RIMS 데이터와 도시철도차량 차륜관리에 관한 연구

A Study of Appling RIMS of Train's Wheels Management

전 서 탁* 이 도 선** 김 동 민*** 박 수 중**** 김 남 우*****

Jeon, seo-tak Lee, do-sun Kim dong-min Park soo-choong Kim nam-woo

ABSTRACT

Train wheels are the most important part of the high-speed rail system with supporting body, running stably and safely. Wheel exchange and fix plan is computed by the worker who managing entire Train Maintenance Process based on his know-how so that this system is losing its reliability and accuracy. And predicting of the wheel's lifetime is absolutely difficult matter because of uncertainty between trains like mileage of the type of trains, condition of operation, curve section and wheel's cutting pattern. Therefore workers always used to hold many wheels. For this reason, the cost of stock is soar when the level of stock was normal. If the stock is sufficient, the cost of stock will rise. On the other hand, If the stock is deficient, we would have trouble that the plan of the train maintenance process will be failed. Thus this paper aimed at application that "Wheel Managing System" which is able to predict wheel's life-cycle and demands under the RIMS(Rolling-Stock Information Maintenance System) with analysing wheel exchanging and cutting status considering economical or stable aspects.

1. 서론

도시철도차량의 차륜은 전동차의 전 중량을 지지하면서 레일 위를 주행하는 전동차 부품 중에서 안전을 확보하는데 있어서 가장 중요한 부품이다. 차륜 유지보수 계획은 차륜측정 기록표를 제공받아 정비계획 담당자의 경험과 노하우를 통하여 다음연도의 차륜교환 대상편성 및 교환물량을 산정함으로써 신뢰성 및 정확성이 떨어지고 있는 실정이다. 이것은 전동차가 차종별·편성별 주행거리, 운행조건, 레일의 곡선구간 등이 상이하여 차륜의 마모정도가 각각 다르기 때문이다. 즉, 차륜의 수명은 마모형태는 물론이고 차륜의 삭정패턴에 의해서도 좌우되기 때문에 차륜의 정확한 수명주기 예측에 어려움이 많다. 따라서 차륜의 재고수준을 잘못 예측 하였을 때 다음연도에 사용하여야 할 차륜이 품절될 가능성이 항상 존재하므로 물품수급담당자는 보유량을 보다 많이 유지하려고 노력한다. 이에 따른 과다재고 보유 시 재고비용이 증가하는 요인이 되고, 이와 반대로 재고부족 시 전동차 유지보수 및 운용일정에 차질이 발생하는 등 차륜관리에 어려움이 많다. 따라서 본 논문은 도시철도차량 유지보수 정보화시스템(RIMS : Rolling-Stock Information Maintenance System)을 통하여 실시간으로 수집되는 차륜측정데이터와 차륜삭정 및 차륜교환 데이터를 분석하여 차륜의 안전한 관리와 경제적인 관리방안을 도출함으로서 차륜의 합리적인 수명주기에 따른 수요예측이 정확한 차륜관리시스템이 될 수 있도록 프로그램의 보완 및 개발에 대하여 연구하고자 한다.

* 전 서 탁: 정회원, 서울메트로, 지축차량사업소 기술관리
E-mail : skysub17@naver.com
** 이 도 선: 정회원, 서울메트로, 감사실
*** 김 동 민: 정회원 , 서울메트로, 철도사업단 경전철부
**** 박 수 중 : 정회원, 서울메트로, 철도사업단 경전철부
***** 김 남 우: 비회원 , 서울메트로, 지축차량사업소 기술관리

2. RIMS현황

RIMS(Rolling-Stock Information Maintenance System)는 도시철도차량 유지보수 정보화시스템 지칭이며 전동차 유지보수와 관련된 신뢰성 있는 데이터베이스에 근거하여 전동차 고장원인 분석 등 이력관리를 통한 전동차 예방정비체계를 구축을 목적으로 한국철도기술연구원과 서울메트로의 협력을 통해 2005년 12월 개발완료 이후 2006년부터 15개 차종의 각종 데이터를 구축하여 2006년 11월부터 기지별로 차례로 오픈하여 2007.9월 전체 5개 차량기지에서 전동차 유지보수업무에 사용 중에 있다.

RIMS는 유지보수작업, 자재, 공통, 기술자료, 전문가시스템 등으로 구성되어 있으며 유지보수작업계획에서 결과등록까지 체계적인 업무 수행이 가능하고 작업시 필요한 자재, 고장이력, 도면, 정비매뉴얼 등 다양한 정보를 제공함으로서 보다 효율적인 유지보수 업무가 가능하게 되었다.

그동안 서울메트로는 전동차 차종별·편성별 주행거리, 운행조건, 궤도의 곡선구간 등이 상이하여 차륜의 마모정도가 다르며, 또한 차륜의 수명은 차륜의 마모형태는 물론이고 차륜의 삭정패턴에 의해서도 영향을 받기 때문에 정확한 차륜교환 예측이 곤란하였다. 특히, 차륜의 유지보수계획은 담당자의 경험에 바탕한 수작업으로 유지보수계획이 수립됨으로서 신뢰성 및 정확성이 없어 빈번한 계획의 수정으로 공정준수에 어려움이 많았다.

따라서 수작업에 의존하던 유지보수 계획을 RIMS의 데이터를 활용하여 프로그램에 의한 유지보수 계획을 수립함으로서 신뢰성 높은 유지보수 시스템이 될 수 있은 기반이 마련됨에 따라 서울메트로 3.4호선을 대상으로 차륜교환실적 및 삭정기록 데이터를 분석하여 RIMS에 적용하고 실시간으로 입력되는 차륜데이터로부터 각종 데이터를 분석하여 신뢰성이 높고 수요예측이 가능한 차륜관리시스템이 될 수 있도록 프로그램의 보완 및 개발에 대하여 지속적으로 연구 노력하고자 한다.

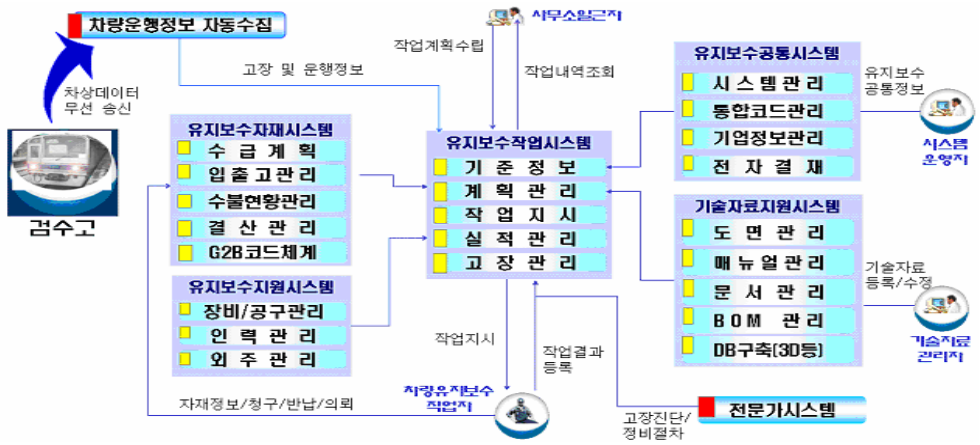


그림 1. RIMS 시스템 구성도

3. RIMS 데이터 분석

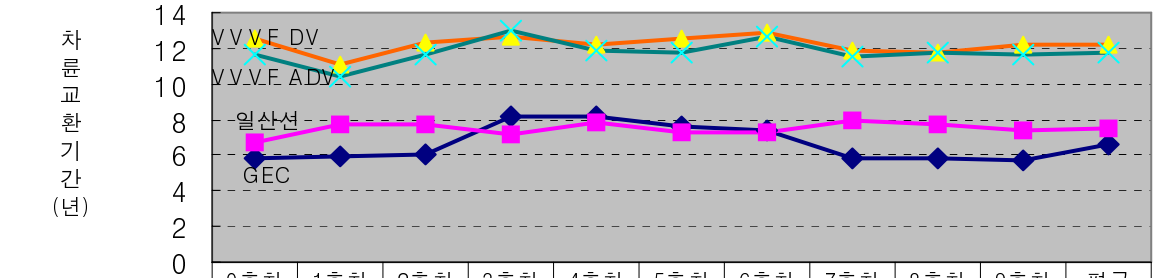
차륜교환데이터 분석은 서울메트로 3,4호선을 운행하고 있는 GEC 48편성, VVVF DV·ADV 47편성, 일산선16 편성을 대상으로 산출하였으며, 표1은 1990년 이후 10량으로 도입되어 운행되는 차종별 대표적 편성을 나타내고 있다. 3호선는 GEC와 일산선전동차가 수서↔대화 54.4km를 3분~6.5분 간격으로 1일 424회 운행하고 있으면 평일기준14.233km주행하고 있다. 승차인원은 년간 256,173천명으로 하루평균 702천명이 이용하고 노선으로 차륜사용기간은 GEC 7.2년 일산선 7.4년 사용되었으며 평균주행거리 72만km~78만km 운행한 것으로 나타나고 있다. 4호선 DV차량은 당고개↔남태령간 31.5km를 운행하고 ADV차량은 당고개↔오이도간 71.5km를 2.5~5.5분 간격으로 1일 506회 14.732.8km 주행하고 있다. 승차인원은 년간 298,621천명으로 하루평균 818천명이 이용하고 있는

노선으로 영업개시이후 평균12.1년 만에 차륜이 교환되었으며 평균주행거리는 DV차량 113만km, ADV차량은163만km 운행한 것으로 나타나고 있다. 4호선 운행차량은 3호선에 비해 운행거리, 승차인원에 따른 윤중이 증가함에도 차륜의 수명주기는 4년 정도 더 사용하는 것으로 나타나고 있다.

표 1. 서울메트로 3·4호선 차륜교환현황

호선	영업구간	차종	편성	운행개시일	차륜사용기간	차륜교환일	평균주행거리(km)	차호									
								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3호선	수서↔대화	GEC	347	'90-08-19	7.2년	'97-04-24	620,317.9		6.4				6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
						'00-01-04	907,454.1	9.1	2.7	9.1	9.1	9.1					
						'04-07-08	725,681.7						7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
						'06-09-08	656,430.1	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7					
						평균	727,471.0	7.9	4.7	7.9	7.9	7.9	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
		일산선	371	'96-01-30	7.4년	'03-01-06	813,296.8	6.9					6.9	6.9	6.9		
						'04-07-16	970,490.8		8.5	8.5	8.5	8.5				8.5	8.5
						'07-03-22	570,219.5	4.2					4.2	4.2			
						평균	784,669.0	5.6	8.5	8.5	8.5	8.5	5.6	5.6	6.9	8.5	8.5
4호선	당고개↔사당	VVVF DV	401	'94-02-19	12.1년	'05-11-18	1,039,304.4	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8		11.8	11.8	
						'07-10-22	1,231.699.9							13.7			13.7
						평균	1,135,502.2	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	13.7	11.8	11.8	13.7
	당고개↔오이도	VVVF ADV	451	'93-09-23	12.1년	'03-03-26	1,356,627.7	9.5	9.5								
						'05-06-22	1,643,235.8			11.8		11.8			11.8	11.8	
						'07-07-05	1,920,091,2				13.8		13.8	13.8			13.8
						평균	1,639,984.9	9.5	9.5	11.8	13.8	11.8	13.8	13.8	11.8	11.8	13.8

차륜의 수명은 주행거리 보다는 운행조건 이나 주행곡선 비율에 따라서 차륜교환주기가 영향을 받는 것으로 나타났으며, 표2에서와 같이 3호선의 경우 궤도연장 71.5km 중 곡선연장 32.8km로 절반을 차지하고 있고 곡선구간이 185개소, 분기기가 199개소에 달하고 있다. 따라서 곡선구간 통과시 대차에 윤축이 견고하게 고정되어 있기 때문에 윤축은 접선방향으로 완전한 직각을 이루지 못하고 횡압이 커지고 공격각을 가지게 됨으로 레일과 후렌지 접촉에 의한 수직마모가 증가함에 따라 삭정의 빈도가 증가되고 정기검사시 획일적인 삭정과 동일축, 동일대차, 동일유니트 규정준수에 의한 과도한 삭정 등으로 차륜의 수명이 단축되고 있는 실정이다.



	0호차	1호차	2호차	3호차	4호차	5호차	6호차	7호차	8호차	9호차	평균
GEC	5.8	5.9	6.0	8.2	8.2	7.6	7.4	5.8	5.8	5.7	6.6년
일산선	6.7	7.7	7.7	7.2	7.8	7.3	7.3	8.0	7.7	7.4	7.5년
VVVF DV	12.5	11.1	12.3	12.7	12.2	12.6	12.9	11.9	11.8	12.2	12.2년
VVVF ADV	11.7	10.4	11.6	13.0	11.9	11.8	12.7	11.5	11.8	11.6	11.8년

그림 2. 서울메트로 3,4호선 차륜교환기간 그래프

표 2. 서울메트로 궤도현황

종 별		단위	계	1호선	2호선			3호선	4호선
					순환선	성수지선	신정지선		
궤도연장	본 선	km	277	18.6	97.9	13.3	11.3	71.5	64.4
	측 선		118.5	1.3	3.9	24.1	24	42.8	22.4
장대레일 연장km		km	262.4	17.6	96.2	11.4	7.7	67.8	61.7
분기기		틀	494	22	46	94	86	147	99
최소곡선반경(R)m		m		136	200	150	246	199	180
		위치		시청~종각	서초~방배 홍대~신촌	신설동(2)~ 신답	양천구청 ~ 신정네거리	안국 ~ 종로3가	당고개 ~ 상계
곡 선 연 장		km	120.3	9.5	39.2	4.9	5.1	32.8	28.8
		개소	653	64	206	30	23	185	145
도유기	편마모 예방	대	100	2	25	8	7	23	35
	소음수직 마모예방	대	17	2	6	1	-	4	4

차륜삭정데이타는 '05년~08년 6월 까지 RIMS에 축척된 3,4호선 운행차량을 대상으로 데이터를 분석하였다. 차륜의 삭정은 후렌지마모, 찰상, 직경편차, 박리, 그루빙 현상에 의한 삭정은 32.4%를 차지하고, 대부분 수직마모에 의한 차륜삭정 68.6%로 차지하고 있는 실정이며 특히, 3호선에서 많이 발생한 것으로 나타났다. 이러한 현상은 레일의 곡선구간이 많은 노선에서 수직마모가 더 많이 발생함을 알 수 있고, 또한 차륜의 수명과 직결되는 차륜삭정 횟수의 증가원인이 됨을 알 수 있다.

표 3. 서울메트로 3·4호선 차륜이상마모별 차종별 현황

구분	계	후렌지마모	직경차	찰상	박리	구루빙
VVVF ADV	436	133	182	56	40	25
VVVF DV	1,261	576	276	206	83	120
일산선	868	820	16	32	-	-
GEC	3,083	2,345	250	311	142	35
계	5,648	3,874(68.6%)	724(12.8%)	605(10.7%)	265(4.7%)	180(3.2%)

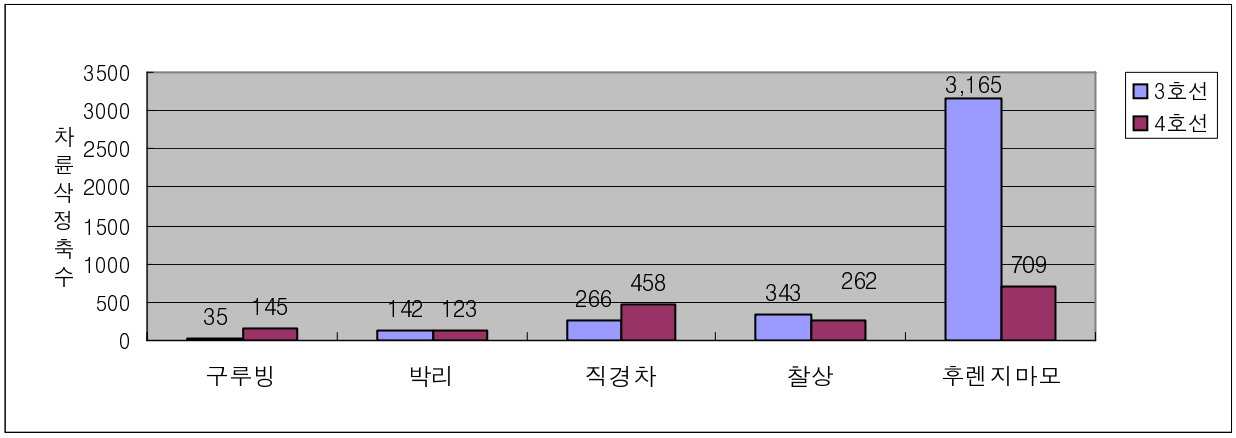


그림 4. 3·4호선별 차륜이상마모현황

4. 경제적인 차륜관리 방안

도시철도의 노선은 도심의 주요도로를 따라 지하에 건설됨에 따라 곡선구간과 분기점이 많이 존재하는 레일 위를 운행하는 도시철도차량은 차륜의 수직마모와 차륜답면 손상이 필연적으로 발생할 수 밖에 없다. 따라서 차륜의 수명을 연장하기 위해서는 차륜답면의 형상관리 체계화가 필요하다. 또한 차륜관리에 필요한 각종 데이터가 일정 기간이 지난 후 주기적인 폐기로 인하여 도시철도 차량의 안전과 관련된 중요한 데이터들이 손실되고 있으므로 차륜관리에 필요한 모든 데이터를 정보화하여 도시철도 유지보수에 활용함으로서 도시철도 운행안전성을 확보해야 한다. 즉, RIMS 시스템에 축적된 신뢰성 기반의 차륜측정기록과 차륜교환기록 및 차륜삭정 데이터를 분석하여 효율적인 차륜관리 및 차륜수명 연장을 위한 경제적인 차륜관리 및 삭정 방안을 도출하여 유지보수비용 절감을 모색하여야 한다.

표 4. 서울메트로 3·4호선 평균 삭정횟수 현황

구분	편성	축수(총)	년간 평균 삭정횟수	2005년	2006년	2007년	2008년6월 (미적용)
3호선	64편성*40축	2,560	1,242.6 (48.5%)	1,101 (43.0%)	2,031 (79.3%)	596 (23.2%)	223 (8.7%)
4호선	47편성*40축	1,880	497.6 (26.4%)	514 (27.3%축)	603 (32.0%)	376 (20.0%)	204 (10.8%)

신품 차륜의 직경은 864mm 이고, 차륜삭정한도 780mm 이므로 차륜직경의 가용도는 84mm로 운영할 수 있으나 중수선 검사를 주기적으로 반복 시행하면서 차륜의 원형 및 답면 재생을 위하여 획일적인 전량삭정과 경수선시 차륜 이상마모에 따른 동일 축, 동일 대차, 동일 유니트 삭정 등 과도한 삭정으로 차륜수명을 단축하는 낭비요인이 되고 있다. RIMS데이터 분석결과 차륜교환시 까지 3호선 77.39mm, 4호선 73mm을 삭정하여 차륜 가용도의 92%, 86%를 삭정으로 소모시킴을 알 수 있다.
따라서 차륜의 수명은 삭정의 횟수와 삭정깊이(두께)에 큰 영향을 받게 되므로 차륜관리의 정보화를 통하여 차륜의 마모패턴, 마모추이, 삭정패턴 등의 데이터 관리가 지속적으로 이루어져 가장 경제적이면서도 안전운행을 도모할 수 있는 차륜삭정기법 등 차륜관리 방안을 도출한 이후 종합적인 규정검토가 이루어져야 한다.

표 5. 서울메트로 3·4호선 차륜삭정시 직경감소량

구분	차륜교환기간 (평균)	중수선			경수선			차륜직경 삭정량(mm)
		1축 당 삭정횟수	평균 삭정량(mm)	계	1축 당 삭정횟수	평균 삭정량(mm)	계	
3호선	7년	3.5	9.01	31.53	3.39	13.53	45.86	77.40
4호선	12년	6.0	6.40	38.40	3.16	10.95	34.60	73.00

경제적인 차륜관리방안으로는 차륜의 삭정방법의 개선이 필요하며, 중수선시 획일적인 전량삭정 지양과 동일축, 동일대차, 동일유니트의 삭정규정을 완화해야하면 차륜후렌지두께를 1mm보상하는데는 차륜직경을 4~5mm정도 삭정됨으로 차륜후렌지두께 23mm을 30mm이상으로 보상할 경우에는 차륜직경을 28~35mm 삭정으로 소모해야한다 따라서 후렌지 보상을 1mm만 낮추어도 3호선 8.9%, 4호선 12.55%이상 직경이 감소되는 것을 막을 수 있고 차륜수명을 평균 10.7% 연장시키는 효과와 년간 차륜구매예산이 2,585백만원 절감할 것으로 기대된다.

표 6. 후렌지30mm 이하보상시 직경삭정 경감효과

구분	차륜교환기간 (평균)	차륜직경 삭정량(mm)	후렌지30mm 이하 보상시 직경 삭정 경감효과		
			후렌지 1mm 경감	후렌지 2mm 경감	후렌지 3mm 경감
3호선	7년	77.40	70.51(8.9%)	63.62(17.80%)	56.14(26.70%)
4호선	12년	73.00	63.84(12.55%)	73.00(25.10%)	45.55(37.64%)

표 7. 경제적 삭정에 의한 년간 예산절감효과 기대치

구분	서울메트로 '07년도 차륜구매예산	평균10.7% 경감시 (1.06년 수명증가)	평균21.45% 경감시 (2.12년 수명증가)	평균32.17% 경감시 (3.19년 수명증가)
예산절감효과	2,585백만원	2,740백만원	5,480백만원	8,246백만원

5. 차륜교환예측

차륜유지보수계획은 차륜측정 기록표를 제공받아 정비계획 담당자가 수작업을 통하여 차륜교환 대상편성 및 물량을 산출함으로서 신뢰성 및 정확성이 떨어지고 있으며, 전동차 차종별·편성별 주행거리, 운행조건, 곡선구간 등이 상이하여 차륜의 마모정도가 각각 달라진다. 또한 차륜의 수명은 차륜의 마모형태는 물론이고 차륜의 삭정패턴에 의해서도 좌우되기 때문에 차륜의 정확한 수명주기 예측이 곤란한 부분이 많다. 따라서 RIMS에서는 전동차의 검수주기 및 주행실적을 기준으로 차륜의 마모상태 및 삭정기록을 종합 분석하여 데이터를 제공하고 있다. RIMS시스템의 차륜관리프로그램은 차륜의 상태를 주기적으로 측정한 데이터를 기초정보로 하여 차륜의 차량호수 및 위수별 월평균마모량을 산출한다. 또한 차륜답면의 이상발생(찰상, 박리) 후렌지마모(수직마모)발생 시 승차감을 향상시키기 위해 차륜삭정을 시행한 정보를 제공받아 후렌지 1mm보상당 직경삭정량을 산출하여 차륜관리프로그램의 기초정보로 제공된다. 이러한 모든 정보를 바탕으로 차륜의 후렌지 두께가 780mm, 후렌지 두께 23mm 이하 도달시점을 예측 관리함으로서 차륜의 수명주기 및 수요예측을 하게 되며, 향후 수년이 지난 후에 차륜교환예측에 의한 성과가 나타날 것으로 기대된다.

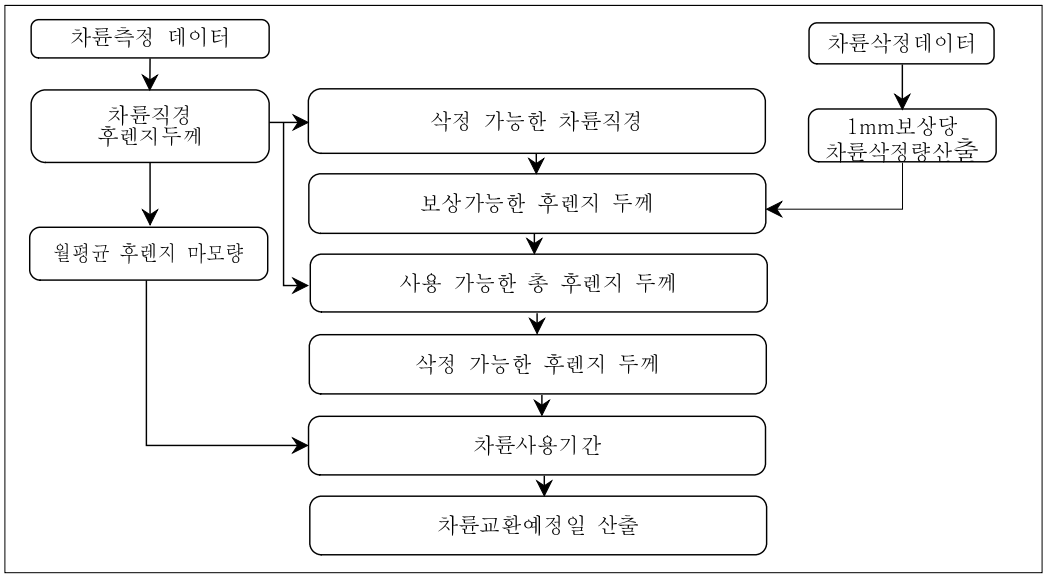


그림 5. RIMS 차륜교환예측 방법

그림 6. RIMS 차륜삭정 및 교환데이터

그림 7. RIMS 차륜교환검사 예측데이터

6. 맺음말

본 연구는 도시철도차량 유지보수 정보화시스템(RIMS: Rolling-Stock Information Maintenance System)의 차륜삭정 및 차륜교환 데이터를 활용하여 차륜관리체계를 분석하였으며 경제적 차륜관리를 위한 차륜삭정기법 개선방향 및 차륜관리규정 검토를 제시하였다. 신뢰성 있는 차륜관리와 수명주기 연장을 위해서는 차륜측정 기록 등에 있어서 자동측정 설비에 의한 차륜측정, 삭정기록, 차륜교환 데이터가 RIMS의 차륜관리시스템에 연동되는 차륜관리체계가 필요하며, RIMS데이터 분석을 통해 경제적이고 과학적인 차륜관리 방안이 도출되어야한다. 또한 도시철도의 효율성과 안정성 향상을 위하여 RIMS 시스템의 지속적인 관심과 시스템고도화를 위하여 예산의 지원이 필요하다. 더불어 국내 다른 유관기관과 정보교류를 통하여 도시철도유지보수 정보화시스템을 한 단계 발전시킬 수 있도록 다 함께 노력해야 할 것이다.

※ 참고자료

1. “차륜 낭비요인 개선을 위한 경제적 차륜관리방안 연구” 허현무, 권성태, 김형진, 윤춘한”
   저 한국철도학회논문집 , 656-662, 2003년 5월
2. “서울 메트로 2.3호선 루프선 사용 전후의 전동차 차륜교환분석” 김동민, 안종곤
   저 한국철도학회논문집 , 35-50 ,2007, 11월
3. “공공교통 전동차 안전운행을 위한 RIMS 프로젝트 적용 실증적 성공요인에 관한 연구” “손영진”
   저 한국철도학회:학술대회지 , 한국철도학회 06 춘계학술대회 논문집 , pp.999-1005 , 2006
4. “도시철도 유지보수체계 RIMS관련 전동차BOM 구축에 관한 연구” “박수중”
   저 한국철도학회:학술대회지 , 한국철도학회 06 추계학술대회 논문집 , pp.1247-1252 , 2006
5. “도시철도 유지보수체계 표준화 및 정보화에 대한 연구” “안태기, 신정렬, 박기준”
   저 한국철도학회논문집 , 1738-6225 , 제9권5호 , pp.539-543 , 2006
6. “도시철도차량 운영 및 발주관련프로그램의 RIMS 적용” 전서탁, 김현철, 이도선”
   저 한국철도학회논문집 , 1301-1307 ,2008, 6월
7. “도시철도차량 차륜마모 특성 및 유지보수기준에 관한 연구” 박수중, 지용현, 김은실
   저 한국철도학회논문집 , 806-812 ,2008, 6월