

## 궤도보수 특수궤도차량 탬퍼 모의훈련연습기의 개념설계

안승호<sup>1</sup>, 강정형<sup>2</sup>, 김철수<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>한국교통대학교 철도공학부, <sup>2</sup>한국철도공사

### A Conceptual Design on Training Simulator of the Special Railway Vehicle for Multiple Tie Tamper

Seung-Ho Ahn<sup>1</sup>, Kang-Jeong Hyung<sup>2</sup>, Kim-Chul Su<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Railroad Engineering, KNUT

<sup>2</sup>Division of Technology, KORAIL

**요약** 궤도보수용 특수궤도차량은 열차 운행동안 철도차량의 진동저감 및 승차감 향상을 위하여 다양한 궤도틀림을 조정하는 탬핑장치를 장착한다. 궤도틀림의 선형화 작업에 대한 인적 오류를 감소하기 위하여 실제 탬핑작업의 착오를 바로 확인할 수 있는 모의 훈련연습기의 개발이 중요하다. 기존 2차원 시뮬레이터의 현실성 및 훈련효과를 높이기 위하여 본 연구에서는 가상현실 공간상에서 본 특수궤도차량의 탬핑작업에 대하여 3차원 시뮬레이터 모델링을 구현하였다. 탬핑작업동안 고화질 화면 작동 시 발생하는 버퍼링 문제는 고화질 다각형 모델링에서 추출한 로우 다각형의 Unwrap UVW 매핑기법을 사용하여 해결하였다. 탬핑작업의 훈련시 발생하는 인적오류는 침목과 탬핑유니트의 탬핑타인 충돌 유무를 원과 사각형 충돌원리로 감지된다. 또한 충돌과 동시에 작업운전실 의자의 진동이 발생되며, 모의연습기 화면에 침목 타격수량이 표시되므로 훈련생의 숙달정도까지 인지하도록 제작되었다. 그리고 침목위에 튀어 오른 자갈은 차량주행 안전성 심각한 영향을 미치므로 탬핑 유니트에 자갈 튀는 효과를 적용하였다.

**Abstract** Special railway vehicles for track maintenance are equipped with a tamping device that adjusts various track trajectories to reduce the vibration of rolling stock and improve ride quality during trains passing over a track. The development of a simulator that can confirm the error of the actual tamping work is important for reducing human error in the linearization of the track misalignment. In this study, to improve the reality and training effect of conventional 2D simulator, 3D simulator modeling was implemented for tamping work of special railway vehicles in virtual space. The problem of buffering during high screen quality of tamping work was solved using the Unwrap UVW mapping technique of a low polygon extracted from high quality polygon modeling. The human error in the training of the tamping work was detected by the principle of circle and square collision when the tamping tyne and the sleeper collided. In addition, vibration of the driving chair was generated at the same time as the collision, and the number of the sleeper strikes is displayed on the simulator exercise screen. Owing to the scattering of railway ballast protruding from the sleepers, which had a serious effect on the safety of the vehicle, the gravel bouncing effect of the tamping unit was applied.

**Keywords** : Human Error, Multiple Tie Tamper, Railway Vehicle, Tamping Unit, Track Maintenance, Train Simulator

본 논문은 한국교통대학교 교내학술연구비와 국토교통부 교통물류사업과제(18TLRPC14673101)로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Chul-Su Kim(Korea National University of Transportation)

Tel: +82-31-460-0552 email: chalskim@ut.ac.kr

Received August 21, 2018

Revised October 2, 2018

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018

## 1. 서 론

국내 철도차량 종류별 운전면허는 철도안전법 시행령 [1]에 준하여 총 6종으로서, 고속철도차량, 1종 전기차량, 2종 전기차량, 디젤차량, 노면전차 및 철도장비에 관한 것이다. 면허 취득을 위한 모의운전연습기(driving simulator)[2]는 실제와 유사한 가상의 선로조건 및 운전선도에 따라 다양한 운전 숙련도를 높이도록 제작된 장비이다.

한편, 철도 궤도(track)의 유지보수를 위한 궤도보수용 특수철도차량(special railway vehicle for multiple tie tamper, MTT)은 열차의 승차감 개선을 위하여 궤도 운행동안 궤간 틀림(gauge irregularity), 수평틀림(cant irregularity), 고저틀림(vertical irregularity), 횡방향틀림(lateral irregularity) 등을 모니터링하면서 동시에 궤도의 균형작업을 자동적으로 수행하는 해외 수입 장비차량이다[3]. 면허 취득/훈련에 관한 모의운전연습기는 최초 구매 시 도입한 단순한 2차원 화면상에 선로 보수작업 시 반복적인 탬핑(tamping)훈련 기능만을 재현하는 수준이다. 이 연습기는 탬핑작업 시 자갈 튀는 영상과 단조로운 색상, 침목타격 시 무진동과 무음으로 인하여 훈련생의 운전 현실감을 얻기가 힘들다. 따라서 특수 철도차량 운전에 대한 생동감 있는 교육훈련 효과를 증가하기 위해서는 3차원 궤도보수용 특수철도차량 모의운전연습기의 개발이 필요하다. 또한, 궤도틀림의 선형화 작업에 대한 인적 오류를 감소하기 위하여 실제 탬핑작업의 착오를 바로 확인할 수 있는 모의 운전연습기의 개발이 중요하다.

국내 교통수단별 모의운전연습기의 기존연구는 대부분 자동차 중심으로 다양한 동적 거동을 모델링하였다 [4~6]. 김만호[5] 등은 실시간 운전 특성 모니터링 시스템을 위한 차량환경 개발연구를 수행하였다. 최영일[6] 등은 자동차 시뮬레이터의 현실감 향상을 위하여 실시간 렌더링에 효과적인 모델링방법을 제시하였다. 그러나 국내 선로보수 차량에 관한 모의 운전연습기는 고가의 수입장비로서, 관련 연구가 매우 미비한 실정이다.

본 연구에서는 궤도보수용 특수철도차량 모의운전연습기 개발의 첫 단계로서, 가상 현실공간상에서 다양한 궤도 틀림상태에 따른 선로유지보수에 수행하는 탬핑(tamping)작업을 모사할 수 있는 모의연습기를 개념 설계하고자 한다.

## 2. 특수철도차량 모의운전연습기

### 2.1 특수철도차량의 탬핑장치

궤도보수시 탬핑작업 후 침목 위의 자갈은 Fig. 1과 같이 철도차량 주행시 비산 현상을 발생 시켜 차량 저부에 손상을 주거나 레일 파손의 위험한 원인이다. 따라서 철도차량의 안전한 주행을 위하여 특수철도차량의 탬핑작업에 대한 정확한 훈련이 중요하다. Fig. 2는 궤도보수용 특수철도차량 탬핑장치의 일례를 나타낸 것이다. 본 차량은 약 1.5km/h 운행속도로 다양한 궤도 틀림을 펜듈럼 조정장치(pendulum adjustment)에서 측정하면서 탬핑작업을 동시에 수행하는 선로유지보수용 특수철도차량이다. 여기서 탬핑(tamping)장치는 탬핑타인(tamping tyne)의 상하 1회 작동시 전동기(motor) 35Hz 진동을 이용하여 2정의 침목 사이에 자갈(ballast) 틈새를 균일하게 분포시킨다. 참고로 Fig. 3은 특수철도차량 탬핑장치의 구성품 및 기능 설명도이다.



Fig. 1. Damage of track facilities due to scattering of railway ballast on the sleepers

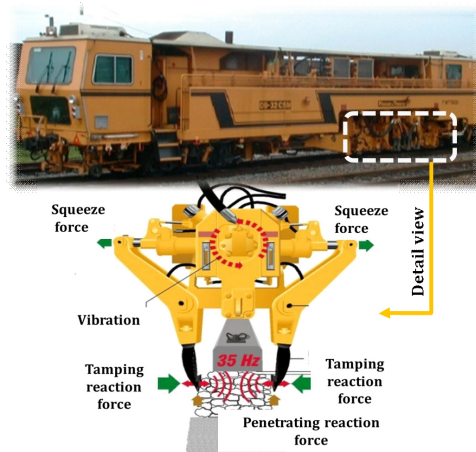


Fig. 2. Special railway vehicle for multiple tie tamper

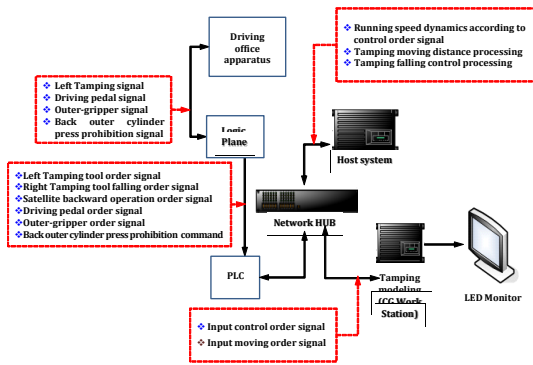


Fig. 3. Schematic diagram of tamping system for MTT

### 2.2 특수철도차량의 모의운전연습기

Fig. 4는 기존 국내 궤도보수용 특수철도차량 모의운전연습기의 2차원 그래픽 영상 일례이다. 기존 연습기는 그림에서 보는 바와 같이 탬핑 장치와 궤도를 구별하기 어렵고, 원기둥/구/육면체형상에 대하여 2차원 모델링함으로써 입체감이 부족한 시스템이다. 또한 훈련자가 탬핑작업 시 자갈 튀는 현상과 작업 실수로 인한 침목타격시 충격(진동/소리)을 전달받지 못하므로 탬핑 작업의 유효성을 인식하기 힘들다.

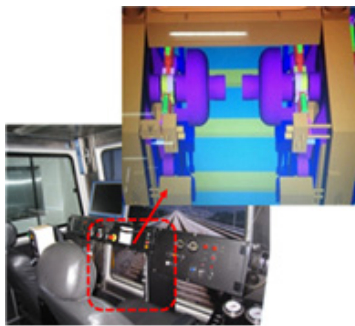


Fig. 4. A conventional MTT driving simulator

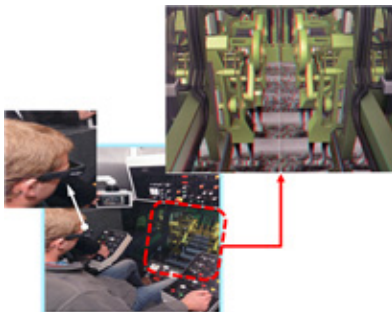


Fig. 5. European MTT driving simulator

Fig. 5는 유럽 MTT특수차량 모의운전연습기 사례이다. 이는 Fig. 4와 비교할 때, 2차원 영상 한계를 극복하고자 3차원 안경을 이용하여 침목과 탬핑장치에 대한 입체감 있는 영상으로 구현된 것이다. 그럼에도 불구하고 훈련생은 거리감 부족에 따른 조작패널(Panel)의 현실감을 경험하기 힘들다. 또한 이 연습기는 자갈 튀는 현상과 침목타격시 훈련생에게 전달되는 충격감을 인식할 수 없으므로 이의 숙련도 향상에 큰 도움을 받지 못한다. 따라서 기존 특수철도차량 탬핑장치에 대한 비효율적인 실습교육의 질을 향상하기 위해서는 가상현실공간에서 탬핑작업의 현장감을 높일 수 있는 3차원 모의운전연습기 개발이 필요하다.

## 3. 개념설계

### 3.1 탬핑장치의 3차원 모델링

Fig. 6은 특수철도차량 탬핑장치 모의운전연습기에 대한 3차원 하이 폴리곤 모델링(3D high polygon modeling)일례이다. 이 기법은 대상체를 선으로 연결하여 형태를 만들고, 표면의 형상을 이미지로 변환 후 선으로 연결된 면에 입히는 방식이다. 그러나 현실감 있는 정밀한 맵(map)을 추출하기 위하여 본 기법은 고성능컴퓨터의 장시간 사용이 불가피하다. 또한 고용량의 파일에 따른 버퍼링(buffering) 발생으로 인하여 탬핑장치의 빠른 응답/동작 구현이 어렵다. 이에 대한 시간과 비용의 문제를 해결방안으로서, 본 연구에서는 Fig. 7과 같이 추출한 맵(map)을 로우 다각형(low polygon)의 Unwrap UVW 매핑기법으로부터 탬핑장치의 3차원 모델링을 완성하였다.

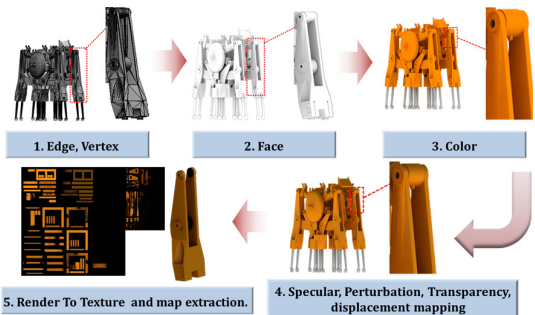


Fig. 6. High Polygon Modeling

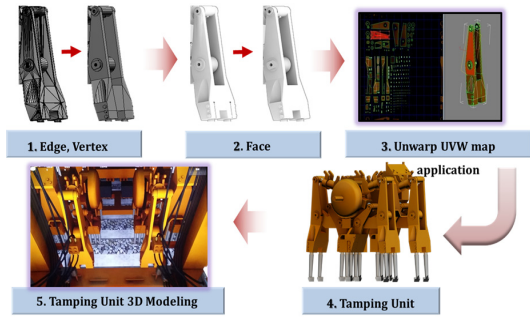


Fig. 7. Low polygon map

### 3.2 탬핑작업의 인적오류 검지 기법

탬핑작업과정에서 훈련자 인적오류로 인한 침목과 탬핑타인사이 충돌을 검지하기 위해서 본 연구에서는 원과 사각형 충돌원리를 활용하였다.

Fig. 8은 탬핑작업동안 침목과 탬핑타인사이의 충돌 검지로부터 차량정지까지 알고리즘 흐름도를 나타낸 것이다. 그림에서  $r1$ 은 충돌처리 기준 대상물의 반지름,  $r2$ 는 충돌처리 대상물의 반지름,  $C$ 는 충돌처리 대상들의 원과 원의 중심거리,  $ac$ 는 충돌처리 기준 대상을 축에 투영한 중심점,  $Ac$ 는 충돌거리 대상을 축에 투영한 중심점,  $a1$ 은 충돌처리 기준 대상을 축에 투영한 최소값,  $a2$ 는 충돌처리 기준 대상을 축에 투영한 최대값,  $A1$ 은 충돌처리 대상을 축에 투영한 최소값,  $A2$ 는 충돌처리 대상을 축에 투영한 최대값이다. 본 훈련연습기의 충돌 검지는 크게 총 4단계로 나눈다. 먼저 첫 번째 단계는 충돌처리 대상물을 선택하는 것으로서, 충돌 처리 대상물은 침목과 지형으로 제한한다. 기준 대상물은 처음부터 순차적으로 하나씩 선택된다. 두 번째 단계는 선택된 기준 대상물과 대상물을 가상의 원으로 가정하고, 각 원의 중심간의 거리로부터 충돌여부를 판단하는 것이다. Fig. 9(a)는 원과 원사이에 충돌 시의 기법에 대한 설명도이다. 원 중심거리( $C$ )가 두 원의 반지름 합 ( $r1+r2$ )보다 크면 충돌로 인식한다. 세 번째 단계는 사각과 사각의 충돌로서, Fig. 9(b)와 같이 두 사각형 X, Y축 투영 길이가 겹치면 발생한다. 네 번째 단계에서는 요소망 충돌(mesh collision) 함수의 처리방법이다. 각 대상물의 요소망에서 하나의 평면을 가정하고, 식 (1)의 평면 방정식을 각각 생성한다.

$$Ax + By + C_1z + D = 0 \quad (1)$$

여기서,  $A$ 는 평면에 법선벡터의 축값,  $B$ 는 평면에 법선 벡터의 축값,  $C_1$ 는 평면에 법선벡터의 축값,  $D$ 는 상수 값을 나타낸다. 식 (1)로부터 두 개의 평면중 하나의 평면에서 다른 하나의 평면 외곽선과 겹침 유무를 판단한다. 각 대상물에 대한 평면도형의 선분들과 두 도형의 중심거리보다 작거나 같다면 충돌로써 처리한다.

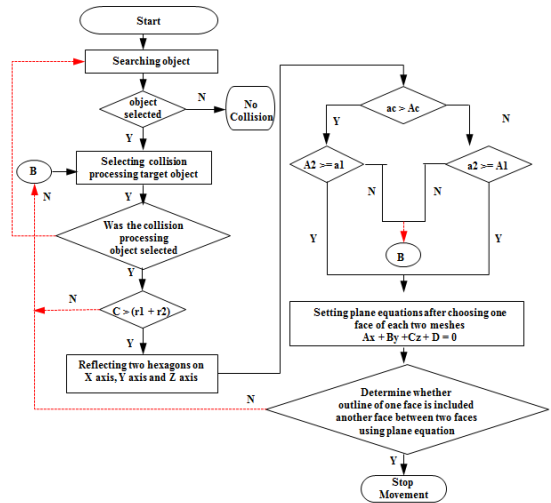


Fig. 8. Flowchart from collision detection between sleepers and tamping tyne to movement stopping of the vehicle

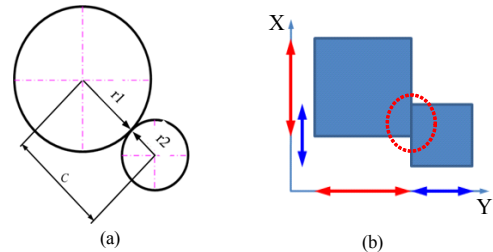


Fig. 9. Principle of crash among circles and squares

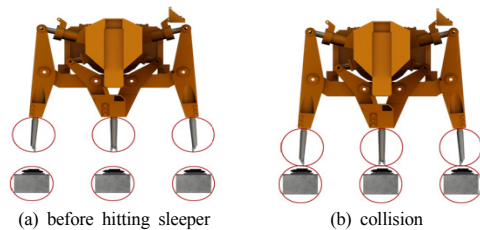


Fig. 10. Inspection of two circles collision



Fig. 10은 탬핑작업 시 탬핑타인의 침목충돌과정을 모사한 그림을 나타낸 것이다. 제작된 대상물을 감싸고 있는 가상의 박스는 기준 대상물(탬핑 타인)과 대상물(슬리퍼)을 감싸는 최소 원의 반지름으로부터 계산한다. 두 물체(타인과 슬리퍼)는 가상원으로 처리하고, 원과 원 사이에 충돌할 경우에 이의 가상원을 삭제한다. 또한 가상의 사각형으로도 처리되어 Fig. 9(b)에 대한 충돌여부를 판단함으로써, 연산처리의 과도한 부하를 방지한다. 이러한 침목타격 검출 기법은 침목과 탬핑타인 타격 시 음향효과와 함께 작업자의 의자에서 침목타격에 따른 진동을 감지된다. 또한 모의연습기 화면에 침목 타격수량이 표시되므로 훈련생의 숙달정도까지 인지하도록 설계하였다.

### 3.3 탬핑작업시 자갈튀는 영상과 동적효과

침목위에 튀어 오른 자갈은 Fig. 1과 같이 열차 주행 동안 차체하부에 충돌하거나 선로주변 안전시설물과 레일두부 상면에 비산하므로 차량주행의 안전성에 심각한 영향을 미친다. 따라서 탬핑 작업동안 자갈이 튀는 효과는 열차 안전운행에 중요한 영향을 미치므로 특수철도차량 모의훈련연습기에 고려하는 것이 필요하다.

Fig. 11은 탬핑 작업동안 선로 주위 자갈 튀는 효과를 모의연습기 화면에 적용한 사례이다. 자갈 튀는 효과는 탬핑타인의 하강 직후에 상승시 발생하며, 충돌지점의 좌표 기준으로 360°중에 임의의 방향으로 이동하도록 표현하였다. 이의 이동경로는 x축 방향 이동거리 값은 식(2)에서 결정되며, y축 방향 이동거리 값은 식(3)으로 결정된다.

$$X_v \times T = X \text{ 축방향 거리} \quad (2)$$

$$[Y_v - (g \times T)] \times T = Y \text{ 축방향 거리} \quad (3)$$

여기서,  $X_v$ [m/s] 는 종방향 이동속도,  $Y_v$ [m/s] 는 횡방향 이동 속도,  $g$ [m/s<sup>2</sup>] 은 중력가속도,  $T$ [sec] 는 화면갱신 시간이다.

탬핑 작업동안 이동 애니메이션(motion animation)을 자연스럽게 구현하기 위하여 본 연습기는 화면갱신동안 현 위치정보로부터 속도변환 화면을 구현하였다. 본 장치의 현재 이동속도( $V$ )는 식 (4)와 같이 현재와 이전 위치와 시간정보로부터 얻는다.

$$(X - Y) / (T_x - T_y) = V \quad (4)$$

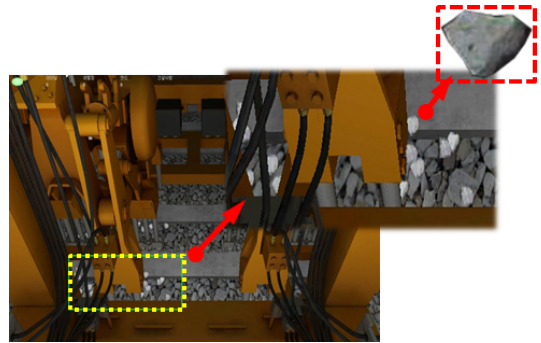


Fig. 11. An example of scattering of railway ballast

여기서,  $X$ 는 현재 위치값이고,  $Y$ 는 이전 위치값이며,  $T_x$ 는 현재 위치 값( $X$ )에서 시간,  $T_y$ : 이전 위치 값( $Y$ )에서 시간이다. 그리고 화면 갱신 단위시간에 따른 본 장치의 화면 갱신당 이동량(은 식 (4)의 현재 속도로부터 식(5)에 의하여 얻는다.

$$V \times T = Z \quad (5)$$

본 연습기의 화면 갱신은 1초에 60번이며, 이로부터 화면 갱신 시간은 약 0.0167초이므로 화면이 자연스럽게 동적효과를 얻었다.



(a) Full type simulator



(b) Sleeper hitting due to human error

Fig. 12. New simulator of tamping system for MTT

Fig. 12는 MTT 특수철도차량 탬핑장치 모의운전연습기의 화면을 개발 완성된 그림이며, 그림에서 보는 바와 같이 탬핑작업에 대한 현실감 있는 3차원영상 및 음향을 모의운전연습기에 탑재하였다. 이로부터 기존 대비 본 연구에서 제작한 탬핑장치 모의훈련 연습기의 특징비교는 Table 1과 같다. 본 기기의 훈련생은 정상작업인 경우에 자갈 튀는 영상 및 음향으로 인식할 수 있고, Fig.12 (b)와 같이 인적오류에 의한 침목을 강타 시 타격음향과 함께 훈련생 의자의 진동을 감지한다. 따라서 본 3차원 연습기는 Fig. 4와 5의 기존모델보다 실질적인 훈련을 통하여 탬핑작업의 인적오류를 보다 빨리 인지하므로 숙련도를 향상 할 수 있다.

**Table 1.** Comparison of existing type and 3D new type work-images

Section	existing type	new-type(3D)
Tool	-	3DMAX, Photoshop
Program	Delphi	C#
Engine	-	UNITY3D
Rendering	[OpenGL] Easy application to other OS, not only window OS	[DirectX] Fast process with optimized hardware of PC to DirectX
Animation	Apply location information from Logic box	Application time information from Logic box's location data to speed information
Modeling	[geometry Modeling] Producing with basic modeling data like cylinder, ball and box. Difficult to make the same with real model.	[Polygon Modeling] Producing directly with face, edge, vertex. Possible to make the same with real model.
Render To Texture	-	Produce maps to match in modeled data's face respectively
Mapping	-	[UVW Mapping] Mapping according to modeled data's Polygon [Unwrap UVW] Mapping according to modeled data's face respectively
Crash	-	Oriented Bounding Box
Effect	-	Apply a natural animation effect to tamping work, where gravel moves up.

## 4. 결론

본 연구는 궤도보수용 특수철도차량 모의운전연습기에 대한 기초설계로서, 가상 현실공간상에서 다양한 궤도 틀림상태에 따른 선로유지보수에 수행하는 탬핑작업을 모사할 수 있는 모의연습기를 개념설계하였다.

1. 본 탬핑 모의훈련 연습기 설계 시 효과적인 고화질 애니메이션을 위하여 고화질 다각형 모델링에서 추출한 로우 다각형의 Unwrap UVW 매핑기법으로부터 탬핑장치의 3차원 모델링을 완성하였다.
2. 특수차량의 탬핑작업 시 인적오류 발생을 감소시키기 위하여 침목과 탬핑유니트의 탬핑타인 충돌유무를 원과 사각형 충돌원리로 감지하였다. 또한 충돌과 동시에 작업운전실 의자의 진동이 발생되며, 모의연습기 화면에 침목 타격수량이 현시되므로 훈련생의 숙달정도까지 인지하도록 제작되었다.
3. 침목위에 튀어 오른 자갈은 차량주행 안전성 심각한 영향을 미치므로 탬핑유니트에 자갈 튀는 효과를 적용하였다. 탬핑타인 하강 후 상승 시 자갈이 튀게 되어 실제와 동일한 3차원영상을 구현하고, 충돌이 일어난 지점의 좌표를 기준으로 360°중에 임의로 지정한 방향으로 일정한 속도로 이동하도록 설계하였다.

본 훈련연습기는 기존 모델보다 현실감 있는 영상과 음향으로 탬핑작업의 인적오류 부담경감과 동시에 숙련도 향상을 도모할 수 있다.

## References

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Railway Safety Law; Enforcement Ordinance", p.1-3, 2018.
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Railway Safety Law; Enforcement Regulation", p.1-3, 2013.
- [3] KORAIL HRD Center, "MTT Driving Practice Material", KORAIL, 2014.
- [4] S. W. Kim, S. O. Ki and S. S. Kim, "Test of Vision Stabilizer for Unmanned Vehicle Using Virtual Environment and 6 Axis Motion Simulator", Transact. of KSME(A) vol. 39, no. 2, pp. 227-233, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2015.39.2.227>
- [5] M. K. Kim, J. W. Son, Y. T. Lee and S. H. Shin, "Development of Vehicle Environment for Real time Driving Behavior Monitoring System", Journal of the Ergonomics Society of Korea, Vol. 29, No. 1 pp. 17-24, 2010.

DOI: <http://doi.org/10.5143/JESK.2010.29.1.017>

- [6] Y. I. Choi, S. J. Kwon, S. Jang, K. H. Kim, K. Y. Cho and M. W. Seo, "A Study on Improving the Reality of the Vehicle Simulator Based on the Virtual Reality", Transact. of KSME(A) vol. 28, no. 8, pp. 1162-1124, 2004.

**안 승 호(Seung-Ho Ahn)**

[정회원]



- 1981년 3월 ~ 1996년 2월 : 철도청 근무
- 2004년 2월 : 한양대학교 일반대학원 기계공학과 졸업(공학박)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도공학부 교수

<관심분야>

철도운전 및 안전

**김 철 수(Chul-Su Kim)**

[정회원]



- 2002년 8월 : 한양대 일반대학원 기계설계학과 졸업(공학박)
- 2008년 3월 ~ 현재 국토해양부 철도기술 심의위원, 철도운영기관 자문위원 등
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도공학부 교수

<관심분야>

철도차량설계, 철도차량RAMS

**강 정 형(Kang-Jeong Hyung)**

[정회원]



- 2015년 2월 : 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과(공학석사)
- 2011년 11월 ~ 2015년 7월 : 한국철도공사 인재개발원 특수차량 교관
- 1999년 2월 ~ 현재 한국철도공사 특수차량 유지보수 총괄
- 2013년 ~ 현재 : 철도차량안전면허 출제위원

<관심분야>

특수철도차량, 선로유지보수