 ~ 262	277
Impact Strength(-60℃)	20	33

위의 시험결과에서 알 수 있듯이 개발된 재질에 대한 시험결과 인장강도는 912MPa로 연구의 목표로 한 826.8MPa 이상, 항복강도는 710MPa(목표 689MPa), 연신율 24%(목표 14%이상), 단면수축율 46%(목표 30% 이상), 경도 BH 277(목표 BH 241~262), 충격강도 33J(목표 20J)의 값을 얻었다. 경도를 제외한 기계적 성질은 본 연구에서 목표로 한 GOST 및 AAR규정에서 요구하는 값을 모두 만족하는 결과를 얻었다.

3. 결론

한국-중국-러시아를 관통하는 화물열차의 연결기는

각국에서 요구하고 있는 기술기준 및 규격이 서로 상이 하여 안전한 운행을 위해서는 연결기의 형상 뿐 아니라 재질도 규정에 따라야 한다.

이에, 본 논문에서는 국내 철도용품 기술기준과 AAR 및 러시아의 GOST 규정을 만족하는 연결기 재질을 제시하고자 하였다. 조정된 화학적성분과 열처리를 통하여 공시재를 제작하였고, 시험결과 인장강도, 항복강도, 연신율, 단면수축율, 충격강도 값은 목표하는 값을 만족하였으나 경도의 시험결과는 그렇지 못하였다. 이는 목표로 하였던 경도 값의 폭이 매우 좁기 때문이기도 하며, 향후, Cr, Ni 등의 화학적 성분을 변화시키며, 동시에 최적의 열처리를 찾은 방법으로 연구를 추가로 수행할 예정이다. 본 연구를 통한 학술적/기술적 기여는 다음과 같을 것으로 판단된다.

- 철도차량 상호운영을 위한 요구 규격의 조사
- 연결기에 대한 국가 간 다른 규격을 만족하는 재질의 개발 가능성 확인
- 동북아시아 국가 간 화물 철도차량 상호 운영을 연결기 기술적 기반 확보

References

- [1] KRTS-CO-part3-3 “Korean Railway Technical specification”, 2016.
- [2] AAR M-211, “Foundry and Product Approval Requirements for The Manufacture of Couplers, Coupler Yokes, Knuckles, Follower Blocks, And Coupler Parts”, 2013.
- [3] Choi Hanbyul, Choi SeokBeom, Journal of Korea Trade “A Study on the Efficient Methods of Rail Transport Network under the Eurasia Initiative”, vol. 41, no. 3, pp. 109-133, 2016.
- [4] Jung Jun Park, Hee Seung Na, Bulletin of the Korean institute of electrical and electronic material engineers, “Establishment of test line for interchangeable vehicle / infra. interface”, vol. 28, no. 12, pp. 3-8, 2015.
- [5] GOST 22703, “Moulded pieces of automatic coupler equipment for 1520mm gauge railway rolling stock. General specification”, 1991.
- [6] J. Huang, Lu Xia, Youshou Zhang, Sinian Li, "Investigation on brittle fracture mechanism of a grade E cast steel knuckle", Case Studies in Engineering Failure Analysis 2, pp. 15-24, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csefa.2013.12.007>

천 준 호(Jun-Ho Cheon)

[정회원]



- 1996년 2월 : 한양대학교 금속재료 공학과 (금속재료공학석사)
- 1996년 3월 : 대우중공업(주) 철도 차량기술연구소 주임연구원
- 2001년 1월 ~ 2015년 8월 : 코디텍엔지니어링(주) 수석연구원
- 2015년 8월 ~ 현재 : 리엔테크(주) 기술연구소 소장

<관심분야>

철도차량, 시스템엔지니어링