

## Reliability Insurance Rate-Making for Wiper Motors

Yeon-Woong Hong<sup>1)</sup> · Yong-Man Kwon<sup>2)</sup>

### Abstract

In this paper, we calculate the premium rate of reliability insurance policy for wiper motors under the assumption of Weibull physics of failure. We also describe the performance factors which have an effect on failure characteristics of wiper motors. The maximum likelihood estimates of shape parameter and scale parameter are obtained by using interval censored real data of sample sizes 6 using MINITAB.

**Keywords** : interval censoring, maximum likelihood estimator, reliability insurance rate-making, Weibull distribution, wiper motor

### 1. 신뢰성 보험제도의 개요

신뢰성보험제도는 국내 기업체가 생산한 부품 및 소재에 대하여 신뢰성인증센터(RAC; Reliability Assessment Center)에서 신뢰성을 인증하고 이를 수요기업이 사용할 때 인증한 부품 및 소재의 신뢰성 상실로 인하여 수요기업이 입은 경제적 손실을 보장하는 보험으로 일종의 손해보험이다. 신뢰성 보험의 도입으로 부품 및 소재의 수요기업은 한국산 제품사용에 따른 리스크를 회피할 수 있으며 생산자에게는 신뢰성의 상실로 인한 배상에 따른 재정적 손실을 예방 또는 보전할 수 있는 여건이 조성되어 부품·소재 생산업체의 경영안정화와 국산 부품 및 소재산업의 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다(홍연웅, 2001).

2003년 4월부터 시행된 신뢰성보험제도는 신뢰성평가가 시급한 품목에 우선하여 적용되었으며, 주요 대상 품목으로는 커패시터, 콘덴서, 릴레이 등의 전기 및 전자제품과 자동차부품, 기계부품 등이다. 신뢰성보험은 <표 1>에 정리한 바와 같이 부품·소재업체가 제조물을 수요기업에 제조·판매함에 따라 안게 되는 위험인 부품·소재의 결함 등으로 인한 보증책임, 회수비용, 배상책임 및 기업휴지위험 등을 종합하여 담보한다(한국수출보험공사, 2003).

---

1) First Author : Dept. of Internet Industrial Engineering, Dongyang Univ., Kyungbuk, Korea

E-mail : ywhong@phenix.dyu.ac.kr

2) Dept. of Statistics, Chosun Univ., Kwangju, Korea

표 1. 신뢰성보험은 부품·소재업체의 관련위험을 담보종류 및 내용

담보위험	주요 내용
제조물 보증책임	부품·소재업체가 제조·판매한 제조물이 양도된 후, 부품·소재의 결함으로 법률상 배상해야 할 손해중 수리비용 또는 대체가격
제조물 회수비용	부품·소재업체가 제조·판매한 부품이 회수가 불가피하게 된 경우 회수에 따른 제반비용 보상
제조물 배상책임	부품업체가 제조·판매한 부품이 양도된 후 그 제조물로 생긴 제3자의 신체상해 또는 재물손해로 부품업체가 부담하여야 할 법률상 손해배상금액
기업휴지 위험	부품업체가 제조·판매한 부품이 제 3자 양도된 후 그 제조물의 결함으로 인해 제3자에 기업휴지손해가 발생한 경우 그 상실이익

신뢰성보험상품의 가입대상은 정부 또는 정부가 지정한 기관으로부터 신뢰성평가 및 신뢰성인증을 받은 부품 및 소재를 생산하는 기업의 당해제품 또는 이와 유사한 제품으로 한정하고 있으며 지역별담보범위는 국내 및 해외거래까지 포함한다. <표 2>는 신뢰성보험과 민간손해보험회사가 판매하는 제조물책임(Product Liability; PL)보험상품을 비교하고 있다. 특히 신뢰성보험의 담보범위는 PL보험의 담보범위보다 넓은 예도 불구하고 보험료율 수준은 신뢰성보험상품이 저렴한데 이는 사업비의 차이에서 기인한다고 판단된다. 그러면 신뢰성보험의 적정요율 수준은 어느 정도인가? 보험요율, 즉 보험료 수준은 과도하지 않아야 하며(not excessive), 적정(adequacy)하여야 하고, 공정(equity)하여야 한다는 세 가지 원칙에 충실하도록 책정된다.

표 2. 민간 손보사 PL보험과 비교

구 분	신뢰성보험	민간손보사 PL보험
담보위험	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 제조물 보증책임, 회수비용, 배상책임, 기업휴지 등 관련위험을 종합담보</li> <li>· 기업 맞춤형 담보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 제조물 배상책임만 담보</li> </ul>
담보대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 부품·소재의 결함 등으로 인한 피보험자의 직접손해 및 확장손해 보상</li> <li>· 통상적인 결함 이외에 하자까지 보상</li> <li>* 직접손해 : 부품·소재업체의 제조물 자체 손해</li> <li>* 확장손해 : 제3자의 신체장해 및 재물 손해 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 제조물 결함으로 인한 확장손해</li> <li>* 결함 : 제품의 설계, 제조, 표시상 결함 및 기타 통상적으로 안전성의 결여</li> </ul>
가입대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신뢰성인증 획득한 부품·소재기업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 제조업자</li> </ul>
보험료율	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 민간 손보사 PL보험료율의 최저보다 낮은 수준</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 재보험료율에 안전율 및 사업비율 반영</li> </ul>
인수방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Risk-taker방식을 통해 위험 인수</li> <li>· 부분적 프런티징방식 병행</li> <li>· 보험사업자(신뢰성보험 기금)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 대부분 프런티징방식으로 위험분산</li> <li>· 보험사업자 및 재보험사</li> </ul>
담보기간	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1년</li> <li>· 매년 갱신 가능</li> </ul>	좌 동
담보지역	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내</li> <li>· 해외(해당부품 수출지역)</li> </ul>	좌 동
담보기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 배상청구기준</li> </ul>	좌 동
계약형태	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자기를 위한 보험계약(보험계약자와 피보험자를 동일하게 운영)</li> </ul>	좌 동
보험사업자	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 한국수출보험공사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 민간보험사</li> </ul>

본 연구에서는 신뢰성보험상품의 가장 중요한 부분이라고 할 수 있는 보험요율을 국내사의 자동차용 와이퍼 모터를 대상으로 산출하고자 한다. 자동차용 와이퍼 모터는 복잡한 운전조건하에서 운전자의 시계 안전성을 확보하기 위한 안전성과 신뢰성이 요구되는 부품이다. 와이퍼 모터의 고장을 발생시키는 요인은 온도, 분진, 진동, 과부하, 브러쉬 마모 등 여러 가지 유형의 스트레스를 포괄하고 있기 때문에 와이퍼 모터의 신뢰성 문제는 와이퍼 모터뿐만 아니라 와이퍼 시스템의 신뢰성을 향상시키기 위해서도 필요하다고 할 수 있다.

자동차용 와이퍼 모터의 수명시험을 실시하는 방법으로 내수성 및 내식성 시험방법, 진동내구 시험방법, 온도사이클 시험방법, 분진시험방법, 구속내구시험방법, 고온 및 저온 작동시험방법 그리고 작동내구 시험방법 등이 있다.

이를 구체적으로 알아보면 자동차의 진동에 의한 요인을 평가하기 위하여 진동내구 시험, 온도에 따른 모터 작동특성을 알 수 있는 고온 및 저온 작동시험, 모터 내부의 전기적 소자의 고장을 알아보기 위한 온도사이클 시험, 모터 내부에 물이 들어가는지의 여부를 확인하는 내수성 시험, 부식정도를 확인하기 위한 내식성시험, 대기환경에 노출되어 대기중의 먼지 입자로 인한 고장을 알아보기 위한 분진시험 등이 필요하며 이러한 시험을 바탕으로 와이퍼 모터의 수명을 예측하기 위한 시험으로 작동내구시험이 필요하다. 작동내구시험은 와이핑 사이클(wiping cycle)로 사용하였을 때의 수명을 고려하여 초기성능에 대한 성능열화를 10% 이내가 되는 조건으로 작동하여 수명을 예측하고 더 나아가 와이퍼모터를 수명이 다할 때까지 작동하여 정확한 수명과 고장원인 및 고장형태를 발견하여 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 국내사의 와이퍼모터를 대상으로 수명시험하여 데이터를 수집하였으며, 와이퍼모터의 수명분포가 와이플을 따른다는 전제하에 보험요율을 산출한다.

## 2. 성능시험

와이퍼모터의 성능을 시험하기 위하여 국제적으로 공인된 각종 규격을 검토하여 국제수준의 규격을 제정하고 이를 만족하도록 성능시험을 실시한다. 와이퍼모터에 대하여 실시하는 시험으로는 전기적 성능 시험, 소음 시험 등 8가지 항목이 있는데 이를 구체적으로 알아보면 다음과 같다.

### 1) 전기적 성능 시험

전기적 성능시험은 와이퍼 모터의 토크, 회전수, 전류 등이 기준에 적합하여 작동에 이상이 없는지를 확인하는 시험이다. 와이퍼 모터는 차량의 종류에 따라 형식이 다르고 부착위치도 다르며 일체형 형식으로 점차 변화하므로 절연저항시험은 이를 고려하여 외함파 전선선 사이에 캐패시터 등으로 접지되어 전선선의 마이너스선이 접지된 경우를 고려하여 실시한다.

### 2) 소음 시험

소음시험은 저속일 경우 55dB이하, 고속일 경우는 60dB이하를 기준으로 한다. 와이퍼 모터의 전자파 시험은 전자제어장치가 포함되어 있지 않을 경우에는 EMI 시험, 즉 방사전자기 시험과 전도전자기 시험만을 시행하고 전자제어장치가 포함된 일체형 일 경우에는 EMS, 즉 전자파면역성 시험을 실시한다.

### 3) 내식성 시험

와이퍼 모터의 부식시험으로는 염수분무시험을 의미하는데, 외부환경에 의한 부식 정도로 고장이 발생할 우려가 있으므로 이 시험방법은 DIN 50021, KS D 9502, JIS C 0023, SAE J903의 규격에 근거하여 시험을 실시한다.

### 4) 진동내구시험

진동내구시험은 와이퍼 모터가 정지 상태에서 실시하도록 되어있으며 이는 차량 장착 상태에서 비가 오거나 눈이 왔을 때에 주로 작동을 하게 되고 그 외에는 정지 상태로 장착되어 있고 자동차의 움직임에 대하여 진동을 받게 된다. 이에 따라 고장이

발생될 가능성이 있으므로 진동내구시험이 필요하다. 완성차 업체에서의 규격은 시험 방법에서는 크게 차이를 보이지 않았지만 평가방법 및 시험조건에서 약간의 차이를 보이고 있었다. 시험조건은 사인파형태로 시험을 하며 점차로 랜덤과 형태로 바뀌고 있는 추세이기는 하지만 본 기준에서는 부품업체에서 주로 사용하고 있는 KS C 0240을 따라 시험한다.

#### 5) 내수성 시험

내수성 시험은 제품에 따라 방수종류 및 보호등급이 표기됨에 따라 KS C 0904(전기 기계 기구의 방수시험 및 고형물의 침입에 대한 보호 등급)의 시험조건 및 시험방법에 따른다.

#### 6) 구속내구시험

이 시험은 모터를 구속시킨 후 작동하였을 때 모터에 이상이 없어야 하며 시험중 화재발생이 없어야 한다. SAE J903에서는 저온 및 고온 분위기에서 15초 구속시키는 시험으로 이는 모터의 단품시험이 아니라 와이퍼 시스템 상에서의 시험방법 및 시험조건이다. 부품업체에서의 구속시험은 업체별로 시험조건과 시험방법이 차이가 있었으므로 써모 스위치의 유무에 따라 시험시간을 달리 하였으며 써모 스위치가 없는 것은 10~15분 이상 구속하게 되면 모터가 파손될 우려가 있으며 써모 스위치가 있는 경우는 24시간 이상 구속하여도 상관이 없을 것으로 판단된다. 온도조건은 상온에서 시험을 하며 시험중 외부에 화재발생이 없어야 한다.

#### 7) 온도사이클 시험

와이퍼 모터가 반복적으로 변화하는 온도 분위기에서 와이퍼 모터가 정지 및 작동시켰을 때의 특성을 확인하여 모터 내부의 전기적 소자의 고장을 알아보기 위한 시험이다. 이 시험에 대해서는 JASO D001의 온도사이클 시험을 참고로 하면 저온에서 2시간방치, 고온에서 2시간 작동하는 시험한다.

#### 8) 고온 및 저온 작동 시험

와이퍼 모터의 경우 특별히 비 또는 눈이 오지 않을 경우에는 자동차가 운전 중에도 방치되어 있게 된다. 엔진룸에 부착되는 경우에는 엔진룸의 온도에 영향을 받기도 하므로 이때의 상황을 고려하여 고온 및 저온상태에서 방치 후 작동하도록 하는 시험이다. JASO D001에 따르면 보통 전장부품의 온도 방치 및 작동 범위가  $-40^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$  범위임을 알 수 있다. 그리고 MIL규격에 따르면 저온이  $-29^{\circ}\text{C}$ , 고온이  $100^{\circ}\text{C}$ 의 조건이다. 그러나 업체규격에 따르면 와이퍼 모터의 온도 특성을 저온에서는  $0^{\circ}\text{C}$ 까지, 고온은 엔진룸 내부에 부착될 경우에는  $80^{\circ}\text{C}$ , 그외의 경우는  $55^{\circ}\text{C}$ 에서 시험을 하고 있었으므로 이는 와이퍼 모터의 특성을 고려한 온도 범위로 판단되므로 저온 일 경우에는  $0^{\circ}\text{C}$ 에서 시험을 실시하고 고온일 경우에는  $55^{\circ}\text{C}$  또는 엔진룸에 부착할 경우에는  $80^{\circ}\text{C}$ 에서 시험을 실시한다.

### 3. 신뢰성시험의 설계 및 데이터 해석

수명이 와이블 분포를 따른다는 가정아래 신뢰성샘플링방식은 제2종 오류  $\beta$ , 합격 판정개수  $c$ 가 주어지면 표본크기  $n$ 은 다음과 같이 얻어진다.

$$n \geq \frac{\chi_{\beta}^2(2(c+1))}{2F(t)} \quad (1)$$

여기서  $F(t)$ 는 와이블분포의 누적확률분포이고,  $\chi_{\beta}^2$ 는 카이제곱분포의  $100(1-\beta)\%$  백분위수이다. 또한 와이블분포의 위치모수를  $0$ , 형상모수를  $m$ , MTTF(mean time to failure)를  $\mu$ 라고 하면

$$F(t) = \left[ \frac{t\Gamma(1+1/m)}{\mu} \right]^m$$

이므로

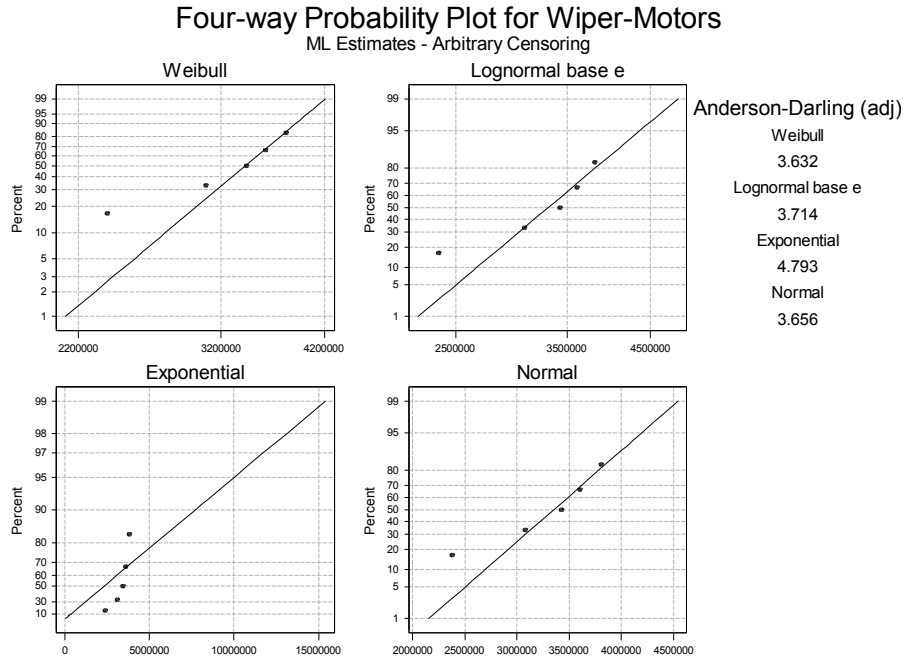
$$n \geq \frac{\chi_{\beta}^2(2(c+1))}{2 \left[ \frac{t\Gamma(1+1/m)}{\mu} \right]^m} \quad (2)$$

이다. 이로부터 샘플크기는 MTTF와 신뢰수준, 합격판정개수에 의해 결정됨을 알 수 있다. 아울러 식(2)로부터 형상모수, 샘플크기, 신뢰수준, 합격판정개수가 주어지면 MTTF를 보증하는 수명 즉 시험시간  $t$ 를 구할 수 있다. <표 3>는 6개의 와이핑 모터들 와이핑 모터조건에서 수명시험(interval censoring)하여 얻은 결과이다.

표 3. 수명시험데이터

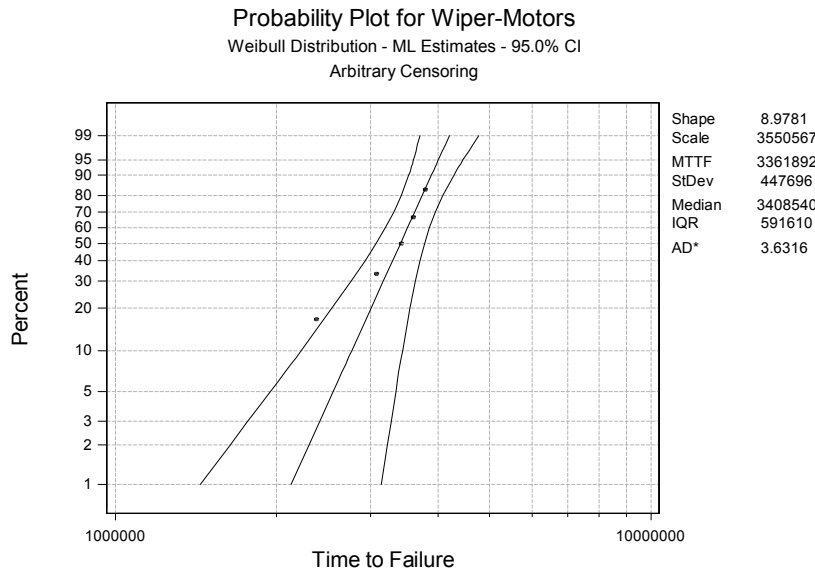
와이핑 모터	작동회수	고장여부
1	3,045,000~3,075,000	고장
2	3,851,563~3,881,563	고장
3	3,395,000~3,425,000	고장
4	2,345,000~2,375,000	고장
5	3,770,000~3,800,000	고장
6	3,570,000~3,600,000	고장

이를 이용하여 MINITAB에서 와이블분포, 대수정규분포, 지수분포 및 정규분포 등 4가지 분포에 적합한 결과 <그림 1>과 같이 나타났으며 Anderson Darling 기준에서 비교하면 앞에서 가정한 와이블분포의 적합도가 근소하지만 가장 우수하게 나타났다. 이러한 결과는 기계류의 수명분포가 일반적으로 와이블분포를 따른다는 가정과 일치한다.



<그림 1> 와이퍼모터 자료에 4가지 확률분포의 확률지 타점

이를 더욱 상세히 분석하면 <그림 2>와 같이 적합된 직선과 95% 신뢰대를 얻을 수 있다.



<그림 2> 와이퍼모터 자료에 대한 확률지

표 4. 와이블 모수의 추정

모수	최우추정치	표준오차	95%신뢰구간
형상모수	8.978	3.165	(4.499, 17.918)
척도모수	3,550,567	168,448	(3,235,300, 3,896,555)

척도모수와 형상모수를 최우추정법으로 추정된 점추정치와 95% 구간추정치는 <표 2>와 같다. 또한 평균사용 사이클의 최우추정치는 3,361,892사이클이며 95% 신뢰구간은 (3,023,030, 3,738,737)으로 추정되었다.

#### 4. 신뢰성보험 요율 산출

손해보험의 요율을 산출하는 방식에는 과거의 보험요율을 손해율의 변화에 따라 인상 또는 인하하는 방법인 손해율법(loss ratio method)과 종래의 요율 유무와 관계없이 보험요율을 산출하는 방법인 순보험료법(pure premium method)의 두 종류가 있다(한국손해보험요율산정회, 1988). 신뢰성보험의 경우 2003년도에 개발되어 시판된 만큼 손실빈도(loss frequency) 및 손실규모(loss severity) 등 기초통계가 없을 뿐만 아니라 국내외의 유사상품도 전무하여 경험통계에 입각한 요율산출은 현실적으로 불가능하여 통계 이론적으로 접근하는 방법이 유일하다고 판단된다. 즉, 3장에서 추정된 고장분포에 기초하여 연간보험요율을 산출하는 방법이다. 결국 신뢰성 보험의 요율은 개별요율(individual rate)방식의 예정요율제(schedule rate)를 따르는 것이 합리적일 것이다. 예정요율제는 개별리스크의 물리적 특성에 따라 정해진 만큼의 요율을 인상 또는 인하하는 방식(이경룡, p. 270)으로 최근 신뢰성분석에서 확산되고 있는 고장물리(physics of failure)적 접근 방식이 매우 중요하다.

이제 와이퍼모터의 보험요율을 고장물리에 입각한 방법으로 산출한다. <표 4>로부터 추정된 와이블 생존분포를 이용하여 연간고장률을 구하면

$${}_1q_x = \frac{S(x) - S(x+1)}{S(x)}, \quad 0 = 1, 2, \dots \quad (3)$$

이다. 여기서  ${}_1q_x$ 는  $x$  년과  $x+1$ 년 사이의 고장률을 의미하며

$$S(x) = \exp\left[-\left(\frac{x}{3550567}\right)^{8.978}\right],$$

이다. 와이퍼모터의 연간사용사이클을 300,000회, 보증기간을 10년이라고 할 때 연도별 고장률은 다음과 같다.



표 4. 와이퍼모터의 연간 고장률

연도	고장률	연도	고장률
1	0.00000	6	0.00009
2	0.00000	7	0.00031
3	0.00000	8	0.00088
4	0.00000	9	0.00226
5	0.00002	10	0.00522

여기서 연간사용사이클빈도와 보증기간이 달라지면 고장률도 달라짐을 알 수 있으며 보험료는 부모대상기업의 매출액규모, 사업비율(통상 15% 책정), 안증할증률(일반적으로 10~15%)을 적용하여 보험료를 책정한다.

앞으로 충분한 경험통계가 집적되면 손해율법이나 신뢰성(credibility)이론 등을 적용하여 요율을 조정할 수 있을 것이다. 이에 대한 조정방법은 다음 연구과제로 남겨둔다.

### 참고문헌

1. 이경룡, 보험학원론, 영지문화사, 2002
2. 한국수출보험공사, 신뢰성보험약관, 2003
3. 한국손해보험요율산정회, 손해보험요율산정의 기초이론, 1988
4. 홍연용 외 5인, 신뢰성인증보험제도의 개발에 관한 연구, 춘계학술대회논문집, 235-239, 안전경영과학회, 2001.
5. DIN 50021, Spray Tests with Different Sodium Chloride Solutions, Deutsches Insitut für Normung, 1988.
6. JIS C 0023, Basic Environmental Testing Procedures Part 2: Tests-Test Ka: Salt mist, Japanese Industrial Standard, 1999.
7. JASO D001, General Rules of Environmental Testing Methods for Automotive Electronic Equipment, Japanese Automobile Standards Organization, 1994.
8. KS C 0240, 환경 시험 방법(전기, 전자) 정현파 진동 시험 방법, 1998.
9. KS C 0904, 전기 기계 기구 및 배선 재료의 방수 시험 통칙(폐지), 2002
10. KS D 9502, 염수 분무 시험 방법(중성, 아세트산 및 캐스 분무 시험), 2002
11. KS R 5032, 자동차용 와이퍼 모터, 1977.
12. SAE J903, Passenger Car Windshield Wiper Systems, Society of Automotive Engineers, 1999.
13. MINITAB Release 13, Minitab Inc., 2002

[ 2004년 1월 접수, 2004년 2월 채택 ]