

승용차 ABS의 하이드로릭 유닛, 센서, 컴퓨터에 관련된 트라이볼로지적인 고장사례 고찰

이일권^{1*} · 한재오² · 이정호¹ · 이영숙¹ · 김추하³

¹대림대학교 자동차공학과, ²중앙대학교 대학원 기계공학과, ³한도교역

Tribological Failure Examples Involving Hydraulic Unit, Sensor, Computer of Anti-lock Brake System in Passenger Cars

IlKwon Lee^{1*}, JaeOh Han², JongHo Lee¹, YoungSuk Lee¹ and ChooHa Kim³

¹Dept. of Automotive Engineering, Daelim University College

²Graduate School, Dept. of Mechanical Engineering, Jung-ang University

³Hando Trading Company

(Received March 1, 2014 ; Revised May 8, 2014 ; Accepted May 13, 2014)

Abstract – In this paper, we present our analysis of tribological failure examples for an anti-lock brake system(ABS) in a car. The study range of this paper is to improve the quality of ABS system by analyzing with sensor, computer, actuator and oil lines. In the first example, the brake leak from hydraulic supply line in a caliper on the rear left side of the ABS hydraulic modulator. This produces the sponge phenomenon, where the car does not brake even when the driver operates the brake pedal. The hydraulic unit operating ABS is actuator that play role regulating drive condition according with the oil pressure supplied with wheel of a car. In the second example, the service man does not completely tighten the fixed bolt after repairing the car. This causes the ABS warning lamp to light up as the ABS wheel speed sensor cannot detect whether the ABS has been activated. In the third example, the ABS electronic control unit is separated from the soldered part of the inner circuit board. Consequently, the ABS fails in control because the ABS motor pump receives no-signal for the hydraulic unit. The wheel speed sensor has to large durability because of giving signal of acting condition to computer by detected the acceleration and deceleration of wheel of a car. In the fourth example, the ABS warning lamp lights up of when cracks propagate in the circuit board soldering part. The circuit of this computer is very important part for input and output the operating signal of system. Such failures can aggravate the durability of the ABS. Thus, the ABS needs to be optimized to eliminate malfunction phenomenon.

Keywords – ABS (엔티 록 브레이크 시스템), wheel speed sensor (휠 스피드 센서), ABS ECU (ABS 컴퓨터), hydraulic unit(하이드로릭 유닛), locking (잠김)

1. 서 론

운전자는 자동차를 운전하여 이동하는 것이 목적이
다. 이러한 자동차는 운전자가 운전을 하고 가다가 목
적지에 도착하거나 신호등에서 또는 자동차를 정지하여

야 할 필요성이 있을 때 바퀴의 운동에너지를 마찰력
을 이용하여 회전수를 감소시켜 자동차를 세우는 것이
제동시스템이다. 그러나 자동차 운전자가 자동차를 운
전할 때 제동장치에 고장이 발생되면 매우 위험한 상
황에 직면하게 된다. 이러한 시스템의 신뢰성을 확보할
수 있는 제동장치에 관련된 각 요소의 고장사례에 대
한 연구결과가 발표되었다[1].

자동차를 운행할 때 도로의 바닥이 마찰계수가 낮은

*Corresponding author : iklee@daelim.ac.kr

Tel: +82-31-467-4844, Fax: +82-31-467-4849

눈으로 덮여 있거나 비가 와서 미끄러울 때 제동을 하게 되면 제동거리가 길어져 가까운 거리에 사람, 동물, 장애물 등이 있을 때는 충돌의 위험성이 있다. 이러한 충돌 위험성을 최소화하고 제동장치의 최적제어를 위해 새로운 시스템이 개발될 필요성이 제기되었다. 이러한 필요성에 의해 개발된 것이 안티 록 브레이크 시스템(anti-lock brake system; ABS)이다. 이러한 ABS 시스템은 자동차에 장착되었을 때 성능, 신뢰성과 안정성이 확보되어야 한다[2].

1930년대에는 운송 수단의 주종이었던 철도 차량에서 강력한 브레이크를 작동시켜 차륜(wheel)을 록(lock)시키면 차륜은 레일 위를 미끄러져 차륜과 레일이 마모되어 한 점에서 마찰이 계속적으로 발생한다. 이 때 차륜 외주가 평평해지는 플랫(flat) 현상이 발생하여 이를 방지하는 ABS를 고안하여 시험한 결과 의외로 제동 거리가 짧아진다는 사실을 알게 되었다.

1940년대에는 항공기에도 적용이 되어, 항공기는 착륙할 때 차륜에 브레이크를 과도하게 작동시키면 차륜이 록(lock) 되어 타이어가 심하게 마모되고 과열을 일으킬 위험이 있어, 이를 방지하기 위하여 적용되었다. 1954년 포드사가 항공기용 ABS를 링컨차에 최초로 장착하였으나 실패로 끝났다. 그러나 이 시도는 최초로 자동차에 ABS를 적용한 것이었다.

1990년대에는 제동제어인 ABS와 엔진 토크(torque) 제어인 트랙션 제어 시스템(traction control system)이 토요타 자동차의 LS 400 모델에 개발되어 적용되었으며[3], 최근까지 자동차 메이커간의 개발경쟁이 가속화되고 있다.

안전과 환경을 중요시하는 자동차 산업의 특성에 비추어 볼 때 제동성능의 극대화를 위해 ABS 시스템을 자동차 새시의 조향, 현가장치 등과 조합하여 총합 제어 시스템으로 개발하고 있으며, 자동차의 안전과 사고 예방을 위한 방법으로 표준 시스템으로 장착하는 추세이다[4].

따라서, 이 논문은 자동차 안티 록 브레이크 시스템에서 발생하는 트라이볼로지적인 현상의 고장사례를 조사하고, 분석하여 이에 대한 개선 및 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2-1. ABS의 개요

자동차가 운행을 할 때 운전자가 브레이크를 작동하

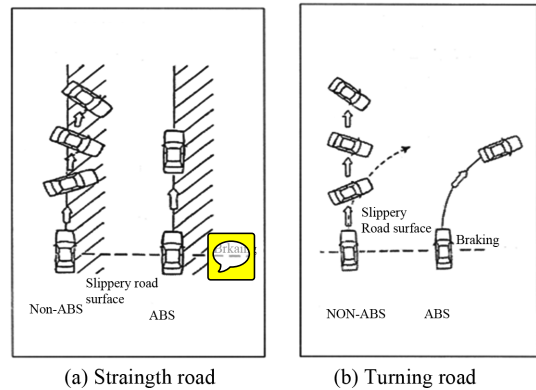


Fig. 1. Brake force comparison including with driving straight and turning road.

면 디스크와 패드 또는 드럼과 라이닝 사이의 마찰에 의해 휠의 회전 속도가 자동차의 속도보다 낮아지게 되어 타이어 노면 사이에 슬립(slip)이 발생된다. 이 때 타이어와 노면 사이의 마찰력이 슬립을 방지하여 차량의 진행 방향과 반대방향으로 작용되는 제동력으로서 차량의 속도를 저감시킨다. 즉, 제동이란 타이어와 노면 사이의 마찰력이 타이어와 노면의 슬립을 방지하여 제동력에 의해 낮아진 휠의 속도에 의해 차량의 속도를 줄여주는 것이다. 제동할 때 타이어와 노면 사이의 슬립에 의하여 휠의 회전이 정지되고 차량은 관성력에 의하여 주행하는 상태로 제동효과가 상실되는 상태가 되기 때문에 이 때 휠의 고정 상태를 록킹(locking)현상이라 한다[5]. 이와 같이 휠의 록킹 현상에서는 핸들을 조작하여도 운전자의 의지대로 조향되지 않아 장애물을 회피하거나 안정된 제동을 할 수 없는 위험한 상태로 방향 안정성과 조종 안정성을 상실하게 된다. 안티 록 브레이크 시스템은 기존의 브레이크 장치로는 불가능한 노면 상태에서의 제동을 최적으로 조정하기 위한 장치이다.

2-2. ABS의 효과

Fig. 1(a)는 직선 도로에서의 ABS 작동상태, Fig. 2는 선회 도로에서의 ABS 작동상태를 보여주는 것이다. 일반적으로 ABS를 장착함으로써 기대할 수 있는 효과는 크게 방향안정성(stability) 확보, 조종안정성(steerability), 제동거리(stopping distance)의 확보 등을 들 수 있다. ABS가 작동할 때가 ABS가 작동하지 않을 때보다 평균 제동력이 11.2% 향상된다는 연구 결과도 발표되었다[6, 7].

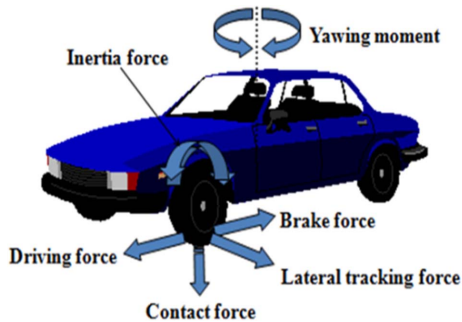


Fig. 2. Force distribution relating to a car.

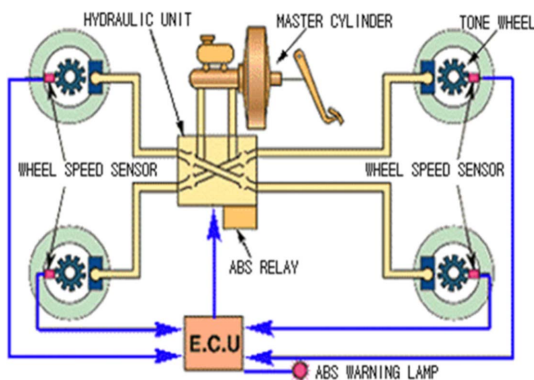


Fig. 3. Process diagram of ABS system.

2-3. 자동차에 관련된 힘의 분포

자동차가 엔진의 힘으로 움직이게 되면, 앞으로 가려는 구동력(driving force), 운동을 방해하려는 제동력(brake force), 접촉력(contact force), 계속적으로 운동을 유지하려는 관성력(inertia force), 회전운동을 하는 요잉 모멘트(yawing moment), 측면 작용힘(lateral tracking force) 등의 운동력으로 움직이게 된다. Fig. 2는 이러한 자동차의 운동 메커니즘을 보여주는 것이다[5].

2-4. ABS의 구성품

ABS의 시스템을 구성하는 구성품은 크게 차륜의 회전 속도를 검출하는 휠 스피드 센서와 이 검출 신호를 기초로 제어 신호를 만들어 출력하는 ABS 컨트롤 유닛(control unit) 및 ABS 컨트롤 유닛의 제어 신호를 받아 각 브레이크에 가해지는 유압을 조절하는 하이드로릭 유닛(hydraulic unit)으로 구성되어 있다. Fig. 3은 ABS의 작동 구성도를 보여주는 것이다[5].

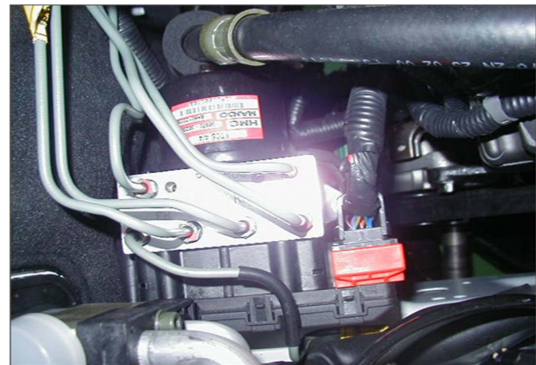


Fig. 4. Leaking example of brake fluid between brake pipe and hydraulic modulator.

3. ABS 시스템의 고장사례

3-1. ABS 하이드로릭 모듈고장사례

3-1-1. 현상

자동차를 운전하던 중 제동하였을 때 브레이크 페달이 쑥 들어가는 현상이 생기면서 제동이 잘 되지 않았다.

3-1-2. 분석

이 자동차는 101,200 km를 주행한 자동차로 운전 중 제동을 할 때 브레이크 페달이 쑥 내려가는 느낌이 들면서 서 제동이 잘 되지 않는 현상을 확인하였다. 이 후 시운전하였을 때 간헐적으로 제동이 되지 않는 현상이 발생되었다. 점검한 결과 뒤 좌측(rear left) 캘리퍼가 고착되어 이와 같은 현상이 발생된 것을 확인하였다. 그러나 뒤 좌측 캘리퍼를 교체한 다음 2주 후에 동일한 현상이 다시 발생하여 확인한 결과 ABS 하이드로릭 유닛의 상단 유압라인부에서 뒤 좌측 캘리퍼에 공급되는 유압 라인의 유압이 누설되어 운전자가 제동을 하였을 때 제동이 되지 않는 현상이 발생된 것으로 판명되었다. 누설라인을 수정 실링(sealing)함으로써 고장현상이 제거되었다. Fig. 4는 하이드로릭 유닛의 유압누설사례를 보여주는 것이다.

3-1-3. 고찰

일반적으로 하이드로릭 유닛은 ABS 컴퓨터의 신호에 의해 각 휠 실린더로 가는 유압을 조정해서 차륜의 회전상태를 제어하는 기능을 하는 시스템으로 ABS가 작동할 때 마스터 실린더에서 공급되는 브레이크 오일

의 유량을 조절하여 캘리퍼 피스톤의 유압의 증압 속도를 일정하게 유지하는 4개의 유량 조절 밸브(flow control valve)가 있다. 또한, ABS 컴퓨터의 통신에 의해 전류가 ON될 때는 코일에 발생된 자력에 의해 피스톤을 아래로 움직여 감압형태를 만들고, 전류가 OFF되면 스프링 힘에 의하여 피스톤이 다시 닫혀 증압 형태를 만들어주는 4개의 솔레노이드 밸브(solenoid valve)가 있다. 하이드릭 유닛은 전자제어 시스템으로 일반적인 기계적 유압의 작동과는 매우 다르다. 유압유의 누설에 매우 민감하고 내부에 에어가 유입되었을 때 에어빼기(air bleeding)방식도 매우 까다롭다. 따라서, 관리에 철저를 기하고 수시로 점검하여야 한다.

3-2. 휠 스피드 센서 고장 사례

3-2-1. 현상

이 자동차는 운전자가 운전을 하기 위해 시동을 걸면 계기판에 ABS 경고등이 소등되지 않고 계속 점등되었다.

3-2-2. 분석

이 차량은 출고한 다음 2,120 km를 주행한 차량으로 확인되었다. 고장진단기를 이용하여 점검하였으나 정상으로 출력되었다. 계기판의 ABS 경고등은 미점등되었다. 차량을 리프팅(lifting) 한 다음 ABS 휠 스피드 센서의 간극을 점검하였을 때 운전석 ABS 휠 스피드 센서의 간극이 불량한 것으로 확인되었다. 이것은 앞바퀴 왼쪽(front left)의 휠 스피드 센서를 고정하는 10 mm 고정볼트의 미장착으로 인해 ABS 휠 스피드 센서가 이탈됨으로써 ABS 휠 스피드 센서와 디스크 사이의 에어갭(air gap)이 과다 발생되어 ABS가 작동되지 않고 ABS 경고등이 점등된 것으로 판단된다. 이 자동차의 경우 앞바퀴의 ABS 휠 스피드 센서의 에어



Fig. 5. Example of a loose bolt to fix wheel speed sensor.

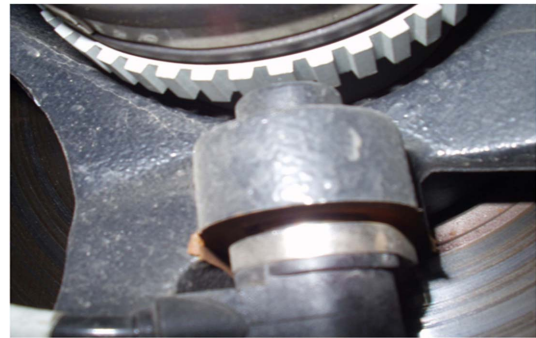


Fig. 6. Example of an excessive gap between wheel speed sensor and tone wheel.

갭은 0.2~1.1 mm, 뒷바퀴의 에어갭은 0.2~1.1 mm로 규정되어 있다[8-10]. 그러나 이 규정값에 벗어나게 되면 운전자가 운전중에 ABS를 작동하였을 때 작동하지 않는다. 따라서, 이 사례는 자동차를 수리후 ABS 고정볼트를 조임토크에 맞지 않게 조인 후 일정한 시간이 지나면서 볼트가 조금씩 풀리면서 이와같은 고장사례가 발생된 것으로 신폼볼트를 조인 후 고장원인이 제거되었다. Fig. 5는 휠 스피드 센서의 고정볼트가 이탈된 사례를 보여주는 것이다. Fig. 6은 휠 스피드 센서와 톤 휠과의 간극과다 사례를 보여주는 것이다.

3-2-3. 고찰

ABS 휠 스피드 센서는 자동차가 운행하는 동안 자동차를 정지시키기 위하여 제동하였을 때 바퀴의 잠김상태를 감지하여 이를 컴퓨터에 반복적으로 알려주는 역할을 한다. 만약, 이 센서가 제위치에 정확하게 장착되지 않게 되면 ABS가 작동하지 못한다. 또한, 센서의 감지부에 눈이나 흙 또는 이물질의 부착으로 인해 센서가 바퀴의 회전상태를 감지하지 못할 수가 있다. 따라서, 이러한 센서의 감지불량 요인을 꼼꼼하게 확인하여 ABS 시스템의 작동에 문제가 없도록 하여야 할 것이다.

3-3. 컴퓨터 고장 사례

3-3-1. 현상

운전자가 자동차를 주행하던 중 ABS 경고등이 점등되었다.

3-3-2. 분석

이 차량은 290,000 km를 주행한 차량으로 주행중

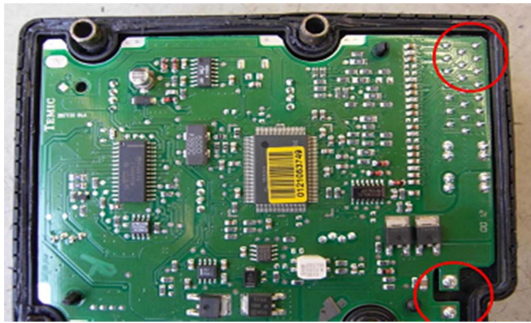


Fig. 7. Circuit board damage example of ABS computer.

ABS 경고등이 점등되는 것을 확인하였다. 이 차량의 정비이력을 확인한 결과 엔진 오일 팬의 찌그러짐 현상으로 인해 오토래시(auto-lash) 소음이 발생하였으며, 이에 대한 대책으로 오일 팬과 오토래시 및 타이밍 벨트를 교환한 것을 확인하였다. 또한, 자동변속기 오일 팬의 손상으로 인해 자동변속기 오일이 누설되어 자동변속기 내부의 손상으로 인해 자동변속기를 교환하였다. 이 차량의 경우 자동변속기를 교환하기 전에는 ABS 경고등이 점등되지 않았으나 자동변속기를 교환한 다음 ABS 경고등이 점등되었다. 자동변속기를 교환할 때 ABS 관련배선이 흔들리고 ABS 모듈의 충격에 의해 ABS 경고등이 점등된 것으로 판단된다.

고장 진단기를 이용하여 확인한 결과 앞 좌측(front left) 휠 스피드 센서의 단락과 모터 펌프 회로의 이상이 있는 것으로 출력되었다. 자동차를 리프팅(lifting)한 다음 앞좌측에 있는 휠 스피드 센서의 파형을 점검하였으나, 이상이 없는 것으로 확인되었다. 고장진단기를 장착한 다음 하이드로릭 유닛(hydraulic unit)의 공기빼기 작업을 하였을 때 모터펌프 작동유무를 확인한 결과 작동하지 않았다. 이를 확인하기 위해 ABS 하이드로릭 유닛 모듈을 분해하여 보았다.

또한, 하이드로릭 유닛에 장착되어 있는 ABS 컴퓨터를 확인한 결과 내부 회로판의 납땜부가 이탈되어 하이드로릭 유닛의 모터 구동 신호를 주지 못해 ABS가 작동하지 않아 모터펌프가 작동되지 않아 ABS가 역할을 하지 못한 것으로 판명되었다. 따라서, 이 사례는 ABS 컴퓨터를 신제품으로 교환한 결과 고장원인이 제거되었다. Fig. 7은 ABS 컴퓨터의 내부 불량 사례를 보여주는 것이다.

3-3-3. 고찰

ABS의 컴퓨터는 매우 민감하다. 모듈수리 후 장착

시 브레이크 호스를 재위치에 잘 맞춰 장착하여야 한다. 또한, 떼어낸 컴퓨터의 커버를 장착할 때는 액상 개스킷으로 완전하게 밀봉하여야 한다. ABS 컴퓨터 모듈의 납땜부를 확인할 때는 반드시 정면으로 보지 말고 약간 기울여서 옆에서 확인하여야 확인하기가 쉬우며, 정확하게 확인할 수 있으므로 정지지침을 참고하여 주의하도록 한다.

3-4. 계기판 내 ABS 경고등 불량 사례

3-4-1. 현상

운전자가 자동차를 운행중 간헐적으로 ABS 경고등이 점등되는 현상이 발생되었다.

3-4-2. 분석

이 차량은 22,710 km를 주행한 자동차로 확인한 결과 간헐적으로 ABS 경고등이 점등되었으며, 관련 정비 이력을 확인한 결과 ABS 모듈을 1회 교환하였다. 고장진단기를 이용하여 점검한 결과 정상으로 확인되었다.



Fig. 8. ABS warning lamp example of instrument panel.

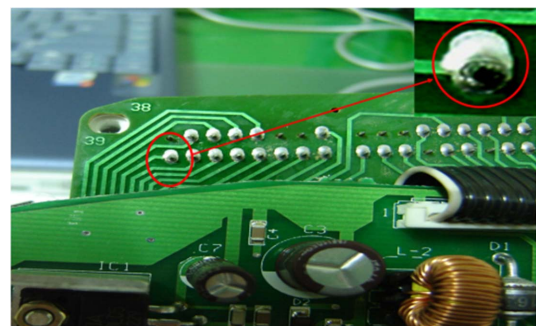


Fig. 9. Soldering parts damage example of instrument panel inside.

ABS 관련 커넥터를 점검하였으나 이상없는 것으로 확인되었다. 계기판에 있는 ABS 경고등 관련된 커넥터를 탈착하여 본 결과 경고등이 점등된 것을 확인하였고, 이 때 커넥터를 상하로 움직이면 경고등의 점등이 재현되었다. ABS 경고등 관련하여 세밀하게 확인한 결과, 계기판의 납땜 부위가 균열(crack)이 발생된 것을 확인하였다. 따라서, 이 사례는 계기판을 신품으로 교환한 다음에 정상으로 작동되었다. Fig. 8은 계기판의 경고등이 점등되었을 때의 사례를 보여주는 것이다. Fig. 9는 계기판의 납땜부 이탈로 인한 사례를 보여주는 것이다.

3-4-3. 고찰

회로판은 작은 손상이나 충격에 의해서도 민감하게 작동할 수가 있다. 특히, 습기나 수분에 매우 취약하므로 수분이나 습기에 의한 영향을 받지 않도록 해야 한다. 따라서, 분해하였을 때는 충격을 받지 않도록 해야 하고 매우 세심하고 철저하게 관리하여야 한다.

5. 결 론

1) ABS 하이드로릭 유닛의 상단 유압라인부에서 뒤 좌측 캘리퍼에 공급되는 유압 라인의 유압이 누설되어 운전자가 제동을 하였을 때 제동이 되지 않고 페달이 쭉 들어가는 현상이 발생된 것을 확인하였다.

2) 자동차를 수리후 ABS 휠 스피드 센서 고정 볼트를 조임 토크에 맞지 않게 조인 후 볼트가 조금씩 풀리면서 잭이 맞지 않아 ABS 작동상태를 감지하지 못해 ABS 경고등의 점등된 것을 확인하였다.

3) 하이드로릭 유닛에 장착되어 있는 ABS 컴퓨터를 확인한 결과 내부의 회로판의 납땜부가 이탈되어 하이드로릭 유닛의 모터 구동 신호를 주지못해 ABS가 작동하지 않아 ABS가 역할을 하지 못한 것을 확인하였다.

4) 계기판의 ABS 경고등부의 납땜이 균열현상에 의해 전기적인 신호불량으로 ABS 경고등이 점등된 것을 확인하였다.

References

- [1] Lee, I. K., Kim, C. K., "Failure Study for Tribological Characteristics Including with Pad, Lining and Hub Disk in Vehicle Brake System", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 27, No. 5, pp. 269-274, 2011.
- [2] Leiber, H., Czinczel, A., "Four Years of Experience with 4-Wheel Antiskid Brake Systems", *SAE paper* 830481.
- [3] Masutomi, S., Ise, K., Tamura, K., "Development of ABS and Traction Control Computer", *SAE paper* 901707.
- [4] Asano, M., "Furthering the Evolution of Function and Performance for ABS", *SAE paper* 980236.
- [5] Hyundai Motor Company, "Chassis Service Manual", 2002.
- [6] Mondal, P., *et al.*, "Testing, Computer Simulation and Analysis of Vehicle Dynamic braking of a Small Car With ABS", *SAE paper* 2009-26-0010.
- [7] Oppenheimer, P., "Comparing Stopping Capability of Cars with and Without Antilock Brake System", *SAE Paper* 880324.
- [8] Lee, I. K. Kim, C. K., *et al.*, "Automotive Failure Diagnosis", Sun Hak, 2002.
- [9] Maintenance manual of Hyundai Motors, 2013.
- [10] Maintenance manual of Kia Motors, 2013.