

고속철도차량 부품의 TBO 산정을 위한 분석 사례

High-speed Train(KTX) parts study case to compute TBO

윤차중* 조유희** 최덕호** 유양하*** 소진섭***
Yun, Cha-Jung Cho, You-Hee Choi, Deuck-Ho Ryu, Yang-Ha So, Jin-Sub

ABSTRACT

The high-speed train(KTX) was operated in domestic since 2004 and 4years have been passed since then. At the beginning most of the KTX component maintenance period was followed by the France SNCF. It was settled by the TBO(Time Between Overhauls). But the environment and operation condition are different form each other, so the TBO maintenance period can be different in some component. Therefore new TBO is necessary based on our own circumstances. This paper introduces failure analysis case on some components to set TBO in domestic. KTX-RCM(Reliability Centered Maintenance System), MICS(Maintenance Information Computer System) and KOVIS(KORAIL ERP System) Data was investigated.

1. 서 론

고속철도차량(KTX)가 2004년 4월부터 운용되어 벌써 4년이 지났다. 처음 KTX를 인수하여 운영 할 때는 프랑스 SNCF에서 활용하고 있는 각 부품의 TBO(Time Between Overhauls) 주기를 넘겨받아 운영기관에서 활용하였다. 그러나 프랑스의 운영환경과 국내 운영환경 차이로 인하여 그들이 제시한 TBO 주기를 그대로 적용하여 운용하기에는 곤란한 부분이 일부 도출되었다. 따라서 국내 운영환경에 적합한 새로운 TBO 산정이 필요하게 되었다. 본 논문은 고속철도차량(KTX) 부품 중에서 일부 품목에 대하여 TBO를 산정하기 위하여 코레일에서 운영하고 있는 KTX-RCM(Reliability Centered Maintenance)과 MICS(Maintenance Information Computer System), KOVIS(KORAIL ERP System 명칭)의 유지보수 통계자료를 기초로하여 TBO를 산정하기 위한 고장 분석 방법을 정립하고자 하였다. 향후 KTX 주요부품의 TBO를 산정하고 이를 KTX 유지보수를 위한 예비품의 적정 보유량과 구입시기 등에 활용될 수 있도록 제시하고자 하였다.

2. 본 문

2.1 자료 분석

가. KTX-RCM 자료분석

KTX-RCM 자료는 해당 보수품 교체시 정확한 이력을 알 수 없는 경우(편성별 정보만 알 수 있는

* 책임저자 : 비회원, KORAIL 연구원, 기술연구팀, 차장
E-mail : korea@korail.com
TEL : (042)609-4821 FAX : (042)609-3720
** 비회원, (주)한국신뢰성기술서비스, 공학박사
** 정회원, (사)한국고속차량엔지니어링 기술연구소, 소장
*** 정회원, KORAIL 연구원, 기술연구팀

자료)로 각 고장은 첫 번째 발생한 것으로 분류하였으며 신뢰성 분석을 위해 자료를 먼저 편성번호를 기준으로 정렬한 다음 그림 1과 같이 “고장여부”, “개수”, “ID”열을 추가하였다. 여기서 “고장여부”열에는 고장의 경우 ‘f’, 관측중단의 경우 ‘s’로 표기하고, “개수”열에는 고장 및 관측 중단된 개수를 입력하며, “ID”열에는 편성에 대한 정보를 입력하였다. 이와 같은 방법으로 CMB 접촉기에 대하여 정리해보면, 다음과 같다. 해당 보수품의 편성별 고장발생수가 편성별 부착수보다 적은 경우 CMB 접촉기의 경우 편성당 36개가 부착되어 46편성에 총 1,656개가 부착되는 보수품으로 편성당 고장 발생수가 36개보다 적게 발생하고 있는 경우는 편성별 총 주행거리를 이용하여 고장시 보수품 교체이후 현재까지 운행한 거리와 처음 부착이후 고장 없이 현재까지 운행한 거리를 산출하였다.

고장발생일자	편성번호	주행거리	고장여부	개수	ID
2004-08-19	1C1001	191.215	f	1	1001
	1C1001	1,726,049	s	1	1001
2004-12-21	1C1001	302.271	f	1	1001
	1C1001	1,614,993	s	1	1001
2004-12-21	1C1001	302.271	f	1	1001
	1C1001	1,614,993	s	1	1001
2004-12-21	1C1001	302.271	f	1	1001
	1C1001	1,614,993	s	1	1001
2004-12-21	1C1001	302.271	f	1	1001
	1C1001	1,614,993	s	1	1001
2004-12-31	1C1001	312.164	f	1	1001
	1C1001	1,605,100	s	1	1001
2005-07-15	1C1001	507.638	f	1	1001
	1C1001	1,409,626	s	1	1001
2005-07-15	1C1001	507.638	f	1	1001
	1C1001	1,409,626	s	1	1001
2005-08-06	1C1001	530.506	f	1	1001
	1C1001	1,386,758	s	1	1001
2008-07-11	1C1001	1,819,664	f	1	1001
	1C1001	97,600	s	1	1001
	1C1001	1,917,264	s	26	1001

1편성에 대한 고장이력자료

그림 1. KTX-RCM 자료 정리 예

나. MICS-KOVIS 자료분석

MICS 자료는 2004년 ~ 2007년 3월 까지의 자료와 KOVIS 자료는 2007년 4월 ~ 2008년 8월까지의 자료를 연계한 내용으로 차량번호와 위수에 대한 정보가 있어 고장이력추적이 가능하다. 신뢰성 분석을 위해 먼저 차량번호, 위수, 철거일을 기준으로 정렬하고 KTX-RCM 자료와 동일하게 “고장여부”, “개수”, “ID”열을 생성한 후 편성별 총 주행거리를 이용하여 고장시 순 주행거리 및 현재까지 고장 없이 가동 중인 부품의 주행거리를 산출하여 그림 3과 같이 정리하였다.

부착일자	철거일자	차량번호	차량대차위수	주행거리	고장여부	개수	ID
	20060110	100101	03L	681,462	f	1	1001
				1,235,802	s	1	1001
	20050530	100118	21L	472,558	f	1	1001
				1,444,706	s	1	1001
		1001		1,917,264	s	2	1001
	20070914	100201	03L	1,425,635	f	1	1002
				403,351	s	1	1002
	20070914	100201	03R	1,425,635	f	1	1002
				403,351	s	1	1002

그림 2. MICS-KOVIS 자료정리 예

위와 같은 방법으로 동력객차대차 커넥팅로드에 대하여 정리한 내용을 살펴보면 다음과 같다. 동력객차대차 커넥팅로드는 편성당 4개로 총 184개가 부착되어있으며 B03, B21 위수에 취부되어있다. MICS-KOVIS 자료를 고장 및 교체이후 주행한 순 주행거리로 산출하고, 현재까지 주행중인 부품수를 산출하였다.

부착연식	연기번호	차종번호	차종내차위수	주행거리	고장여부	개수	ID
1편성에 대한 고장미력 및 총주행거리	20060110	100101	3	681,462	f	1	1001
				1,235,002	s	1	1001
	20050530	100118	21	472,558	f	1	1001
				1,444,706	s	1	1001
		1001		1,917,264	s	2	1001
2편성에 대한 고장미력 및 총주행거리	20070914	100201	03L	1,425,635	f	1	1002
				403,351	s	1	1002
	20070914	100201	03R	1,425,635	f	1	1002
				403,351	s	1	1002
	20071031	100218	21L	1,478,458	f	1	1002
				350,528	s	1	1002
	20071031	100218	21R	1,478,458	f	1	1002
				350,528	s	1	1002
		1002		1,828,986	s	1	1002
3편성에 대한 고장미력 및 총주행거리	20061221	100318	21	1,118,396	f	1	1003
				834,214	s	1	1003
			1003		1,952,610	s	3
4편성에 대한 고장미력 및 총주행거리	20051105	100401	3	634,378	f	1	1004
				1,326,579	s	1	1004
	20071017	100418	21R	1,498,176	f	1	1004
				462,781	s	1	1004
		1004		1,960,957	s	2	1004

1편성에 부착된 4개 부품 중 2개의 부품 고장
 1편성에서 부품의 고장으로 교환한 이후
 현재까지 가동중인 부품
 1편성에 부착된 4개 부품 중 처음 부착일부터
 현재까지 가동중인 부품

2편성의 경우 처음에 부착된 4개의 부품이
 한 번씩 고장난 후 현재까지 교체되어 운행되고
 있는 상태임

분석시 제외(처음 부착하여 현재까지 가동중인
 부품이 없으므로)

그림 3. MICS-KOVIS의 동력객차대차 커넥팅로드 자료정리 예

2.2 고장유형분석

가. CMB 접촉기

KTX-RCM 시스템의 자료에 기초하면 CMB 접촉기는 No operation 24.5%, 코일 저항 23%, 스프링 고장 11.3%, Out of order 7.3%로 인한 고장이 대체로 발생하고 있는 것으로 분석되었다.

고장유형	개수	비율
No operation	67	24.5%
Out of coil resistance tolerance	63	23.0%
Spring failure	31	11.3%
Out of order	20	7.3%
Contacteur defect	19	6.9%
Arcing	17	6.2%
Contact point defect	12	4.4%
Coil failure	9	3.3%
Improper operation	9	3.3%
Auxiliary contact point defect	6	2.2%
Sticking	5	1.8%
Cylinder failure	4	1.5%
Recovery failure	3	1.1%
The others (Bolt broken, loose, Crack, Broken, Overstress)	9	3.3%
합계	274	100.0%

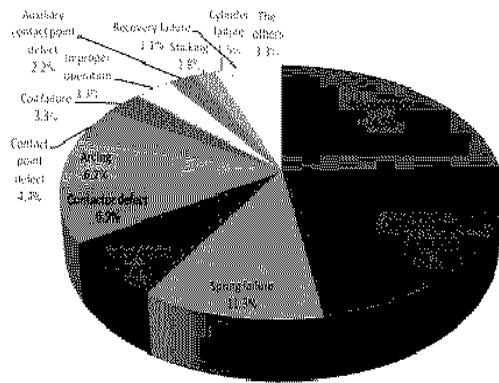


그림 4. KTX-RCM 자료의 CMB 접촉기 고장분석

나. 압력스위치의 고장유형

압력스위치는 고장이 잘 발생하지 않고 있으며 No operation 61.1% 외에 점점 고장이 발생하고 있는 것으로 분석되었다.

고장형태	개수	비율
No operation	11	61.1%
Contact point failure	4	22.2%
Improper Pressure	2	11.1%
Out of order	1	5.6%
합계	18	100%

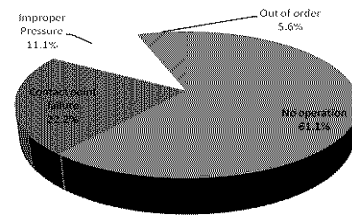


그림 5. KTX-RCM 자료의 압력스위치 고장분석

다. 단식제동표시기의 고장유형

단식제동표시기는 No operation 26.5%, Out of order 17.5%, Improper operation 12.8%, defective 10.9%, 핀 고장 10.9%, 점점 결함 8.1%로 인한 고장이 발생하고 있는 것으로 분석되었다

이는 해당 보수품의 편성별 고장발생수가 편성별 부착수보다 많고 전체 고장발생수가 총수량보다 적은 경우에는 편성당 6개가 부착되어 고속차량에 총 276개가 부착되는 단식제동표시기의 편성당 고장발생수가 6개보다 많이 발생하고 있는 경우는 총 고장발생수 205건(<276)을 기준으로 현재까지 운행한 평균주행거리 2,004,987km를 기준으로 고장시 보수품 교체이후 운행한 거리 산출하고 총 수량에서 전체 고장발생수를 뺀 보수품수는 처음 부착이후 고장없이 현재까지 운행되고 있는 보수품이라고 분류하여 그림 6과 같이 정리하였다.

고장유형	개수	비율
No operation	56	26.5%
Out of order	37	17.5%
Improper operation	27	12.8%
Brake indicator defect	23	10.9%
Pin failure(Bent/Broken)	23	10.9%
Contact point defect	17	8.1%
Broken	8	3.8%
Release failure	5	2.4%
Signal failure	4	1.9%
Leakage	3	1.4%
Loose	3	1.4%
The others (Sticking, Contamination, Moisture)	5	2.4%
합계	211	100.0%

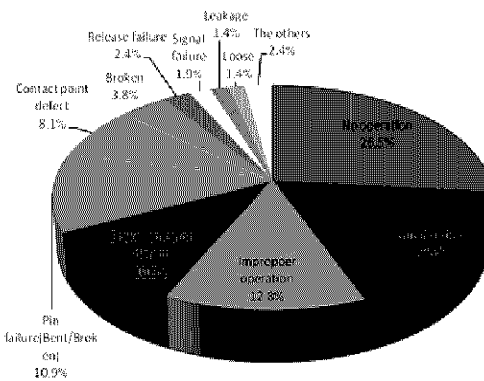


그림 6. KTX-RCM 자료의 단식제동표시기 고장분석

2.3 분석결과

위 2.1항과 같이 정리한 자료를 토대로 적합분포를 선정하고 검정 및 확률지 도시를 통해 적합도를 검정한 후 모수 추정 및 고장률 형태를 파악하여 TBO 산정이 가능한 보수품을 분류하였으며, 기초분석은 CMB접촉기, 압력스위치, 단식제동표시기에 대하여 KTX-RCM자료와 MICS와 KOVIS자료를 조합하여 분석하였다.

가. CMB접촉기

2.1 가. 항과 같이 해당 보수품의 고장이력자료를 기초로 적합한 분포를 조사한 결과 그림2와 같이 G-Gamma 분포, Lognormal 분포, 3모수 Weibull 분포 순으로 나타났으며, 일반적으로 수명분포에 적용되고 있는 대수정규분포를 선정하였고 그림3과 같이 대수정규분포가 적합한 것으로 판단되어졌다. 그림 7은 CMB 접촉기 부품 자료에 대한 적합분포 이고, 그림 8은 적합도 결과이다.

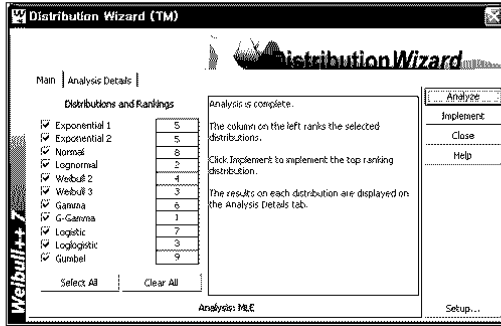


그림 7. 적합분포 결과

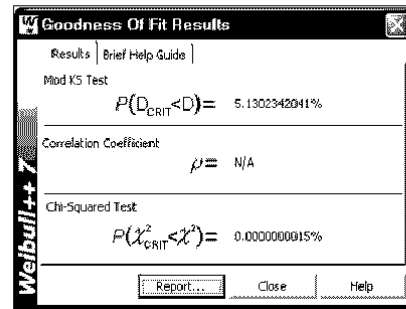


그림 8. 적합도 검정결과

또한, 대수정규분포 확률지에 도시한 결과는 그림 9와 같고 고장률은 그림 10의 결과에서 알 수 있듯이 증가하다가 감소하는 경향을 보이고 있으며 대수정규분포의 모수인 평균(μ)은 16.8852, 표준편차(σ)는 2.2699로 추정된다.

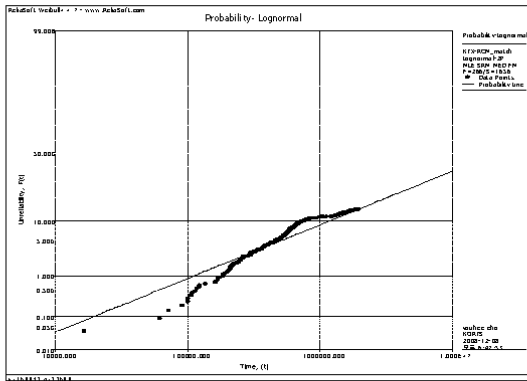


그림 9. 확률지 도시 결과

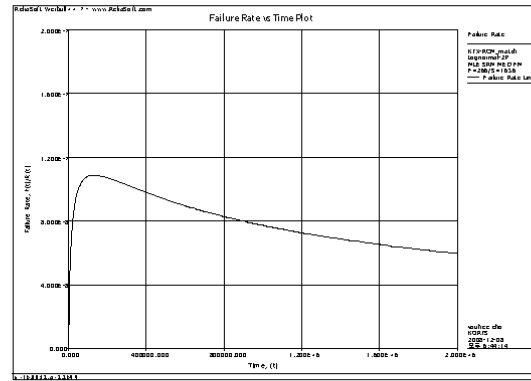


그림 10. 고장률 형태

대수정규분포 외에 2가지 고장형태가 혼합되어 있는 경우를 고려하여 Mixed-Weibull 분포에도 적용해 본 결과 적합도 검정결과와 그림 11과 같이 확률지 도시 결과 적합한 것으로 나타났으며 모수 추정결과 첫 번째 그룹의 척도모수 1(η_1)은 5.4823×10^5 이고 형상모수 1(β_1)은 2.6160으로 고장률이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 두 번째 그룹의 척도모수 2(η_2)는 2.2669×10^7 이고 형상모수 2(β_2)는 1.1358로 이 단계에서는 고장률이 일정해지는 경향을 보이고 있다.

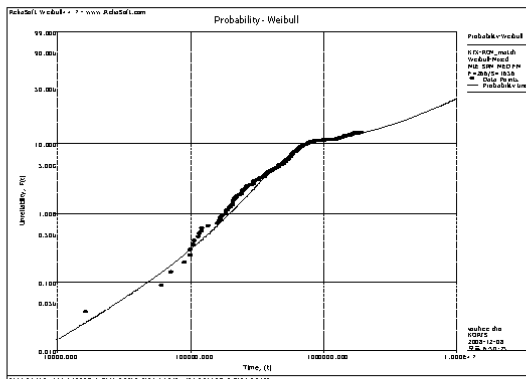


그림 11. 확률지 도시 결과

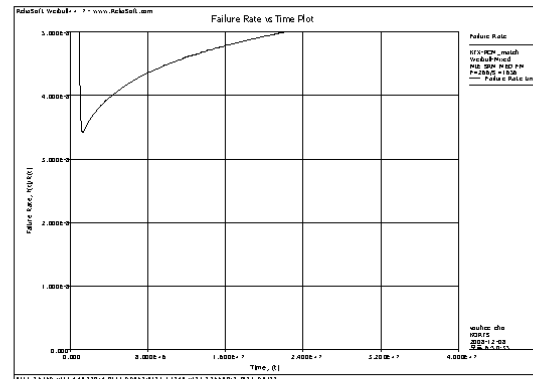
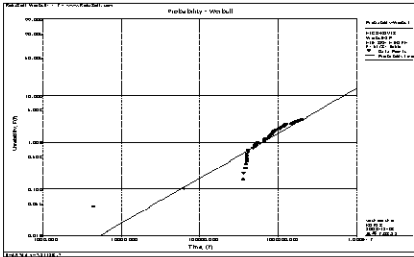
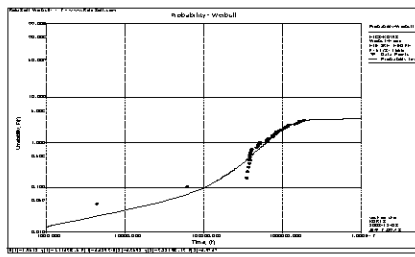
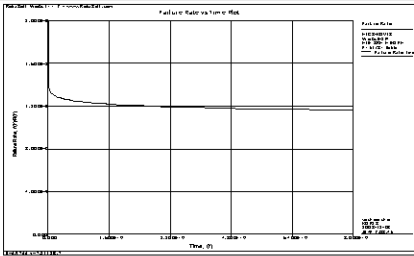
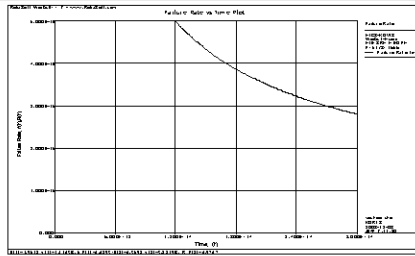


그림 12. 고장률 형태

2.1 나. 항과 같이 MICS-KOVIS 자료 분석하여보면 MICS-KOVIS 자료의 경우 분포적합 결과를 기초로 2모수 Weibull 분포와 Mixed Weibull 분포(2가지 고장형태 고려)에 적합하였고 분석결과를 정리한 것이 표 1.과 같으며 두 분포의 경우 고장률은 감소하는 경향을 보이고 있다.

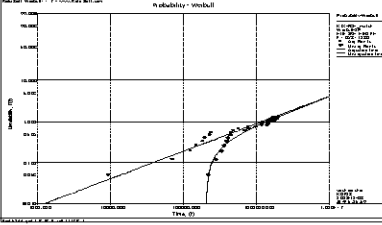
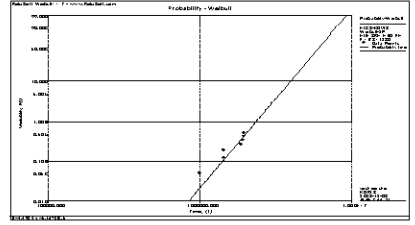
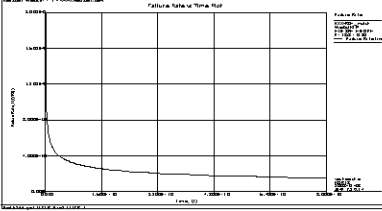
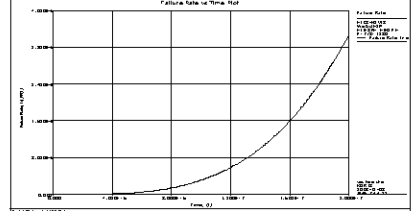
표 1. CMB 접촉기의 MICS-KOVIS 자료 분석결과

구분	2모수 Weibull	Mixed Weibull(2 subgroup)
모수 추정	척도모수(η) = 7.2552×10^7 형상모수(β) = 0.9700	척도모수 1(η_1) = 1.1103×10^6 형상모수 1(β_1) = 1.9652 척도모수 2(η_2) = 3.2259×10^{13} 형상모수 2(β_2) = 0.3692
확률지 도시		
고장률 형태		

나. 압력스위치

표 2.는 CMB 접촉기의 분석방법과 동일하게 압력스위치에 적용하여 KTX-RCM 자료, MICS-KOVIS 자료형태에 따른 분석결과를 각각 정리한 것이다.

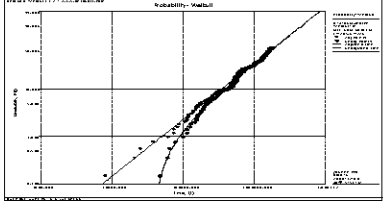
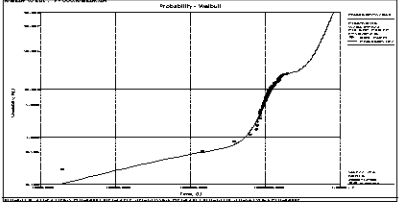
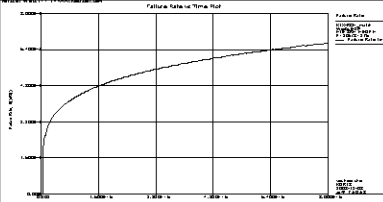
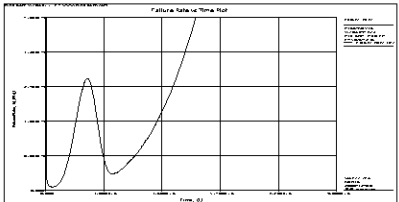
표 2 압력스위치의 자료분석 결과

구분	KTX-RCM 자료(1)	MICS-KOVIS 자료
적합 분포	3모수 Weibull	2모수 Weibull
모수 추정	척도모수(η) = 1.1181×10^9 형상모수(β) = 0.6744 위치모수(γ) = 2.1118×10^5	척도모수(η) = 6.5078×10^6 형상모수(β) = 4.4924
확률지 도시		
고장률 형태		

다. 단식제동표시기동력대차용

표 3은 CMB 접촉기의 분석방법과 동일하게 단식제동표시기에 적용하여 KTX-RCM자료, MICS-KOVIS 자료형태에 따른 분석결과를 정리한 것이다.

표 3 단식제동표시기동력대차용 자료분석 결과

구분	KTX-RCM 자료(1)	MICS-KOVIS 자료
적합분포	3모수 Weibull	Mixed Weibull(2 subgroup)
모수추정	척도모수(η) = 2.3264×10^6 형상모수(β) = 1.2065 위치모수(γ) = 3.8938×10^4	$\eta_1 = 2.1342 \times 10^5$, $\beta_1 = 0.4348$ $\eta_2 = 1.3455 \times 10^6$, $\beta_2 = 4.3242$ $\eta_3 = 5.6359 \times 10^6$, $\beta_3 = 4.1140$
확률지 도시		
고장률 형태		

3. 결 론

본 논문은 KTX 부품에 대하여 TBO를 산정하기 위하여 코레일에서 운영하고 있는 전산관리시스템인 KTX-RCM, MICS, KOVIS의 유지보수시 관리되어진 Data를 기초로하여 정리하고 분석하였다. 그 결과, KTX 3개 부품에 대하여 TBO 산정 가능 또는 불가능 품목으로 표 4와 같이 분류할 수 있었다.

보수품	KTX-RCM 자료		MICS-KOVIS	
	적합분포	고장률형태	적합분포	고장률형태
CMB 접촉기	Lognormal	증가하다가 감소하는 형태	2-Weibull	감소하는 형태
	Mixed Weibull	증가하다가 일정해지는 형태	Mixed Weibull	증가하다가 감소하는 형태
	TBO 설정 불가능 품목		TBO 설정 불가능 품목	
압력 스위치	3-Weibull	감소하는 형태	2-Weibull	증가하는 형태
	TBO 설정 불가능 품목		TBO 설정 가능 품목	
단식제동 표시기	3-Weibull	증가하는 형태	Mixed Weibull	감소하다가 증가하는 형태
	TBO 설정 가능 품목		TBO 설정 가능 품목	

표 4. TBO 산정가능 및 불가능 보수품 분류

이와 같이 기초분석결과를 토대로 해당 보수품의 고장률이 증가하는 형태일 경우는 TBO 산정가능 품목으로 분류하고, 고장률이 감소 또는 일정할 경우는 TBO 산정이 불가능한 품목으로 분류하였다. 향

후 TBO 산정이 가능한 품목에 대해서는 비용을 고려한 수명교체 정책을 적용할 수 있도록 하기 위하여 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단되어진다.

후 기

본 논문은 한국철도공사에서 발주하고 (사)한국철도차량엔지니어링, (주)한국신뢰성기술서비스, 한양대학교 산학협력단에서 공동 연구 수행한 “고속차량(KTX) 주요부품 잠재수명 및 TBO 산정용역 1차년도 성과 보고서” 내용 중 일부임을 밝힙니다.

참고문헌

1. (사)한국철도차량엔지니어링, 한국신뢰성기술서비스(주), 한양대학교 산학협력단, “고속차량(KTX) 주요부품 잠재수명 및 TBO 산정용역 1차년도 성과 보고서”, 한국철도공사. 2008.12
2. 정인수의 2명, 2008, “철도차량의 구매 요구사항에 포함되는 RAMS 특성값에 관한 연구”, 철도학회논문집 11권 4호 pp 371-377
3. 이희성의 2명, 2008, “불완전 유지보수 모형을 통한 전동차 도어장치 예방 유지보수 주기 산정에 관한 연구”, 한국철도학회 2008년 춘계학술대회논문집 pp.727-735
4. 김종운외 3명, 2008, “철도시스템의 RAMS 중심의 유지보수 정책 결정을 위한 개념적 절차”, 철도학회논문집 제 11권 pp. 19-25
5. 이희성의 1명, 2008, “시뮬레이션을 통한 불완전 유지보수하에서의 유지보수 정책의 효율성 평가에 관한 사례연구” 한국철도학회 2008년 춘계학술대회논문집 pp. 1539-1544
6. 차재환외 2명, 2008, “안전한 고객수송서비스를 위한 KTX-II RAMS 적용기준” 한국철도학회 2008년 춘계학술대회논문집 pp. 1525-1538
7. 김종운외 3명, 2008, “철도차량의 주기적 교환품의 교환주기 결정에 관한 사례 연구” 한국철도학회 2008년 춘계학술대회논문집 pp. 707-717
8. 성산당, “실천 철도 RAMS”
9. 정예성의 1명, 2006, “동일본 철도의 사업다각화 사례연구”, 한국철도학회 2006년 춘계학술대회논문집 pp. 18-242.