

## 시물레이션과 BPR을 응용한 Layout 기반의 철도차량기지 중정비 검수 여유율 검증

### A Study on the Verification of Heavy Overhaul Maintenance Allowances for the Maintenance Shop

최성환<sup>†</sup> · 이희성\*

Sunghwan Choi · Hi Sung Lee

**Abstract** When designing the size of a heavy maintenance shop for rolling stock, it is required to arrange buildings and facilities in the minimum site so as to improve the maintenance efficiency. However, the fluctuation rate (hereinafter "allowance rate") on which factors such as service and maintenance fluctuation should be applied when estimating the size of the maintenance shop has been used without verification. The objective of the study is to calculate a reasonable allowance rate and to review its appropriateness through the analysis of the facilities layout and process simulation to absorb the above elements into the staying time in the heavy maintenance shop. Since the working time, in this study, is assumed to be average working time, 10~20% was given to the standard deviation of working time in consideration of difference between workers, and possible allowance rate was drawn by analysis of the simulation results. In the future, it is required to optimize the size of the shop by applying appropriate allowance rate through scientific review of such factors as O&M plan, R/S reserve rate, capability of the shop, outsourcing rate, standard work amount, and so on.

**Keywords** : Maintenance shop, Business process re-engineering, Fluctuation rate, Allowance rate

요 지 철도차량기지 중정비 공장의 규모를 설계할 때 최소 부지에 시설을 배치하여 검수효율을 향상시킬 필요가 있다. 본 연구에서는 중정비 공장 규모 산정 시에 적용되는 운행과 검수의 파동요인을 고려한 파동율(이하 "여유율")이 국내에서 아직 검증되지 않은 채 활용되는 외적인 요인을 중정비공장내 재장시간으로 흡수하기 위해 시설배치도 및 공정 작업의 시물레이션 분석에 의하여 합리적인 여유율을 산출하고 그 적정성을 검토하고자 한다. 본 연구는 공정의 작업시간이 평균값으로 되어있어 작업자 간의 편차를 고려, 공정작업시간에 표준편차를 10~20%로 주어 각각의 경우별로 시물레이션 결과치를 분석하여 가능 여유율을 도출하였다. 향후에는 차량의 운영 및 검수계획, 차량 예비율 및 중정비 공장의 설비능력, 공정의주비율, 표준인공 등 운영조건 등의 인자를 고려하여 과학적인 검토를 통해 적정 여유율을 적용함으로써 공장 규모를 최적화 할 필요가 있다.

주 요 어 : 차량중정비기지, 업무 흐름 재설계, 파동율, 여유율

## 1. 서론

철도는 국가 기간망으로서 대도시간 대량의 거점 운송 수단으로 역할뿐만 아니라 기존도시와 신도시를 연결하는

도시철도망의 역할도 갈수록 확대되고 있다. 특히 다른 교통수단보다 정시성과 안전성이 높은 교통수단으로 이를 유지하기 위해서는 철도시스템에 대한 효율적인 정비체계의 확보 및 안정적인 열차 운영은 필수적이다. 현재에도 철도의 수송분담율을 높이기 위하여 기존선의 복선 전철화 사업과 신선 건설 사업이 진행됨에 따라 철도차량 검수를 위한 차량기지 건설과 이에 따른 검수업무가 급속히 증가하고 있는 추세이며 이제 검수체계도 기술의 발전에 맞추어 지속적인 개선이 필요하다.

<sup>†</sup> 책임저자 : 정회원, (주)대우엔지니어링 철도사업그룹, 상무  
E-mail : csh0348@dweng.co.kr

TEL : (031)738-0165 FAX : (031)738-0274

\* 교신저자 : 정회원, 서울산업대학교 철도차량시스템공학과, 교수  
신교통연구소장

최근 수년간 KTX의 운영, TTX 열차의 기술개발 및 시운전, 표준전동차 기술 개발 등 철도차량분야에 있어 눈부신 기술 발전을 이루었고 경의선, 경춘선, 중앙선, 동해남부선, 성남-여주선 등 광역철도의 복선 전철화사업에 따른 전동차의 차량기지 건설 사업이 활발히 추진되고 있으며, 철도는 차량, 선로, 구조물, 전기설비, 신호, 통신시스템 등 복합적인 설비를 갖춘 장치 산업이므로 그 설비를 적절하면서도 효율적으로 정비하는 것은 정확한 열차운행의 실현 및 경영개선을 위해서도 중요한 과제이다. 따라서 차량기지 중정비 공장의 규모를 설계할 때 검수효율을 향상시키기 위하여 최적의 부지에 시설을 배치 할 필요가 있다.

본 연구에서는 중정비 차량기지 규모 설계 시에 열차운행 및 검수 파동요소를 고려한 파동율(이하 "여유율")이 아직 국내에서 검증되지 않은 채 일본 문헌의 여유율을 적용하고 있는데 이로 인해 나타나는 문제점을 파악하고 합리적인 여유율을 도출하기 위하여, 차량 기지의 공정흐름을 BPR(Business Process Re-Engineering) 기법을 적용하고, 중정비 공장의 시설배치도 및 공정 시뮬레이션을 통해 도출된 결과와 비교, 분석을 하여 기존 여유율의 적정성을 검토하였다. 특히, 기존연구에서 고려하지 않았던 작업소요 시간을 다양한 분포로 추정해서 논리적인 중정비 검수공정에 차량기지의 배치도(Layout)도 동시에 고려하여 신뢰성 있는 결과를 도출하고자 한다.

## 2. 철도차량 검수 체계 현황 및 분석

철도차량 검수체계는 차량부품의 수명 특성과 공정계획에 따라 결정되는 예방검수를 기본으로 한다. 국내 차량기지의 검사종류는 차량기지 또는 담당하는 차량의 종류에 따라 상이한 점이 있으나, 예방검수를 기본으로 한 검수개념은 동일하며 차량기지의 검사업무는 크게 정기검사와 비정기검사로 대별한다. 정기검사는 예방검수의 측면에서 정확한 계획공정에 의해 실시하며 경정비분야인 일상검사 및 월상검사와 중정비분야인 중간검사 및 전반검사가 있다. 비정기 검사는 우발 또는 비상상태 발생 시 실시하는 비정기적인 임시검사로써 작업의 성질 및 정-중에 따라 경정비 및 중정비 공장에서 실시하도록 한다.

### 2.1 검수체계 현황

#### 2.1.1 고장유형 및 검수 종류

차량의 각 부품뿐만 아니라 일반적인 기기는 사용 개시 후 시간이 경과하거나 가동횟수가 증가함에 따라 여러 가지 불량 발생하게 되고, 그 불량을 수선하여 기능을 보완하면서 사용하게 된다. 불량은 설계불량, 재료불량, 제작

불량, 경과 연수와 사용정도 등에 따른 노후화, 취급불량, 기타 원인 등에 기인한다.

기능유지의 방법으로는 고장이 발생하기 전에 예방적인 보수(점검, 교환, 수리, 조정 등)를 행하는 예방검수와 고장이 발생한 후 실시하는 사후검수의 방법이 있지만 승객안전성과 수송안전성 확보가 특히 요구되는 철도차량에 대해서는 예방검수를 전제로 한 정기검수를 엄격히 실시할 필요가 있다. 많은 부품으로 구성된 기기의 고장 발생은 예방보수를 행하지 않을 때 Fig. 1의 점선과 같은 곡선을 나타낸다.

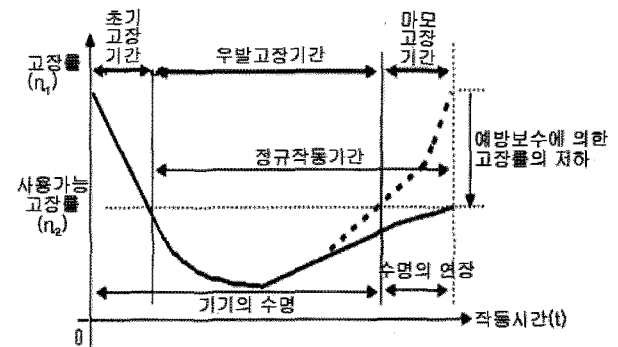


Fig. 1. Failure rates depending on elapsed time

사용 초기에 발생하는 고장은 수명이 짧은 부품과 조작 불량, 적응불량 등에 의한 것으로 설비가 길들여짐에 따라 고장율이 감소하게 되며 고장율이 비교적 일정하여 정규작동이 가능한 우발 고장기간을 거치게 된다. 그 후 다시 시간이 경과하면 기기를 구성하는 부품의 마모와 노후에 따라 급격히 고장율이 증가하는 마모 고장 기간에 이르게 된다. 마모 고장이 시작되기 전에 예방검수를 실시하면 상승하는 고장율을 감소시켜 차량의 수명을 연장할 수 있는 것이다. 이 상태를 흐름도로 나타내면 Fig. 2와 같다.

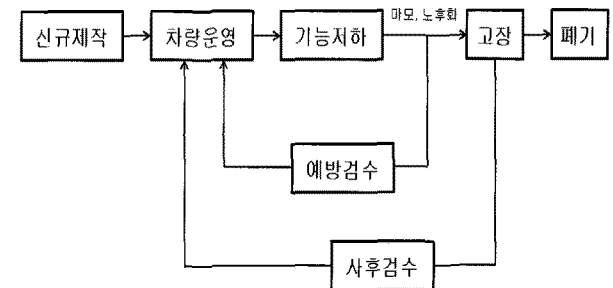


Fig. 2. Flow chart in terms of preventive maintenance and corrective maintenance

차량검수의 종류는 정기 예방검수방식을 기본으로 하지만 예방검수를 기대할 수 없는 부분, 즉 우발적인 고장 및 실내설비 등의 간단한 고장 등에 대해서는 사후검수방식을 채택하고 있다.

### 2.1.2 검수주기

차량의 정기검사의 기간을 정한 것은 주어진 고장을 예방적으로 방지하기 위한 것이며, 차량의 각 기관의 성능열화의 속도와 사용상 허용된 성능수준으로부터의 고장발생을 미연에 방지하는 범위 내에서 적절한 차량검수 주기를 결정하게 된다. 기기의 성능저하 속도 및 허용수준을 고려하여 사용시간(T)의 범위 내에서 적정 주기를 결정한다. 기기별 상이한 성능 수준 및 주기, 수명과 수선에 따른 경제성을 고려하고 유사한 특성을 가진 기기별로 분류하여 수선 내용과 종류를 결정토록 한다. 기기의 성능수준과 사용수명과의 관계는 Fig. 3과 같다.

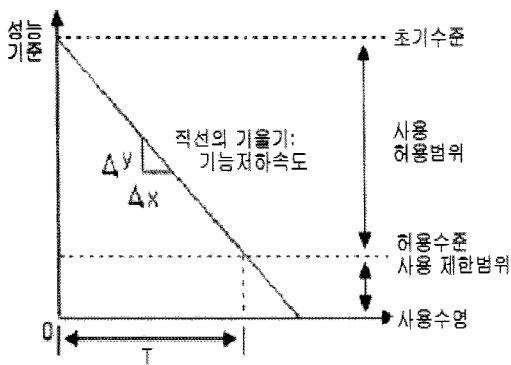


Fig. 3. Relation with performance level and lifetime of device

일반적으로 차량의 검수 주기에 영향을 주는 변수는 Table 1과 같이 분류할 수 있다.

Table 1. Related devices depending on maintenance period

검수주기에 영향을 주는 변수	관련 차량 부품
주행 거리	베어링, 주전동기, 브레이크, 대차, 윤축 등
주행 시간	출입문, 차체, 차체고정장치, 공기호스 등
가동 시간	전자부품, 공기압축기, 냉각장치, 보온장치
동작 횟수	집축자, 접점부품 등

차량의 부품은 각자가 다른 역할을 하고 있어 부품마다 검수주기를 결정하는 것은 복잡하고, 실제 검수 시행에 있어 비효율적이다. 따라서 검수주기는 일반적으로 주행거리 또는 주행 시간에 따라 정하고 있다. 단, 차량은 기기의 구성부품이 많고 각 부품의 특성이 다르기 때문에 검수를 일률적으로 시행함이 효율적이지 않기 때문에 검수종별마다 검수목적을 정하여 단계별로 검수항목, 검수방법, 검수내용들을 시행한다. 검수 체계를 결정할 때는 몇 가지 원칙을 가지고 선정을 해야 된다. 먼저 차기 검수시기까지 보장이 가능하고 중복 과잉 수선이 되지 않도록 하며 차량사양 및 특징과 적합하도록 하여야 한다. 또한 운영조직과 체계에

맞아야 하며, 경제적이고 효율적이어야 한다.

검수체계 산정기준은 차량검수는 고장을 예방하여 승객들의 수송 서비스를 높이고 차량 기기의 성능저하 속도와 사용상 허용되는 각 성능의 수준을 고려하여 고장발생을 미연에 방지하기 위해 검수체계를 선정하여야 한다.

검수주기의 산정에 있어서 작용하는 중요한 변수는 검수경비, 차량운행 효과, 차량부품의 내구년수, 고정투자비 및 현실적인 여건 등 여러 가지 변동 요인이 있으나 예방검수 측면에서 경제적인 검수주기의 산정은 다음과 같다.

$$S = F + V \quad (1)$$

단, S는 검수 총경비, F: 고정비, V: 변동비,  $V = X_1 + X_2$  ( $X_1$ : 검수비,  $X_2$ : 비상사고나 검수용량 증가에 의한 사고비)

Fig. 4와 같이 검수주기(T)를 길게 하면 인건비, 검수비용 등 고정비(F)는 감소하나 사고율 증가 및 검수량 증가에 따른 변동비(V)는 증가하여 검수 총경비(S)는 증가하게 되며, 반대로 검수주기(T)가 단축되면 변동비(V)는 감소하나 고정비(F)는 증가하여 검수 총경비(S)는 증가한다.

따라서, 최적 검수주기( $T_0$ )는 검수 총경비를 최소( $S_0$ )로 하는 지점인  $T_0$ 을 검수주기로 해야 한다.

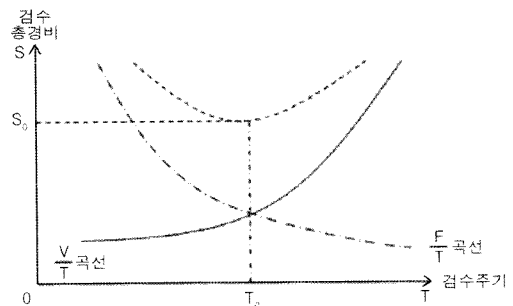


Fig. 4. Curves of maintenance costs

### 2.2 중수선공장의 시설계획

일반적으로 중수선공장의 시설계획방향은 다음과 같은 4가지로 요약될 수 있다

- 수선장의 집중화를 통한 검수효율 증대
- 차량입환의 용이성과 작업동선의 최소화
- 각 작업장간 유기적 기능을 고려한 배치
- 친환경적인 검수장비계획

따라서, 위 4가지 사항을 고려하여 효율적인 부지활용과 재장량 및 재장일수에 따른 차량의 입출장 빈도를 고려하여 배치계획을 수립한다. 일반적으로 검수량 산정은 Table 2의 산정식을 적용하여 산정한다. 또한 본 논문에서 사용

할 검수량 산정 방식(경춘선 차량기지 : 27편성 기준)을 Table 3로 나타내었다.

Table 2. Estimation of maintenance amount

구분	내용	비고
산정식	$A = \frac{N}{T} \cdot \beta \cdot \gamma = \frac{N}{T} \cdot \left(1 - \frac{T}{D}\right) \cdot \frac{365}{D} \cdot (1 + \alpha)$	
	$B = N \cdot \lambda \cdot \frac{\gamma}{365} = N \cdot \lambda \cdot \frac{1}{D} (1 + \alpha)$	
계수	A : 일일 검수량	
	N : 작업대상 차량 편성수	
	T : 상위검수 및 청소 주기일수	
	$\gamma$ : 가동일수계수	$\frac{365}{D} \cdot (1 + \alpha)$
	$\alpha$ : 작업파동률	경수선 : 10% 중수선 : 20%
	B : 임시검수량	
	T : 해당검수 및 청소 주기일수	
	$\beta$ : 상위작업과의 중복계수	$1 - \frac{T}{D}$
	D : 연간 작업일수	
$\lambda$ : 임시검수 발생률	보유차량의 10%	

Table 3. Estimation method of maintenance amount (Gyeongchun-Line maintenance shop for rolling stock : based on 27 trainsets)

검종	계산식	검수량
3년 검수	$A = \frac{N}{T} \cdot \beta \cdot \gamma = \frac{N}{T} \cdot \left(1 - \frac{T}{D}\right) \cdot \frac{365}{D} \cdot (1 + \alpha)$	0.022편성/일 =0.22량/일
	$A = \frac{27}{365(1/3)} \cdot \left(1 - \frac{365(1/3)}{365(1/6)}\right) \cdot \frac{365}{244} \cdot (1 + 0.2)$	
6년 검수	$A = \frac{N}{T} \cdot \beta \cdot \gamma = \frac{N}{T} \cdot \left(1 - \frac{T}{D}\right) \cdot \frac{365}{D} \cdot (1 + \alpha)$	0.022편성/일 =0.22량/일
	$A = \frac{27}{365(1/6)} \cdot \frac{365}{244} \cdot (1 + 0.2)$	
임시 검수	$B = N \cdot \lambda \cdot \frac{\gamma}{365} = N \cdot \lambda \cdot \frac{1}{D} (1 + \alpha)$	0.013편성/일 =0.13량/일
	$B = 27 \cdot 0.1 \cdot \frac{1}{244} (1 + 0.2)$	

Table 4. Results from estimating maintenance amount : in case of heavy maintenance

검종	발생 검수량 (A)	수선소요일수 (B)		재장량 (A×B)		공장 계획
		공장	차체장	공장	차체장	
6년 검수	0.22량	16	13	3.52	2.86	7.03량 ⇒
3년 검수	0.22량	13	10	2.86	2.2	
임시 검수	0.13량	5	5	0.65	0.65	1편성 (10량)
소 계	0.57량	-	-	7.03	5.71	

위의 Table 4에서와 같이 검수량의 산정결과는 파동률의 유무에 따라 재장량의 차이가 달라질 수 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 이러한 수리적인 부분이 고려되어 경험적

자료를 기반으로 산정된 중수선의 파동률 20%를 기반으로 산정된 재장량을 시뮬레이션 기법을 통해서 검증한다.

### 3. 시뮬레이션

#### 3.1 시뮬레이션 조건

본 시뮬레이션 조건은 경춘선 차량기지를 모델링 대상으로 하였으며, 1편성이 10량으로 구성되어 27편성, 즉 270량이 운영되는 것으로 가정하였다. 또한, 모든 공정의 진행은 선입선출(FIFO: First In First Out)을 따른다고 가정하였다.

##### 3.1.1 수선대상차량 도착시간 간격(Inter-Arrival Time)

일반적으로 중수선은 연간 작업일수가 365일인 경수선과 달리 연간의 작업일수가 244일이기 때문에 54일마다 3년 검수차량과 6년 검수차량이 도착한다고 가정하였다. 따라서 27일마다 중정비 공장에 검수대상 차량이 도착한다고 볼 수 있다.

단, 6년 검수가 3년 검수의 배수이기 때문에 6년 검수를 받은 차량은 3년 검수에서 제외되므로 3년 검수와 6년 검수가 동일한 시간 간격을 가진다고 볼 수 있다. 임시검수는 고려하지 않았다.

##### 3.1.2 관련설비의 상태

일반 제조업에서는 설비의 고장을, 즉 평균고장시간(MTBF: Mean Time Between Failure), 고장수리시간(MTTR: Mean Time To Repair)과 가용률에 관련된 자료를 주요 인자(Key Factor)로 입력한다.

하지만, 본 연구에서는 신뢰성 있는 관련 자료를 구하지 못한 관계로 설비는 항상 가용하다고 가정하였다.

##### 3.1.3 작업일정

일일 작업시간에서 모든 작업자와 설비를 포함한 자원(Resource)은 하루에 8시간만 가용한 것으로 설정하여, 점심시간을 포함하여 오전 9시에서 오후 6시까지만 가용한 것으로 설정하였다. 이는 모든 작업자 및 설비가 중간 휴무 없이 오전 3시간 및 오후 5시간을 작업한다고 가정하였다.

또한, 작업공정도에서와 같이 일간단위의 공정이 아니라 단위공정이 완료되면 해당일수 이전이더라도 다음 공정으로 바로 진행하는 것으로 가정하였다.

#### 3.2 시뮬레이션 모델

중정비 공장의 시뮬레이션 모델은 배치 도면과 공정상 차량의 흐름을 기준으로 구성되어 있으며 기존의 사건중심의 시뮬레이션에 실제의 물류동선이 고려된 보다 현실에

부합되는 모델을 구성하였다. 또한, 작업 흐름도를 별도의 프로그래밍 언어나 소프트웨어 자체에 내장된 스크립트의 사용을 지양하여 그 자체를 시물레이션 모형에 표현되도록 하였다.

특히, 중정비를 구성하고 있는 모든 설비관련 요소들은 라이브러리로 구성이 되어 있으며, 추가, 삭제 및 수정이 용이하여 향후의 유사한 시물레이션 분석에 재사용이 가능하다.

### 3.2.1 공정순서

입출장선을 분리하고 선입선출이 가능한 구조로 계획하여 분해 조립이 효율적으로 운영되는 검수공정을 계획하고 공정흐름에 따라 시물레이션 모델링을 한다.

### 3.2.2 중정비 작업흐름도

중정비 공장의 작업 흐름도를 차량 입고에서부터 출고까지의 흐름을 Fig. 5와 같이 나타내었다.

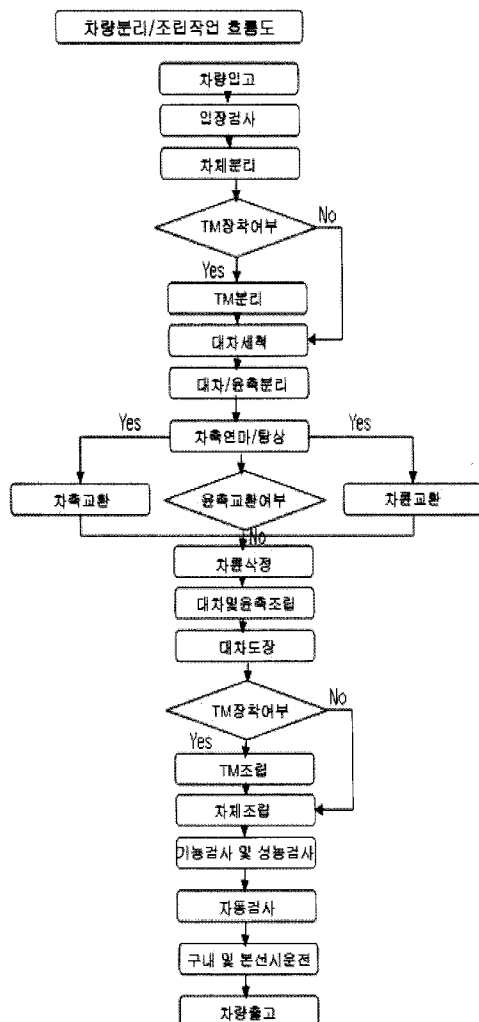


Fig. 5. Disassembly and Assembly of vehicle from a heavy maintenance shop

## 3.3 중수선공장의 시물레이션 입력자료

### 3.3.1 작업시간

작업시간은 중정비 작업흐름도를 근간으로 하여 참고문헌 [1], [2], [3], [4]에 제시된 자료를 기준으로 하였다.

또한 참고문헌의 작업시간은 측정치의 단순 평균만을 제시하고 있어서, 그 값들을 평균으로 하여 정규분포일 경우에는 평균값의 10%, 15%, 20%를 표준편차로 가정하여 Table 5와 같이 입력하였다.

Table 5. Input datas of lead time per car depending on maintenance items

검수 항목	작업시간 (단위: Hr)	공정별 소요인원	소요인공	량당소요시간
입출장	59	18	261	5.9
냉난방기	88	8	256	14.6
차체공장	331	77	1,182	33.1
전기부품공장	583	111	1,842	58.3
대차공장	354	61	950	35.4
기계공장	282	44	981	28.2
제동공장	391	74	1,336	39.1
회전기공장	287	55	1,446	81.3

### 3.3.2 배치도

차량의 이동경로와 그에 따른 이동시간은 경춘선 중정비 공장의 실제 배치도를 입력자료로 활용하여 실제 기하학적 치수(Geometric Data)를 반영하였다. 또한, 관련설비의 이송속도는 권상속도(4.5m/min), 횡행속도(16m/min) 및 주행속도(20m/min)를 기준으로 검토하였다.

중정비 공장의 시물레이션 입력자료의 가장 중요한 기초 자료로 차량의 물리적인 이동경로를 표현하는 공정흐름도와 논리적인 흐름을 표시하는 모형을 기반으로 제시하고 있다.

### 3.3.3 모델링 방법 및 절차

기존 연구에서 고려하지 않았던 작업소요시간을 다양한 분포로 추정하여 적용하고 논리적인 프로세스로 차량기지의 배치도도 동시에 고려함으로써 보다 신뢰성 있는 결과를 도출하고자 하였다.

## 3.4 시물레이션 결과분석

Table 6과 같이 중수선의 일일 검수량이 일괄적인 파동을 적용시 0.22량/일로 산출되었으며, 작업공정의 가정하에 시물레이션 분석결과 검수량을 산정하였을 때 아래와 같이 0.22량/일보다 크게 산출되었다. 즉, 공정의 능력이 커 단위 시간에 많은 량의 차량을 수리할 수 있는 결과를 얻었다.

Table 6. Results of simulation analysis

여유율 20% 적용시	시뮬레이션 분석결과
일일 검수량 (3Y) 0.22 량/일	<ul style="list-style-type: none"> <li>정규분포</li> <li>-작업시간 표준편차 20%적용시: 0.2471~0.2464(량/일)</li> <li>-작업시간 표준편차 15%적용시: 0.2590~0.2585(량/일)</li> <li>-작업시간 표준편차 10%적용시: 0.2722~0.2719(량/일)</li> <li>지수분포 : 0.2533~0.2489(량/일)</li> </ul>

입력된 작업시간은 평균값만 있고 오차 및 작업자 간 편차를 고려하여 표준 편차를 주어 분석하였고, 표준편차 10%는 여유가 없는 값이며, 15%는 보통 20% 및 지수분포는 여유가 크게 설정된 값으로 볼 수 있다. 정규분포에서 표준편차 값이 적을수록 검수능력은 크게 나타났으며, 지수분포는 난수 결과값의 편차가 정규분포보다 큰 결과를 나타낸다.

산출값의 신뢰도를 높이기 위해 난수를 발생하여 21회 반복 시뮬레이션을 분석한 결과치이며 분석결과 그래프는 Fig. 6과 같다.

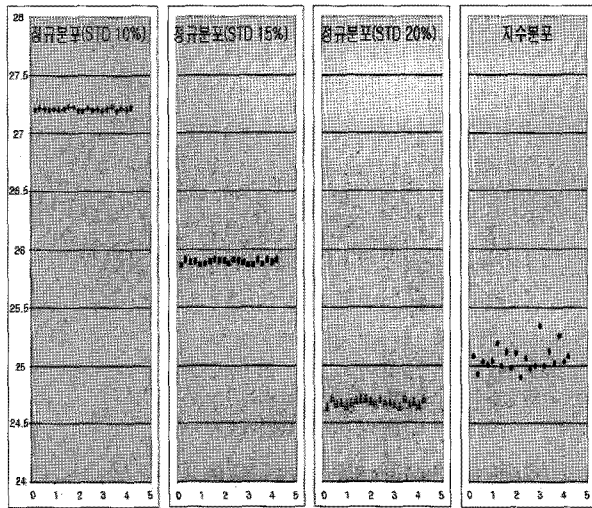


Fig. 6. Results of simulation analysis on heavy maintenance work

Table 7에서와 같이 일괄적인 여유율 20%를 적용한 편성당 검수주기의 일일 0.22대의 차량 검수량보다 시뮬레이션을 통한 결과가 높음을 알 수 있다. 일괄적인 여유율

20%를 적용한 편성당 검수주기의 일 0.22량의 차량 검수량 보다 신뢰도 95%의 시뮬레이션을 통한 결과가 높음을 알 수 있다.

즉, 공정의 검수능력이 높아 이 결과치를 토대로 공정내에서 여유율의 흡수가 가능하며 이것을 토대로 적용 가능한 여유율을 도출하였다.

- 검수량(A)

$$A = \frac{N}{T} \cdot \beta \cdot \gamma \tag{2}$$

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

당초 여유율인 20% 적용 시 검수량이 0.22량/일 되었으며 검수용량이 증가됨에 따라 적용 가능한 여유율을 유추하면 다음과 같다.

- 지수분포: 5.2%(4.06%~6.24%)
- 정규분포: 표준편차 평균의 20%: 10.69%(10.68%~10.70%)
- 정규분포: 표준편차 평균의 15%: 1.10%(0.97%~1.20%)
- 정규분포: 표준편차 평균의 10%로써 여유율이 모두 공정으로 흡수 가능

각 분포에서 여유율은 다음과 같이 정의될 수 있다. 지수분포일 경우, 여유율은 5%이상을, 표준편차가 평균의 20%인 정규분포 경우는 여유율은 10.5% 이상 그리고 표준편차가 평균의 15% 이하인 정규분포 경우 여유율은 1.1%를 고려할 수 있다. 본 분석에서는 임시검수량의 요소를 미반영하였으나 분석결과 작업시간의 표준편차를 20%로 설정시에도 여유율은 10.7% 수준을 유지할 수 있다.

여유율은 좀 더 정확한 입력자료의 활용 및 공정자동화, 외주화 요소를 반영하여 분석시 좀 더 현실적이고 적절한 여유율의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

### 3.5 시뮬레이션 결과와의 타당성 검토

위의 입력자료를 통하여 관련분포의 난수를 변경하여 각각 21번의 실험을 수행 (자유도 20)하였다. 이 시뮬레이션 결과는 t-검정을 통하여 유의수준 0.025 (신뢰도 95%)으로 Table 8과 같이 하였다.

Table 7. Results of simulation on maintenance amount

구분	$t_0$	평균	비교치	표준편차	자유도( $\phi$ )	하한	상한
정규분포(10%)	2390.5790	27.2083	22	0.0100	20	27.2028	27.2138
정규분포(15%)	1046.6328	25.8844	22	0.0170	20	25.8750	25.8938
정규분포(20%)	516.2299	24.6848	22	0.0238	20	24.6716	24.6979
지수분포	133.0359	25.0590	22	0.1054	20	25.0008	25.1171

**Table 8.** Results of simulation analysis (unit : car per day)

구분	평균	표준편차	상한	하한
확정적	0.220	.	.	.
정규분포	0.272	0.025	0.297	0.247
지수분포	0.260	0.031	0.291	0.229

이러한 검증결과는 각 시뮬레이션 결과의 평균값이 상기 신뢰구간범위 내에서 있으므로 검증결과 값이 유효하다.

#### 4. 결론

차량기지 설계 시 중정비 공장의 여유율 적용은 정형화된 기준 없이 10% 또는 20%를 적용하고 있으나, 본 연구 결과는 특정 차량기지에 한정하여 분석하였으며 여유율은 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- ① 지수분포의 경우 여유율 : 5.2%
- ② 정규분포의 경우 여유율
  - 표준편차 20% 적용시 : 10.7%
  - 표준편차 15% 적용시 : 1.10%
  - 표준편차 10% 적용시 : 외적여유율 전량 흡수가능

따라서, 기존방식에 적용한 일률적인 여유율의 적용값 20%보다는 낮은 결과를 얻었으며, 정규분포의 경우 작업시간의 표준편차는 보통 수준값 15%를 적용시 여유율값 1.1%이었으며, 이는 임시 검수량을 미고려 하였고, 여러 가지 가정하에 시뮬레이션을 하였으며, 실제 운용시 가정 조건과의 차이시 발생하는 추가 여유율을 고려시 5~10.7%의 범위에서 적용이 가능하다.

향후에는 차량의 운전, 운영계획, 차량 예비율 및 중정비 공장의 설비능력, 공정외주비율, 표준인공 등 운영조건 등의 인자를 고려하여 과학적인 검토를 통해 적정 여유율을 적용함으로써 공장 규모를 최적화하여야 한다.

재장일수는 검수주기별, 운영기관별로 차이는 있으나, 10량/편성, 인버터제어방식(VVVF) 차량일 경우 운영기관에서는 일반적으로 3Y는 13일, 6Y는 16일을 표준으로 적용하고 있어, 본 시뮬레이션 분석결과 여유율 10% 조건에서

- ① 작업시간 표준편차가 15%이면 재장일수는 3Y: 12.5일, 6Y: 15일

- ② 작업시간 표준편차가 10%이면 재장일수는 3Y: 11.6일, 6Y: 14.2일의 결과를 도출하게 된다.

여유율은 설계 시 차량기지의 규모에 영향을 미치며, 재장일수의 조정은 여러 가지 복합요인이 있어 심도있는 분석 및 검토 후 적용이 필요하지만 재장일수 조정시 차량 예비율을 축소하거나 가용율을 증대시킬 수 있다는 결과를 도출하였다.

#### 참고 문헌

1. 한국용용통계연구소 (1996), “서울특별시 도시철도공사 전동차 중정비 용역 실행을 위한 연구,” pp. 187-430.
2. 한국용용통계연구소 (1996), “지하철 5, 7, 8호선 차량의 3년 및 6년 검수를 위한 차량의 공정별 작업시간 분석.”
3. 한국철도기술연구원 (2000), “전동차 중정비 검수업무의 외주화 방안에 관한 연구,” pp. 208-230.
4. 한국철도기술연구원 (2000), “중정비 정기검사의 1인당 용역원 가 산출(3Y검사, 6Y검사).”
5. 김동민 (2005), “신뢰성을 향상을 통해 전동차 차량상태를 최적화하고 운영 효율을 극대화하여 운영비 최소화를 위한 연구.”
6. 문형석 (2005), “차량 유지보수 체계의 이산사건 시뮬레이션 방법의 적용사례 연구.”
7. 장성용, 전병학, 이원영, 유재균 (2007), “시뮬레이션 기법을 활용한 열차 차량기지의 중정비검수 용량평가,” 한국철도학회 논문집, 제 10권, 제 2호, pp. 231-242.
8. 일본정차장 선로배선연구회 (1984), “정차장선로배선 Hand Book.”
9. 일본철도차량 기계기술협회 (1996), “철도차량검수설비.”
10. 한국철도시설공단 (2006), “경춘선 전동차 사무소 건설공사 실시설계 보고서.”
11. 한국철도공사 (2005), “철도차량 유지보수 및 지침.”
12. 최성환, 홍용기, 이희성, 김승환 (2009), “시뮬레이션과 BPR을 응용한 Layout 기반의 철도차량기지 중정비 검수여유율 검증,” 한국철도학회 추계학술대회 논문집.
13. 민영사, 박성현 (1993), “현대 실험계획법.”
14. J. Banks, J. S. Carson II, B. L. Nelson, and D. M. Nicol (2001), “Discrete event system simulation,” 3rd Ed. Prentice Hall.
15. L. McGraw-Hill, M. Averill, and W. D. Kelton (1991), “Simulation modeling and analysis,” 2nd Ed.

접수일(2009년 11월 25일), 수정일(2009년 12월 4일),  
 게재확정일(2010년 1월 20일)