

KTX 감속기 유지보수 정책에 대한 고찰

A study of maintenance measures of the KTX decelerator

정도원*
Jung, Do-Won

이영엽**
Lee, Young-Yeob

김은실***
Kim, Eun-Sil

ABSTRACT

KTX decelerator is a device to fulfil a role of transmission of turning force to reduction device of an axle by serrate device. Currently, KTX decelerator's TBO(Time Between Overhaul) has 3 years cycle. As for the dissembly maintenance of a device, its maintenance is conducted every 1.4M kms. In this study, since opening of KTX, we analyzed reliability, maintainability, availability of KTX decelerator by researching historical records of maintenance of the decelerator, and based on above data, investigated whether its TBO cycle and maintenance works properly or not. And we considered maintenance policies of KTX decelerator to improve efficiency in maintenance in the future.

1. 서론

KTX 감속기는 견인전동기에서 나오는 회전력을 치차장치를 통해서 차축의 감속장치로 전달하는 장치로써 전동기의 빠른 회전속도를 기어장치를 통해서 감속하여 전달한다. 감속기는 KTX 동력축당 1개씩 장착되어 있으며, KTX 1편성에는 총 12개의 감속기가 장착되어 있다. 이러한 KTX의 감속기는 견인계통에 직결되어있는 장치로서 결함 발생시 운행을 정지해야하는 중요한 장치이므로 수도권철도차량관리단에서는 3일에 1회씩 감속기 오일 및 결함상태를 체크하는 일상정비(ES)를 실시하고 있으며, 3년을 주기로 부품을 완전분해하여 검수를 실시하고 있다. 본 연구에서는 KTX 감속기의 RAMS 분석을 통해 신뢰성 및 유지보수성, 가용성을 살펴보고, 이를 바탕으로 유지보수 업무의 효율성을 판단하고자 한다. 또한 과거의 고장이력을 분석하여 현재 TBO(Time Between Overhaul) 주기 및 예방정비 업무가 적절한지를 판별하고자 한다.

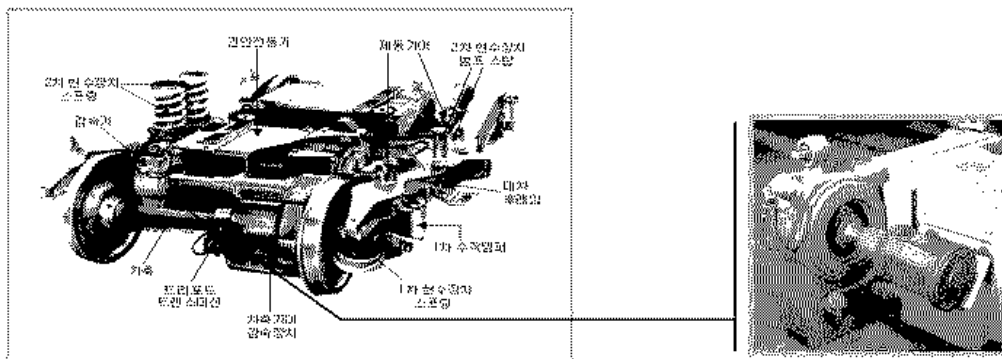


그림 2. KTX 감속기

† 정도원 : 정회원, 한국철도공사, 연구원, 차장
E-mail : bluejdw@hanmail.net
TEL : (042)609-3144 FAX : (042)609-4915

** 정회원, 한국철도공사, 연구원, 차장

*** 비회원, 서울메트로, 군자차량기지, 차장

2. 본 문

2.1 KTX 감속기 RAMS 분석

2.1.1 신뢰성(Reliability)

신뢰성의 사전적 해석은 아이템이 ‘주어진 조건하에서 규정된 기간동안에 정상 기능을 발휘할 수 있는 성질’ 이라고 규정되어 있다. 그러나 이것은 좁은 의미에서의 신뢰성을 의미하는 것이고, 넓은 의미에서의 신뢰성은 기술의 발달과 고객의 요구에 따라서 그 범위가 달라지고 있다. 따라서 신뢰성에 대한 범위와 해석도 시대의 요구에 따라서 달라질 수 있다. 철도차량의 신뢰성은 일반적으로 고장이 발생하기까지의 평균운행킬로미터(MKBSF : Mean Kilometer Between Service Failures)를 의미한다. 이것은 열차 운행 중 차량 고장으로 인해 5분이상의 지연을 초래하거나, 열차 운행도중 차량고장으로 편성을 교체하는 등의 서비스지장을 초래하는 것을 말한다.

KTX 감속기에 대한 신뢰성을 살펴보기 위해서는 전체 감속기의 수와 총 운행거리, 고장횟수 등을 알아야 한다. KTX는 편성당 총 6개의 모터블럭을 갖고 있으며, 각 모터블럭은 1개의 대차에 견인력을 전달한다. 대차는 2개의 차축으로 구성되어 있으며 감속기는 차축당 1개씩 장착되어 있다. 따라서 KTX 1편성에 감속기는 총 12개가 장착되어 있다. 현재 코레일에서 운영하는 KTX 편성수는 총 46편성이므로 감속기의 전체수는 552개가 된다.



➢ 전체 감속기 수 : 12개(1편성) X 46편성 = 552개

그림2. KTX 감속기 전체 구성

2004년 4월 1일 KTX 개통 이후 전체 KTX 46편성의 운행거리는 총 95,951,794km이며 그동안 서비스 지장을 초래하는 감속기 고장은 표 1과 같이 총 11회 발생하였다. 따라서 KTX 감속기 신뢰성은 다음과 같이 계산된다.

$$MKBSF = \frac{\text{총 운용거리}}{\text{고장발생횟수}} = \frac{95951794}{11} = 8722890km \text{ ----- (1)}$$

표 1. 감속기 서비스 고장 이력

No.	발생일	KTX No	발생위치	교체 및 수리시간
1	05. 2. 17	7	22번 B축	7h 20min
2	05. 7. 14	33	01번 B축	8h 20min
3	05. 8. 29	2	02번 A축	9h 10min
4	06. 2. 28	29	02번 B축	8h 30min
5	06. 4. 9	1	22번 B축	6h 15min
6	06. 5. 23	12	02번 A축	7h 30min
7	07. 5. 4	28	01번 B축	7h 45min
8	07. 8. 9	8	03번 A축	3h 50min
9	08. 3. 30	11	22번 B축	9h 40min
10	08. 4. 28	11	01번 B축	9h 50min
11	08. 10. 2	27	23번 B축	9h 30min

2.1.2 유지보수성(Maintainability)

유지보수성은 신뢰성과 함께 최적의 설계를 하기 위한 필수 요소이며 유지보수의 용이성 및 유지보수

인력 등을 판단하는 기준으로 활용된다. 일반적으로 유지보수성이란 고장이 발생하였을 때 규정된 절차 및 자원을 활용하여 주어진 시간에 시스템을 정비하여 만족할 만한 성능으로 원상복귀 시킬 수 있는 확률을 의미한다. 이는 시스템 고장 발생시 얼마나 빨리 수리, 정비 또는 교체 등의 보전을 실시할 수 있는가를 나타낸다. 유지보수성을 평가할 때는 그 평가지표로서 평균정비시간(MTTR : Mean Time To Repair)을 사용한다.

$$MTTR = \overline{M_{ct}} = \frac{\text{총 보수정비 시간}}{\text{총 보수정비 횟수}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \text{ ----- (2)}$$

n : 보수정비 횟수
i : 고장 순번
ti : i 번째 보수정비 수행시 소요된 시간

감속기의 유지보수성을 구하기 위해서는 고장발생시 수리시간을 살펴볼 필요가 있다. 표 2에서 알 수 있듯이 감속기의 서비스고장과 비서비스고장을 포함한 전체고장은 166번 발생했으며 총 수리시간은 79,640min이므로 평균정비시간은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$MTTR = \frac{\text{총 보수정비 시간}}{\text{총 보수정비 횟수}} = \frac{79640}{166} = 479.76 \text{ min} = 7\text{h}59\text{min} \text{ ----- (3)}$$

표 2. 고장발생시 수리시간

구 분	서비스고장	비서비스고장
발생건수	11	155
총 수리시간	5,240min	74,400min
합 계	79,640min (1327.3h)	

2.1.3 가용성(Availability)

가용성이란 수리가능한 시스템이 고장과 수리를 거쳐 임의의 시점 즉, 어떤 주어진 시간에 만족스럽게 작동할 확률을 의미한다. 일반적으로 가용성은 장비가 가동상태에 있는 총 시간에 대한 총 동작가능 시간의 비율로서 아래와 같은 식으로 표현하기도 한다.

$$\text{가용도} = \frac{\text{총 동작가능시간}}{\text{총 시간}} \text{ ----- (4)}$$

하지만 철도운용상의 감속기 가용도는 고유가용도, 성취가용도, 운용가용도로 분류 할 수 있으며, 이는 보수정비시간과 예방정비시간, 행정지연시간 등의 포함여부에 따라서 계산이 달라진다.

- 고유가용도 (Ai : Inherent Availability)

고유가용도는 예방정비를 고려하지 않고 이상적이 지원상태하에서 보수정비만을 고려하여 운용될 때, 임의의 시점에 만족스럽게 작동할 확률로서 시스템의 자체요인에 의한 고장만을 반영한 값이다. 이것은 다음식으로 계산할 수 있다.

$$A_i = \frac{\text{총 운용시간}}{\text{총 운용시간} + \text{총 보수정비시간}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \text{ ----- (5)}$$

여기서 MTBF(Mean Time Between Failures)는 평균고장시간간격을 의미하며 다음식과 같다.

$$MTBF = \frac{\text{총 운용 시간}}{\text{총 고장 횟수}} \text{----- (6)}$$

KTX 감속기의 MTBF를 구하기 위해서는 먼저 감속기의 총 운용시간을 알아야 한다. KTX의 총 운용시간은 개통 이후 현재까지의 운행키로를 평균운행속도로 나누면 구할 수 있다.

$$\text{총 운용 시간} = \frac{95951794 \text{ km}}{153 \text{ km/h}} = 627136 \text{ h} \text{----- (7)}$$

따라서 식(6)에 의해 KTX 감속기의 MTBF는 다음과 같이 계산된다.

$$MTBF = \frac{627136}{166} = 3778 \text{ h} \text{----- (8)}$$

그러므로 감속기의 고유가용도는 식(3)과 (5), (8)을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{고유가용도}(A_i) = \frac{3778}{3778+8} = 0.9979 \text{----- (9)}$$

- 성취가용도 (Aa : Achieved Availability)

성취가용도는 고유가용도에서 고려하지 않은 예방정비시간을 보수정비시간과 함께 고려함으로써 시스템 자체의 직접적인 요인이 아닌 비가동 시간을 포함한 개념이다. 성취가용도를 계산하는 일반적인 식은 다음과 같다.

$$A_a = \frac{\text{총 운용 시간}}{\text{총 운용 시간} + \text{총 정비(보수+예방)시간}} = \frac{MTBM}{MTBM + (Mct + Mpt)} \text{----- (10)}$$

여기서 MTBM(Mean Time Between Maintenance)은 평균수리시간간격으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$MTBM = \frac{\text{총 운용 시간}}{\text{총 정비 횟수}} = \frac{\text{총 운용 시간}}{\text{보수정비 횟수} + \text{예방정비 횟수}} \text{----- (11)}$$

감속기의 성취가용도를 계산하기 위해서는 가장 긴 예방정비주기인 3년을 기준으로 KTX 1편성의 3년간 총 운용시간 및 총 정비시간을 알아야 한다. 먼저 KTX 1편성의 3년간 총 운용시간은 KTX 총 편성의 3년간 운행키로를 평균속도와 전체 편성수로 나누어주면 된다.

$$\text{3년간 운용 시간} = \frac{62465644 \text{ km}}{153 \text{ km/h} \times 46} = 8875.5 \text{ h} \text{----- (12)}$$

그리고 예방정비를 포함한 감속기의 3년간 총정비시간은 표 3에서 알 수 있듯이 총 1416.8h이다. 따라서 감속기의 성취가용도는 식(10)와 (12)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{성취가용도}(A_a) = \frac{8875.5}{8875.5 + 18.79 + 108.8} = 0.9858 \text{----- (13)}$$

표 4. 3년간 KTX 1편성의 감속기 총 정비시간

구분	검수종별	주기	정비시간	총 정비시간
예방정비	ES	3일	10min	2870min
	RGI	14일	30min	2340min
	LI	4개월	60min	240min
	GI	8개월	120min	240min
	FGI	16개월	180min	360min
	TBO	3년	480min	480min
	합계	6,530min (108.8h)		
보수정비	(8875.5 / MTBF) × MTTR = (8875.5 / 3778) × 8 = 18.79h			
총 정비시간		보수 + 예방 = 18.79h + 108.8h		

- 운용가용도 (Ao: Operational Availability)

운용가용도는 성취가용도에 행정지연시간과 군수지연시간을 함께 고려한 값으로, 실제 장비가 운용될 운용환경과 규정된 조건하에서 임의의 시점에 만족스럽게 작동할 확률을 의미한다. 운용가용도를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Ao &= \frac{\text{총동작가능시간}}{(\text{총동작가능} + \text{총정비} + \text{행정,군수지연})\text{시간}} \\
 &= \frac{MTBM}{MTBM + Mct + Mpt + ADLT} \\
 &= \frac{MTBM}{MTBM + MDT} = \frac{MUT}{MUT + MDT} \text{ ----- (8)}
 \end{aligned}$$

MUT : Mean of Up Time · MDT : Mean of Down Time

여기서 행정 및 군수지연 시간이란 정비를 위한 행정처리시간과 정비인력이나 보수품이 없어서 지연되는 시간을 의미한다. 하지만 KTX는 모든 고장데이터가 운행을 마치고 차량기지로 입고하는 중 무선 통신을 통해 정비팀으로 전달되어 입고시 바로 정비가 이루어지며 예비보수품도 항상 비워되어 있어서 사실상 행정 및 군수지연 시간은 없다고 할 수 있다. 따라서 감속기의 운용가용도는 성취가용도와 같은 0.9965가 된다.

2.2 KTX 감속기의 TBO주기 적정성 검토

차량을 정비함에 있어 신뢰성을 바탕으로한 유지보수를 해야하는 이유는 기존방식의 획일적인 시간위주의 예방정비 및 유지보수는 포괄적인 개념에서는 신뢰성을 가지고 있으나 구체적이고 세부적인 신뢰도 적용이 미흡하여 자칫 비용을 낭비할 우려가 있으며, 또한 고장예방과 관련한 신뢰도 관리가 이루어지지 못하기 때문이다. 따라서 차량의 고장현상이나 정비한 기록, 부품교환내용 등을 정확하게 데이터베이스화시키고, 그 자료를 분석하여 적절한 정비 및 교환주기를 산정하고 유지보수 정책에 반영하여야 검수효율성이 높아지고 더불어 부품의 신뢰성도 향상시킬 수 있다.

2.2.1 TBO주기 검토를 위한 감속기 고장이력 분석

KTX 도입당시 알스톰사에서 제시한 감속기의 TBO주기는 3년이다. 하지만 아직까지 KTX 감속기의 TBO주기 3년이 적절한지에 대하여 연구한 사례는 없었다. 현재 점차적으로 KTX 주요부품에 대한 잠재수명 및 TBO 연구가 진행중에 있는 실정이다. KTX 감속기의 TBO주기 적정성을 판단하기 위하여 감속기의 고장이력을 살펴본 결과, 실제 3년이 안되어 고장이 발생한 경우도 있고, 3년이 지나도 별다른 고장이 발생하지 않는 경우도 있다는 것을 알 수 있었다.

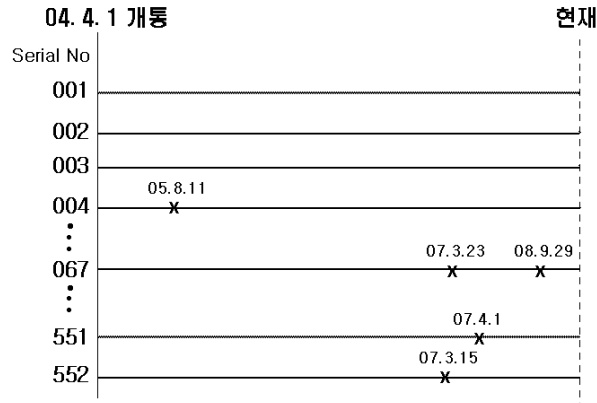


그림3. 감속기 고장/정비 이력

그림 3은 감속기별 고장수리 데이터를 표현한 것이다. 감속기 552개에 대한 전체 고장은 총 166회 발생하였으며, 총 운행시간을 고장발생 건수로 나눈 고장발생 간격은 다음과 같다.

- 전체 운행일 : 1682일(운행일) × 552개 = 928464일
- 평균고장발생 간격 : 전체 운행일 / 고장건수
= 928464 / 166 = 5593일(15년)

이렇게 고장이력을 기초로 산출한 감속기의 평균고장발생 간격은 약 15년 정도로 매우 길다는 것을 알 수 있다. 하지만 평균고장발생 간격만으로 감속기의 TBO주기를 연장할 수는 없다. 그래서 KTX 개통 이후 3개월 단위로 고장발생 횟수를 살펴보았다. 그림 4를 보면 감속기 고장은 처음 9개월간은 단 4건 발생하였으며, 1년이 지나서는 어느 정도 균일한 고장발생 추이를 보이다가 TBO주기가 지나서는 고장횟수가 28회로 평균고장횟수보다 2~3배 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 TBO정비를 시행하고나면 다시 고장발생 횟수가 평균치로 균일하게 내려가는 것을 알 수 있다.

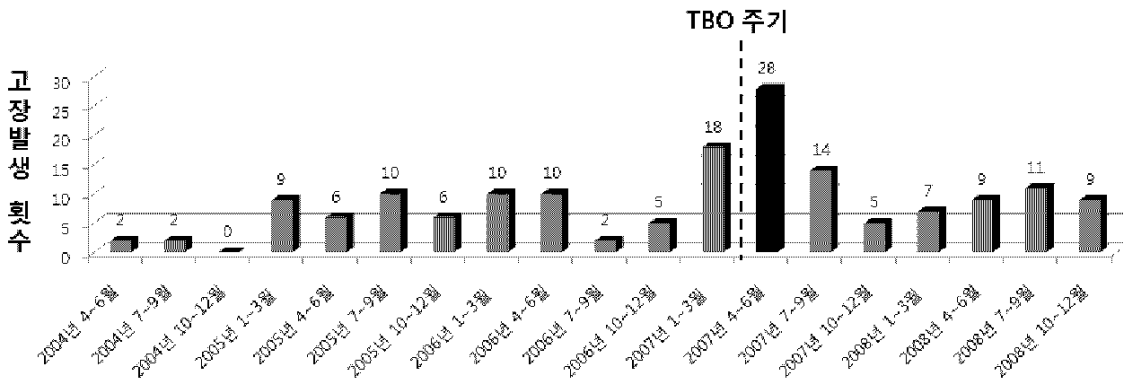


그림 4. KTX 감속기 고장발생 횟수(3개월 단위)

2.2.2 감속기 TBO주기 적정성 검토

앞에서 살펴본 바와 같이 TBO주기 3년이 지나면 감속기의 고장발생 횟수가 2~3배 증가하는 것은 사실이지만, 전체 감속기 552개를 대상으로 TBO주기 이전에 고장발생 횟수를 살펴보면 총 80건으로 15%에 불과하다. 또한 실제로 감속기의 TBO주기가 도래하여 완전분해점검(Overhaul)을 실시했을 때 별다른 결함없이 간단한 수선만으로 정비를 마친 경우가 상당히 많다. 이것으로 볼 때 현재 코레일에서 사용하는 감속기의 TBO주기 3년은 다소 과도한 정비라고 판단된다.

하지만 이처럼 통계적이고 경험적인 분석만으로 감속기의 TBO주기를 연장하기는 어렵다. 이것은 고장데이터가 TBO검수를 시행하면서 발생한 고장이므로 실제 TBO주기를 연장하게 되면 고장발생 횟수가 지금보다 증가하여 KTX의 안전성 및 신뢰성을 저해할 우려가 있기 때문이다. 따라서 적절한 TBO주기

를 판단하기 위해서는 대상샘플 몇개만이라도 TBO주기를 시범적으로 연장하여 고장발생여부를 체크하고, 이를 종합분석하여 전체 감속기의 적절한 TBO주기를 산정하는 것이 필요하다고 생각된다.

3. 결 론

본 연구에서는 KTX 감속기에 대한 고장이력 및 유지보수 체계를 검토하였고, 이를 바탕으로 RAMS 분석을 실시하여 신뢰성 및 유지보수성, 가용성 등을 다각적으로 살펴보았다. 이를 통해 KTX 감속기의 신뢰성 및 가용성이 상당히 높은 수준임을 알 수 있었다. 또한 KTX 개통 이 후 감속기의 고장이력을 분석하여 현재 사용중인 TBO주기의 적정성을 제고한 결과 지금의 TBO주기는 다소 짧다는 것을 느낄 수 있었으며, 이는 지속적인 데이터관리와 체계적인 검증시험을 통해 개선할 필요가 있다고 판단된다. 향후 고속차량의 확대도입과 차세대고속철도개발 사업이 진행중이므로 우리 코레일에서도 선진화된 고속철도 운영기술 및 유지보수 기술이 매우 필요한 시점이다. 따라서 체계적인 RAMS 분석 및 적절한 TBO주기 산정에 대한 관심과 노력을 기울여 유지보수 최적화를 통한 안전성 향상 및 비용절감에 최선을 다해야 할 것이다.

참고문헌

1. 정인수, 이강원, 김종운(2008), “철도차량 정량적 신뢰성·가용성·유지보수성 목표값 설정에 관한 연구”, 한국철도학회논문집, 제11권 제4호, pp.390~397.
2. 유양하(2006), 한국철도공사, RCM의 이해와 적용방법. PP.25~47.