

도시철도 궤도구조별 궤도틀림 정비기준 재정립 연구

Urban railway track structure must be redefined based on the maintenance of orbital research

김종욱[†], 이달재^{*}, 이종호^{*}, 강운석^{**}, 박용걸^{***}

Jong-wook Kim[†], dal-jae Lee^{*}, Jong-ho Lee^{*}, yoon seok Kang^{**}, yong Geol Park^{***}

Abstract The purpose of this paper, a structure-specific track maintenance standards to improve the stability of the orbit to differentiate safely secured to the rail. In this paper, must track maintenance standards being used by Seoul Metro review and comprehensive inspection of inspection data standard deviation control law must be conducted by a track orbit of the degree and rate of change in progress in accordance with the standard deviation in the time series and comprehensive inspection points in the car by changing. As a result, the gravel roadbed maintenance standards will need an overhaul-per-track standard formulation off.

Keywords : Track, Track Irregularity, Track Structure, Inspection car, Urban rail

초 록 본 논문의 목적은 궤도구조별 정비기준을 차별하여 궤도의 안정성 향상으로 열차안전운행을 확보하는데 있다. 본 논문에서는 서울메트로에서 사용중인 궤도틀림 정비기준을 검토하고 종합검측차의 검측데이터를 통해 표준편차 관리법에 의한 궤도상태별 궤도틀림 진행 정도와 표준편차가 시계열에 따라 변화는 진전을 및 종합검측차 지적개소 연도별 변화추이를 분석하였다. 그 결과 자갈도상 정비기준에서 벗어나 궤도구조별 정비기준 정립이 필요할 것으로 판단된다.

주요어 : 궤도, 궤도틀림, 궤도구조, 검측차, 도시철도

1. 서 론

서울메트로는 건설당시 자갈도상을 기본 궤도구조로 하였으나 1998년부터 콘크리트상으로 개량하고 있다. 그러나 정비기준에 있어서는 초기 건설당시부터 자갈도상 궤도구조에 맞추어진 상태로 관리되고 있어 콘크리트 도상개량에 따른 궤도구조별 정비기준의 재정립 검토가 필요한 실정이다. 본 논문에서는 국내, 외 유관기관의 궤도틀림 정비기준을 살펴보고, 궤도구조별로 실제 진행되는 궤도틀림 DATA를 분석하여 궤도의 동질성이 확보된 분할구간을 각각의 세그먼트(Segment)로 정의하고 자갈도상과 콘크리트도상과의 표준편차 및 진전을 비교 분석하였고 종합검측차 지적개소 연도별 변화추이를 분석하였다.

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 서울메트로(dingokp@seoulmetro.co.kr)

* 서울메트로 궤도신호사업소 ** 한국철도기술연구원, 책임연구원, 공학박사

*** 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수

2. 본 론

2.1 궤도틀림 기준

궤도의 유지보수 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것이 궤도틀림의 관리이며 궤도틀림을 관리한다는 것은 검측된 궤도틀림 데이터의 값이 정비기준에 도달하였는지를 지속적으로 확인하고 이 값이 기준을 넘지 않도록 적절한 보수작업을 시행하여 궤도틀림을 적정상태로 유지하는 것이다.

2.1.1 국내, 외 궤도틀림 관리기준

국내 일반철도 및 도시철도의 궤도틀림 관리기준을 보면 종합검측차 데이터 중, 단일 궤도틀림값이 경계값을 초과하는 개소에 대하여 유지보수를 시행하고 있다. 고속철도의 경우 궤도틀림 관리기준은 Table 1 에서 보듯이 크게 5단계로 나누어지며, 준공기준은 신선 건설 시 준공기준으로 유지보수시는 적용하지 않으며, 유지보수 작업시 완료기준인 목표기준과 주의관찰 및 예방보수를 시행 할 수 있는 기준으로 주의기준을 두고 있다. 국내 고속철도의 궤도틀림관리 기준은 단일궤도틀림(절대틀림)과 표준편차를 적용하여 사용하고 있다. Table 2 영국철도기준의 궤도틀림 관리기준으로는 약201m에 대한 표준편차를 적용하고 있으며 35m, 70m 두 종류의 현을 사용하고 있다. 표준편차가 Very poor 값이 되면 1개월 내에 재 검측을 하고 보수작업 여부를 결정하며, Maximum 값을 초과하면 1주일 내로 궤도검측을 수행하고 운행속도 제한을 결정한다. 서울메트로는 종합검측차를 이용하여 년4회 분기별로 궤도틀림을 검측하고 있으며, 단일 궤도틀림에 대해 Table 3의 정비기준에서 보듯 유지기준을 초과하는 개소에 대하여 60일 이내에 보수가 이루어지고 있다.

Table 1 Must have high speed, low management standard

관 리 단 계		한 계 값	
		절대틀림	표준편차
준공기준 (CV)	새로운 궤도부설시 요구되는 값	$N_{lv} \leq 2$ $N_{ll} \leq 5$	$N_{\sigma} \leq 0.77$
목표기준 (TV)	궤도유지보수 작업 후 요구되는 값 (L<100m)	$N_{lv} \leq 3$ $N_{ll} \leq 7$	$N_{\sigma} \leq 1.03$
주의기준 (WV)	이 단계의 의미: - 결함의 원인 및 특성의 확인 - 수평틀림의 진행상황 감시	$5 \leq N_{lv} \leq 7$ $7 \leq N_{ll} \leq 8$	$N_{\sigma} \leq 1.54$
보수기준 (AV)	1개월 내에 유지보수를 시행	$N_{lv} \geq 13$ $N_{ll} \geq 13$	관리 없음
속도제한 기준 (SV)	이 값은 속도감소를 의미함.		
	속도제한 = 230km/h	$15 \leq N_{lv} \leq 18$ $24 \leq N_{ll} \leq 30$	관리 없음
	속도제한 = 170km/h	$18 \leq N_{lv} \leq 22$ $N_{ll} \geq 30$	관리 없음
	속도제한 <160km/h	$N_{lv} \geq 22$	관리 없음

Table 2 United Kingdom railway track of management standard

속도대역(km/h)	고저틀림 표준편차(mm)			방향틀림 표준편차(mm)		
	35m현		70m현	35m현		70m현
	Maximum	Very poor	Very poor	Maximum	Very poor	Very poor
137~153	5.3	4.0	5.6	6.0	2.7	5.0
161~177	5.0	3.4	5.0	5.7	2.3	4.3
185~201	4.7	3.0	1.4	5.0	2.0	3.7
209~225	4.1	2.6	3.8	4.7	1.8	3.1

Table 3 Must track maintenance standards (Seoul Metro)

구 분	궤간	수평	면(고저)맞춤	줄(방향)맞춤	비틀림(평균성)
정비 기준	중14mm(10mm) 감 4mm(2mm)	본선13mm(9mm) 측선17mm(11mm)	본선15mm(9mm) 측선17mm(11mm)	본선15mm(9mm) 측선17mm(11mm)	15mm(14mm)
유지 기준	중14mm(10mm) 감 4mm(2mm)	본선13mm(9mm) 측선17mm(11mm)	본선15mm(9mm) 측선17mm(11mm)	본선15mm(9mm) 측선17mm(11mm)	15mm(14mm)
시공 기준	중 6mm(4mm) 감 3mm(2mm)	본선 7mm(5mm) 측선 9mm(7mm)	본선 7mm(5mm) 측선 9mm(7mm)	본선 7mm(5mm) 측선 9mm(7mm)	9mm(6mm)

2.2 궤도틀림 관리 이론 및 방법

2.2.1 품질지수를 이용한 궤도관리

궤도의 유지보수 중 가장 큰 비중을 차지하는 것이 궤도틀림 관리이다. 이는 검측차를 통해 검측된 궤도틀림 데이터의 값이 관리기준에 도달했는지를 지속적으로 확인하고 이 값이 기준을 넘지 않도록 적절한 보수작업을 적기에 시행하여 궤도상태를 적정상태로 유지하는 것이다. 궤도품질지수(TQI : Track Quality Index)를 이용하는 방법으로는 궤도틀림을 정규 분포로 보고 평균값(m) 및 표준편차(σ)를 하나의 지수로 표현하여 관리하는 방법과 표준편차(Standard Deviation)를 이용하는 방법, 평균편차를 이용하는 방법들이 있다.

2.2.2 P값을 이용한 궤도관리

궤도틀림은 개개의 점 틀림에 대하여 관리하는 것 외에도 일정 길이 구간의 궤도틀림 상태를 함께 표시하고 이를 통해 구간별 궤도틀림을 관리하기도 한다. 구간별 궤도틀림 관리 시 궤도의 상태를 나타내는 지표로 궤도틀림의 확률분포를 정규분포로 설정, 평균값(m) 및 표준편차(σ)로 정의되는 일정구간의 궤도틀림 정규분포를 하나의 지수(P값)으로 표현하였다. P값은 궤도틀림을 정규분포로 보고 분포함수가 일정 한계치를 넘는 확률의 비율(%)로 표시되며, 그 한계치는 $\pm 3\text{mm}$ 이상의 틀림량 발생을 P1, -3mm 이하의 틀림량 발생을 P2로 하고 이를 P1+ P2로 정의하고 있다. 이처럼 일정구간의 궤도틀림 상태의 가부를 나타내는 지표로서 궤도틀림 지수 P(P값)을 이용하여 왔다. 국내에서는 1990년대 초반까지 사용하였으며, 일본에서는 현재도 이용되고 있다.

2.2.3 표준편차를 이용한 궤도관리

궤도틀림은 가우스 확률분포(Gaussian Probability Distribution)를 갖는 것으로 알려져 있다. 궤도틀림을 불규칙 신호로 보고 확률분포를 정규분포로 가정하면 궤도틀림의 특성을 평균값과 표준편차로 나타낼 수 있다. 평균값은 승차감에 영향이 없어 제거하고, 표준편차는 평균값에 대한 분산 또는 흩어진 각각의 값들을 나타내므로 궤도틀림의 정도를 표현할 수 있다.

Fig. 1 를 보면 궤도틀림 평균값으로부터 1σ 범위 내에서 64~65%가 분포하고, 2σ 범위 내에서는 95%가 분포하며, 2σ~3σ까지의 범위내에는 단 2%만의 자료가 분포한다. 3σ를 벗어나는 매우 큰 틀림의 값은 측정장비에 의해 발견되고 즉시 보수된다. 표준편차(σ)는 분산의 정도를 나타내는 것이나, 평균치가 비슷할 경우에 평가 기준이 될 수 있다. 만일 궤도틀림에 대한 +/- 대역폭(한계치)을 지정하고 궤도틀림을 관리하기 위해서는 이 +/- 대역은 xσ 보다 작지 않아야 한다.

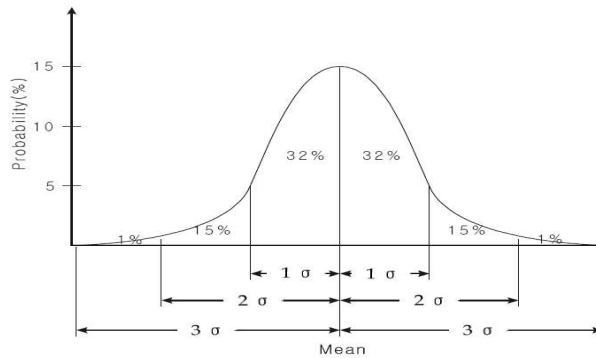


Fig. 1 Track irregularity of the normal distribution

2.3 궤도틀림 표준편차 산출

2.3.1 표본대상의 분류

본 연구에서는 동질성이 확보된 Segment 선정을 위하여 서울메트로에서 운영중인 종합검측차의 검측데이터를 활용하여 자갈도상과 콘크리트도상(B2S궤도, 방진상궤도, 급곡선궤도)을 구분하였고, 자갈도상 구간은 2호선 4개소, 콘크리트도상은 1호선 2개소, 2호선 10개소로 조사대상 구간을 선정하였다. 세그먼트의 길이는 200m로 하였다.

2.3.2 궤도틀림 표준편차 산출

궤도틀림 진전율을 산정하기 위해서는 각 대상구간에 대한 각각의 시계열 데이터를 기본으로 하는 시계열 분석을 필요로 한다. 이를 위해 2010년 1분기부터 2011년 4분기까지의 종합검측차 데이터를 활용하였으며, 궤도상태별로 16개소를 선정하여 궤도틀림 표준편차를 계산하였다. 표준편차는 샘플링 표준편차식을 사용하였다.

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2}$$

여기서, n = 검측 데이터수

X = 검측 데이터 값

m = (산술)평균

(1) 자갈도상 궤도

자갈도상 궤도의 면틀림량을 보면 콘크리트도상 궤도에 비해 틀림량이 높게 나오고 있으며,

면, 줄틀림이 2010년 4분기에서 감소된 것으로 보아 해당 분기에 일정구간의 유지보수 작업이 있었음을 알 수가 있다.

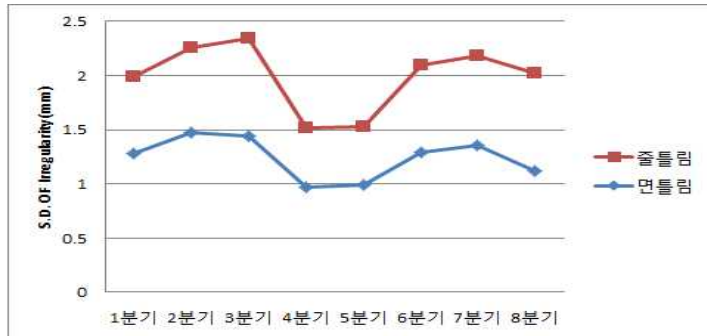


Fig. 2 The gravel track must track (if it should give)

(2) 콘크리트 궤도(B2S)

B2S궤도 구조는 공장에서 제작된 Panel을 현장에서 조립, 하부에 콘크리트 모르터를 충전하는 공법을 사용하는 궤도구조로 지하 곡선반경 R=400이상 곡선 및 직선부, 지상 및 고가역 구내 등에 설치하고 있다. 전체적으로 다른 궤도구조에 비해 궤도틀림량이 약 0.7 정도 낮은 분포를 보이고 있으며, 진전율도 면틀림 및 줄틀림 모두 서서히 진행되고 있음을 알 수가 있다.

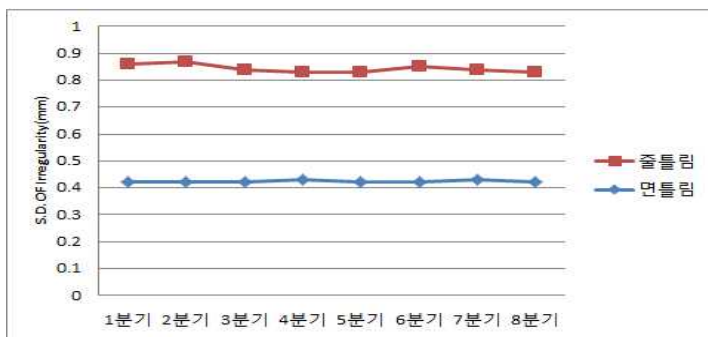


Fig. 3 B2S must orbit orbit (if, certainly)

(3) 방진상 궤도

방진상궤도는 직선과 곡선구간에 설치하며, 곡선부에 설치 시 곡선반경 R=250m이상 R=400m미만 구간에 주로 설치하고 있으며, 궤도틀림 진전율을 살펴보면, B2S궤도에 비해

틀림량이 조금 높게 나왔으나 궤도틀림 진전율이 서서히 진행되고 있는 것으로 보아 궤도의 품질은 양호한 것으로 판단된다.

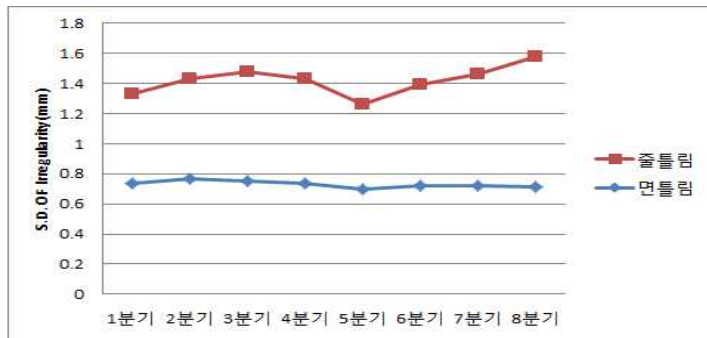


Fig. 4 Should have dustproof-phase orbital trajectory (if, certainly))

(4) 급곡선 궤도

콘크리트도상 구간으로 PTT침목에 SKL12체결구로 이루어진 궤도로써 곡선반경 R=250m미만 구간에 주로 설치한다. 여기에서는 곡선반경 R=250의 진전율을 분석했다. 이처럼 급곡선부에 설치되는 궤도구조로 방진상 궤도에 비해 궤도틀림량이 약 0.45정도 높게 나타났으나 조사기간 내의 진전율을 보면 틀림량이 가장 많은 자갈도상에 궤도에 비해 서서히 진행되고 있음을 알 수가 있다.

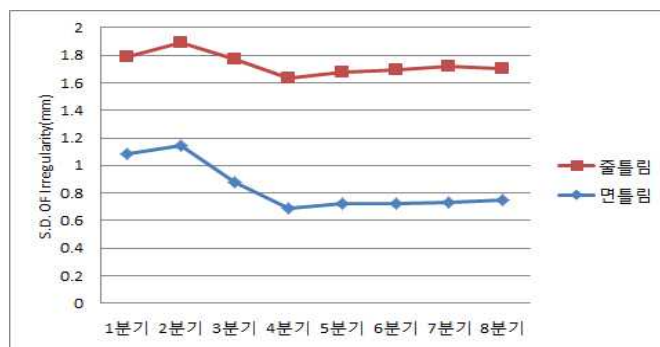


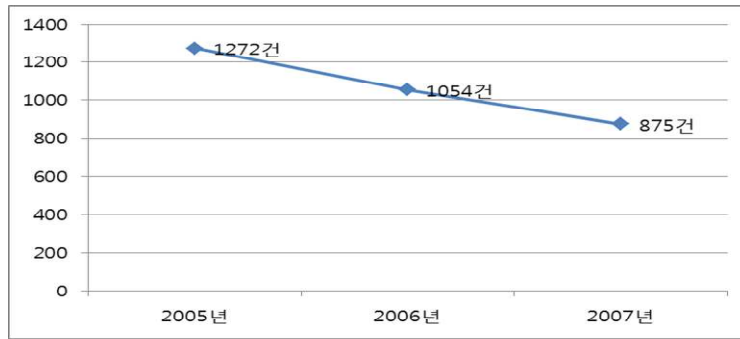
Fig. 5 Class must have a curved trajectory orbit (if, certainly)

3. 궤도검측 궤도틀림 분석

3.1 연도별 궤도검측 지적현황 분석

3년간(2005년~2007년까지)의 종합검측차 지적개소를 분석한 결과 2005년도에 비해 년차별로 약69% 감소되고 있는 것으로 나타났다. 이는 자갈도상을 콘크리트도상궤도로 개량하는 사업의 영향과 궤도품질 향상에 따른 결과로 분석된다.

Table 4 Year-on-year orbital inspection designation status



3.2 자갈궤도와 콘크리트궤도 궤도틀림 분석

궤도구조별로 궤도틀림 분석 결과를 보면, B2S궤도, 방진상궤도, 자갈도상궤도 순으로 틀림량이 발생하고 있다는 것을 알 수가 있으며, 진전율에 있어서도 B2S궤도와 방진상궤도에서는 진전율이 거의 없는 반면, 자갈도상궤도에서 많은 틀림량과 잦은 보수작업이 이루어지고 있는 것을 알 수가 있다. 이를 통해 현재 서울메트로의 궤도 유지보수는 대부분 자갈도상 궤도에서 발생하고 있는 것으로 나타났다.

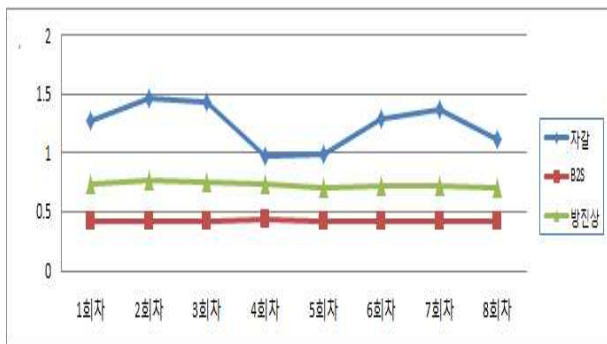


Fig. 6 Orbit structure time series facts (if you must)

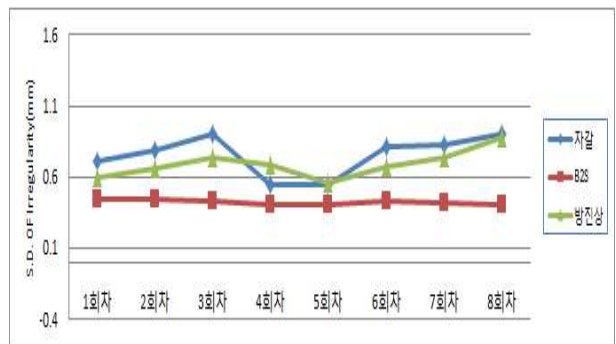


Fig. 7 Orbit structure time series facts (must give)

3.3 직,곡선 반경별 궤도틀림 분석

2011년 1차회차부터 2012년 4회차까지 총8회에 걸쳐 서울메트로 1,2호선을 종합검측차로 검측한 결과 서울메트로 정비기준을 초과한 개소는 총103개소로, 직선32%, 곡선68%로 주로 곡선부에서 틀림량이 발생하고 있는 것으로 나타났으며, 이를 곡선반경별로 살펴보면 Fig. 8에서 보듯이 지적개소가 많은 구간 순으로, 곡선반경 R=600이상, 직선구간, R=300미만, 순으로 지적이 되고 있음을 볼 수가 있다. 이는 1998년부터 점차적으로 진행되고 있는 자갈도상에서 콘크리트도상으로 개량하는 공사가 곡선반경 R=600미만 구간에서 우선적으로 부설되고 있는 것과 맥락을 같이 하는 것으로 판단된다.

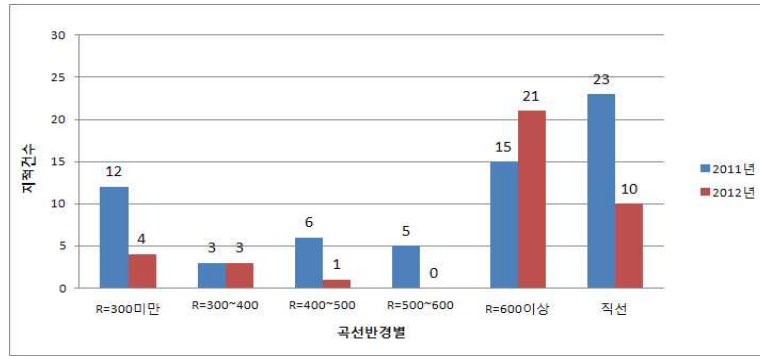


Fig. 8 Curve radius must orbit a star status

4. 결론

종합검측차 검측데이터를 이용하여 궤도상태별 표준편차 및 궤도틀림 진전율과 종합검측차 지적개소 연도별 변화추이를 살펴본 결과는 다음과 같다.

- (1) 도상개량공사에 따른 궤도상태 품질향상으로 작업물량이 감소했고, 종합검측차의 지적 개소도 지속적으로 감소되었다.
- (2) 궤도구조별 자갈도상과 콘크리트도상 진전율을 비교한 결과 자갈도상이 빠른 진전율과 궤도틀림에 있어서도 틀림량이 많은 것으로 분석되었다.
- (3) 직, 곡선에 대한 궤도틀림 지적개소를 비교 분석한 결과, 주로 곡선부에서 발생하였다. 따라서, 향후 효율적인 궤도관리를 위해선 현재의 궤도틀림 정비기준에서 벗어나 궤도구조별, 직, 곡선 궤도틀림 정비기준의 차별화가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Lee Jeeha, Choi You Bok(2009) Application of Track Recording Data for Track Maintenance, *Autumn academic conference Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 3057-3063
- [2] Gil-Cheol Shin (2012) A study on the progress of Track Irregularity by track structure, *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 23-32
- [3] Kim Nam-Hong (2009) Introduction of Track Quality Index(TQI) Methods using Track Induction Data, *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 311-319
- [4] Kim Dae-Young(2008), Track Deterioration Prediction and Scheduling for Preventive Maintenance of Railroad, *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 1346-1357