



## 자동차의 타이밍벨트, 등속조인트 부트, 웨더 스트립에 관련된 고장사례 고찰

†이일권 · 이정호 · 황한섭\* · 임하영\*\* · 유창배\*\*\* · 김영규\*\*\*\* · 김추하\*\*\*\*\*

대림대학교 자동차공학과† · 수원과학대학교 기계과\* · 경진기업\*\*  
· 신성대학교 자동차계열\*\*\* · 한국가스안전공사\*\*\*\* · 한도교역\*\*\*\*\*  
(2014년 12월 3일 접수, 2015년 2월 3일 수정, 2015년 2월 4일 채택)

### Failure Examples Study Including with timing belt, Constant Velocity Boot and Weather strip on a Car

†Il Kwon Lee · Jong Ho Lee · Han sub Hwang\* · Ha Young Yim\*\*

Chang Bae You\*\*\* · Young Kyu Kim\*\*\*\* · Choo Ha Kim\*\*\*\*\*

† Department of Automotive Engineering, Daelim University College

\*Department of Mechanical Engineering, Suwon Science College

\*\*Kyeongjin Co., Ltd, \*\*\*Department of Automotive Engineering, Shin Sung University

\*\*\*\*Korea Gas Safety Corporation, \*\*\*\*\*Hando Trading Company

(Received December 3, 2014; Revised February 3, 2015; Accepted February 4, 2015)

#### 요 약

이 논문은 자동차 타이밍벨트, 등속조인트 부트, 웨더 스트립에 적용되는 고무시스템의 손상이나 내구성 약화에 대한 사례 연구를 하는 것이 목적이다. 첫 번째 사례에서는 신품의 타이밍 벨트를 교환할 때 벨트의 내구성이 떨어진 벨트를 교환하여 타이밍 벨트와 스프로킷의 마찰작용에 의해 비정상적으로 타이밍 벨트 캔버스가 마멸된 것을 확인하였다. 두 번째 사례에서는 등속 조인트에 그리스의 밀봉역할을 하는 고무 부트의 내구성이 떨어져 경화되고 갈라져 이 틈으로 그리스가 누설된 것을 확인하였다. 세 번째 사례에서는 웨더 스트립이 화학적 변화에 따른 균열로 재료 변형이 생겨 웨더 스트립 고무가 찢어졌다. 이러한 현상은 문을 닫을 때 웨더 스트립 고무를 겹쳐지게 해 운행중 외부공기가 유입되어 미세한 소음이 발생되는 것을 확인했다. 따라서, 자동차에 적용되는 고무 재질의 부품들의 내구성 약화나 손상으로 인한 자동차의 고장사례가 발생하지 않도록 관리하여야 한다.

**Abstract** - This paper is to study the examples for rubber damage and weaken reliability of timing belt, constant velocity joint boot and weather strip in vehicle. The first example, when the service man replaced the new timing-belt of rubber material, he assembled the belt that was weaken it's contact surface because of material transform. He knew the abnormally tearing failure by friction action between belt and sprocket. The second example, it certified the fact that the grease is leaked out boot protecting of constant velocity joint by split of rubber surface because of durability badness. The third example, the weather stripe took the minutely tearing because of damage produced the material transform by crack of chemistry change. It certified the production phenomenon of a tiny noise by coming with outside air because of overlapped the rubber of weather stripe when driving after closing the door. Therefore, the driver must always manage the rubber system part of vehicle.

**Key words** : rubber, wear, timing belt, constant velocity joint boot, weather strip

†Corresponding author: iklee@daelim.ac.kr

Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

## I. 서론

고무 시스템은 자동차 각 시스템의 부품을 조립하는 접착부에 끼워져 고무의 탄성을 유지하여 충격을 흡수하는 역할을 하며, 상하로 작동하는 도어부에 삽입되어 서로간의 마찰력을 최소화하여 작동하는 데 도움을 주는 역할을 한다. 그러나 고무가 찢어지거나 경화되어 작동하는 탄성을 흡수하지 못하게 되면 소음이 발생되거나 진동이 생기게 된다.

따라서 본 논문은 자동차에 적용하고 있는 타이밍 벨트, 등속조인트 부트, 웨더 스트립 등의 고무부품에 대한 연구를 수행하였다. 최근 고무는 자동차가 운행중 운동을 하는 것에 대한 완충작용을 하는 부품으로 고무소재에 대한 다양한 연구결과가 발표되고 있다.

엔진의 구동력을 전달하는 중요한 부품인 타이밍 벨트의 열 변화에 대한 것으로 타이밍 벨트에 서머커플(thermo-couple)장치를 이용하여 벨트 횡단면(cross-section)의 온도 형상(profile)을 얻은 타이밍 벨트의 열적 해석에 대한 연구결과를 발표하였다[1]. 또한, 타이밍 벨트의 구동 스프로킷(driver sprocket)과 피동 스프로킷(driven sprocket)의 마찰 접촉 특성을 FE(finite element) 방법을 이용하여 모델링 하였다[2].

타이밍 벨트의 내구성을 알아보기 위해 타이밍 벨트의 수명을 예측하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 방법에 대한 연구 및 엔진이 회전할 때 발생하는 타이밍 벨트의 고유진동수(natural frequency)에 대한 연구결과도 발표되었다[3-4]. 등속 조인트(constant velocity joint ; CV) 부트(boot)의 재료인 합성고무(synthetic rubber) 실(seal)의 품질 저하는 시간의 경과에 따라 고무 재질의 내구성이 떨어져 발생되며, 이러한 품질의 저하를 방지하기 위해 대기와 접촉하는 부분은 절연(insulator)고무를 사용하고, 고무의 표면 층(surface layer)에 재질저하 방지제를 도포함으로써 내구성을 개선한 연구사례도 발표되었다[5].

도어에 장착되어 있는 유리 문이 열리고 닫힐 때 글라스 런(glass run)의 실(seal) 높이, 실 형상, 실 두께, 실 구조 모델, 마찰, 압축(compression) 등 인자들은 통풍효과(aspiration effect)에 의해 실내 소음유입에 영향을 준다[6]. 운전자가 운전하는 중에 유리도어를 열고 닫을 때 작동이 잘 되지 않거나, 마찰음이 발생하게 되면 운전중 불안감을 느끼게 되고 품질에 대한 신뢰를 떨어뜨리게 된다. 자동차의 웨더스트립(weather strip)과 도어에 대한 압축 하중은 도어의 단힘력에 있어서 매우 중요한 요소이다. 또한, 도어가 반복적으로 열리고 닫힐 때 웨더 스트립의 변형

은 바람소리의 유입을 가져올 수 있다. 이러한 연구를 수행하기 위해 ABAQUS를 이용한 3D 해석을 수행한 연구결과도 발표되었다[7]. 자동차 주행시 유입되는 먼지 입자는 고무부의 내구성을 떨어뜨려 고장의 원인이 될 수도 있다는 연구결과도 발표되었다[8].

웨더스트립의 접촉 불량현상이 생기면 도어가 닫혀있는 주행상태에서 웨더스트립 틈새로 바람 및 빗물이 유입될 수 있다. 따라서 이 논문은 타이밍벨트, 등속조인트 부트, 도어 웨더스트립 등에 대한 고무와 접착부의 마찰에 관련된 트라이볼로지적인 고장 사례를 조사하고, 분석하여 이에 대한 개선 및 연구 방향을 제시하고자 한다.

## II. 이론적 배경

### 2.1. 고무의 이론

일반적으로 고무는 고무나무 껍질에서 분비되는 액체를 응고시킨 생고무를 주원료로 하여 만든 물질로, 상온상태에서 탄성(elasticity)이 강하고 신축이 자유로우며 전기의 부도체로서 공업용이나 생활필수품의 원료로 많이 쓰인다.

원료고무는 천연고무와 합성고무로 대별되는데, 합성고무에는 분자구조와 특성이 각각 다른 약 20여종이 있다. 고무제품으로는 타이어 및 튜브를 비롯해 신발류, 벨트, 호스, 고무롤러, 공업용 고무부품, 운동용구, 의료용품, 장난감, 와이어, 케이블, 라텍스 제품 등이 있다[9].

### 2.2. 자동차에 적용되는 고무재질의 종류

#### 2.2.1. 타이밍 벨트

타이밍 벨트(timing belt)는 엔진의 원활한 회전력 발생을 위해 크랭크 축과 캠축을 연결하여 피스톤 위치에 따른 흡기 및 배기 밸브의 작동 시점을 지정하기 위한 구동벨트이다. 캠 축의 작동을 원활하게 하여 연소실의 연소를 원활하게 하도록 하는 구동벨트이다. 이 벨트는 크랭크축과 캠 축의 스프로킷(sprocket) 기어에 맞물려 크랭크축과 캠 축을 원활하게 작동시키는 역할을 하며, 벨트의 내구성이 떨어지거나 손상이 발생되면 엔진의 작동이 멈추게 된다. Fig. 1은 자동차에 적용되는 고무 재질의 타이밍 벨트의 사례를 보여주는 것이다.

#### 2.2.2. 등속조인트 부트고무

등속조인트는 중감속 기어에서 전달되는 구동력을 바퀴로 전달하는 구동축 역할을 한다. 등속 조인트부에서는 지속적인 미끄럼 접촉마찰 저항을 감소

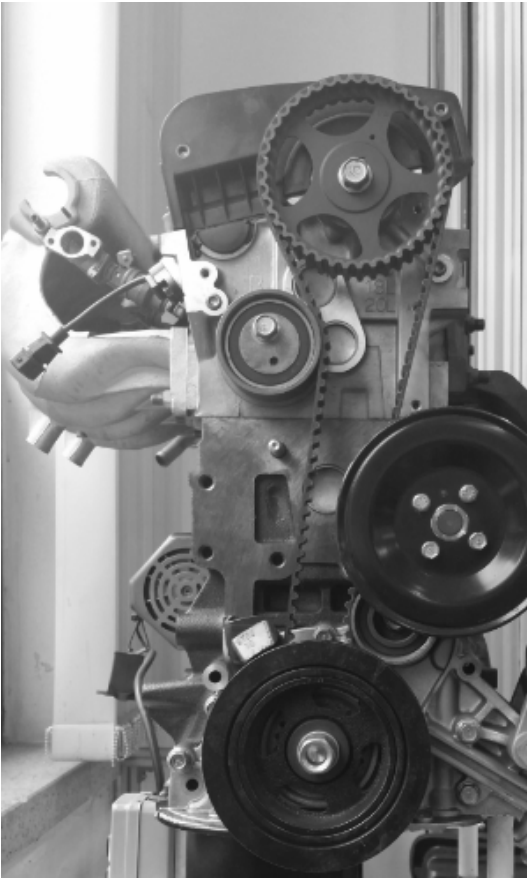


Fig. 1. Adapting example of automotive timing belt.



Fig. 2. Assembling example of C.V joint boots.

시키기 위해 그리스가 주입되고 이 윤활제의 밀봉을 위해 고무 부트가 조립된다. 이러한 고무 부트는 장기간 사용 및 손상에 의해 내구성이 저하되며 파손으로 인한 그리스의 누설이 발생된다. 따라서 고무 부



Fig. 3. Door weather strip inserted inside door.

트는 충분한 내구성이 확보되어야 한다. Fig. 2는 등속조인트 고무 부트의 적용사례를 보여주는 것이다.

### 2.2.3 도어 웨더 스트립

도어 웨더 스트립(door weather strip)은 도어 테두리부와 차체 개구의 테두리와의 사이에 위치하며 차실내로 물, 소음, 먼지 등의 유입을 방지함과 동시에 도어 개폐시의 충격완화, 도어의 유지 및 주행하는 동안에 도어 진동 방지 등의 기능을 가진다. Fig. 3은 자동차의 도어 웨더 스트립의 적용 사례를 보여주고 있다.

## III. 고무 적용 시스템의 고장사례

### 3.1. 타이밍 벨트의 손상으로 인한사례

#### 1) 현상

자동차가 운행중 시동이 꺼지면서 재시동이 걸리지 않는 현상이 발생되었다.

#### 2) 분석

자동차의 시동을 걸어본 결과 시동이 걸리지 않는 현상이 발생하였다. 이 자동차의 주행거리는 106,000km를 주행한 자동차로 고장현상을 찾기 위해 분해한 결과 타이밍 벨트가 파손된 것을 확인하였다. 타이밍 벨트는 자동차의 연소실로 들어가고 나가는 밸브를 작동하는 캠축과 엔진의 출력을 회전

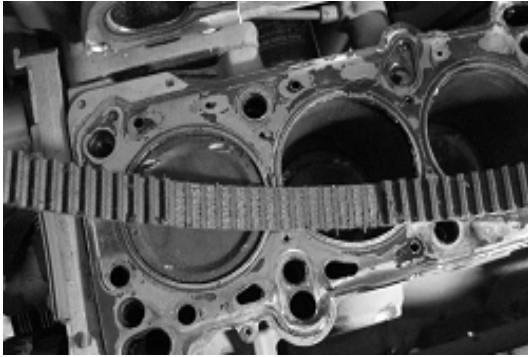


Fig. 4. Worn example of timing belt.

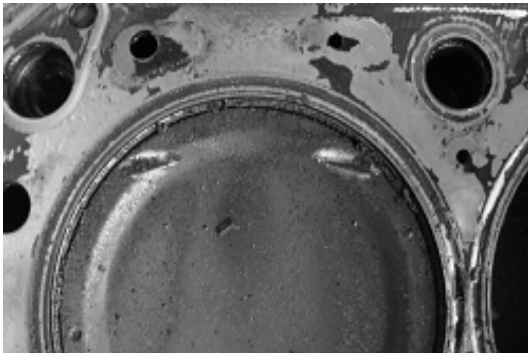


Fig. 5. Engine damaged example snapping timing belt.

력을 발생시키는 크랭크축을 연결하는 동력전달 장치이다. 이것은 재질이 고무와 합성수지로 혼합한 재료로 부하와 엔진의 허용된 작동상태에 대한 충분한 내구성을 가지고 있어야 한다. 타이밍 벨트는 엔진의 흡·배기 밸브를 작동하는 캠축과 크랭크축을 연결하는 동력전달 장치이다. 벨트의 재질은 고무와 합성수지를 결합한 재료로 구동 부하와 엔진의 작동상태에 대한 충분한 내구성을 가지고 있어야 한다. 타이밍 벨트는 캠축 스프로킷과 접촉하는 스프로킷과 접촉하는 부분이 기어 산의 형태로 만들어져 스프로킷의 회전력을 전달하는 역할을 한다. 이러한 기능을 가진 고무재질의 타이밍 벨트는 스프로킷과 접촉하는 벨트 산의 형상이 파손되거나 마멸되어 접촉상태가 악화 될 경우 피스톤 위치에 따른 밸브 개폐시점이 정확하게 구동되지 못하여 엔진 시동이 꺼지는 문제가 발생하게 된다. 이 사례는 Fig. 4와 같이 확인한 결과 타이밍 벨트의 캔버스(canvas)의 부하를 받는 방향의 이(tooth)의 산이 마멸되어 고무가

얇고, 이가 없어져 캔버스 화이버(fiber)가 없어진 상태로 마멸현상이 발생되었다. 이 자동차의 사례는 확인한 결과 80,000km에서 타이밍 벨트를 교환한 사례가 있으며, 신품 타이밍 벨트를 교환한 후 26,000km를 주행한 자동차로 타이밍벨트와 접촉하는 캠축과 스프로킷, 텐서너, 아이들러 등의 손상이나 파손은 확인되지 않았다. 또한, 피스톤과 밸브 및 실린더 등의 엔진 작동부품의 손상도 발견되지 않았다. Fig. 5는 타이밍벨트의 캔버스 화이버가 마멸된 상태를 보여주는 것이다. 따라서, 이 사례는 신품의 타이밍 벨트를 교환할 때 벨트의 내구성이 떨어진 벨트를 교환하여 타이밍 벨트와 스프로킷의 마찰작용에 의해 비정상적으로 타이밍 벨트 캔버스가 마멸된 것으로 확인되었다.

### 3) 고찰

타이밍 벨트는 엔진의 원활한 회전력 발생을 위해 크랭크축과 캠축을 연결하여 피스톤 위치에 따른 흡·배기 밸브의 작동 시점을 지정하기 위한 매우 중요한 동력 전달 요소이다. 이 벨트는 교환주기가 정상적인 운전조건에서 80,000km 마다 교환하는 것으로 자동차 제작사에서 추천하고 있다. 따라서, 타이밍 벨트는 주기적으로 점검하여 잘 관리하여 엔진의 손상이 없도록 하여야 한다[10,11,12].

## 3.2. 등속조인트의 부트 찢어짐으로 인한 고장 사례

### 1) 현상

운전자가 자동차를 운전하던 중 자동차가 선회할 때 간헐적으로 바퀴쪽에서 미세하게 소음이 발생하였다.

### 2) 분석

이 자동차는 87,600km를 주행한 자동차로 시운전한 결과 자동차가 운행을 시작한 후 워업이 된 다음 선회할 때 정상적인 상태를 벗어난 거친 상태에서는 소음을 잘 느낄 수가 없었으나 조용한 도로에서 선회할 때 확인하기 어려운 정도의 간헐적인 “꼭~꼭”하는 마찰음이 발생하는 것을 확인하였다. 속업소버와 서스펜션의 문제로 판단하여 속업소버와 관련부를 확인하였으나 정상으로 확인되었다. 다시, 자동차의 하체를 확인한 결과 변속기에서 동력을 바퀴까지 전달하는 드라이브 샤프트의 부트가 미세하게 경화되었고, 일부 찢어진 틈 사이로 그리스가 누설되어 있는 것을 확인하였다. 회전축과 회전축을 연결하는 부분에는 베어링이 끼워져 회전하는 축을 원활하게 회전시키는 기능을 하는데 이러한 부

분에는 반고체성 유체인 그리스를 도포한다. 밀폐된 공간속에서 윤활작용을 하며, 오랫동안 윤활유를 주입하지 않아도 되는 부분에 그리스를 도포하여 시스템의 작동을 돕는다. Fig. 6은 드라이브 샤프트의 손상으로 인한 그리스 누설사례를 보여주는 것이다.

따라서, 이 사례의 경우에는 드라이브 샤프트의 내부 조인트 부에 주입한 그리스가 밀봉역할을 하는 드라이브 샤프트의 고무 부트가 내구성이 떨어져 경화되고 갈라져 미세하게 찢어진 이 틈으로 그리스가 누설된 것을 확인하였다. 이러한 현상은 초기에는 그리스의 유동성이 낮아 흐르지 않다가 찢어진 부트 사이로 유입된 외부의 공기와 이물질과 결합함으로써 성상이 변화되어 외부로 유출된 것으로 확인되었다. 이러한 내부의 있던 그리스의 점도가 변화됨으로써 베어링의 윤활기능도 떨어져, 회전열에 의해 드라이브 축에 있는 베어링 볼의 접촉에 의해 미세한 소음이 발생된 것으로 판단된다.

### 3) 고찰

드라이브 샤프트와 같이 상대축에 연결되어 회전력을 전달하는 구성부품은 열에 의해서 잘 견뎌야 하고, 축의 이탈이나 휨의 변형이 발생되지 않아야 한다. 또한, 이 부품은 연결되는 축과의 사이에 반고체인 그리스가 도포되어 밀폐되므로 끈질긴 내구성을 가지도록 설계하여야 한다. 그러나 이 부품에서 진동이나 소음이 발생할 때는 바로 부품을 점검하도록 하여야 시스템의 안정성을 극대화할 수 있다. 따라서, 이 부품의 품질상태를 최적화하여 시스템의 내구성을 높이도록 하여야 한다.



Fig. 6. Grease leaking example of drive shaft boots.

### 3.3. 웨더 스트립 찢어짐으로 인한 외부 공기유입 사례

#### 1) 현상

자동차를 운행중 간헐적으로 미세한 바람소리가 들리는 현상이 발생되었다.

#### 2) 분석

이 차량은 26,700km를 주행한 차량으로 자동차가 운행중 간헐적으로 60km/h 이상이 되면 조수석 도어 상단에서 미세한 바람소리가 실내로 유입되는 현상이 확인되었다. 바람소리 유입 원인을 찾기 위해 육안으로 점검하여 보았으나 확인을 하지 못하였고, 자동차를 경사진 곳에 위치시키고 차체에 물을 뿌려 확인한 결과 조수석 도어로 미세하게 물이 유입되는 것을 확인하였다. 이것은 도어의 상단에 있는 웨더 스트립 고무가 어떤 화학적인 변화에 의해 재질 변형이 생겨 균열에 의해 미세하게 찢어졌고, 이것이 도어를 닫을 때 충격에 의해 살짝 겹쳐져 주행중 압력차에 의해 외부 공기가 유입되면서 미세한 소음을 발생한 것으로 판단되었다.

이러한 고장사례는 외부의 공기 흐름 음이 기존에 발생하지 않은 것과 비교되지 않으면 비정상이라 판단하기가 매우 어려운 고장사례라고 할 수 있다. 따라서, 이와 같은 사례는 다양한 시운전 조건과 점검사항을 적용하여 원인을 찾는 사례로 볼 수 있다. Fig. 7은 웨더 스트립 장착 사례를 보여주는 것이다. Fig. 8은 웨더 스트립의 찢어짐 사례를 보여주는 것이다.



Fig. 7. Weather strip installing example in door around and body contacting part of a car.



**Fig. 8.** Tearing example of door weather strip molding.

### 3) 고찰

웨더 스트립은 도어의 패널 둘레부, 도어와 접촉하는 차체부를 밀봉하여 먼지, 이물질, 공기 등의 유입을 방지하고 자동차의 운행시 발생하는 진동과 충격을 최소화하기 위해 부착하는 밀봉부품(sealing part)이다. 이 부품은 유연한 고무로 된 부품으로 날카로운 부위나 도어가 닫힐 때 겹침 현상에 의해 어긋난 압착현상이 발생되면 찢어지거나 손상이 발생되어 완전한 밀봉(sealing) 역할을 하기가 어렵게 된다. 따라서, 웨더스트립은 자동차를 세차할 때 누수 여부 또는 주기적으로 점검할 때 손상여부를 꼼꼼하게 살펴 관리하도록 한다.

## IV. 결론

자동차 고무재 적용부의 마찰에 의한 고장 및 내구성 불량에 의한 사례를 고찰하여 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 신품의 타이밍 벨트를 교환할 때 벨트의 내구성이 떨어진 벨트를 교환하여 타이밍 벨트와 스프로킷의 마찰작용에 의해 비정상적으로 타이밍 벨트 캔버스가 마멸된 것을 확인하였다.
- 2) 드라이브 샤프트의 내부 조인트 부에 주입한 그리스가 밀봉역할을 하는 드라이브 샤프트의 고무 부트가 내구성이 떨어져 경화되고 갈라져 이 틈으로 그리스가 누설된 것을 확인하였다.
- 3) 도어의 상단에 있는 웨더 스트립 고무가 어떤

화학적인 변화에 의해 재질 변형이 생겨 균열에 의해 미세하게 찢어졌고, 도어를 닫을 때 충격에 의해 살짝 겹쳐져 주행중 압력차에 의해 외부 공기가 유입되면서 미세한 소음을 발생한 것으로 확인되었다.

## REFERENCES

- [1] Shizuo Abe, Masayoshi tokoro, Takehisa Yae-gashi and Kazuyoshi Ogawa, "Thermal Analysis of Timing Belt", SAE paper 891988
- [2] Michael J. Leamy and Tamer M. Wasfy, "Dynamic Modeling of Timing Belt Frictional Contact Using an Explicit Finite Element Formulation", SAE paper 2005-01-0503
- [3] Andy Hamilton, Muhammad Fattah, Felician Campean and Andrew Day, "Analytical Life Prediction Modelling of an Automotive timing Belt", SAE paper 2008-01-1207
- [4] Chaitanya Kulkarni and V.S. Aher, "A Method to Calculate the Natural Frequency of the Timing Belt Drive", SAE paper 2011-28-0140
- [5] Y. Hayashi, E. Takagi, S. Uchida, N. Ito and M. Umeda, "A Study on Improvement in Durability of Chloroorene Rubber C. V. Joint Boot Seals", SAE paper 900339
- [6] Yuksel Gur, Kenneth N. Morman and Niranjana Singh, "Analysis of Door and Glass Run Seal Systems for Aspiration", SAE paper 971902
- [7] Park J. C., "Development of New Test Method for Compression Load and Permanent Deformation of Weather Strip", SAE paper 2012-01-0021
- [8] Chung S.O., Won T. Y., Kim G. H., Kim D. S., Lee. Y. Z., "Wear Characteristics of Rubber-Seal for Inflow of Dust Particle for Inflow in Automobile Chassis System", J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng., Vol. 25, No. 5, pp120-124, (2009)
- [9] <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=794363&cid=1601&categoryId=1601>
- [10] Maintenance manual of Hyundai Motors, (2013)
- [11] Maintenance manual of Kia Motors, (2013)
- [12] Lee I.K., et al., "Automotive Failure Diagnosis", Sun Hak, (2002)