

철도차량기지 검수고의 정정비용량 평가 및 향상 방안 연구

서승일*, 김정국, 남성원
한국철도기술연구원 차세대철도차량본부

A study on the assessment and improvement of light maintenance capacity of a shop in railway vehicle depots

Sungil Seo*, Jeong Guk Kim, Seong Won Nam
Division of Advanced Railway Vehicle, Korea Railroad Research Institute

요약 철도차량기지는 시간이 지나면서 설계시에 가정한 정비조건과는 다른 조건에 놓이게 된다. 특히, 운용 차량의 증가와 정비시간 부족으로 정비비용량의 부족 문제가 대두하게 된다. 이를 해결하기 위해 먼저 정확한 정비량과 정비용량에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 기존 차량기지 설계 기준에 따른 정비량과 정비용량 산정 기준의 취약점을 분석하고, 이에 대한 개선 방안으로서 인-시간 개념이 포함된, 실제 차량기지의 정비용량과 정비량을 평가할 수 있는 기준을 제시하였다. 기존 기준에서는 차량기지에 입고하는 차량의 해당 정비항목은 지정된 선로에서만 시행하고, 편성 단위로 정비용량과 정비량을 평가하였는데, 개선된 새로운 기준에서는 선로를 다목적으로 활용하면서 정비용량과 정비량을 인-시간 단위로 평가하게 된다. 새 기준을 적용하면 기존 기준에 비해 실제 차량기지의 정비 현황을 더 정확히 반영할 수 있어서, 정비선로의 정비용량과 정비량을 정량적으로 분석할 수 있게 된다. 새로운 기준에 따른 정비용량 분석 결과, 정비선로를 증가시키거나 투입되는 정비인력을 증가시키면 정비용량이 증가함을 알 수 있었다. 새 기준을 적용하면, 정비 차량을 좀더 유연하게 정비선로에 배치하여 정비용량 증가 효과를 얻을 수도 있다. 정비시간을 고정 정비시간과 변동 정비시간으로 분리하고 각각에 대해 인-시간 기준의 정비량을 산정하고 최적의 정비 인력 배치를 시행하면 최대 50%의 정비용량 증가 효과를 얻을 수 있다.

Abstract As a railway vehicle depot becomes old, it is subjected to maintenance environments different from those assumed at the design stage. In particular, insufficient maintenance capacity becomes an important issue due to the increase in vehicles or deficient working. Hence, for effective use of the depots, their capacity and work amount must be known a priori. In this study, the previous design criteria to calculate the amount and the capacity have been reviewed to find their weak points. Also, as an improvement, new design criteria to assess the actual capacity and work amount in man-hour units were proposed. The new design criteria could consider the actual situations accurately compared to the previous one, which assessed the capacity and work amount in train-set units at the assigned maintenance lines. After these criteria were applied to the capacity analysis, it was found that the capacity increases when the lines or the man-hours increase. In the proposed system, maintained trains can be arranged more flexibly in the lines so that an increase of capacity can be achieved. Suppose the maintenance time is divided into fixed or variable so that each time can be used for calculating the amount in man-hour units. In that case, a maximum capacity can be attained by an optimal increase of manpower by up to 50%.

Keywords : Depot, Design Criteria, Examination Service, Maintenance Capacity, Man-Hours, Railway Vehicle, Variable Time

본 논문은 국토교통부 국가연구개발과제("산악용 친환경운송시스템의 차량기술 개발")로 수행되었음.
본 연구의 수행을 위해 협조해주신 한국철도공사와 국가철도공단 차량기지 담당자님께 감사드립니다.

*Corresponding Author : Sungil Seo(Korea Railroad Research Institute)
email: siseo@krrri.re.kr

Received August 13, 2021

Revised October 27, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

1. 서론

철도차량기지 검수고는 철도운영기관의 핵심시설로서 경정비와 중정비, 청소 등 차량의 안전 운행을 위해 필수적인 유지보수 작업이 이루어지는 곳이다. Fig. 1의 트램 차량기지와 같이 소용량 검수고가 있는 반면, Fig. 2의 고속철도 차량기지와 같이 대용량의 검수고도 있다. 차량기지는 운행을 위한 차량의 적시 공급과 신속한 장애 해결을 위해 보통 시종착역 인근에 위치하고 있다. 종착역에서 운행을 마친 차량은 차량기지에 입고하여 정비를 마치고 다음 운행에 대비하게 된다. 차량기지의 설계 시에는 노선에 투입 예정인 차량편성수를 대상으로 하여 표준적인 정비 작업조건을 기준으로 하여 정비량을 산정하고 정비용량이 이를 충족할 수 있도록 선로 및 정비시설을 배치하게 된다. 그런데 영업운영이 진행되면 수요에 따라 차량 편성수가 증가하게 되고, 표준 정비 작업조건도 차량 운영 현황에 따라 변동이 불가피하게 발생한다. 즉, 차량기지 설계 시의 정비량과 정비용량은 운영 시의 정비량 및 정비용량과 큰 차이를 보이게 된다. 차량기지에서는 변화된 영업운영 조건에서 정비량을 감당하기가 어려워 정비용량 부족 문제가 대두하게 된다. 이에 따라 정비용량 확대를 위해 개량이 요구되나, 기존 차량기지의 개량에는 많은 예산이 소요되기 때문에 정확한 현황 분석을 기초로 하여 정비용량 부족에 대한 대책을 수립하는 것이 필요하다. 정비용량 부족을 해결하기 위해 정비시설을 확장할 수도 있으나, 정비를 효율화하여 실제 정비용량을 늘릴 수도 있다. 따라서, 효과적인 해결책 모색을 위해서는 다양한 대안에 대한 정량적인 분석이 필요하다.



Fig. 1. Maintenance work shop for trams

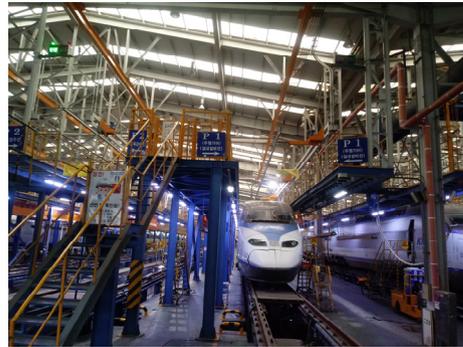


Fig. 2. Maintenance work shop for high speed railway vehicles

정비량과 정비용량을 정량적으로 분석하기 위한 기준은 국가철도공단의 철도설계지침 및 편람에 제시되어 있다[1]. 이 기준에 따르면 정비량과 정비용량을 차량편성수로 기준으로 산정하기 때문에 정비인력이라는 차량기지의 고유 능력을 반영하기 못하는 미비점이 있다. 일본의 차량기지 설계 편람도 국내 기준과 유사한 정비량에 대한 산식을 제시하고 있다[2]. 일본의 기준도 국내 기준과 마찬가지로 정비량과 정비용량을 차량편성수로 기준으로 산정하고 있어서 동일한 미비점이 있다. 기존의 기준들은 설계 단계에서 차량편성수에 따라 요구되는 선로를 간단하게 구할 수 있어 편리할 수 있으나, 정비인력이라는 차량기지의 보유 능력을 정비용량에 정확히 반영하지 못하여 실제와는 다른 결과를 주고 있다. 정비효율화 관점에서도 장애 요인이 되고 있다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 시뮬레이션 기법을 이용하여 철도차량기지의 중정비 여유율[3]과 검수용량[4]을 평가한 연구가 시도되었다. 컴퓨터 상에서 차량기지의 정비 작업 수행 상황을 정확히 모사하기 위해 차량기지의 시설과 인력 등의 정비 자원을 모두 입력하고 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 작업 공정을 재현하여 정비 결과를 가시화하는 기법이 적용되었다. 그러나, 시뮬레이션을 위해서는 고가의 시뮬레이션 도구가 필요할 뿐만 아니라 상세한 작업 공정과 시설, 인력에 대한 자료 입력이 필요하므로, 간단한 자료로 경정비의 검수(정비)용량과 검수(정비)량을 파악하고 신속한 대책을 수립해야 하는 현실에서 바로 활용하기에는 무리가 있다. 현장에서는 정비시설 및 차량운영 현황을 정확히 반영하여 신속하게 정비량과 정비용량을 평가하고, 이를 바탕으로 정비시설에 대한 개량 또는 정비효율화를 위한 방안 수립이 필요하다. 이를 위해, 본 연구에서는 기존의 차량 정비용량 및 정비량 산

정의 문제점을 분석하고, 정비 운영 현황을 고려하여 새로운 산정 방법을 제시하며, 제시한 방법의 효과를 보인 후에, 이에 기초하여 정비효율화 방안을 모색해 보고자 하였다.

2. 차량 정비 관련 기준

차량의 경정비는 차량의 주요장치 및 각 부의 기능상 태 점검, 주요 구성부품 및 소모품의 교체 등 차량 주요 장치의 성능확보를 위해 시행하는 유지보수를 말한다. 중 정비는 차량 전반에 대한 분해, 부품교체 등이 포함되어 경정비와는 별도의 정비고에서 정비작업을 시행한다. 본 연구에서는 일일 정비작업의 대부분을 차지하고 있고, 효율화가 더욱 필요한 경정비의 정비용량과 정비량에 대해 고찰해 보고자 한다. 경정비와 관련하여, 철도안전법 하 위의 철도차량기술기준[5]에서는 철도운영자가 철도차량 의 유지보수 세부시행 계획을 수립하여 계획에 따라 유 지보수를 실시하도록 규정하고 있다. 이에 따라 간선철도 와 도시철도를 운영하는 각 철도운영기관은 철도차량 유 지보수 규정을 제정하여 정비항목, 정비주기 등의 기준을 정하여 정비 시에 적용하고 있다[6].

2.1 차량의 정비 기준

철도운영기관의 유지보수 규정에 따른 고속차량의 경 정비 기준은 다음의 Table 1과 같다[6]. 일상정비는 차 량 비품, 오물 청소, 기계 및 전기 장치 검사, 기능 시험, 고장 수리 등을 시행하는 정비를 말하며, 가장 빈번하게 시행하게 된다. 일상정비(examination service)와 실내 정비(comfort examination)와 주행기어정비(running gear inspection), 체계정비(systematic works on train-set)는 경정비 정비선로의 대부분을 차지하는 정 비항목이며 매일 시행한다. 상부 실내정비와 하부 주행기 어정비는 동시에 진행하며 일상정비에 더하여 출입문 등 실내설비에 대한 정비 및 주행장치와 전기추진장치에 대 한 검사와 정비를 시행한다.

동력분산식 철도차량(EMU: Electric Multiple Unit) 의 경정비기준은 다음 Table 2와 같다. 도래 주기 이내 이더라도 주행거리를 초과하면 정비를 실시하게 된다.

Table 1. Maintenance criteria for high speed railway vehicle of power concentration system

Maintenance Works	Abbreviation	Period	
		Running Mileage (km)	Return Period (days)
Examination Service	ES	5,000 (Max)	-
Comfort Examination	CE	20,000 (Max)	14
Running Gear Inspection	RGI	20,000 (Max)	14
Systematic Works on Train-set	SWT	50,000 ~ 55,000	-
Season Systematic Works on Train-set	S-SWT	During summer and winter seasons	-
Period-Systematic Works on Train-set	P-SWT	Return period of each component	-
Limited Inspection	LI	150,000 ~ 165,000	120
General Inspection	GI	300,000 ~ 330,000	240
Full General Inspection	FGI	600,000 ~ 660,000	480

Table 2. Maintenance criteria for electric multiple units

Maintenance Works	Abbreviation	Period	
		Running Mileage (km)	Return Period
Examination Service	ES	3,500	7 days
Limited Inspection	LI-4	60,000	4 Months
General Inspection	GI-4	720,000	4 Years
	GI-8	1,440,000	8 Years

2.2 정비를 위한 표준작업 기준

차량기지를 설계할 시에는 정비 대상 차량의 규모에 따른 소요 정비선로의 수와 정비고의 크기, 소요 장비 등 을 파악하고 이에 따라 검수고와 관련 시설을 계획하게 된다. 정비선로의 수와 시설물을 계획하기 위해서는 먼저 차량의 정비를 위한 표준작업 조건이 정해져 있어야 한 다. 차량기지에 대해 표준작업조건에 기초하여 정비시설 을 계획하게 된다. 일례로 고속차량의 정비 표준작업조건 을 보면 Table 3과 같다.

Table 3. Standard maintenance working practices for high speed railway vehicles

Maintenance Works	Required Maintenance Time (hrs)	Annual working days (days)	Daily working time (hrs)
Examination Service	3	365	24
Comfort Examination	4	365	16
Running Gear Inspection	4	365	16
Systematic Works on Train-set	5	365	16
Limited Inspection	10	270	16
General Inspection	17.5	270	16
Full General Inspection	56	270	16

3. 기존 정비량 및 정비용량 산정 방법

3.1 정비량 기준

기존 정비량 및 정비선 산정 기준[1]에 따르면 정비량은 운용되는 차량편성수를 기준으로 정비주기에 따라 기본 제안식으로 산출된다. 정비주기는 거리를 기준으로 할 수도 있고, 시간을 기준으로 할 수도 있는데, 다음 식으로 표현된다.

정비주기에 의한 정비량 :

$$A = \frac{N}{T} \left(1 - \frac{T'}{T} \right) \frac{365}{D} (1 + \alpha) \quad (1)$$

where, A = 일일정비량(daily maintenance amount, train-set), N = 차량편성수(no. of train-set), T = 정비주기(maintenance return period, days), T' = 상위정비주기(return period of next maintenance, days), D = 작업일수(working days, days), α = 파동율(maintenance fluctuation rate)

주행거리에 의한 정비량 :

$$A = \frac{NK}{S} \left(1 - \frac{S'}{S} \right) \frac{365}{D} (1 + \alpha) \quad (2)$$

where, K = 일일주행거리(daily running mileage, km), S = 정비도래거리(maintenance return mileage, km), S' = 상위정비도래거리(return mileage of next maintenance, km)

3.2 선로수 및 정비용량 산정 기준

정비량이 평가되면 소요선로수는 다음 식으로 계산된다.

$$n = \frac{Nt_{dwh}}{t_{mh}} \quad (3)$$

where, n = 요구정비선로수(no. of required maintenance lines), t_{dwh} = 일일작업시간(daily working hours, hr), t_{mh} = 요구정비시간(required maintenance hours, hr)

각 정비종류(maintenance work)별로 정비량을 계산하고 정비량에 따라 소요선로가 계산된다. 식(3)은 정비량과 소요선로와의 관계를 나타내는 식이라 할 수 있다. 선로가 주어진 경우에 일일정비량은 식(3)을 역산으로 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$N_{ts} = \frac{n_l t_{mh}}{t_{dwh}} \quad (4)$$

where, N_{ts} = 정비용량(maintenance capacity in train-set unit), n_l = 정비선로수(no. of maintenance lines)

위 식(4)는 이미 건설된 정비선로를 보유하고 있는 정비고에 대해서 정비용량을 표현하는 식으로 활용할 수 있다.

4. 정비용량 평가의 문제

차량기지의 설계 단계에서는 배속된 차량편성수를 기준으로 식(1)을 이용하여 정비량을 계산하고, 정비량에 따라 소요선로수를 식(3)과 같이 계산한 후, 소요선로수에 따라 정비고의 상세설계를 진행한다. 설계단계에서는 예상정비량에 의해 소요선로를 결정하였으므로, 정비량이 곧 정비용량이 된다. 그러나 차량기지를 운용하면서 영업운영 상황이 달라짐에 따라 차량편성수의 증감이 발생하여 정비량이 달라지게 되고, 설계단계에서 가정한 정비조건들도 변화하게 된다. 선로수는 일정하나, 열차 운영환경과 정비여건이 변화함에 따라 정비용량과 정비량도 불가피하게 변할 수밖에 없다. 정비용량 평가에 영향을 주는 변화된 여건에 대해 고찰해 본다.

4.1 일일작업시간 현황

차량은 주간에 영업운행을 위해 투입되고 정비를 위해 야간에 차량기지에 입고하게 된다. 차량이 2교대로 운영 될 만큼 충분하지 않다면, 차량기지의 정비 작업은 영업 운행이 종료된 야간에 집중될 수밖에 없다. 고속차량기지의 차량 입고출고 현황은 보통 Fig. 3과 같이 특정 시간대에 집중되며, 주간에 영업운행을 마치고 19시부터 1시까지 차량이 주로 입고한다[7]. 차량의 출고는 4시부터 8시까지 집중되고 있다. 차량의 입고후에 일상정비가 이루어 짐을 고려할 때, 출고까지 야간 8~9시간 정도를 일상정비를 위해 활용할 수 있다. 일상정비에 대해 일일정비시간을 24시간 또는 16시간으로 정한 Table 3의 표준작업 조건과는 많은 차이를 보이고 있다.

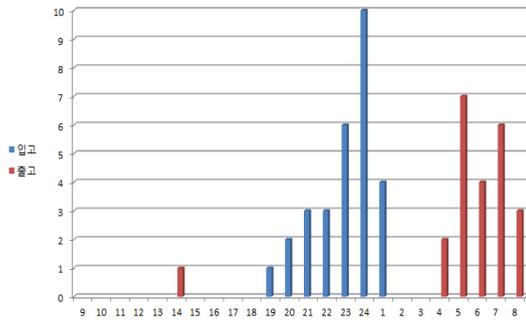


Fig. 3. Arrival and departure times of high speed railway vehicles at a depot

정비시간 측면에서도 차량이 야간에 집중되어 기지내의 이동시 체증이 일어나, 검수고에 입고하기 위해 대기 시간이 소요되는 문제가 발생하고 있다. 따라서, 표준작업시간에서 규정하고 있는 정비시간을 제대로 준수하지 못하는 경우가 있게 된다. 차량의 실제 입고출고를 고려한 운영작업조건은 Table 4와 같이 된다. 제한정비(limited

maintenance) 이후의 경정비는 주기정비선에서 주간에 작업이 이루어지며, 야간에는 해당 차량을 유치선으로 이동시켜 정비선을 비워두게 된다.

4.2 정비선로 운용 현황

정비선로는 설계시에 용도가 정해져 있다. 경정비고의 경우 일상정비선(ES 등 수행), 기본정비선(CE/RGI, SWT등 수행), 주기정비선(GI, FGI 등 수행) 등으로 선로가 지정되어 있다. 그러나 앞절에서 언급하였듯이 주간에 주기정비를 마친 차량은 유치선에 빠져 있으므로 주기정비선의 일부는 야간에 비어 있게 된다. 야간에 집중되는 차량의 원활한 일상정비를 위해 비어 있는 기본정비선에서도 일상정비를 시행하게 된다. 또한 일상정비선에서 정비작업이 종료되면 주기정비 작업이 이어질 수 있다. 따라서, 개별 정비선만의 정비용량으로 차량기지의 정비용량을 평가하는 것은 실제와 다른 결과를 줄 수 있다.

4.3 인력 투입

Table 3에 제시한 정비시간은 계획된 인력이 투입된다는 조건하에 정해진 것이다. 그런데 계획된 인력보다 적은 인력이 투입되면 정비시간은 그 만큼 늘어나게 되고, 많은 인력이 투입되면 정비시간은 단축될 수 있다. 차량기지의 설계 시에 선로를 결정하는 데에 기본이 되는 표준작업조건은 투입인원이 적정하다는 가정하에 제시된 것이나, 실제 운영조건에서는 투입인원이 상황에 따라 달라진다. 따라서, 정비시간은 투입인원에 의존하는 변수가 된다.

5. 새로운 정비용량 평가 방안

5.1 일일작업시간의 수정 반영

표준작업조건에서 제시하고 있는 일일작업시간 24시간은 Fig. 3과 같은 열차 입고출고 상황을 볼 때에 불가능하다. Fig. 3을 보면, 처음 19시에 차량이 입고하고 다음 날 4시부터 출고하기 시작하므로 정비고에 진출입하는 시간을 고려할 때, 8시간을 일일작업시간으로 정하는 것이 적절하다.

5.2 인-시간의 적용

앞절에서도 언급하였듯이 정비시간은 투입인력에 따라 변동된다. 정비시간의 절대 소요시간도 있으나 작업인

Table 4. Practical maintenance work practices

Maintenance Works	Required Maintenance Time (hrs)	Annual woking days (days)	Daily working time (hrs)
Examination Service	3.5	365	8
Comfort Examination	4.5	365	8
Running Gear Inspection			
Systematic Works on Train-set	5	365	8
Limited Inspection	10	244	8
General Inspection	17.5	244	8
Full General Inspection	56	244	8

력이 많이 투입되면 그만큼 정비시간은 단축될 수 있다. 오물 수거와 같은 경우, 오물탱크를 비우는데 소요되는 시간은 일정하므로 절대적인 시간이 필요할 수 있으나, 인력에 의존하는 대부분의 정비작업은 투입인력에 따라 작업 종료까지의 시간이 달라진다. 정비시간을 고정 정비 시간(fixed maintenance time)과 변동 정비시간(variable maintenance time)으로 나누고 정비시간에 작업인력의 수를 곱하여 인-시간(man-hour)을 구한 후에 이를 기초로 정비량을 평가하는 것이 적절하다.

5.3 정비선로 전체의 정비용량

정비선로는 초기의 용도에 따라 활용되는 것이 아니라 상황에 따라 다른 용도로도 활용된다. 기본적인 시설을 갖추고 있는 선로는 여러 경정비 작업을 수용할 수 있으므로 한 정비작업이 종료되면 다른 종류의 다음 정비작업을 이어갈 수 있다. 따라서 정비용량은 정비선로 전체에 대해 평가하는 것이 현실에 부합하고 합리적이다.

6. 새로운 정비용량과 정비량 산정기준 제시

6.1 정비용량

정비용량은 차량정비를 위해 동원할 수 있는 차량기지의 능력을 양적으로 표현한 것이므로 인프라와 인력을 모두 고려한 값이 되어야 한다. 새로운 정비용량 평가 방안에서 정비고의 선로수와 작업 가능시간, 투입인력을 모두 정량적으로 고려하여야 한다. 정비용량을 인-시간의 개념을 기초로 다음 식(5)와 같이 정의한다.

$$C_r = \sum_{i=1}^{n_l} \frac{t_{dwhi} M_{wmi}}{(1 + \beta_i)} \quad (5)$$

where, C_r = 정비용량(maintenance capacity, man-hour), n_l = 정비선로수(no. of total maintenance lines), t_{dwhi} = 정비선로 i 의 일일작업시간(daily working hours of line i , hr), M_{wmi} = 정비선로 i 의 작업인력(working men of line i , man), β_i = 정비선로 i 의 작업파동율(work fluctuation rate of line i)

6.2 정비량

정비량은 차량기지에 입고하는 차량을 정비하는 데에

소요되는 인력과 시간의 투입량을 의미한다. 따라서, 정비항목의 공정별로 소요되는 표준적인 시간과 투입인력으로 표현될 수 있다. 또한, 정비를 위해 차량기지에 입고하는 차량의 편성수는 정비주기에 따라 결정된다.

일상정비는 일상정비주기가 도래한 차량에 대해 시행한다. 일상정비량은 각 차량기지에 소속된 차량에 대해 일일 수행해야 할 정비 편성량을 말한다. 편성단위로 정비가 이루어지는 경우에는 편성수를 의미하고 차량단위로 정비가 이루어지는 경우에는 차량수를 의미한다. 정비주기는 주행거리나 정비주기 중 먼저 도래하는 것에 의해 결정된다. 주행거리를 기준으로 일상정비량을 인-시간 단위로 계산하면 다음 식(6)과 같이 된다.

$$W_r = \sum_{i=1}^{n_r} M_{wri} (t_{wfi} + t_{wvi}) \frac{NK}{S_{ri}} \left(1 - \frac{S_{ri}}{S'_{rai}} \right) \frac{365}{D_{wi}} (1 + \alpha_i) \quad (6)$$

where, W_r = 새로운 방법에 따른 정비량(maintenance amount of new method, man-hour), n_r = 전체 정비항목수(no. of total maintenance works), t_{wfi} = 정비항목 i 의 고정작업요구시간(fixed working hours requirement of maintenance work i , hr), t_{wvi} = 정비항목 i 의 변동작업요구시간(variable working hours requirement of maintenance work i , hr), M_{wri} = 정비항목 i 의 요구정비인력(man power requirement of maintenance work i , man), S_{ri} = 정비항목 i 의 정비회기(return mileage of maintenance work i , km), S'_{ri} = 정비항목 i 의 상위정비회기(return mileage of next maintenance work i , km), D_{wi} = 정비항목 i 의 정비작업일수(working days of maintenance work i , days), α_i = 정비항목 i 의 파동율(fluctuation rate of maintenance work i)

정비주기를 기준으로 일상정비량을 계산하면 다음 (7) 식과 같이 된다.

$$W_r = \sum_{i=1}^{n_r} M_{wri} (t_{wfi} + t_{wvi}) \frac{N}{T_{ri}} \left(1 - \frac{T_{ri}}{T'_{rai}} \right) \frac{365}{D_{wi}} (1 + \alpha_i) \quad (7)$$

where, T_{ri} = 정비항목 i 의 정비주기(return period of

maintenance work i , days), T'_{rai} = 정비항목 i 의 상위정비주기(return period of next maintenance work i , days)

식(6), (7)식에 포함된 작업 파동율(fluctuation rate of maintenance work)은 예상치 못한 작업에 대한 여유를 고려한 값이다.

7. 정비용량 산정 예

7.1 기존과 신 정비용량 산정 방법의 비교

Fig. 4는 차량기지의 정비선로 배치를 보여주고 있는데, 기존 방법에 따라 식(2)를 이용하여 정비고의 경정비용량을 계산한 사례는 다음 Table 5와 같다. 선로당 정비용량은 편성수로 표시되므로 소수점 이하는 절삭하게 된다. 일상정비 선로에서 일일작업시간 8시간 중에서 2편성의 차량의 정비작업이 가능하고 주행기어정비선과 체계정비선에서는 각각 1편의 차량만 정비가 가능하다. Fig. 5는 기존 방법에 따라 정비용량을 산정하는 경우, 선로에서 정비작업 현황을 보여주는 그림이다. 일상정비선로(D1~D3)에서는 일상정비만 수행하므로 일상정비(ES)를 위해 입고하는 6편성의 차량만 정비가 가능하고, 주행기어정비선로(D4)에서는 실내/주행기어정비(CE/RGI)를 위해 입고하는 차량1편성과 체계정비선(D5)에서는 체계정비(SWT)를 위해 입고하는 차량 1편성(D5)의 정비가 가능하다.

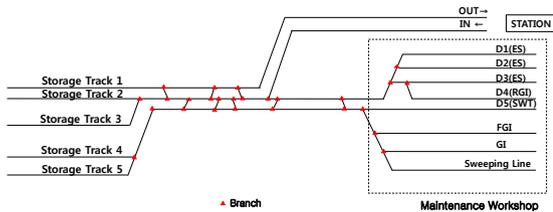


Fig. 4. Arrangement of maintenance lines in a railway vehicle depot

Table 5. Maintenance capacity of a work shop based on the previous design criteria

Maint. Works	Maintenance Capacity(previous)			
	No. of Line	Maint. Working Time	Daily Working Time	Maint. Capacity (Train)
ES	3	3.5	8.0	6
CE/RGI	1	4.5	8.0	1
SWT	1	5.0	8.0	1

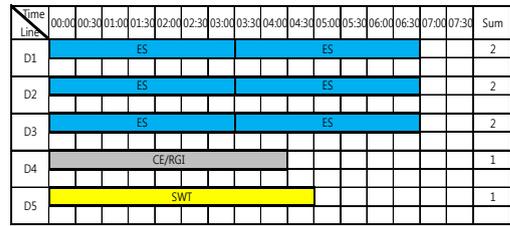


Fig. 5. A bar chart showing the schedule of maintenance works at each line based on the previous design criteria

본 연구에서 제안한 방법에 따라 인-시간을 기준으로 정비용량 및 정비량을 산정한 사례는 Table 6 및 Table 7과 같다. Table 6은 정비항목별로 정비용량을 인-시간으로 표시한 결과이고, Table 7은 입고된 차량의 정비량을 인-시간으로 표시한 결과이다. Table 7의 새로운 방법에 따르면 일상정비 7편성, 주행기어정비 1편성, 체계정비 1편성의 차량이 정비고에 입고되더라도 정비량은 422.1m-hr이 되어 정비용량 436.4m-hr보다 작아 정비가 가능한 것으로 분석되었다. 기존 방법에 따라 산정된 정비용량 보다 새로운 방법에 따라 산정된 정비용량이 좀더 크게 산정되고 있음을 알 수 있다.

Table 6. Maintenance capacity of a work shop based on the new design criteria

Maint. Works	Maintenance Capacity(new)					Total Sum of Man-Hour
	Basic Working Man	Daily Working Time	Man-Hour	Maint. Fluctuation Rate	Sum of Man-Hour	
ES	12	8.0	96.0	0.1	288.0	436.4
CE/RGI	12	8.0	96.0	0.1	96.0	
SWT	12	8.0	96.0	0.1	96.0	

Table 7. Maintenance amount of a work shop based on the new design criteria

Maint. Works	Maintenance Amount(new)					Total Sum of Man-Hour
	Maint. Train	Actual Working Man	Working Fluctuation Rate	Maint. Working Time	Sum of Man-Hour	
ES	7	12	0.05	3.5	308.7	428.4
CE/RGI	1	12	0.05	4.5	56.7	
SWT	1	12	0.05	5.0	63.0	

Table 7의 결과를 실제 선로상의 정비작업 현황으로 도식화해 보면 Fig. 6와 같다. 주행기어정비선(D4)에서

일상정비 후에 실내/주행기어정비를 시행하고, 체계정비선(D5)에서 체계정비를 수행하면 7편성의 일상정비와 1편성의 실내/주행기어정비, 1편성의 체계정비가 가능한 것으로 나타난다. 기존 주행기어정비선에서 체계정비도 실시하고, 체계정비선에서 일상정비도 수행하면, 좀더 많은 차량을 정비할 수 있음을 확인할 수 있다. 정비선로별로 시설 차이가 거의 없으므로 실현 가능한 방안이다.

Time Line	00:00	00:30	01:00	01:30	02:00	02:30	03:00	03:30	04:00	04:30	05:00	05:30	06:00	06:30	07:00	07:30	Sum
D1			ES							ES							2
D2			ES							ES							2
D3			ES							ES							2
D4			ES										CE/RGI				2
D5			SWT														1

Fig. 6. A bar chart showing the schedule of maintenance works at each line based on the new design criteria

8. 정비용량 증가 방안

앞절에서 언급한 바와 같이 새로운 정비용량 산정 방법은 실제 정비 현황을 반영할 수 있는 실용 방법이다. 본 방법에 기초하여 정비용량을 증가할 수 있는 원리를 도출해 볼 수 있다. Table 5에서 정비용량과 관련한 변수를 중심으로 정비용량 증가 방안을 모색해 본다.

8.1 선로수 증가 방안

식(5)에서 선로수를 증가하면 그만큼 정비용량은 증가한다. 선로수와 정비용량의 관계를 표시한 Fig. 7은 선로수 증가에 따라 정비용량이 선형적으로 비례함으로 보여 준다. 그러나 선로수를 증가시키기 위해 경정비고를 신설하는 것은 비용이 많이 수반되므로 경제적이지 못한 방안이다. 선로수의 증설 없이 선로수 증가 효과를 얻을 수 있는 방안은 선로수를 다목적으로 활용하는 것이다. 앞절의 Fig. 6에서 보았듯이 설계시에 용도가 정해져 있는 선로를 다목적으로 활용하는 것이 효율적인 방안이 될 수 있다. 일상정비선로와 주행기어정비선로, 체계정비선로의 시설은 큰 차이가 없으므로 선로를 다목적으로 활용하면 비어 있는 선로에서 다른 정비 작업을 실시하여 그만큼 선로 증가의 효과를 얻을 수 있다. Fig. 6를 보면 경우에 따라 D4정비선로에서 일상정비 1편성을 더 수행할 수 있음을 알 수 있다.

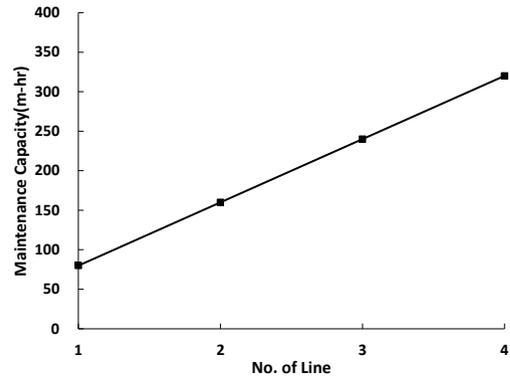


Fig. 7. Variation of maintenance capacity with changing the maintenance lines

8.2 일일 작업시간 증가 방안

설계 시에 선로의 활용시간을 24시간으로 가정하고 정비용량을 산정하였다. 그러나 열차의 운영 스케줄 상, 차량은 야간에 집중하여 차량기지에 입고하기 때문에 선로의 활용시간은 8시간으로 단축되었다. 야간에 선로의 활용시간을 늘리기 위해서는 정비고에 지체 없이 입고하는 것이 중요하다. 열차가 차량기지에 들어오면 기지내에서 지체 없이 정비고에 바로 입고할 수 있도록 병목 구간과 대기시간을 최대한 단축하는 것이 필요하다. 정비기지에 따라 기지에 진입할 때와 정비고에 진입할 때 운전실을 교체해야 하는 경우도 발생하게 된다. 이런 경우 기관사의 운전실 간 이동과 차량 재기동에 입출고를 합하여 40분 이상 소요되므로 입고 지연이 발생하고 이로 인해 선로 활용시간이 단축된다.

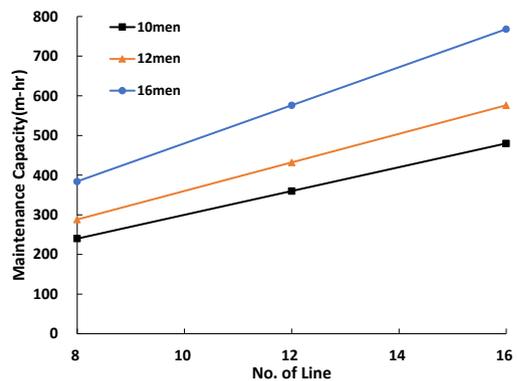


Fig. 8. Variation of maintenance capacity with changing the daily working time and workers

8.3 정비인력의 유연한 배치

정비선로마다 배속된 인력은 대체적으로 정해져 있다. 따라서 정비용량을 산정할 때에 정비선로에서 정비인력은 고정되어 있다고 가정하였다. 정비용량 측면에서 보면 Fig. 8에서 알 수 있듯이 정비인력이 증가하면 정비용량은 자연적으로 증가한다. 그런데, 동일한 정비인력으로 배치를 조정하면 정비용량을 증가시킬 수 있다. 정비작업의 내용을 분석해 보면 오물 배출, 용수 보충 등과 같이 일정한 인력과 일정한 시간을 요구하는 작업이 있는 반면에 차량별 검수 확인과 같이 많은 인력을 투입하면 빨리 종료되는 작업이 있다. 정비시간을 고정소요시간(fixed time requirement)과 변동소요시간(variable time requirement)으로 분리하고 변동소요시간의 정비작업 시에는 많은 인력을 투입하여 작업을 신속히 종료하면 정비용량 증가의 효과를 거둘 수 있다. Table 8은 현재 정비고의 선로에서 각 정비항목 마다 소요되는 인력과 고정 및 변동 작업시간 현황이다. Table 8은 Table 5를 보다 세분화하여 표현한 결과이다. Table 9는 변동작업에 대해 정비인력을 조정하여 정비 용량을 증가시킨 사례를 보여준다. Fig. 9는 Table 9의 정비작업 현황을 선로에서 작업 현황으로 다시 표현한 결과이다. 일상정비(ES)의 변동 인력 소요 작업에 주행기어정비의 변동 작업 배정 인력 4인과 체계정비 변동 작업의 배정 인력 4인을 배정하여 20인이 정비작업을 시행하면 총정비작업 시간이 3.5시간에서 2.5시간으로 감소가 가능하게 된다. 정비선로 1선에서 8시간 작업시간 동안 3편성의 차량의 일상정비가 가능하므로 3선로(D1, D2, D3)의 경우 9편성의 차량의 일상정비가 가능하게 된다. 선로D4선과 D5선에서는 인력 재배치를 하지 않은 경우와 동일하게 각각 1편성의 실내/주행기어정비와 체계정비 작업이 가능하다. 일상정비선에서 정비용량 증가를 확인할 수 있다. Table 10은 정비 작업조건의 변경에 따라 ES 정비용량의 증가현황을 정리한 결과이다. 정비용량과 정비량 산정 기준을 변경하고 정비선로의 용도를 다목적으로 활용하면 16.7%의 정비용량 증가 효과를 거둘 수 있다. 변동작업 인력을 최적으로 배치하면 ES 정비용량은 50%나 증가될 수 있다.

Table 8. Detailed working powers of each maintenance work and maintenance capacity at a shop

Parameter	ES		CE/RGI		SWT	
	fixed	variable	fixed	variable	fixed	variable
Working Time(hr)	1	2.5	1.5	3.0	2	3
Maintenance Working Time(hr)	3.5		4.5		5	
Working Men	12	12	12	12	12	12
Man-hour	12	30	18	36	24	36
Working Man-hour	42		54		60	
Maintained Train	6		1		1	

Table 9. Increase of maintenance capacity by changing working powers for each maintenance work

Parameter	ES		CE/RGI		SWT	
	fixed	variable	fixed	variable	fixed	variable
Working Man-Hour	42		54		60	
Adjusting Working Men	12	20	12	8	12	8
Adjusting Working Time(hr)	1	1.5	1.5	4.5	2	4.5
Adjusting Maintenance Working Time(hr)	2.5		6		6.5	
Maintained Train	9		1		1	

Time Line	00:00	00:30	01:00	01:30	02:00	02:30	03:00	03:30	04:00	04:30	05:00	05:30	06:00	06:30	07:00	07:30	Sum
D1	ES(fixed)	ES(variable)	ES(fixed)	ES(variable)	ES(fixed)	ES(variable)											3
D2	ES(fixed)	ES(variable)	ES(fixed)	ES(variable)	ES(fixed)	ES(variable)											3
D3	ES(fixed)	ES(variable)	ES(fixed)	ES(variable)	ES(fixed)	ES(variable)											3
D4	CE/RGI(fixed)					CE/RGI(variable)											1
D5	SWT(fixed)										SWT(variable)						1

Fig. 9. A bar chart showing the increase of maintenance capacity by using the new design criteria

Table 10. Increase of ES maintenance capacity by changing working powers for each maintenance work

Measures	ES	Increase rate	Remarks
Conventional Maintenance	6	0%	Different maintenance works in different maintenance lines
Application of new design criteria	7	16.7%	Different maintenance works in a maintenance line
Optimization of working manpower	9	50%	Reduction of Variable working time

9. 결론

본 연구에서는 기존 편성수 중심의 차량기지 정비용량 및 정비량 산정 기준의 문제점을 살펴보고, 이를 해결하기 위해 편성수에 인-시간을 고려하는 새로운 정비용량 및 정비량 산정 기준을 제시하였다. 새로운 기준의 적용을 통해 다음의 결과가 얻어졌다.

- (1) 차량기지의 설계 시에 가정한 정비 표준작업조건은 차량의 영업운행이 시작되면서 실제 운영작업 조건과 달라지게 된다. 영업 운행을 마치고 차량 기지에 입고하는 차량이 집중됨에 따라 정비시간은 단축된다.
- (2) 인-시간을 고려한 정비용량 및 정비량 산정기준은 기존 정비항목이 지정된 선로에서 편성 단위로 평가하는 정비용량 및 정비량 산정기준에 비해 실제 차량기지의 정비 현황을 정확히 반영할 수 있다.
- (3) 인-시간을 고려한 정비용량 및 정비량 산정기준에 따르면 정비 차량을 좀더 유연하게 정비선로에 배치할 수 있고 정비용량도 16.7% 증가 효과를 얻을 수 있다.
- (4) 정비선로를 증가시키거나, 투입되는 정비인력을 증가시키면 정비용량은 증가한다.
- (5) 정비시간을 고정 정비시간과 변동 정비시간으로 분리하여 각각에 대해 인-시간 기준의 정비량을 산정하고 최적의 인력 배치를 통해 최대50%의 정비용량 증가 효과를 얻을 수 있다.

References

- [1] Department of Standards Review, "Assessment criteria for maintenance amount and lines of railway vehicle depot", *Design guidelines and manuals of railway*, KR A-08021, Korea Rail Network Authority. pp. 5-7, Dec. 2018.
- [2] Subcommittee of Vehicle Maintenance Facility Technology, *Maintenance facilities of railway vehicles*, Japanese Association of Mechanical Technology of Railway Vehicles, pp. 33-36, Nov. 1996.
- [3] S. Y. Jang, B. H. Jeon, W. Y. Lee, J. K. Yoo, "Evaluation of train overhaul maintenance capacity for rolling stock depot using computer simulation method", *Journal of Korean Society for Railway*, Vol. 10, No. 2, pp.231-242. April 2010. UCI: G704-001404.2007.10.2.003
- [4] S. H. Choi, H. S. Lee (2010), "A study on the verification of heavy overhaul maintenance allowances for the maintenance shop", *Journal of Korean Society for Railway*, Vol. 13., No.1, pp.9-15, January 2010. UCI: G704-001404.2010.13.1.016
- [5] Railway Bureau, *Railway vehicle technical standards*, KRTS-VE-Part52-2017, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, July 2017.
- [6] Railway Vehicle Division, *Guidelines of maintenance for railway vehicle*, Regulation No. 83, Korea Railroad, Nov. 2019.
- [7] Facility Improvement TFT, *A mid-to-long term planning report for improvement of railway vehicle depots*, Korea Railroad, pp. 31-90, Dec. 2019.

서 승 일(Sung-il Seo)

[정회원]



- 1984년 2월 : 서울대학교 조선공학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 대학원 조선해양공학과 (공학박사)
- 1986년 2월 ~ 2002년 3월 : 한진중공업기술연구소 수석연구원
- 2002년 4월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원

<관심분야>

철도차량시스템, 용접구조 강도, 시스템 신뢰성 평가

김 정 국(Jeongguk Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 부산대학교 무기재료공학과 (공학사)
- 2002년 5월 : The University of Tennessee, Knoxville, 재료공학과 (공학박사)
- 2003년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

철도차량시스템, 비파괴평가 및 수명예측

남 성 원(Seong-Won Nam)

[정회원]



- 1990년 2월 : 경희대학교 대학원 기계공학과 (석사)
- 1994년 3월 : 일본 東北大 대학원 기계공학과 (박사)
- 1994년 4월 ~ 1995년 2월 : 일본 이와테대학 기계공학과 문부교관
- 1995년 3월 ~ 1996년 7월 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원
- 1996년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

기계, 4차산업