

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.5.477

JCCT 2022-9-58

인접굴착공사에 따른 도시철도 분기기 궤도의 변형 특성에 관한 연구

A Study on Track Deformation Characteristics of Turnout System by Adjacent Excavation Work on Urban Transit

김해성*, 최정열**, 정지승***

Hae-Sung Kim*, Jung-Youl Choi**, Jee-Seung Chung***

요약 분기기 궤도구조는 매우 복잡한 구조와 다양한 구성품으로 구성되어 일반 궤도보다 유지관리가 어렵고 보다 상세한 관리기준이 필요한 철도시설물이다. 본 연구의 목적은 공용중인 도시철도 선로와 인접한 굴착공사에 따른 지상부 분기기 궤도구조의 변형에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 본 연구에서는 인접굴착 시공단계별 수치해석을 바탕으로 지상구간에 부설된 분기기 궤도선형을 고려한 주요위치별 궤도변형을 분석하였으며 이를 궤도틀림 기준과 비교하여 안전성을 확인하였다. 분석결과, 지상 분기기 궤도변형에 영향을 미치는 주요 시공단계는 굴착 최종 단계로 나타났으며, 면(고저)틀림인 연직변위가 상대적으로 크게 발생하였으나, 전체적으로는 수평방향의 변형이 지배적인 것으로 분석되었다. 이는 굴착 현장이 분기기 측면에 위치하는 측방굴착의 영향인 것으로 판단된다. 또한 분기기 주요 위치별 변형량이 상이하고 굴착현장과 이격거리에 따른 위치별 궤도변형의 편차가 발생하여 평면성틀림이 발생할 소지가 있을 것으로 분석되었다. 따라서 현재 발생된 궤도틀림을 바탕으로 인접굴착에 따른 추가적인 변위를 포함한 실 운영선 분기기 궤도구조의 궤도변형 특성이 발생하는 위치별로 중요도를 구분하여 별도의 관리가 필요한 것으로 분석되었다.

주요어 : 인접굴착, 분기기, 궤도변형, 수치해석, 궤도틀림

Abstract The structure of the turnout track is very complex, so it is a facility that is more difficult to maintain and requires detailed management than a general track type. The purpose of this study is to analyze the effect on the deformation of the turnout system of the ground section due to the excavation work adjacent to the serviced urban railways. In this study, based on finite element analysis for each stage of adjacent excavation, the track deformation for each major location of turnout system was analyzed in consideration of the layout of the turnout system installed on the ground section, and the safety and stability was confirmed by comparing it with the track irregularity regulation. As a result of the study, it was found that the major construction stage affecting the track deformation of the turnout system on the ground section was the final stage of excavation. In addition, although the vertical displacement which is a vertical irregularity occurred relatively large, it was analyzed that the horizontal deformation was dominant overall, because of the excavation site is located on the side of the turnout system. In addition, it was analyzed that the amount of displacement at each major location of the turnout system is different, and there is a possibility that there may be a twist irregularity due to the deviation of the track deformation for each location according to the distance from the excavation site. Therefore, it was analyzed that it is necessary to classify and manage the importance of the track deformation of the turnout system of actual operating line, including additional displacement due to adjacent excavation, based on the track irregularity that has occurred at each location where the major deformation characteristics occur.

Key words : Adjacent Excavation, Turnout System, Track Deformation, Finite Element Analysis, Track Irregularity

*정회원, 서울교통공사 토목사업소 차장 (제1저자)

**정회원, 동양대학교 건설공학과 교수 (교신저자)

***정회원, 동양대학교 건설공학과 교수 (참여저자)

접수일: 2022년 6월 13일, 수정완료일: 2022년 7월 15일

게재확정일: 2022년 8월 18일

Received: June 13, 2022 / Revised: July 15, 2022

Accepted: August 18, 2022

**Corresponding Author: jychoi@dyu.ac.kr

Dept. of Construction Engineering, Dongyang University, Korea

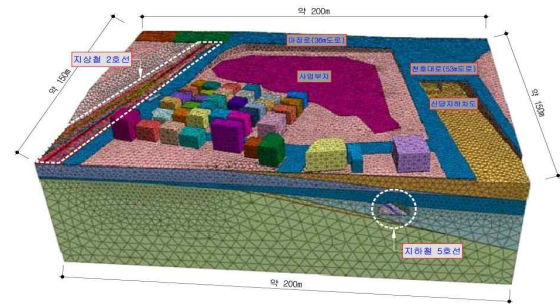
1. 서론

최근 국내 도심지 주택난 해소 및 사회기반시설 확충을 위해 기존의 도심지 재개발이 활성화되어 도심지 재건축 및 재개발 공사 등이 급증하고 있다[1-4]. 특히, 기존에 운영중인 도시철도 운행 노선을 중심으로 역세권 개발이 활발해지면서 도시철도 시설물과 인접하여 각종 신축공사 관련사업 등이 빈번하게 시행되고 있는 추세이다[1-4]. 또한 도시철도 운행 노선 주변에서 지반 굴착 시 지하수위 변화 및 지반 응력 재분배 등으로 도시철도 시설물에 부정적인 영향을 미치게 되어 지반침하 등의 사례가 빈번히 발생하고 있는 실정이다[5-8].

분기기는 열차의 진행 방향을 전환하기 위해 반드시 필요한 선로구축물로서 궤도구조의 형식과 레일, 구성품들이 일반 궤도와 상이하다[9-11]. 분기기는 전철기의 기계적인 작동으로 포인트부의 텅레일이 가동되어 열차운행 방향을 결정하게 된다[9-11]. 따라서 가동되는 레일 및 이와 연계된 기계설비들에 미소한 변형이 발생되면 열차운행에 직접적인 영향을 미칠 수 있어 사고발생의 잠재요인을 내포하고 있는 취약시설물이다[9-11]. 이러한 분기기 궤도구조와 근접하여 시행되는 인접굴착공사 시 주변 지반의 융기 또는 침하가 발생할 경우 분기기 궤도구조의 궤도틀림이 발생할 소지가 있다[5-8]. 또한 이는 운행열차의 탈선 등 대형 사고를 유발할 수 있어 경제적인 손실뿐만 아니라 인명피해까지 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 운행선 주변에서 대형 굴착 시 지하구조물뿐만 아니라 지상구간의 부설되어 운영중인 분기기의 굴착 단계별 궤도 변형 수준 및 궤도변형을 특성을 파악하는 데에 목적이 있다.

II. 분기기 궤도 변형해석

본 신축공사는 지상구간 궤도와는 수평 약 13.3m 이격하여 지반을 굴착하는 공사로서 굴착심도는 약 21.4m 이다[1]. 신축공사 중 인접한 지상구간에 대하여 공사 진행에 따른 거동을 연속적으로 분석하기 위해 그림 1과 같이 모델링을 하여 시공단계별 지하 및 지상구간 궤도의 변위를 검토하였다[1-3]. 해석에 적용된 지반특성치는 표 1과 같다[1-3]. 본 연구에서는 범용유한요소해석 프로그램인 MIDAS GTS NX를 사용하여 인접굴착에 따른 지상부 분기기 궤도구조의 궤도변형 특성을 분석하였다[1].



(a) Full scaled model



(b) Turnout system model on ground section

그림 1. 3차원 유한요소 해석 모델
Figure 1. 3D finite element analysis model

표 1. 지반 특성치
Table 1. Material properties of soil

Components	Density (kN/m ³)	Cohesion (kN/m ²)	Friction angle (°)	Lateral bearing capacity (kN/m ²)	Reaction Modulus (MPa)	Poisson's ratio (ν)	
Landfill	17.0	0	25.0	10,000	15	0.35	
Secondary sand	Clay	17.0	5	20.0	10,000	7	0.35
	Granular	17.0	0	25.0	10,000	15	0.35
Silty	17.0	25	5.0	5,000	5	0.36	
Weathered soil	19.0	22	32.0	30,000	400	0.34	
Weathered rock	21.0	31	36.0	45,000	830	0.31	
Soft rock	23.0	40	37.0	60,000	1,600	0.27	
Moderate rock	24.0	50	40.0	75,000	2,300	0.25	
Hard rock	25.0	80	42.0	100,000	13,000	0.23	

분기기 변형 검토구간은 본선과 차량기지 측선으로 인해 분기기 3틀이 설치되어 있으며, 분기기 1은 2개의 선로가 교차해서 생기는 다이아몬드 크로싱 및 분기기 2, 3은 일반 편개분기기로 설치되어 있다[1]. 분기기 궤도변형 분석을 위해 그림 2와 같이 다이아몬드 크로싱 분기기를 Section 1, 본선 하선 분기기를 Section 2, 본선 상선 분기기를 Section 3으로 구분하여 분석을 수행하였다[1].

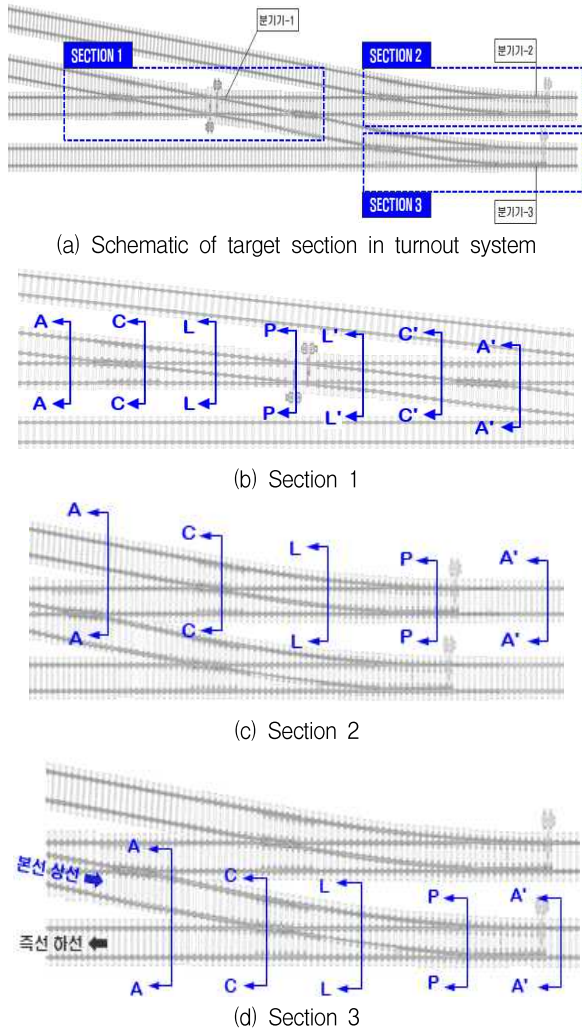
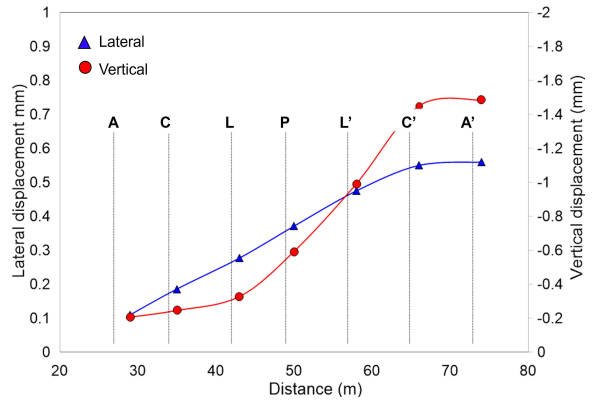


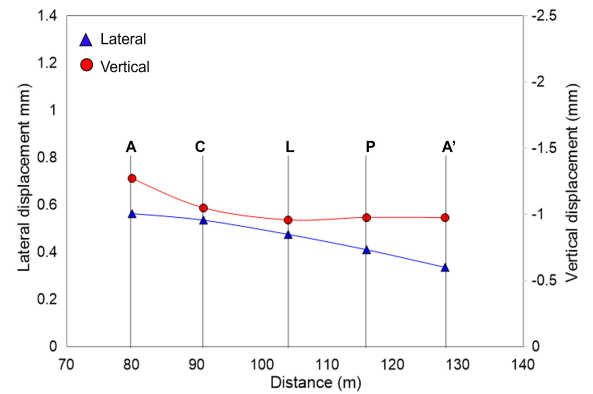
그림 2. 분기기 궤도변형 검토의 주요위치 구분
 Figure 2. Evaluation of track deformation for each major location of turnout system

다이아몬드 크로싱인 Section 1의 경우, 그림 3(a)와 같이 L'지점부터 수직 및 수평변위의 상대적 편차가 증가하는 추세로 분석되었으며 수직변위는 거리 40m 범위에서 약 1.2mm 이상의 차이가 발생되었으며 수평변위는 약 0.4mm 정도의 차이가 발생되어 수평변위 보다 수직변위가 종방향 거리에 따른 변위 편차가 큰 것으로 분석되었다.

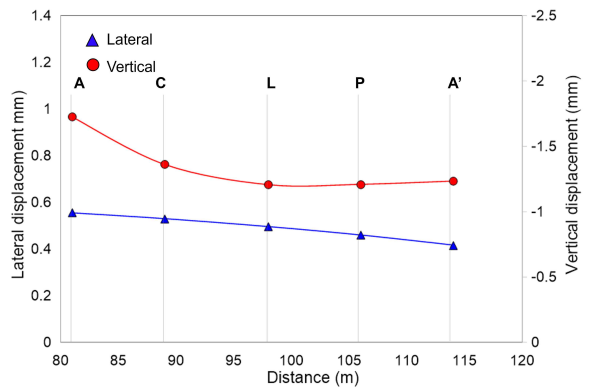
Section 2의 경우, 일반적인 편개분기기로써 그림 3(b)과 그림 3(c)와 같이 Section 2와 Section 3의 궤도 변형 경향은 유사하나 상대적으로 굴착공사 현장과 가까운 Section 3의 궤도 변형수준 다소 크게 나타났다. 또한 Section 1과 같이 거리 변화에 따른 궤도변형 발생 편차는 수직변위가 수평변위 보다 큰 것으로 분석되었다.



(a) Section 1



(b) Section 2



(c) Section 3

그림 3. 분기기 검토위치별 변형특성 분석결과
 Figure 3. Results of track deformation characteristics for each section

III. 분석 및 고찰

본 연구에서는 각 측점의 수평변위의 차의 최댓값을 분석하였으며, 최댓값 발생위치와 수치는 그림 4(a) 및 그림 4(b)와 같이 Point 35에서 약 -0.021mm로 분석되었다. 수평틀림(Cross level irregularity)은 궤간의 좌, 우측 레일의 높이의 차이를 의미한다[1].

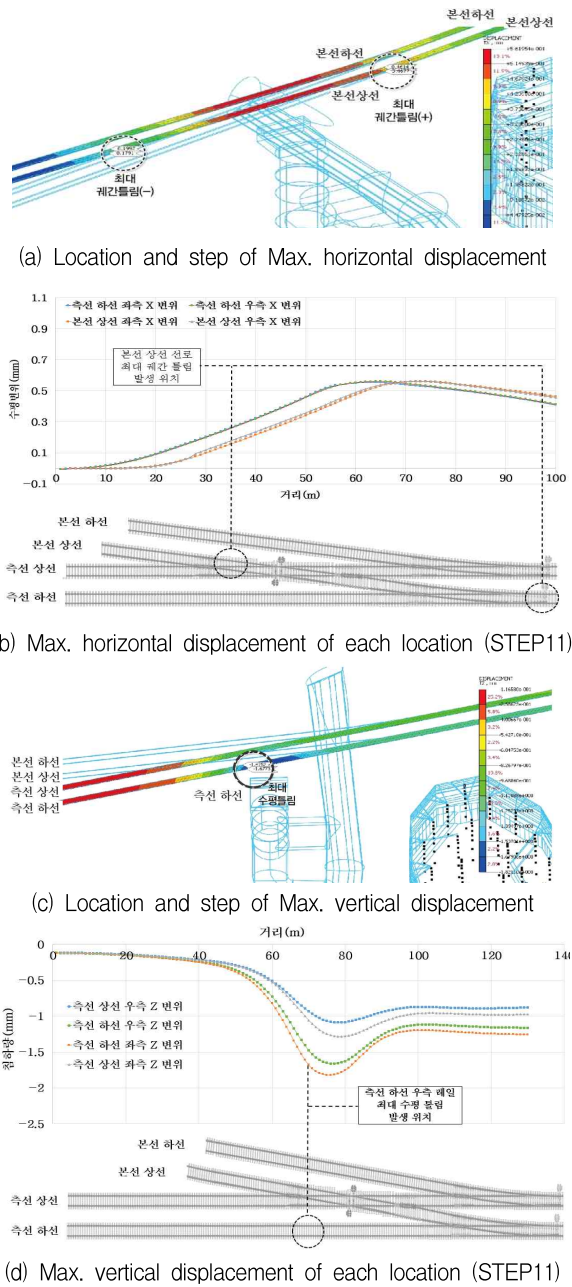


그림 4. 분기부 꺾기틀림 해석결과 (꺾기, 수평틀림)
Figure 4. Analyzed results of track irregularity of turnout (Gauge, cross level)

수평틀림은 차륜의 지지 간격과 거의 같으며 부호는 직선부에서는 시점에서 중점을 향하여 좌측레일이 기준이 되어 우측레일이 높은 경우는 (+)이고, 낮은 경우는 (-)로 한다[1]. 본 연구에서는 각 측정점의 연직변위의 차이의 최대값을 분석하였으며 최댓값 발생위치와 수치는 그림 4(c) 및 그림 4(d)와 같이 Point 70에서 약 0.0202mm로 나타났다. 면틀림(Vertical irregularity)은

레일 두부 상면의 길이 방향의 높이 차이를 의미하며, 요철면에 10m의 실을 띄워 레일 두부 상면에서의 중앙 위치에서 레일과 실과의 직각거리를 측정하여 높은 것은 (+), 낮은 것은 (-)로 한다[1]. 대상구간의 면틀림 최댓값 발생위치와 수치는 그림 5(a) 및 그림 5(b)와 같이 Point 60-70에서 약 0.855mm 발생하는 것으로 나타났다.

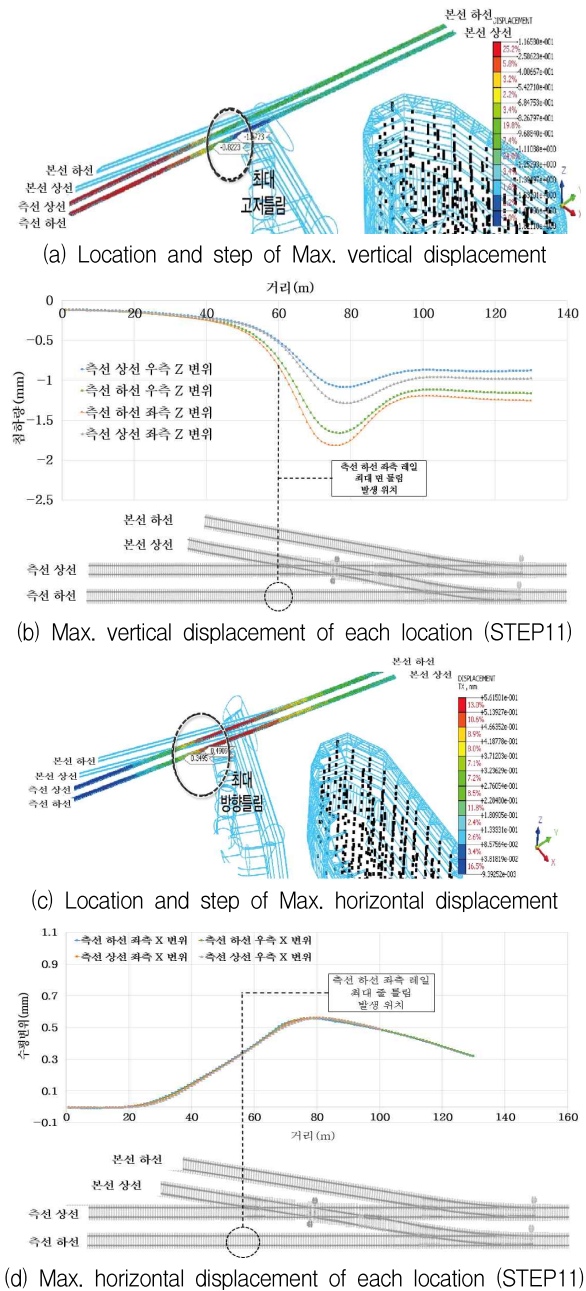


그림 5. 분기부 꺾기틀림 해석결과 (면, 줄틀림)
Figure 5. Analyzed results of track irregularity of turnout (Vertical, alignment)

줄뜸(Alignment irregularity)은 레일 측면에서 길이 방향의 불규칙한 굴곡을 의미하며, 면틀림과 같이 10m 길이의 실을 이용하여 레일 측면에서 중앙 위치의 레일과 실과의 수평 거리를 측정한다[1]. 줄뜸의 부호는 궤간이 외측으로 굴곡되어 있는 경우는 (+)로, 내측으로 굴곡된 경우는 (-)로 표기한다[1]. 대상구간의 줄뜸 최대값 발생 위치와 수치는 그림 5(c) 및 그림 5(d)와 같이 58-68번 지점에서 약 0.142mm 발생하는 것으로 나타났다.

지상부 분기기 궤도의 궤도변형(궤도틀림) 분석을 위해 수행한 3차원 수치해석결과, 대상선로에서 발생한 궤도틀림의 수준은 표 1과 같이 허용기준을 모두 만족하여 인접굴착 시공에 따른 분기기 궤도구조의 궤도변형측면에서의 안정성을 확보한 것으로 분석되었다.

표 1. 분기기 궤도틀림 분석결과
 Table 1. Evaluation results of track irregularity for turnout

Track irregularity	Location	Analyzed (mm)	Criteria (mm)
Gauge	Point 35	-0.021	+10,-2
Cross level	Point 70	0.202	7
Vertical	Point 60-70	0.855	7
Alignment	Point 58-68	0.142	7

IV. 결 론

본 연구는 도시철도에 인접하여 시행되는 굴착공사로 인한 지반 변형이 지상구간에 부설되어 운영중인 자갈도상 분기기 궤도의 변형에 미치는 영향을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

도시철도 인접굴착공사는 지하구조물뿐만 아니라 일반 토공노반상 궤도구조의 궤도변형에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 검토한 자갈도상 분기기 궤도구조는 토공노반상에 부설되어 있으며 분기기 구간의 측면에 인접하여 굴착공사가 진행된다. 분기기 위치별 궤도 변형 수준을 분석한 결과 지상구간의 경우 연직변위에 대한 영향이 상대적으로 크게 발생하였다.

굴착에 따른 지상구간의 궤도변형 검토결과, 면(고저)틀림인 연직변위가 상대적으로 크게 발생하였으나, 전체적인 변형특성은 수평방향의 변위가 지배적인 것으로 분석되었다. 이는 굴착 현장이 선로의 측면에 위치하는 측방굴착의 영향인 것으로 판단된다.

현재 발생된 궤도틀림을 바탕으로 인접굴착에 따른 추가적인 변위를 포함한 실 운행선 분기기 궤도구조의 궤도변형을 주요변형 특성이 발생하는 위치별로 중요도를 구분하여 별도의 관리가 필요한 것으로 분석되었다.

분기기의 경우 복잡한 기계부품들로 구성되어 미세한 변형에도 열차 탈선의 위험이 매우 높으므로 일반적인 궤도틀림 기준치가 아닌 인접굴착공사에 대응 가능한 별도의 분기기 궤도변형에 대한 평가 및 시공 중 계측관리를 위한 세부지침에 관한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

References

- [1] H.S. Kim, "A Study on Deformation Characteristics of Turnout System According to Adjacent Excavation", Master thesis, DongYang University, 2021.
- [2] J.Y. Choi, S.H. Kim, H.H. Lee, J.S. Chung, "Improvement of Automatic Measurement Evaluation System for Subway Structures by Adjacent Excavation", Materials, Vol. 14, No. 24, pp. 1-20, 2022. <https://doi.org/10.3390/ma14247492>
- [3] J.Y. Choi, D.R. Park, J.S. Chung, S.H. Kim, "Dynamic Wheel - Rail Force - Based Track - Irregularity Evaluation for Ballasted Track on Serviced Railway by Adjacent Excavation", Applied Sciences, Vol. 12, No. 1, pp. 1-21, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12010375>
- [4] J.Y. Choi, D.H. Ahn, S.H. Kim, "Behavior Characteristics of a Booted Sleeper Track System According to Substructure Deformation", Applied Sciences, Vol. 11, No. 10, pp. 1-16, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11104507>
- [5] J.Y. Choi, S.I. cho, J.S. Chung, "Parameter Study of Track Deformation Analysis by Adjacent Excavation Work on Urban Transit", Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 6, No.4, pp. 669-675, 2020. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.4.669>
- [6] J.Y. Choi, G.N. Yang, T.J. Kim, J.S. Chung, "Analysis of Changes in Groundwater Level according to Tunnel Passage in Geological Vulnerable Zone", Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 6, No.3, pp. 369-375, 2020. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.3.369>

- [7] J.Y. Choi, G.N. Yang, T.J. Kim, J.S. Chung, "Analysis of Ground Subsidence according to Tunnel Passage in Geological Vulnerable Zone", *Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT)*, Vol. 6, No.3, pp. 393-399, 2020. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.3.393>
- [8] J.Y. Choi, H.H. Lee, Y.S. Kang, J.S. Chung, "Evaluation of Structural Stability of Tunnel due to Adjacent Excavation on Urban Transit", *Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)*, Vol. 6, No. 2, pp. 503-508, 2020. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.2.503>
- [9] E.Y Kim, "A Study on the Influence of Turnout Track Twist from Train Operation", Master thesis, Aju University, 2017.
- [10]S.J. Oh, "A Study on the Improvement of Running Safety of Railway Vehicle passing Turnout", Ph.D. thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2012.
- [11]J. Heo, "A study on improvement of vulnerable factors in railroad turnout", Master thesis, WooSong University, 2016.