전 차륜 조향 시스템 전자 제어 장치의 스윙 아웃 억제 알고리즘 개선에 대한 연구

이 호 겐¹⁾ · 정 기 현^{*1)} · 최 경 희²⁾

아주대학교 전자공학과¹⁾ · 아주대학교 정보컴퓨터공학부²⁾

A Study of an Improvement of Swing-out Suppression Algorithm of an All Wheel Steering Electronic Control Unit

Hyo-geol Lee¹⁾ · Ki-hyun Chung^{*1)} · Kyung-hee Choi²⁾

¹⁾Department of Electronics Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

²⁾Department of Information & Computer Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

(Received 16 December 2011 / Revised 13 November 2012 / Accepted 15 February 2013)

Abstract : All-wheel steering (AWS) system is applied to articulated vehicles to reduce turning radius. The swing-out suppression algorithm is applied to AWS ECU, a key component of AWS system. The swing-out suppression algorithm applied to AWS ECU has a problem when velocity of vehicle is changed. In this paper, new algorithm based on moving distance that solve velocity problem is proposed. The HILS simulation and the test articulated bus is used to validate algorithm.

Key words : All wheel steering(전 차륜 조향), ECU(전자 제어 장치), Steering system(조향 장치), Swing-out(회전 반경), Algorithm(알고리즘)

1. 서 론

저상 굴절 차량은 차체가 낮고, 차체가 2량 이상 연결되어 있어 선회 시 차체가 굴절되는 차량이다. 저상 굴절 차량은 안전한 주행을 위해 전 차륜 조향 시스템이 필요하다. 저상 굴절 차량은 차량의 길이가 길기 때문에, 앞 차륜에 의한 전통적인 조향 방식을 사용할 경우 차량의 회전반경이 커져 국내 도로 여건에 맞지 않게 되며, 차량이 정거장에 진입 시 긴 차체를 정거장에 동시에 밀착시키기 어려워 정밀 정차가 어려워지는 문제점이 발생한다.¹⁾ 2축 차량과 3축 차량을 포함한 전 차륜 조향 시스템을 사용할 경우 후륜을 전륜의 조향 방향과 반대로 조향하는 역위상 모드를 사용하여 회전 반경을 줄일 수 있

으며, 후륜이 전륜과 같은 방향으로 조향하는 동위상 모드를 사용하여 정거장 진입 시 정밀 정차가 가능해진다.²⁾

전 차륜 조향 장치(AWS: All Wheel Steering) 전자 제어 장치(ECU: Electronic Control Unit)는 전 차륜 조향 시스템을 제어하는 전자 제어 장치이다. 전 차륜 조향 시스템은 전자 제어 장치, 유압 액추에이터, 조향 링크로 구성된다. 전자 제어 장치는 전륜 조향각, 굴절각, 차속에 따라서 유압 액추에이터를 제어하고, 액추에이터에 연결된 조향 링크에 의해 후륜이 조향된다.²⁾

굴절 차량과 같이 굴절 장치가 있고 2량 이상 편성된 차량은 후륜을 제어하기 위하여 기존 승용차를 제어 방법과는 다른 제어 방법을 도입해야 하며, 이를 위하여 가상 고정 축을 사용한 알고리즘이 제

*Corresponding author, E-mail: khchung@ajou.ac.kr

Fig. 1 Bicycle model of bimodal tram vehicle

안되었다.³⁾

3)에서 2륜과 3륜의 조향각을 Fig. 1의 굴절 차량의 자전거 모델에서 유도된 기하학적 관계로부터 계산하였다. 2, 3축의 조향각은 (1)과 (2)에 의해 계산된다. 조향각 계산을 위한 파라메타 값은 Table 1과 같다.

$$\delta_2 = -\tan^{-1} \left(\frac{P_1 \times \tan \delta_1}{w_1 - P_1} \right) \quad (1)$$

$$\delta_3 = -\tan^{-1} \left(\frac{P_2 \times \tan \alpha}{w_2 - P_2} \right) \quad (2)$$

굴절 차량의 전 차륜 조향 시스템은 곡선 구간 주행 시 회전 반경 감소를 위하여 1량 후륜과 2량 후륜이 곡선 구간의 바깥 쪽으로 조향되도록 하기 때문에, 1량의 후방부나 2량이 곡선 구간 진입 시 곡선 구간의 바깥 쪽을 향하는 방향으로 차선을 벗어나

Table 1 Parameter for steering angle calculation

변수	설명	값
α	Articulation Angle	-
δ_1	Axle1 steering angle	-
δ_2	Axle2 steering angle	-
δ_3	Axle3 steering angle	-
w_1	Wheel base between axle 1 and axle 2	7700 mm
w_2	Distance between axle 3 and articulation point	6385 mm
P_1	Distance between body1 virtual rigid axle and axle2	2300 mm
P_2	Distance between body2 virtual rigid axle and axle3	2000 mm

는 스윙 아웃(swing-out) 현상이 발생하는 문제점이 있다. 이 현상으로 인하여 다른 차선의 차량과 충돌 위험이 있으며, 굴절 차량의 안전성을 위하여 스윙 아웃을 최소화하는 알고리즘이 필요하다.

3)에서 제안된 알고리즘을 바탕으로 전 차륜 조향 장치 전자제어장치가 개발되었으며,⁴⁾ 안전을 위하여 스윙 아웃 최소화 알고리즘을 사용하여 후륜을 조향하게 된다.

4)에서 사용된 스윙 아웃 최소화 알고리즘은 차량의 속도로부터 시간을 계산하여 동작하는 방식을 사용하기 때문에 속도 변화 시에 후방 조향각 산출에 문제가 발생한다. 잘못된 후방 조향각 산출로 인하여 불필요한 유압 제어가 발생하게 되고, 차량이 잘못된 방향으로 진행할 가능성이 있다. 본 연구에서는 누적 이동 거리를 기반으로 동작하는 알고리즘을 사용하여 속도 변화 시에 후방 조향각 산출 문제가 발생하는 것을 해결하였다.

전 차륜 조향 장치 전자 제어 장치의 실제 차량 주행을 위하여 진단 프로그램이 개발되었다.⁵⁾ 진단 프로그램은 차량 특성에 따라 전자 제어 장치의 설정 값을 변경하고 전자 제어 장치의 동작 상태를 점검할 수 있는 기능을 가지고 있으며, 전자 제어 장치의 주행 데이터를 기록할 수 있는 기능을 가지고 있다.

전 차륜 조향 장치 전자 제어 장치의 실차 장착 시험을 위하여 시험선과 시험 차량이 구축되었으며, 개발된 전 차륜 조향 장치 전자제어장치를 시험 차량에 장착하여 동작을 확인하였다.

본 연구에서는 기존 스윙 아웃 최소화 알고리즘에 대하여 분석하고, 이동 거리에 따른 스윙 아웃 최소화 알고리즘을 제안하였다. 또한 HILS 환경에서 주행 데이터를 재현하는 시뮬레이션 프로그램을 작성하여 제안된 알고리즘을 검증하였고, 시험선에서 주행 시험을 통하여 실차 적용 가능성을 확인하였다.

2. 스윙 아웃 최소화 알고리즘

2.1 알고리즘 필요성

굴절 차량의 전 차륜 조향 시스템은 곡선 구간 주행 시 회전 반경 감소를 위하여 1량 후륜과 2량 후륜이 곡선 구간의 바깥 쪽으로 조향되도록 하기 때문

에, 1량의 후방부나 2량이 곡선 구간 진입 시 곡선 구간의 바깥쪽을 향하는 방향으로 차선을 벗어나는 스윙 아웃 현상이 발생하는 문제점이 있다. 또한 곡선 구간에서 관성으로 인하여 스윙 아웃 현상이 더욱 커지는 문제점이 있다.

스윙 아웃 현상으로 인하여 옆 차선 혹은 반대 차선의 차량과 충돌 위험이 있으며, 굴절 차량의 안전성을 위하여 스윙 아웃을 최소화하는 알고리즘이 필요하다.

2.2 이동 거리를 이용한 알고리즘

4)에서 설명한 알고리즘 중 하나로 전 차륜 조향 장치 전자 제어 장치에서 차량이 움직인 거리를 바탕으로 조향의 지연 정도를 결정하여 스윙 아웃을 억제하는 방법이 있다. 알고리즘은 Table 2의 조건에서 시작된다.

Table 2의 조건을 만족하면 후륜 조향 각을 0°로 유지한다. Table 3의 조건을 만족하면 후륜 조향을 시작한다.

Table 2 4) Start condition of algorithm

- 전륜 조향 각이 일정 각도(5°) 보다 작을 경우
- 위 상황에 있는 시간이 지정된 시간(0 ms) 만큼 지났을 경우

Table 3 4) End condition of algorithm

- 전륜 조향 각이 일정 각도(5°) 보다 큰 경우
- 일정 거리(2 m) 이상 차량이 이동했을 경우

2.3 시간을 이용한 알고리즘

4)에서는 차량이 움직이고 있으며 전륜 조향 각이 일정 범위를 벗어나기 시작하는 시점에서부터 일정 시간의 지연을 가진 후 전륜 조향각(δ)과 속도(V)에 의해 계산된 목표 조향 각(δ_s)까지 점차로 증가시켜 가면서 후륜을 조향하도록 하는 방식을 사용하여 스윙 아웃을 억제하고 있다.

전 차륜 조향 장치 전자제어장치의 스윙 아웃 최소화 알고리즘에서 V_{start} (후방측 조향 시작 여부), V_{end} (후방측 조향 종료 여부) 조건 변수를 사용한다. V_{start} 는 이전에 알고리즘에 진입했었는지를 검사하

고, V_{end} 는 후방측 조향 완료 여부를 검사하는데 사용된다.

전 차륜 조향 장치 전자제어장치의 스윙 아웃 최소화 알고리즘은 차속이 0 Km/h보다 크고, 전륜 조향 각이 특정 범위 안에 존재하며, V_{start} 가 0인 경우 시작된다.

스윙 아웃 최소화 알고리즘에 처음 진입한 경우 (V_{start} 가 0인 경우), V_{start} 를 1로 설정하고 V_{end} 를 0으로 설정하며 타이머를 시작한다. 스윙 아웃 최소화 알고리즘을 시작하면, 차속으로부터 후방측 조향 시작 시간(T_{ds})과 스윙 아웃 종료 시간(T_{de})을 결정한다.

Fig. 2 Swing out suppression algorithm by time

스윙 아웃 최소화 알고리즘이 시작된 후 알고리즘에 진입 하면 타이머로부터 현재 시간을 확인하고, 현재 시간(T)이 T_{ds} 보다 작은 경우 후륜 조향각을 0°로 유지한다. T 가 T_{ds} 보다 크고 T_{de} 보다 작은 경우, 후륜을 (3)과 같이 조향한다.

$$\delta_s = \delta * \left(\frac{T - t_{ds}}{T_{de} - T_{ds}} \right) \quad (3)$$

T 가 T_{de} 보다 큰 경우 V_{end} 를 1로, V_{start} 을 0으로 설정하여 알고리즘을 빠져나간다.

2.4 문제점

전 차륜 조향 장치 전자 제어 장치의 알고리즘은 시간을 기반으로 동작하고 있고, 시간을 차량의 속도로부터 계산하기 때문에 속도 변화에 취약해지는 문제점이 있다. 전 차륜 조향 장치 전자 제어 장치의 알고리즘의 경우 지연 시작 시간과 지연 종료 시간이 현재 속도에 따라 결정되므로, 지연 시작 전 요구 조향 각을 결정하는 부분과 (3)이 적용되는 구간에서 속도 변화에 취약해진다.

예를 들어 알고리즘 적용 조건으로 주행 중 속도가 빨라진다면 실제 스윙 아웃 억제가 덜 적용된 상태로 빠르게 뒤축이 조향될 수 있다. 반대로 알고리즘 적용 조건으로 주행 중 속도가 느려진다면 후륜이 이전 요구 조향 각으로 계산되어 부정확하게 조향될 수 있다.

실제로 시험선에서 주행 시 속도 변화에 따라 문제가 발견되었다. Fig. 3은 시험선에서 시험 차량에 전 차륜 조향 장치 전자 제어 장치를 장착하고 진단 프로그램을 사용하여 측정한 데이터이다. 속도는 ECU가 encoder의 출력 값을 통해서 인식한 실제 속도이며, 이후 Fig. 8, 9, 10도 encoder로 인식한 실제 속도이다. 이 데이터에서는 시간 93초 부근에서 스윙 아웃 최소화 알고리즘이 적용되는 도중 차속이 감소하여 후륜이 이전 요구 조향 각으로 적용된 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3에서 본래 요구 조향각에서 반대 방향으로 약 2° 정도로 조향되었다. 이것은 최대 후륜 조향각 $\pm 18^\circ$ 의 약 5%에 해당하며, 요구 조향각 오류로 인하여 조향 오차가 5%정도 발생한 것으로 볼 수 있다.

전 차륜 조향 시스템의 전자 제어 장치는 정확한 후륜 제어가 필요하며, 부정확한 요구 조향각으로 인해 발생하는 불필요한 후륜 유압 제어는 제거되어야 한다. 또한 속도가 올라갈 수 록 실제 주행 궤적에서 오차가 발생할 가능성이 있으므로, 시간을 기반으로 한 알고리즘은 수정이 필요하다.

2.5 추가 요구 사항

2.4의 문제점과는 별개로, 시간 기반 알고리즘의 경우 곡선 구간에서 정차 시의 동작이 명확히 정의되지 않았다. 따라서 추가적으로 곡선 구간 정차 시 Table 4의 조건을 만족해야 한다.

Fig. 3 Steering angle problem result from speed changes

Table 4 Requirement of swing out suppression algorithm on corner

1. 곡선 구간에서 정지 시 기준의 조향 각을 유지해야 한다.
2. 곡선 구간에서 전자 제어 장치가 재 시작된 경우 스윙 아웃 최소화 알고리즘이 적용되면 안 된다.

Table 4의 조건 1은 굴절 차량이 스윙 아웃 최소화 알고리즘이 적용 중인 조건에서 곡선 구간에 정지했을 경우에 조향 각이 유지되지 않으면 다음 출발 시 곡선 구간을 이탈할 수 있으므로 필요하다.

Table 4의 조건 2는 굴절 차량이 곡선 구간에서 전자 제어 장치가 재 시작된 경우에 후륜 조향 각이 0°로 바뀌게 되므로 스윙 아웃 최소화 알고리즘이 적용될 경우 곡선 구간을 이탈할 수 있으므로 필요하다. 굴절 차량의 시동을 켜다가 다시 켜서 전자 제어 장치가 재 시작된 경우에 유압 시스템의 특성으로 인하여 후륜 조향 각이 0°로 바뀌게 되는데, 이 경우에 스윙 아웃 최소화 알고리즘이 적용되면 이동 경로에 문제가 발생하게 된다.

2.6 제안 방법

속도 변화로 인한 문제점을 해결하기 위해서는 속도를 기준으로 시간을 계산하는 것이 아니라 이동 거리에 기반하여 알고리즘을 적용해야 한다. 이동 거리에 기반하는 알고리즘의 경우 누적된 이동 거리에 따라서 후륜 조향 각을 계산하므로, 속도 변화에 따른 문제가 발생하지 않는다.

또한 기존 알고리즘의 문제점을 보완하는 것에 더불어 기존 알고리즘에서 고려되지 않았던 2.5의

Fig. 4 Improved swing out suppression algorithm

곡선 정차 시의 요구사항(Table 4)도 만족해야 한다.

Table 4의 조건 1은 이동 거리에 기반하여 스윙 아웃 최소화 알고리즘을 적용 시킬 경우, 정지 여부와 상관없이 누적 이동 거리에 따라 조향 각이 결정되므로 문제가 발생하지 않는다.

Table 4의 조건 2는 전자 제어 장치 초기 시작 시 곡선 구간을 판단하여 곡선 탈출 시에는 스윙 아웃 최소화 알고리즘이 적용되지 않도록 해야 한다. 이

것은 곡선 구간에서 전자 제어 장치가 재시작된 경우, 전자 제어 장치 초기 시작 시에 곡선 구간을 지나고 있었는지 판단할 필요가 있다. 따라서 초기 시작 시에 곡선 구간을 지나고 있었는지 판단하여 알고리즘 상태를 조정한다.

이동 거리를 기반으로 하여 문제점을 보완한 알고리즘의 흐름도는 Fig. 4, 5와 같다. 이 알고리즘은 4)의 이동 거리를 이용한 스윙 아웃 최소화 알고리

Fig. 5 Distance ratio calculation in improved swing out suppression algorithm

즘과 유사하다.

개선된 알고리즘은 초기 시작 시 전방측 조향각을 바탕으로 곡선 탈출 여부를 판단한다. 전자 제어 장치가 재시작된 경우, 이전에 곡선 구간을 지나고 있었는지 알 수 있는 절대적인 방법이 없으므로, 전자 제어 장치 초기 시작 시 전방측 조향각이 일정 각도 이상 회전된 경우를 이전에 곡선 구간을 지나고 있었던 것으로 추정한다. 곡선 탈출에 해당하는 경우에는 이동 거리 비율이 1이 되도록 조정을 하여 곡선 구간에서 출발 시에 스윙 아웃 최소화 알고리즘이 적용되지 않도록 한다. 여기서 이동 거리 비율은 Fig. 5의 이동 거리 비율로서, 이동 거리 비율이 1이 되도록 조정한다는 것은 알고리즘을 적용하지

Table 5 Major parameter for improved swing out suppression algorithm

	설명	기본값
Param1	알고리즘 적용 전방 조향각	5 °
Param2	적용 시작 거리	2.0 m
Param3	알고리즘 발동 시작 횟수	0 회
Param4	적용 완료 거리	6.0 m

않겠다는 것이며, 임시 후방측 조향각을 바로 후방측 조향각으로 사용하게 된다.

전방측 조향각이 일정 횟수(param3) 이상 param1 이하로 유지되면 알고리즘 발동 조건이 만족된다. 알고리즘 발동 조건이 만족되면 차속이 0 km/h 이거나 전방측 조향 각이 param1 이하인 동안에는 후방측 조향각을 0°로 유지한다. 이 조건을 벗어나면 알고리즘 발동 조건이 해제된다.

알고리즘 발동 조건이 해제되고 전방측 조향각이 param1 이상인 경우 이동 거리를 계산하고, 이동 거리가 param2 이상인 경우 임시 후방측 조향각과 이동 거리 비율을 바탕으로 후방측 조향각을 산출한다.

이동 거리 비율은 지연 이후 이동 거리를 바탕으로 계산된다. 초기 시작 시 곡선 탈출로 판단된 경우, 비율이 1이 되도록 한다. 지연 이후 이동 거리는 param2를 기준으로 계산되며, 지연 이후 이동 거리와 param4를 기준으로 최종 이동 거리 비율을 계산한다.

알고리즘에 사용된 parameter에 대한 설명과 기본 설정 값은 Table 5와 같다.

2.7 시뮬레이션

전 차량 조향 장치 전자제어장치의 테스트를 위하여 Hardware In the Loop System(HILS) 환경의 전 차량 조향 장치 전자제어장치 테스트 플랫폼을 구성하였다. 테스트 플랫폼은 전 차량 조향 장치 전자제어장치, 유압 시스템, 조향 장치를 포함한 하드웨어와 신호 입력을 위한 소프트웨어로 나뉘어 있다.

제안한 알고리즘의 타당성을 시험하기 위하여 HILS 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위하여 시험선의 실차 주행 데이터를 HILS 환경에서 재현하기 위한 시뮬레이션 프로그램을 작성하였다. 이 프로그램은 실차 주행 시험 때 측정된 주행 데이터를 HILS에서 다시 재현할 수 있는 프로그램이다.

Fig. 6 Test platform for all-wheel driving ECU

Fig. 7 Program to simulate driving data

이 프로그램은 전 차륜 조향 장치 전자 제어 장치의 진단 프로그램을 통하여 수집된 주행 데이터를

Fig. 8 Simulated driving data result by previous algorithm

HILS 환경에서 다시 재현할 수 있다. 이를 위하여 XTR power,⁶⁾ NI-DAQ,⁷⁾ AWS, AWS Power에 대한 Perl⁸⁾ 클래스를 작성하였다.

이 프로그램의 흐름도는 Fig. 7과 같다.

Fig. 8, 9는 주행 데이터 재현 시뮬레이션을 통하여 HILS 환경에서 재현된 주행 데이터이고, 문제가 발견되었던 Fig. 3의 주행 데이터를 재현한 것이다.

Fig. 8은 기존 알고리즘을 사용하여 재현된 주행 데이터인데 Fig. 3에서와 같이 속도 변화 부분인 시간 30초 부근에서 후륜 조향각의 이상을 발견할 수 있다. Fig. 9는 이동 거리를 기반으로 개선된 알고리즘을 사용하여 재현된 주행 데이터인데, Fig. 8과는 다르게 속도 변화 부분에서도 후륜 조향각에 이상이 발견되지 않음을 확인할 수 있다.

Fig. 9 Simulated driving data result by improved algorithm

Fig. 10 Test track driving data by improved algorithm

Fig. 11 Test track driving data in trace of wheel by improved algorithm

2.8 실차 시험

제안한 알고리즘의 실차 적용 가능성을 확인하기 위하여 실차 장착 시험을 하였다. 굴절 차량의 실차 시험을 위하여 시험선과 시험 차량이 구축되었다.

시험선은 두 개의 곡선 구간과 최대 40km/h 속도를 낼 수 있는 직선 구간으로 이루어져 있으며, 하나의 정거장이 설치되어 있다.⁹⁾ 시험 차량은 4)의 차량과 동일한 2량 3차축으로 구성되어 있다.

Fig. 10은 전 차륜 조향 장치 전자 제어 장치에 개선된 알고리즘을 적용하여 시험선에서 측정한 주행 데이터이다. 앞축 각도가 30°까지 도달하는 구간이 곡선 구간으로 40 ~ 130초와 200 ~ 250초 구간에서 각각 곡선 구간을 통과하게 된다. 앞축 각도가 0°에서 유지되는 구간이 직선 구간이다. 정거장은 직선 구간에 설치되어 있으며, 175초의 속도가 0이 된 지점에 정거장이 설치되어 있다.

스윙 아웃 최소화 알고리즘은 앞축 각도가 param1 보다 커지는 조건으로부터 시작된다. Fig. 10의 120초와 200초 부근에서 앞축 각도가 param1 보다 커지게 되어 알고리즘이 시작되었고, 속도가 변화한 것을 확인 할 수 있다. 이 조건에서 후륜 조향각에 이상이 발생하지 않음을 확인할 수 있으며, 알고리즘이 시작된 후 속도가 변화된 조건에서 정상적으로 동작한다.

Fig. 10의 75 ~ 100초 사이에서 곡선 구간을 통과하는 도중 속도가 0이 되어 정지한 것을 확인할 수 있다. 이 조건에서 후륜 조향각이 -10°로 유지되는 것을 확인할 수 있으며, Table 4의 조건 1을 만족한다.

Fig. 11은 Fig. 10의 주행 데이터를 기반으로 시작 시점에서 전륜 중심축을 (0, 0)으로, 후륜 중심축을 (-7700, 0)으로 하여 궤적을 표시한 것이다. 이것은 시험 차량의 전륜과 후륜 사이의 거리가 7700 mm인 것을 바탕으로 한다. 위에서 언급한 120초와 200초 부근에서 스윙 아웃 최소화 알고리즘으로 인하여 뒤축이 늦게 따라오는 것을 확인 할 수 있다.

2.9 위급 상황 시의 동작

스윙 아웃 최소화 알고리즘 적용으로 인하여 위급 상황 등에서 후륜 조향 반응이 늦게 되어 위험하다고 생각될 수 있다. 하지만 저상 굴절 차량은 차체가 2량으로 구성되어 있어서 위급 상황 등에서 후륜 조향각을 빠르게 변화시키면 차량 굴절부와 굴절부에 연결된 2량이 요동을 치게 되므로 더 위험해 질 수 있다.

실제로 전 차륜 조향 시스템 전자 제어 장치에서는 자체적으로 고장으로 판단되는 경우 후륜을 중앙부에 고정시켜서 후륜이 조향되지 않게 한다.

3. 결 론

본 연구에서는 전 차륜 조향 장치 전자 제어 장치에서 사용되던 경과 시간을 이용한 스윙 아웃 최소화 알고리즘의 문제를 제기하였고, 이동 거리 기반의 개선된 알고리즘을 제시하였다. 또한 제안된 알고리즘의 유효성을 검증하기 위하여 주행 데이터 재현 시뮬레이션 프로그램을 작성하여 주행 시뮬레이션 결과를 분석하였다. 제안된 알고리즘을 적용한 결과, 기존 알고리즘에서 속도 변화에 따라 발생하였던 문제가 해결된 것을 알 수 있었다. 전 차륜 조향 장치 전자 제어 장치에 개선된 알고리즘을 적용하여 시험선에서 주행 시험을 한 결과 속도 변화와 곡선 구간 정지 조건에서 문제가 발생하지 않음을 확인하였다.

본 논문에서 제안된 알고리즘은 고속 주행이나 시내 주행 등 실제 상황을 고려하여 검증하는 연구가 필요하며, 이를 통하여 전 차륜 조향 장치 전자 제어 장치의 신뢰성이 좀 더 확보될 것이다.

References

- 1) K. Kim, K. Chung, K. Choi, S. Lee, T. Park and K. Moon, "Development of the All Wheel Steering ECU for Articulated Vehicle," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.1231-1236, 2008.
- 2) S. Lee, The Development of Integrated Evaluation System for Vehicle Electronic Control Unit Based on Dynamic Performance Requirement, Ph. D. Dissertation, Ajou University, Suwon, Korea, 2009.
- 3) K. Moon, S. Lee, J. Mok and T. Park, "Development and Verification of the Steering Algorithm for Articulated Vehicles," Journal of the Korean Society for Railway, Vol.11, No.3, pp.225-232, 2009.
- 4) K. Kim, All Wheel Steering ECU Development Using Reverse Engineering Method, M. S. Thesis, Ajou University, Suwon, Korea, 2009.
- 5) H. Lee, K. Chung, K. Choi, T. Park, K. Moon and S. Kim, "Development of the All Wheel Steering ECU Diagnostic Program for an Articulated Vehicle," KIPS Spring Conference Proceedings, pp.10-13, 2010.
- 6) AMETEK Programmable Power : Programmable Power Supplies, DC Power Supplies, AC Power Sources, <http://www.programmablepower.com>, 2010.
- 7) Data Acquisition (DAQ) Hardware - National Instruments, <http://www.ni.com/dataacquisition>, 2010.
- 8) The Perl Programming Language, <http://www.perl.org>, 2010.
- 9) Y. Park, H. Yoon and R. Kim, "A Study on the Construction of Test Track for Bimodal Tram System," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.1015-1019, 2009.