

# 자동차 반도체의 신뢰성 테스트 표준: AEC-Q100

## Test Standard for Reliability of Automotive Semiconductors: AEC-Q100

이 성 수\*★

Seongsoo Lee\*★

### Abstract

This paper describes acceleration tests for reliability of semiconductors. It also describes AEC-Q100, international test standard for reliability of automotive semiconductors. Semiconductors can be used for dozens of years. So acceleration tests are essential to test potential problems over whole period of product where test time is minimized by applying intensive stresses. AEC-Q100 is a typical acceleration test in automotive semiconductors, and it is designed to find various failures in semiconductors and to analyze their causes of occurrence. So it finds many problems in design and fabrication as well as it predicts lifetime and reliability of semiconductors. AEC-Q100 consists of 7 test groups such as accelerated environmental stress tests, accelerated lifetime simulation tests, package assembly integrity tests, die fabrication reliability tests, electrical verification tests, defect screening tests, and cavity package integrity tests. It has 4 grades from grade 0 to grade 3 based on operational temperature. AEC-Q101, Q102, Q103, Q104, and Q200 are applied to discrete semiconductors, optoelectronic semiconductors, sensors, multichip modules, and passive components, respectively.

### 요 약

본 논문에서는 반도체의 신뢰성을 테스트하기 위한 가속 시험에 대해 설명하고 자동차 반도체의 신뢰성 테스트 국제 표준인 AEC-Q100에 대해 다룬다. 반도체는 수십년 동안 사용할 수 있기 때문에 수명 전주기에서 발생하는 잠재적인 문제점을 테스트하기 위해서는 집중적으로 스트레스를 가하여 테스트 시간을 최소화하는 가속 시험이 필수적이다. 자동차 반도체에서 사용하는 대표적인 가속 시험인 AEC-Q100은 반도체에서 발생하는 각종 불량과 그 원인을 분석할 수 있도록 설계되었기 때문에 반도체의 수명과 신뢰성을 예측할 수 있을 뿐만 아니라 설계상, 제조상의 문제도 쉽게 찾아낼 수 있다. AEC-Q100은 가속 스트레스 시험, 가속 수명 시험, 패키지 적합성 시험, 공정 신뢰성 시험, 전기적 특성 시험, 결함 검출 시험, 기계적 특성 시험의 7개 테스트 그룹으로 구성되며 동작 온도에 따라 Grade 0에서 Grade 3까지 4개의 등급이 존재한다. 반도체 소자, 광전자 반도체, 센서 반도체, 멀티 칩 모듈, 수동 소자 분야에서는 각각 AEC-Q101, Q102, Q103, Q104, Q200이 사용된다.

*Key words* : ISO/TR 4804, Safety, Security, Autonomous Driving, ISO 26262, ISO/PAS 21448, ISO 21434

---

\* Soongsil University (Professor)

★ Corresponding author

E-mail : sslee@ssu.ac.kr, Tel : +82-2-820-0692

※ Acknowledgment

This work was supported by Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) grant funded by the Korea Government (MOTIE). (P0017011, HRD Program for Industrial Innovation) This work was also supported by Industrial Technology Challenge Track (20012624) of the Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE) / Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT).

Manuscript received Sep. 23, 2021; revised Sep. 24, 2021; accepted Sep. 27, 2021.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### I. 서론

자동차 내부의 제어 시스템이 점차 전자식으로 바뀌에 따라 자동차에서 반도체의 사용은 급격히 늘어나고 있다[1]. 자동차 반도체에서 가장 중요한 것은 신뢰성이며 온도 -40~150°C, 습도 0~100%와 같은 가혹한 조건에서 15년 이상 동작했을 때 고장이 나지 않아야 하기 때문에[2] 이를 보장할 수 있어야 자동차에 탑재될 수 있다.

자동차 반도체의 신뢰성을 테스트하는 가장 좋은 방법은 설계 수명 동안 실제로 동작시키고 불량 여부를 확인하는 것이지만 실제로 이렇게 오래 테스트할 수는 없기 때문에 대부분의 경우에는 짧은 시간 동안에 집중적인 스트레스(stress)를 가하는 가속 시험(acceleration test)을 수행한다. 자동차 반도체에서 대표적인 가속 시험은 자동차 전자부품 협의회(AEC: Automotive Electronics Council)에서 제정한 AEC-Q100[3]이다. AEC-Q100은 반도체에서 발생하는 각종 불량과 그 원인을 분석할 수 있도록 설계되었기 때문에 반도체의 수명과 신뢰성을 예측할 수 있을 뿐만 아니라 설계상, 제조상의 문제도 쉽게 찾아낼 수 있다. 자동차 반도체가 해당 시험을 통과하지 못하면 시험 결과를 분석하여 설계 및 제조 과정을 개선하고 다시 시험을 수행하는 과정을 반복하여 최종적으로 신뢰성이 높은 자동차 반도체를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 가속 시험과 AEC-Q100에 대해서 자세히 살펴본다.

### II. 가속 시험

반도체는 동작하는 동안 열, 습도, 충격, 진동, 전류, 자기장 등의 원인으로 고장을 일으킬 수 있는데, 이를 스트레스(stress)라고 한다. 원래는 테스트할 부품을 수명 전주기동안 동작시키며 스트레스를 가해야 하지만 이 경우 테스트 시간이 비현실적으로 증가하게 된다. 따라서 테스트할 부품이 동작 기간에 받는 스트레스와 동일한 불량률을 가지도록 그림 1과 같이 훨씬 짧은 기간에 훨씬 많은 스트레스를 가하는 가속 시험을 수행하는 것이 일반적이다[2][4].

신뢰성 시험에서 스트레스를 가하기 시작해서 불량이 발생할 때까지 걸리는 시간을 고장 수명(TTF: time-to-failure)이라고 하며, 가속 시험의 TTF와

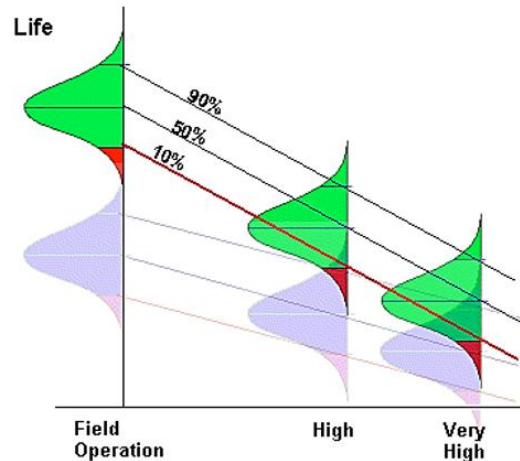


Fig. 1. Acceleration test [2][4].

그림 1. 가속 시험 [2][4]

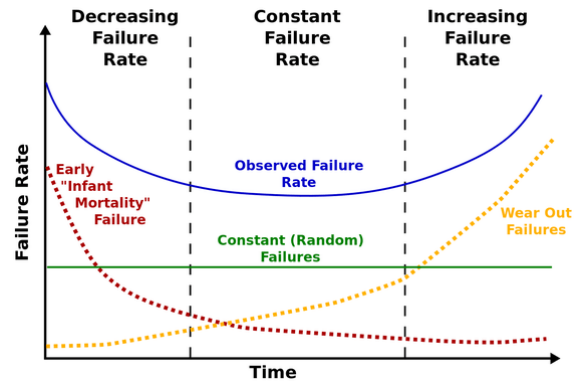


Fig. 2. Bathtub curve [2][7].

그림 2. 욕조 곡선 [2][7]

정상 사용의 TTF 사이의 비율을 가속 계수(AF: acceleration factor)라고 한다. AF가 200이고 정상 사용의 TTF가 20,000 시간이라면 이 가속 시험은 테스트 시간을 200배 단축시켜 100시간에 끝낼 수 있다.

가속 시험의 핵심 지표인 AF는 열역학, 통계역학 등에 기반하기 때문에 식 (1)~(3)과 유사하게 대부분 지수 함수의 형태를 가진다[2][5][6]. 여기에서 AF는 가속 계수이고  $T_{use}$ ,  $RH_{use}$ ,  $V_{use}$ ,  $T_{acc}$ ,  $RH_{acc}$ ,  $V_{acc}$ 는 각각 정상 사용의 온도, 습도, 전압과 가속 시험의 온도, 습도, 전압이며  $k$ 는 볼츠만 상수(Boltzman constant),  $E_a$ 는 활성화 에너지(activation energy),  $N$ 은 경험적 파라미터(empirical parameter)이다.

#### (a) Temperature Test

$$AF = e^{\frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{T_{usc}} - \frac{1}{T_{acc}} \right)} \tag{1}$$

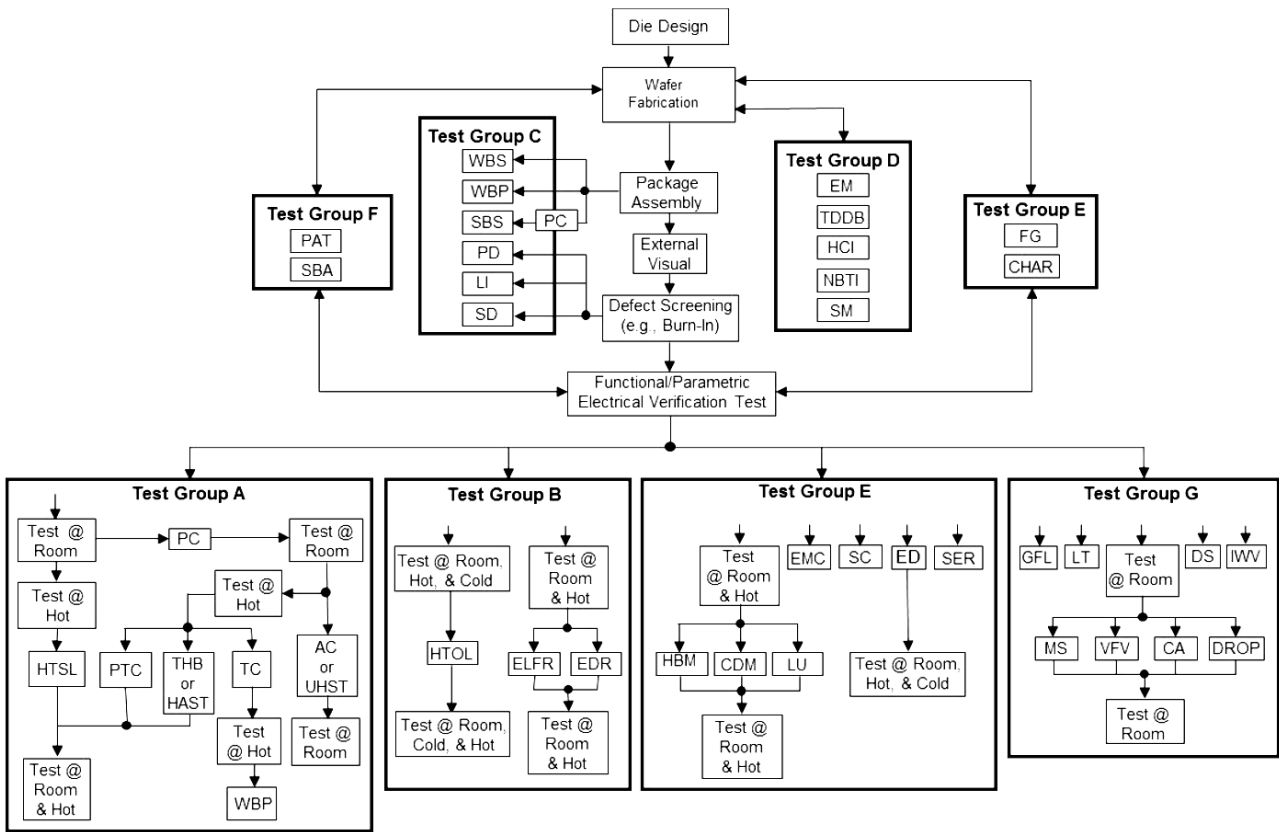


Fig. 3. Test groups of AEC-Q100 [4].  
그림 3. AEC-Q100의 테스트 그룹 [4]

(b) Temperature-Humidity Test

$$AF = \left( \frac{RH_{usc}}{RH_{acc}} \right)^{-N} \times e^{\frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{T_{usc}} - \frac{1}{T_{acc}} \right)} \quad (2)$$

(c) Temperature-Voltage Test

$$AF = \left( \frac{V_{usc}}{V_{acc}} \right)^{-N} \times e^{\frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{T_{usc}} - \frac{1}{T_{acc}} \right)} \quad (3)$$

가속 시험이든 정상 사용이든 불량률을 측정하면 그림 2와 같은 모양의 욕조 곡선(bathtub curve)을 그리게 된다. 이 불량률은 다음과 같이 3가지 원인으로 인해 발생하며 욕조 곡선의 모양을 분석하면 어떤 원인에 의해 불량이 발생하는지 알 수 있다 [2][7]. 예를 들어 불량이 시간에 관계없이 비교적 일정하게 발생한다면 이 불량은 설계, 제조, 노후의 문제가 아니라 외부의 우발적 요인에 의한 것이며 이에 따라 방사선, 전자기장 등의 외부 요인으로부터 반도체를 보호하는 차폐(shield)를 강화해야 한다.

(a) 초기 불량(early failure): 사용 초기에 집중되며 주로 설계, 제조, 조립 문제로 인해 발생한다.

(b) 임의 불량(random failure): 시간에 관계없이 발생 확률이 동일하며 주로 외부의 우발적 요인으로 인해 발생한다.

(c) 노후 불량(wear-out failure): 사용 후기에 집중되며 주로 오랜 사용으로 인한 부품 자체의 노후로 인해 발생한다.

### III. AEC-Q100의 개요

AEC-Q100은 자동차 반도체 중에서 집적회로에 대한 신뢰성 테스트 표준이며 이를 통과하여야 자동차에 탑재될 수 있다. AEC에서는 AEC-Q100 외에도 AEC-Q101[8], AEC-Q102[9], AEC-103 [10], AEC-Q104[11], AEC-Q200[12]을 제정하였는데 각각 자동차 반도체 중에서 반도체 소자, 광전자 반도체, 센서 반도체, 멀티 칩 모듈, 수동 소자 분야에 적용된다. AEC-Q100에서 AEC-Q200까지의 신뢰성 표준은 상당 부분 서로 유사하다.

Table 1. Test groups and sub-tests of AEC-Q100 [4].

표 1. AEC-Q100의 테스트 그룹과 세부 테스트 [4]

Test group A - Accelerated environment stress tests		
Sub-test	Abbreviation	Test methods
Precoditioning	PC	JEDEC J-STD-020 and JESD22-A113
Temperature-humidity-bias or Biased HAST	THB or HAST	JEDEC JESD22-A101 or A110
Autoclave or Unbiased HAST or Temperature-humidity	AC or UHST or TH	JEDEC JESD22-A102, A118, or A101
Temperature cycling	TC	JEDEC JESD22-A104
Power temperature cycling	PTC	JEDEC JESD22-A105
High temperature storage life	HTSL	JEDEC JESD22-A103

Test group B - Accelerated lifetime simulation tests		
Sub-test	Abbreviation	Test methods
High temperature operating life	HTOL	JEDEC JESD22-A108
Early life failure rate	ELFR	AEC-Q100-008
NVM endurance, data retention, and operational life	EDR	AEC-Q100-005

Test group C - Package assembly integrity tests		
Sub-test	Abbreviation	Test methods
Wire bond shear	WBS	AEC-Q100-001 and AEC-Q003
Wire bond pull	WBP	MIL-STD-883 Method 2011 and AEC-Q003
Solderability	SD	JEDEC JESD22-B102 or JEDEC J-STD-002D
Physical dimensions	PD	JEDEC JESD22-B100 and B108 and AEC-Q003
Solder ball shear	SBS	AEC-Q100-010 and AEC-Q003
Lead integrity	LI	JEDEC JESD22-B105

Test group D - Die fabrication reliability tests		
Sub-test	Abbreviation	Test methods
Electromigration	EM	User-defined
Time dependent dielectric breakdown	TDDB	User-defined
Hot carrier injection	HCI	User-defined
Negative bias temperature instability	NBTI	User-defined
Stress migration	SM	User-defined

Test group E - Electrical verification tests		
Sub-test	Abbreviation	Test methods
Pre- and post-stress function/parameter	TEST	User-defined
Electrostatic discharge human body model	HBM	AEC-Q100-002
Electrostatic discharge charged device model	CDM	AEC-Q100-011
Latch-up	LU	AEC-Q100-004
Electrical distributions	ED	AEC-Q100-009 and AEC-Q003
Fault grading	FG	AEC-Q100-007
Characterization	CHAR	AEC-Q003
Electromagnetic compatibility	EMC	SAE J1752/3
Short circuit characterization	SC	AEC-Q100-012
Soft error rate	SER	JEDEC JESD89-1 or 89-2 and 89-3
Lead free	LF	AEC-Q005

Test group F - Defect screening tests		
Sub-test	Abbreviation	Test methods
Process average testing	PAT	AEC-Q001
Statistically bin/yield analysis	SBA	AEC-Q002

Test group G - Cavity package integrity tests		
Sub-test	Abbreviation	Test methods
Mechanical shock	NS	JEDEC JESD22-B104
Variable frequency vibration	VFV	JEDEC JESD22-B103
Constant acceleration	CA	MIL-STD-883 Method 2001
Gross/fine leak	GFL	MIL-STD-883 Method 1014
Package drop	DROP	User-defined
Lid torque	LT	MIL-STD-883 Method 2024
Die shear	DS	MIL-STD-883 Method 2019
Internal water vapor	IWV	MIL-STD-883 Method 1018

AEC-Q100은 사용 가능한 온도에 따라 grade 0 (-40~150°C), grade 1(-40~125°C), grade 2(-40~

105°C), grade 3(-40~85°C)의 4개 등급으로 나뉘며 사용 목적에 따라 적절한 등급의 인증을 받아야 한다.

AEC-Q100은 그림 3, 표 1과 같이 7개의 테스트 그룹으로 구성되며 각각의 명칭과 세부 테스트는 다음과 같다.

- (a) Test group A - Accelerated environment stress tests(환경 스트레스 시험): 온도, 습도, 전압 등을 가해서 불량 발생 여부를 판별하는 시험
- (b) Test group B - Accelerated lifetime simulation tests(수명 시뮬레이션 시험): 오랜 시간 동안 스트레스를 가해서 수명이 어느 정도일지 예측하는 시험
- (c) Test group C - Package assembly integrity tests(패키지 무결성 시험): 반도체 다이와 패키지가 잘 결합되었는지를 판별하는 시험
- (d) Test group D - Die fabrication reliability tests(다이 신뢰성 시험): 반도체 다이 제조 공정에서 불량 발생 여부를 판별하는 시험
- (e) Test group E - Electrical verification tests(전기적 특성 시험): 정전기, 전자파, 단락 등 전기적 특성에 불량이 없는지 판별하는 시험
- (f) Test group F - Defect screening tests(결함 검출 시험): 반도체 다이 제조 공정에서 불량이 제대로 걸러지는지를 판별하는 시험
- (g) Test group G: Cavity package integrity tests(기계적 특성 시험): 충격, 진동, 낙하 등 기계적 특성에 불량이 없는지 판별하는 시험

그림 3과 표 1에서 볼 수 있듯이 AEC-Q100은 다양한 세부 테스트를 모아서 순서와 절차를 규정한 것이다. 대부분의 세부 테스트는 공동 전자기기 기술 협의회(JEDEC: Joint Electron Device Engineering Council)에서 반도체 전반에 사용하는 JEDEC 테스트 규격[13]을 준용하고 있으며 일부 세부 테스트는 타 테스트 규격(MIL-STD 883, SAE J1752 등)이나 AEC 자체 테스트 규격(AEC-Q001 등)을 준용한다.

#### IV. AEC-Q100의 세부 테스트

AEC-Q100에서 가장 많이 사용하는 세부 테스트로는 PC, THB/HAST, AC/UHST/TH, TC, PTC, HTOL, ELFR 등을 들 수 있으며 각각에 대한 설명은 다음과 같다.

- (a) PC(preconditioning): 반도체의 신뢰성 테스트를 하기 위해서는 패키징된 칩을 기판 위에 장착해야 하는데, 장착이 제대로 되었는지를 PC로 검증해야 나중에 다른 테스트에서 불량이 발생했을 때 이 불량이 기판 장착이 아니라 반도체 자체의 문제임을 확인할 수 있다. PC 테스트는 THB/HAST, AC/UHST/TH, TC, PTC 테스트 이전에 반드시 수행되어야 한다.
- (b) THB(temperature-humidity-bias) / HAST (biased HAST): 칩이 고온 다습한 환경에서 동작해도 문제가 없는지 확인하기 위한 테스트이며 내부 금속 부식을 가속하는 목적이 있다. 최대 공급 전압을 가한 상태에서 THB는 85°C 온도, 85% 습도를 1,000시간 동안, HAST는 130°C 온도, 85% 습도를 96시간 동안 유지한다. 이후 정상적으로 동작하는지를 확인한다.
- (c) AC(autoclave) / UHST(unbiased HAST) / TH(temperature-humidity): 칩이 고온 다습한 환경에서 보관해도 문제가 없는지 확인하기 위한 테스트이며 내부 금속 부식을 가속하는 목적이 있다. 공급 전압을 가하지 않은 상태에서 AC는 121°C 온도, 100% 습도, 15psig 압력을 96시간 동안, UHST는 130°C 온도, 85% 습도를 96시간 동안 유지한다. 이후 정상적으로 동작하는지를 확인한다. 온도와 압력에 약한 패키지가 사용된 경우에는 TH를 사용하는데 85°C 온도, 85% 습도를 1,000시간 동안 유지한다.
- (d) TC(temperature cycling): 칩이 고온과 저온이 반복되는 환경에서 보관해도 문제가 없는지를 확인하기 위해 공급 전압을 가하지 않은 상태에서 각 등급별로 정해진 온도 사이클(grade 0에서는 -55°C에서 150°C까지 증가 후 감소)을 정해진 횟수(grade 0에서는 2,000 사이클)만큼 반복한다. 이후 정상적으로 동작하는지를 확인한다.
- (e) PTC (power temperature cycling): 칩이 고온과 저온이 반복되는 환경에서 동작해도 문제가 없는지를 확인하기 위해 최대 공급 전압을 단속적으로 on/off를 반복하면서 동시에 각 등급별로 정해진 온도 사이클(grade 0

에서는  $-40^{\circ}\text{C}$ 에서  $150^{\circ}\text{C}$ 까지 증가 후 감소를 정해진 횟수(grade 0에서는 1,000 사이클)만큼 반복한다. 이후 정상적으로 동작하는지를 확인한다.

- (f) HTOL(high temperature operating life): 제품의 사용 수명을 예측하기 위한 테스트이며 최대 공급 전압을 가한 상태에서 각 등급별로 정해진 온도(grade 0에서는  $150^{\circ}\text{C}$ )를 1,000시간 동안 유지한다. 이후 정상적으로 동작하는지를 확인한다. HTOL을 통과하지 못한다면 이 칩은 오랜 시간 사용하면 노후화해서 불량률이 발생할 확률이 높다는 것을 의미한다.
- (g) ELFR(early life failure rate): 제품의 초기 불량을 확인하는 테스트이며 최대 공급 전압을 가한 상태에서 최대 공급 전압을 가한 상태에서 각 등급별로 정해진 온도(grade 0에서는  $150^{\circ}\text{C}$ )를 48시간 동안 유지한다. 이후 정상적으로 동작하는지를 확인한다. ELFR을 통과하지 못한다면 이 칩은 설계, 제조, 조립 과정에서 문제가 있어서 초기에 집중적으로 불량률이 발생할 확률이 높다는 것을 의미한다.

## V. 결론

본 논문에서는 반도체의 신뢰성을 테스트하기 위한 가속 시험과 자동차 반도체의 신뢰성 테스트 국제 표준인 AEC-Q100에 대해 살펴보았다. AEC-Q100은 자동차 반도체가 실제 자동차에 탑재되기 위해서 꼭 필요한 테스트일 뿐만 아니라 테스트 결과로부터 설계, 제조, 조립 과정의 문제점을 발견하고 원인을 추정할 수 있는 매우 유용한 도구이다. 그러나 국내에서는 대부분의 반도체 설계자가 테스트 통과 여부만 관심이 있으며 이를 제품 개발 및 개선에 사용하는 경우는 상당히 드문 편이다. 자동차 반도체의 진입 장벽 중에서 가장 큰 걸림돌이 신뢰성 문제임을 감안하여 본 논문을 통해 국내 자동차 반도체 산업에서 AEC-Q100이 널리 활용되기를 바란다.

## References

[1] Y. Shin and S. Lee, "Compliance Technologies of Electromagnetic Compatibility in Automotive

Electronic Systems," *j.inst.Korean.electr.electron.eng.*, vol.22, no.2, pp.506-509, 2018.

DOI: 10.7471/ikeee.2018.22.2.506

[2] S. Lee and C. Kim, "Reliability Test for Automotive Semiconductors," *the Magazine of the IEIE*, vol.46, no.1, pp.39-45, 2019.

[3] AEC-Q100 Rev-H, "Failure Mechanism Based Stress Test Qualification For Integrated Circuits," [http://www.aecouncil.com/Documents/AEC\\_Q100\\_Rev\\_H\\_Base\\_Document.pdf](http://www.aecouncil.com/Documents/AEC_Q100_Rev_H_Base_Document.pdf)

[4] <https://www.rmqs.org/using-accelerated-life-testing-to-assess-warranty-risk/>

[5] S. Arrhenius, "Über die Dissociationswärme und den Einfluss der Temperatur auf den Dissociationsgrad der Elektrolyte," *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, vol.4, pp.96-116, 1889.

[6] K. Laidler, *Chemical Kinetics*, 3<sup>rd</sup> edition, Harper & Row, 1987.

[7] <http://passionateaboutoss.com/bathtub-curve/>

[8] AEC-Q101 Rev-E, "Failure Mechanism Based Stress Test Qualification For Discrete Semiconductors," [http://www.aecouncil.com/Documents/AEC\\_Q101\\_Rev\\_E\\_Base\\_Document.pdf](http://www.aecouncil.com/Documents/AEC_Q101_Rev_E_Base_Document.pdf)

[9] AEC-Q102 Rev-A, "Failure Mechanism Based Stress Test Qualification for Discrete Optoelectronic Semiconductors in Automotive Applications," [http://www.aecouncil.com/Documents/AEC-Q102\\_Rev\\_A.pdf](http://www.aecouncil.com/Documents/AEC-Q102_Rev_A.pdf)

[10] AEC-Q103-002, "Failure Mechanism Based Stress Test Qualification for Micro Electro-Mechanical System (MEMS) Pressure Sensor Devices," [http://www.aecouncil.com/Documents/AEC\\_Q103-002\\_Rev-.pdf](http://www.aecouncil.com/Documents/AEC_Q103-002_Rev-.pdf)

[11] AEC-Q104, "Stress Test Qualification For Passive Components", [http://www.aecouncil.com/Documents/AEC-Q104\\_Rev-.pdf](http://www.aecouncil.com/Documents/AEC-Q104_Rev-.pdf)

[12] AEC-Q200 Rev-D, "Failure Mechanism Based Stress Test Qualification For Multichip Modules (MCM) In Automotive Applications," [http://www.aecouncil.com/Documents/AEC\\_Q200\\_Rev\\_D\\_Base\\_Document.pdf](http://www.aecouncil.com/Documents/AEC_Q200_Rev_D_Base_Document.pdf)

[13] JEDEC Standards & Documents Search, <https://www.jedec.org/standards-documents>