

다양한 주행환경을 고려한 기준으로 평가 환경에서 V2V용 협력주행 통신장치 장착 실차 성능 평가

이 혁* · 최재훈**

The Safety Performance Test of Vehicle Equipped with V2V Device in Standard Roads Considering Various Driving Conditions

Hyok Lee*, Jaehoon Choi**

Key Words: V2V(차량간통신), Safety performance(안전성능), Test methods(평가법) BSM(기본 안전 메시지)

ABSTRACT

This paper describes in work which is currently underway to the minimum safety performance requirements and test methods of V2V based on IEEE 802.11p in vehicle level like below.

- The ranges and positions at static and driving condition of vehicle for BSM (Basic safety message)
- Various road conditions such as straight road, crossroad, slope-way

Based on this study, We will define the minimum safety performance requirements and test methods of V2V in vehicle considering various road conditions.

1. 서론

현재 세계 각국 정부에서는 자율주행자동차의 기술개발을 산업계에 맡기고 정부는 상용화 추진을 위한 지원에 집중하고 있다. 하지만 미국에서 자율주행자동차가 보행자를 치어 숨지는 사건이 발생하면서 자율주행 기술을 상대로 규제를 강화해야 한다는 의견이 강하게 제기되고 있다. 그리고 그에 따른 운전자의 생명을 보호하기 위한 안전성 확보는 결코 타협의 대상이 될 수 없기에, 안전성 검증에 위한 안전기준 제정이 시급히 요구되고 있다.⁽¹⁾ 미국은 IEEE 802.11p를 활용한 차량 통신의 의무화를 위한 안전 성능기준 FMVSS 150를 고시하였으며,⁽²⁾ 유럽은 2025년까지 V2X 관련 안전 성능을 Eu-NCAP⁽³⁾으로 평가 규제할 예정이다.

차량간 통신(V2V)에 의한 안전 시스템은 주기적으로

차량간에 기본 안전 메시지(BSM, Basic Safety Message)를 주고 받는 것으로 수행된다. BSM은 전송하는 차량의 속도, 방향, 브레이크의 상태 및 현재 좌표 등의 데이터를 포함한다. 주변 차량의 정보들은 차량의 충돌 가능성을 계산하는 데에 사용되며, 충돌 가능성이 예측되면 운전자에게 충돌 위험에 대한 경고를 한다.⁽⁴⁾

국내도 자율주행자동차의 협력 주행 성능 확보를 위하여 V2V 통신기기의 안전 성능 기준과 평가방법이 필요한 시점이다. 이에 본 논문에서는 V2V 통신기반 안전 시스템에서 사용되는 BSM 내 데이터 요소들을 이용하여 다양한 도로 환경을 고려한 V2V OBU가 탑재된 차량에 대한 안전성 시험 방법 개발에 관한 연구 내용을 기술하였다.

2. 협력주행 통신장치 장착 실차 평가 환경

2.1. 평가 대상차량 및 수신 지점의 셋업환경

Fig. 1과 같이 협력주행 통신장치를 장착한 대상차량

* 한국자동차연구원, 책임연구원

** 한양대학교, 교수

E-mail: choijh@hanyang.ac.kr

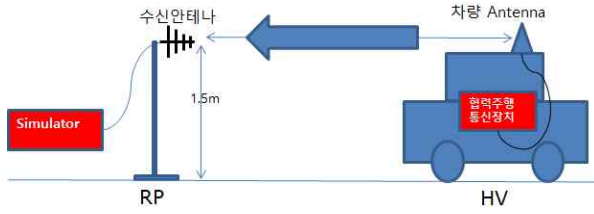


Fig. 1 Configuration of Test Set-up

HV(Host vehicle)에서 송신하는 BSM을 평가 기준 지점인 RP(Receiving Point)에서 수신할 수 있도록 시뮬레이터를 통하여 측정환경을 구성한다. 이때 대상 차량과 수신 지점 또는 원격 차량 사이에 장애물이 없이 시야가 확보되도록 한다.

BSM은 차량 상태 및 특정 요구 사항과 관련된 안전 데이터를 교환하여 다양한 안전 시나리오에 사용되는 메시지로 정의하고 있다.⁽⁵⁾

대상 차량(HV)은 자동차에 설치된 협력주행 통신장치에 전원을 공급되는 상태에 있어야 하며, BSM을 전송할 수 있도록 자동차 점화 스위치를 작동 상태로 하거나 마스터 컨트롤을 작동상태로 한다. 또한, 자동차에 설치된 협력주행 통신장치의 GNSS 수신기가 위치정보를 수신할 수 있도록 충분한 시간을 갖도록 한다.

수신 지점(RP)은 BSM을 수신할 수 있는 시뮬레이터에 BSM을 수신할 수 있도록 전원을 지속적으로 공급되는 상태에 있어야 하며, 차량 간 통신 주파수의 수신이 가능한 안테나가 동축케이블로 연결되어 있어야 하며, 전파 방해가 없는 재질의 삼각대 또는 스탠드를 사용하여 도로 면에서 1.5m 높이에 위치한다.

이때, RP에서 측정되는 수신신호의 세기는 식 (1)과 같이 계산할 수 있으며, -92dBm 이상의 수신신호에서 PER (Packet Error Rate) 성능 확보가 가능하다. 본 논문 평가에 사용된 지향성 안테나 이득은 4dBi, 차량용 안테나는 전방향 최대이득은 5dBi, 송수신단 케이블 감쇄는 5dB, 5,950MHz에서 300m 자유공간감쇄는 97.5dB로서, 300m에 차량 전방향에 관한 식 (1)에 따른 수신신호 세기는 73.5dBm 이 될 것이다.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{rx} + G_{tx} - L_{air} - L_{rxcable} - L_{txcable} \quad (1)$$

2.2. 대상차량 평가를 위한 기준으로 시험장 환경

직선로 시험장은 대상차량(HV)의 양 옆 2개 차선을 포함하여 앞 뒤 모두 최소 300m의 가시거리가 확보되는 직선도로 시험장으로서 수신지점으로부터 100m~300m

주행 구간에서 60km/h의 속도가 확보가능 해야 한다.

교차로 시험장은 대상차량(HV)의 양 옆 2개 차선을 포함하여 앞 뒤 모두 최소 120m의 가시거리를 가지며, 도로 교차지점 중심으로부터 대상차량까지 최소 100m, 도로 교차지점 중심으로부터 수신지점까지 최소 55m의 가시거리가 확보되는 교차 도로 시험장으로서 120m의 주행 구간에서 60km/h의 속도가 확보가능 해야 한다.

경사로 시험장은 6.8°와 11.3°의 경사각과 최소 30m 거리의 경사로로 정의한다.

근거리 시험장은 대상차량(HV)의 중심으로부터 양 옆, 앞뒤 방향에 3m의 가시거리를 가지며, 대상차량의 중심으로부터 10m 이내에 높이 1m 이상의 장애물이 없는 야외 시험장 또는 대상차량의 중심으로부터 최소 6m 이상 거리가 확보되는 실차 진입이 가능한 실내 무반사실이 가능하다.

2.3. 평가 항목과 적합 기준

평가 항목은 기준으로 시험장 환경에서 정적시험과 동적시험으로 진행하며 평가 환경 별 성능 적합 기준은 Table 1에 따른다.

Table 1 Requirement of Rx signal

평가환경	성능 적합 기준
직선로, 교차로	회당 PER < 10%
근거리, 경사로	회당 평균 RSSI > -70dBm

3. 협력주행 통신장치 장착 실차 평가 항목

협력주행 통신장치를 장착한 자동차의 차량 간 성능을 평가하기 위해 차량이 정차되어 있는 정적 평가 4가지와 이동 차량에 대한 동적 평가 2가지를 시험한다. 평가는 한국교통안전공단 자동차안전연구원에서 구축한 K-city 및 다양한 표준 도로 환경에서 진행되었다.⁽⁶⁾

3.1. 정적평가

정적 평가는 대상 차량이 수신 지점으로부터 일정 거리가 이격된 상태에서 상황에 따른 방향별 수신 특성을 확인하는 평가 과정이다.

3.1.1. 원거리 직선로 정적 평가

원거리 직선로 정적 평가는 수신 지점과 거리 300m

지점에 정차되어 있는 대상 차량에 장착되어 있는 협력 주행 통신 장치에서 송출되는 BSM을 수신 지점에서 수신 상태를 확인하는 평가 과정이다. 평가는 차량 상태가 Fig. 2와 같이 정방향, 역방향, 옆방향(좌측), 옆방향(우측)의 4가지 경우에 대해 진행한다.

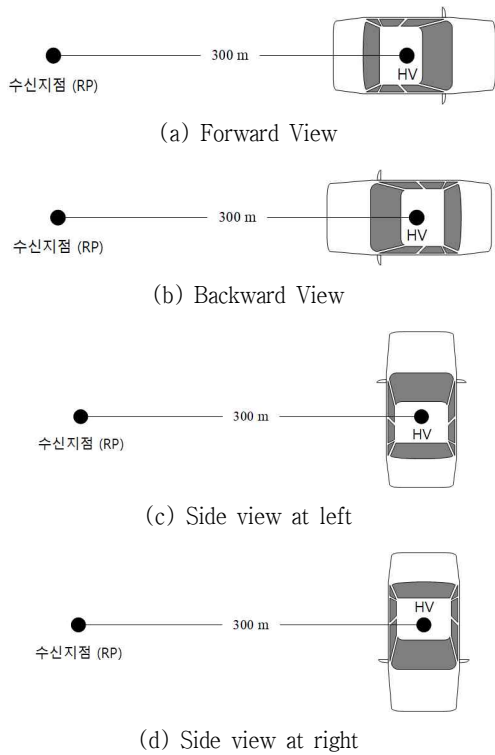


Fig. 2 Scenario #1 - straight road test

3.1.2. 근거리 정적 평가

근거리 정적 평가는 대상 차량에 장착되어 있는 협력 주행 통신 장치에서 송출되는 BSM을 대상 차량의 주변 3m 거리가 이격된 8 방향에 위치한 수신 지점에서 수신

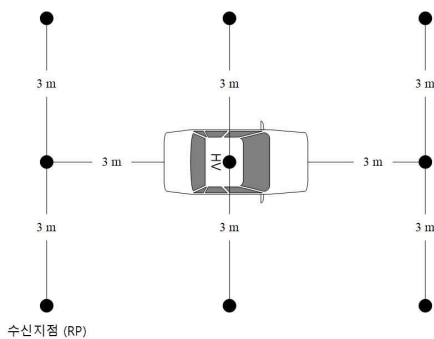


Fig. 3 Scenario #2 - Surrounding point Test

상태를 확인하는 평가 과정이다. 평가는 수신 지점이 Fig. 3과 같이 차량 전후좌우 4 방향과 차량의 4 모서리 방향을 포함하여 총 8 방향에 대해 진행한다.

3.1.3. 교차로 정적 평가

교차로 정적 평가는 교차로에서 20m(근거리)와 55m(원거리) 두 지점에 위치한 수신 지점을 기준으로 교차로를 가로지르는 방향의 각 지점에 정차되어 있는 대상 차량에 장착되어 있는 협력주행 통신장치에서 송출되는 BSM을 두 수신 지점에서 각각 수신 상태를 확인하는 평가 과정이다. 평가는 대상 차량이 Fig. 4와 같이 교차로 이전 100m, 50m, 20m 지점과 교차로 통과 후 20m 지점까지 4 지점에서 진행되며, 왕복 차선으로 진행하면 총 8 지점이다.

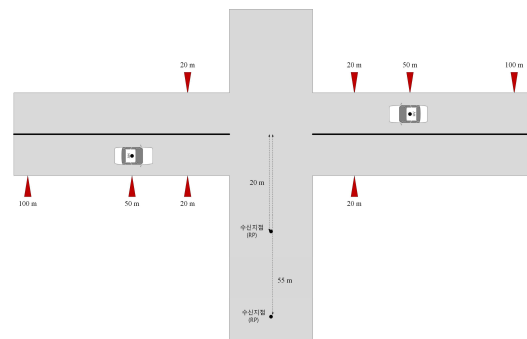


Fig. 4 Scenario #3 - crossroad test

3.1.4. 경사로 정적 평가

경사로 정적 평가는 경사각이 6.8°와 11.3°를 갖는 두 경우의 경사로에 정차되어 있는 대상 차량에 장착되어 있

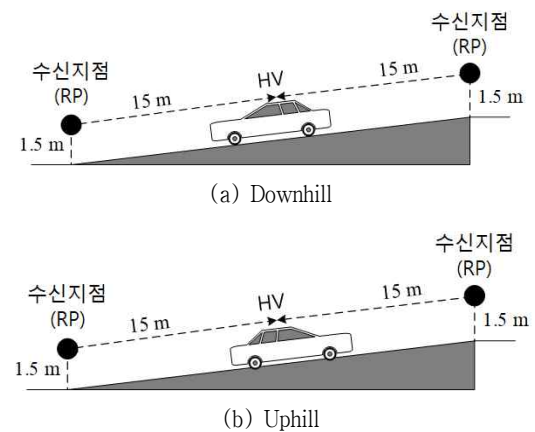


Fig. 5 Scenario #4 - slope way test

는 협력주행 통신장치에서 송출되는 BSM을 15m 거리에 위치한 수신 지점에서 수신 상태를 확인하는 평가 과정이다. 평가는 Fig. 5(a)와 같이 경사로를 내려가는 방향의 정차 상태와 Fig. 5(b)와 같이 경사로를 올라가는 방향으로 정차한 상태에서 진행한다.

3.2. 동적 평가

동적 평가는 대상 차량이 평균 시속 60km/h의 속도로 이동할 때 수신 지점에서 수신 특성을 확인하는 평가 과정이다.

3.2.1. 직선로 동적 평가

직선로 동적 평가는 수신 지점과 거리 100m와 300m 지점 사이 200m 구간을 평균 60km/h의 속도로 이동하는 대상 차량에 장착되어 있는 협력주행 통신장치에서 송출되는 BSM을 수신 지점에서 확인하는 평가 과정이다. 평가는 Fig. 6과 같이 대상 차량이 수신 지점에서 멀어지는 동일 차선 상황과 수신 지점과 가까워지는 반대 차선 상황에서 진행된다.

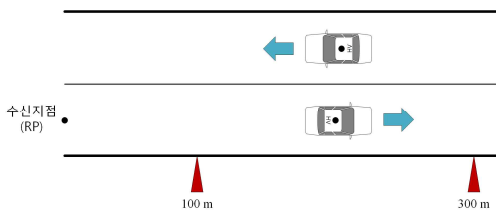


Fig. 6 Scenario #5 - straight road test

3.2.2. 교차로 동적 평가

교차로 동적 평가는 교차로에서 20m와 55m 두 지점에 위치한 수신 지점을 기준으로 교차로를 가로지르는 방향으로 평균 60km/h의 속도로 이동하는 대상 차량에 장착되어 있는 협력주행 통신장치에서 송출되는 BSM을 수신 지점에서 확인하는 평가 과정이다. 평가는 Fig. 7과 같이 교차로 통과 전 100m 지점에서 교차로 통과 후 20m까지 120m 거리를 이동하는 대상 차량에 장착되어 있는 협력주행 통신장치에서 송출되는 BSM을 두 수신 지점에서 각각 수신 상태를 확인하는 평가 과정으로 왕복 차선에 대해 반복된다.

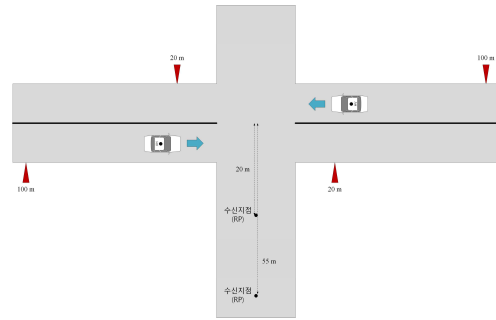


Fig. 7 Scenario #6 - crossroad test

4. 협력주행 통신장치 장착 실차 평가 결과

4.1. 정적 평가 결과

4.1.1. 원거리 직선로 정적 평가

300m 직선로에 정차되어있는 대상 차량의 4방향에 대한 평가 결과는 Fig. 8과 같다. 100개의 BSM을 10회씩 송수신 결과 대상차량의 전면부와 후면부의 수신신호 세기는 -70~72dBm으로 식 (1)으로 계산된 결과와 유사하다. 측면부는 -81dBm으로 PER은 100%로 측정되어 성능 적합 기준을 만족한다.

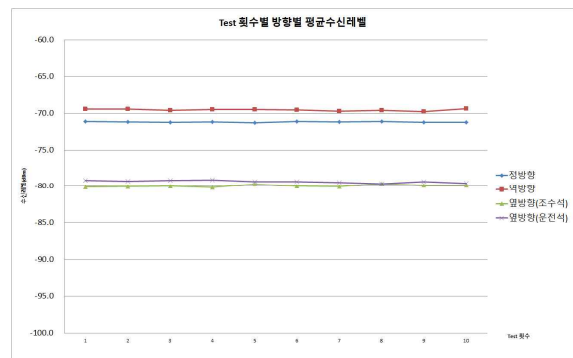


Fig. 8 Scenario #1 results

4.1.2. 근거리 정적 평가

정차되어있는 대상 차량의 3m 거리에서 8 방향에 대한 평가 결과는 Fig. 9와 같다. 100개의 BSM을 10회씩 송수신 결과 수신신호 세기는 -53dBm 이상으로 측정되어 성능 적합 기준을 만족한다

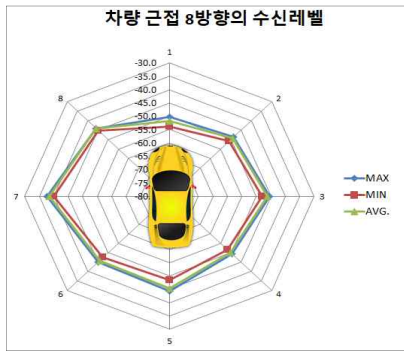
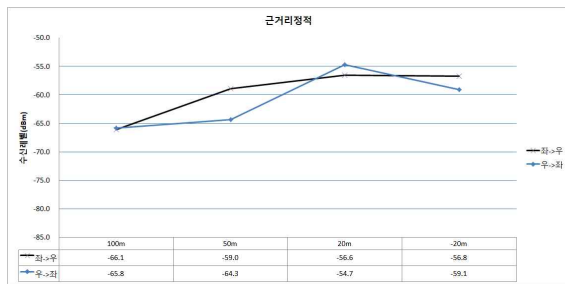


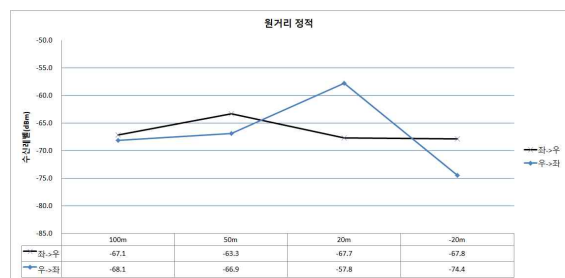
Fig. 9 Scenario #2 results

4.1.3. 교차로 정적 평가

교차로에서 20m(근거리)와 55m(원거리) 두 지점에 위치한 수신 지점을 기준으로 교차로를 가로지르는 방향의 각 지점에 정착되어 있는 대상차량에 대한 평가 결과는 Fig. 10과 같다. 100개의 BSM을 10회씩 송수신 결과 수신신호 세기는 -75dBm 이며, 측면부는 -82dBm으로 PER은 100%로 계측되어 성능 적합 기준을 만족한다.



(a) 20 m

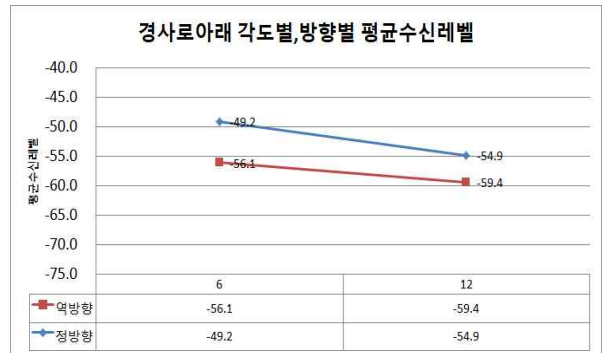


(b) 55 m

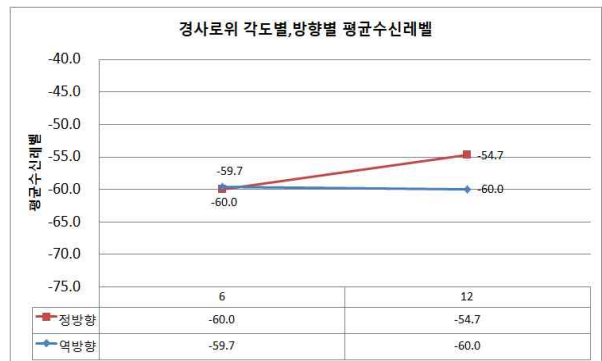
Fig. 10 Scenario #3 results

4.1.4. 경사로 정적 평가

경사로 아래에서 경사각도별, 차량의 전방 후방 방향에



(a) Down position



(b) Upper position

Fig. 11 Scenario #4 results

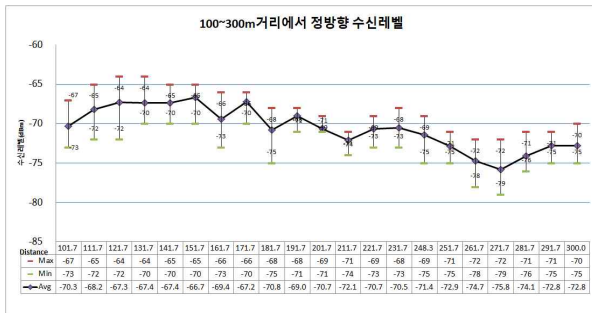
대한 평가결과와 경사로 위에서 평가 결과는 각각 Fig. 11과 같다. 100개의 BSM을 10회씩 송수신 결과 수신신호 세기는 경사각 6.8°보다 11.3°에서 최대 5.5dB 낮게 계측이 되었지만, 모든 경우에 -60dBm 이상으로 계측되어 성능 적합 기준을 만족한다.

4.2. 동적 평가 결과

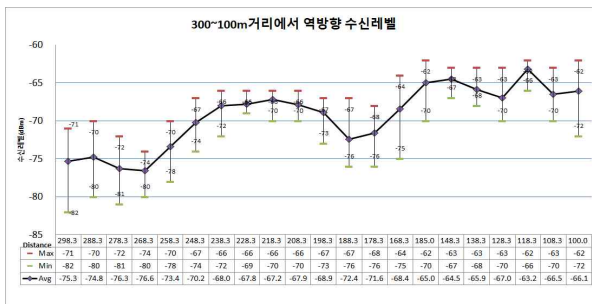
4.2.1. 직선로 동적 평가

직선로 동적 평가는 수신 지점과 거리 100m와 300m 지점 사이 200m 구간을 평균 60km/h의 속도로 이동하는 대상 차량에 대하여 동일 차선에서 정방향으로 멀어지는 경우와 옆차선에서 역방향으로 다가오는 경우 평가결과는 Fig. 12와 같다. 120개의 BSM을 10회 송수신한 결과 수신신호 세기는 -81dBm에서 -60dBm 사이의 분포로 계측되었으며, PER은 99.9%로 계측되어 성능적합 기준을 만족한다.

다양한 주행환경을 고려한 기준도로 평가 환경에서 V2V용 협력주행 통신장치 장착 실차 성능 평가



(a) Forward



(b) Backward

Fig. 12 Scenario #5 results

을 고려한 V2V 협력통신장치(OBU)가 탑재된 차량에 대한 안전성능 평가법 개발에 관한 연구 내용을 기술하였다. 시험 환경은 직선거리 300m 지점에 방향별로 정차되어 있는 차량 환경, 정차되어 있는 차량 주변의 8방향 3m 지점 환경, 교차로에서 각 거리별 지점에 정차되어 있는 차량 환경, 경사로에 정차되어 있는 차량 환경 등의 정적 평가와 직선 도로 환경과 교차로 환경에서 평균 60km/h의 속도로 주행하는 차량에 대한 동적 평가로 구성되었다. 시험은 각 평가 환경에 따른 V2V OBU의 BSM 통신 결과를 확인하고, 이를 바탕으로 V2V OBU의 안전 성능을 검증할 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서 검토된 도로 환경은 주로 평지 중심의 평균적인 도로 환경으로 도심 주변 환경에 적합한 환경들이다. 하지만 국내와 같이 산지가 많고 도농 구분이 명확한 지형의 경우는 보다 다양한 평가 환경이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다. 안전 성능의 경우 어떠한 환경에서도 V2V 통신이 유지되어야 하기 때문에 테스트 환경과 실제 운행 환경 간의 편차를 줄이기 위해 추후 보다 많은 시료와 더 많은 케이스에 대한 시험이 필요하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 국토교통부 도심도로 자율협력주행 안전·인프라 연구 사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다 (과제번호 19PQOW-B152473-01).

참고문헌

- (1) 윤용원, 2018. 봄호, “자율주행자동차 국제기준 제정을 위한 안전기준 동향”, 국토교통과학기술진흥원 소식지, Vol. 10, pp. 6~13.
- (2) Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS), No. 150; V2V Communications, Federal Register, Vol. 82, No. 8, Jan. 12, 2017.
- (3) Euro NCAP 2025 Roadmap, in pursuit of vision zero.
- (4) 김인수, 박재홍, 이은영, 이은덕, 신재곤, 김대원, 2017, “V2V 기본 안전 메시지 데이터의 유효성 검증”, 자동차안전학회지, Vol. 9, No. 2, pp. 33~39.
- (5) NHTSA, “Interoperability Issues of Vehicle-to-Vehicle Based Safety Systems Project (V2V-Interoperability) Phase 1 Final Report”, Apr. 2014.
- (6) <http://www.kotsa.or.kr>

4.2.2. 교차로 동적 평가

교차로에서 20m(근거리)와 55m(원거리) 두 지점에 위치한 수신 지점을 기준으로 교차로의 120m구간을 가로지르는 대상차량에 대한 평가 결과는 Fig. 13과 같다. 70개의 BSM을 10회씩 송수신 결과 수신신호 세기는 -81 dBm에서 -55dBm 사이의 분포로 예측되었으며, PER은 99.9%로 예측되어 성능 적합 기준을 만족한다.

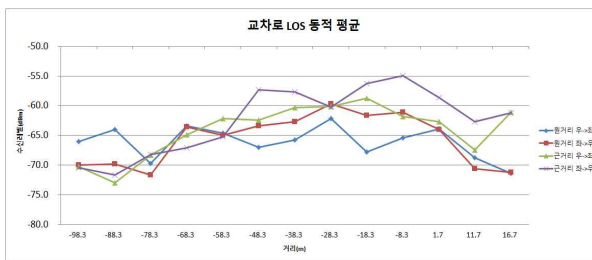


Fig. 13 Scenario #6 results

4. 결 론

본 논문에서는 V2V 통신기반 안전 시스템에서 사용되는 BSM 내 데이터 요소들을 이용하여 다양한 도로 환경