

신뢰성 기술의 국내확산

유 동 수[†]

(주)큐랩스

Domestic Dissemination of Reliability Technology

Dongsu Ryu[†]

QRAPS

1. 서론

신뢰성 응용연구 학술지가 학술진흥재단의 등재지로 등록된 것을 축하드립니다. 이제 학술지의 위상을 단단히 하였고 이로 인해 수준 높은 연구결과가 폭발적으로 발표되어 신뢰성공학에서 세계기술을 리드하게 될 것임을 마음속으로 그려봅니다.

부품소재 신뢰성사업은 그간 정부의 적극적인 지원 하에 부품(모듈, Sub Assy 포함)분야에서 크게 발전하였고 몇 년 전부터 소재분야로 중심축이 이동하여 소재부품이라는 타이틀로 철강소재 세라믹소재, 화학소재로 나누어 신뢰성기술의 발전을 도모하고 있습니다.

정부의 부품소재 신뢰성사업은 산업자원부(지금의 산업통상자원부) 기술표준원에서 2000년 시범사업을 시작으로 2001년 본 사업으로 이어지고 지금 16연차를 맞이하고 있습니다. 초기에 단발성 프로젝트로 시작하였으나 기술의 중요성을 인식한 주덕영 기술표준원장은 장기적인 추진을 위하여 특별법을 만들어 이 프로젝트의 법적 근거를 확실히 하였습니다. 이 법의 이름은 ‘부품소재 전문기업 육성 등에 관한 특별조치법’이며 통상 특별법은 10년 한시법이나 지금도 계속되고 있습니다.

정권의 변화에도 불구하고 국회의 여야 모두가 지

원하고 정부 관련자가 열과 성을 다해 노력함으로써 정부가 벌인 사업 중에서 성과가 대단한 사업으로 평가 받고 있습니다. 18개의 신뢰성평가센터가 주축으로 관련분야의 아이টে을 선정하였고 이의 시험검사 표준을 RS규격으로 제정하고 이를 기준으로 아이টে을 평가하므로 아이টে이 세계적 수준으로 도약하게 된 것입니다. 대부분이 정부출연연구소 산하에 있는 신뢰성평가센터의 센터장을 중심으로 합심하여 800여 건이 넘는 규격을 제정하여 이룬 결과입니다.

초기에는 산업계에서 이 규격에 맞추지 못하여 규격이 너무 과하다라고 할 정도로 뒷말이 많았던 것도 사실이고 정부측에서도 실적이 더디고 눈에 보이지 않아 담당자들도 걱정을 많이 하였습니다. 그러나 각 신뢰성센터의 노력과 수원대의 고장분석기술 등을 동원하여 적절한 대책을 세움으로 아이টে의 신뢰성은 현격히 오르게 되었습니다. 물론 신뢰성학회를 발판으로 관련기술을 발전시키고 확산하여 신뢰성공학을 완벽하도록 다듬었고 또 초기 신뢰성수학이 다수를 점하였던 연구논문들이 고장물리(PoF; Physics of Failure), 즉 Failure Mechanism 중심으로 발전되어 바람직한 궤도에 오르게 된 것은 특기할 일입니다.

산업계 학계 신뢰성센터가 노력한 결과를 짚어 봅니다. 2008년에 현대자동차의 VDS(Vehicle Dependability Study, 3년 사용 후 소비자의 클레임조사) 지표

[†] 교신저자 dsryu21@paran.com

가 미국 소비자로부터 평균 이상의 점수를 받음으로 객관적인 검증을 받았다고 자축하게 되었습니다. 이 자동차는 2005년 생산된 제품으로 3년 지난 시점의 고객조사에서 나타난 성과이며 자동차부품연구원 신뢰성센터와 현대차 등 여러 부문 노력의 결과입니다. 이런 성과는 이미 우리나라의 무역수지지표로 이미 확인되었습니다. 2004년 무역수지흑자는 294억불인데 이때 부품소재 부문 흑자는 152억불로 흑자총액의 반이었습니다. 2005년 무역수지흑자는 232억불인데 부품소재 부문은 227억불로 총액과 비슷합니다. 2006년 무역수지흑자는 161억불인데 부품소재 부문은 347억불입니다. 이때부터 무역수지흑자의 두 배 정도가 부품소재 부문의 흑자이며 이런 추이가 지금까지 계속되고 있습니다.

자동차를 움직일 기름을 수입하는 나라에서 무역수지 적자면 어떨까 생각해 봅니다. 미디어에서 보듯이 여러 문제들로 어지러운 우리나라에서 무역수지 적자가 계속되었을 때 얼마나 혼란스러울지 가늠이 되지 않습니다. 값싸지 않은 수입품 스타벅스 커피를 마시며 우리의 젊은 친구들이 미래를 꿈꾸는 것도 여러분들 노력의 결과라고 생각합니다.

학회는 2000년 말에 창립되어 16년이 되었습니다. 그간 노력한 사람들 외에 젊은 인재들이 많이 보입니다. 이들이 신뢰성기술을 꾸준히 발전시켜야 할 것입니다. 작년 말 본인이 규격을 심의하는 과정에서 느낀 몇 가지 사항을 말씀드리고자 합니다.

첫째, 수명목표를 사용자관점에서 잘 정리하는 일입니다. 'BX Life Y년' 기준으로 정리하고 유사제품의 수명과 비교했으면 합니다. 참고로 자동차 모듈은 'B1 Life 10년' 정도입니다. VDS 자료를 기준으로 3년에 차량당 0.7건 정도로 올려 잡으면 10년에 2건(200%)이 되고 모듈수를 200개로(자동차 부품수 2만개, 모듈당 부품수 약 100개)로 추정하면 모듈당 트러블은 1%이므로 'B1 Life 10년'이 됩니다. 모듈당 Failure Mechanism이 셋이라고 추정하면 'B0.33 Life 10년'이 가속시험 수명목표로서 합당합니다. GM사는 Severe User(CVR three, [*1]) 기준 신뢰도 97%, 즉 'B3 Life 대략 30년'으로 시험 설계하고 이는 시장신뢰도(Field Reliability) 99.5%, 즉 'B0.5 Life 10년'에 상당한다고 합니다(GMW3172 Users Guide 참조). 'B3 Life 30년'은 형상모수 2일 때 'B0.33 Life 10년'으로 환산되지만 후자는 10년에 상당하는 시험, 전자는 30

년에 상당하는 시험이라는 점에 중요한 차이가 있습니다[*2]. 부품수가 2,000개인 가전제품은 자동차 모듈 수명목표, 즉 'B0.33 Life 10년'의 누적고장률이 3배인 'B1 Life 10년'이면 합당하다고 보여집니다. 가전제품은 진동/충격 환경이 미미하므로 실제 시장 데이터는 낮아 자동차의 10배 정도로 높지 않습니다.

첨언하여 MTTF/MTBF는 불가합니다. 'B1 Life 10년'을 MTTF로 환산하면 지수분포인 경우 약 1,000년이고 형상모수 2인 경우 약 100년 정도 됩니다[*2]. 100년에 상당하는 시험은 너무 어렵습니다. 그렇다고 목표연수를 줄이면 저급한 물건이 되겠지요.

둘째, 신뢰성 한계시험은 특이한 사용 환경이나 동작조건에서 찾을 수 있으므로 이에 대한 조사가 필요하지만 수명시험은 거의 정상적인 사용환경동작조건에서 아이템의 어디에서 트러블이 있는지 밝혀내는 일입니다. 따라서 아이템의 구조와 특히 재료를 확실히 알아야 합니다. 같은 집이라도 나무집은 토네이도에 부서져 날아갈까 걱정이지만 초가집은 어딘가 산불의 불똥이 튀어 불이 붙을까 염려합니다. 구성재료에 따라 주된 Failure Mode가 다르게 떠오릅니다. 따라서 구조 속의 재료를 구체적으로 알아야 Failure Mechanism을 정리할 수 있습니다. 대상 아이템의 구성재료 중에 접촉제나 고무가 있으면 심본 유의해야 합니다. 고무관련 신뢰성기술은 화학융합시험연구원의 연구결과가 세계적 수준입니다.

이제 재료구조를 토대로 2 Stage QFD가 포함된 4 Step Extraction Program을 잘 적용했으면 합니다. 즉 구조와 재료를 조사하여 Potential Failure Mechanism을 다 망라한 다음, 이중에서 아이템의 사용 환경과 동작조건에서 발생할 수 있는 지배적인 Failure Mechanism을 확정해야 하겠습니다.

셋째, 신뢰수준은 논란이 많은 이슈입니다. 기계연구원 신뢰성센터에서 체계적으로 정리하여 적정수준을 잘 선정하고 있습니다. 통계학이나 실제 선거 출구조사에서는 95%를 선호합니다. 우리도 무언가 주장할 때 흔히 '심중팔구는 내 말이 맞야'라고 합니다. 이는 내주장의 신뢰수준이 80%~90%라는 이야기입니다. 신뢰수준이 높을수록 좋습니다만 이것은 바로 시험비용과 직결됩니다. 신뢰수준 90%의 시료수는 신뢰수준 60%의 시료수의 대략 두 배입니다, 즉 시험비용이 두 배라는 뜻이 됩니다. 시험할 때 시료제작비용이나 시험장치구성 및 운용이 만만치 않습니다. 신뢰

수준은 60%, 즉 상식수준으로서 충분하다고 보여줍니다. 그리고 이를 다시 반복하여 시험하고 같은 결과를 얻었다면 신뢰수준이 90%로 오른다는 것과 GM 자동차가 신뢰수준 50%를 기준으로 정리하고 있음을 염두에 두었으면 합니다.

우리의 신뢰성기술은 선진국을 앞서고 있습니다. 트러블 발생 시의 고장분석기술은 많이 뒤떨어져 있지만 새로운 아이টে에 맞는 규격설정기술은 다음 두 가지 점에서 앞섰습니다. 우선 일반특수환경성능시험, 신뢰성한계시험, 신뢰성수명시험으로 구분하여 관련전문가들이 검토합니다. 다음은 수명시험을 사용현실에 맞춰 정리합니다. 미국이나 일본에서는 이에 대한 구체적인 가이드는 없습니다. 다만 GM은 Success-Run Theorem과 Lipson Equality를 사용하여 시료수와 시험시간을 확정합니다[*3]. 이는 우리가 사용하는 수식과 기본개념은 같지만 무고장이라는 점과 우리가 활용하는 수식에 비해 번거롭다는 단점을 보입니다. 우리의 시료수식은 아이টে의 목표를 'BX Life Y년'으로 확정하고 지배적인 Failure Mechanism의 AF계수를 동원하고 또 이에 사용환경동작조건과 긴밀하게 연결하여 GM보다 포괄적입니다[*4]. 그러나 GM사가 MTTF를 쓰지 않음은 물론 'B3 Life 30년'을 활용하고 있음에 유의해야 합니다.

그런데 우리나라 신뢰성기술의 문제는 엉뚱한 곳에 있습니다. 이미 고도화된 신뢰성평가기술이 정부출연연구소 중심으로 중소기업에서 활용하고 있고 대기업이나 국방관련 기술에 적용되고 있지 않다는 점입니다. 몇 년 전에 군수장비 평가에 수명시험을 도입하라는 국방부훈령이 떨어진 것은 다행이지만 이제 시작하고 있고 대기업은 아직도 수명시험을 한계 시험처럼 정리합니다. 고객수명요구에 적합하게 계량적목표를 설정하고 이에 맞춰 시험시간과 시료수를 확정해야 하지만 구체적 근거 없이 진행하고 있습니다. 또 다른 문제는 계속되고 있는 부품소재 정부정책이 소재부문에 치우쳐져 부품모듈부문의 신뢰성 개발자금이 축소되고 있다는 사실입니다. 개발자금은 대기업이나 정부에서 나옵니다. 대기업에서는 신뢰성기술에 대한 이해가 미흡하고 정부 RnD 프로젝트에 신뢰성부분이 강제사항이어야 함에도 권장사항으로 정리되어 신뢰성기술에 대한 자금이 메마르고 있는 실정입니다. 아직도 대기업이 해외규격을 서핑하여 정리하고 있음은 서글픈 일입니다.

신뢰성 심포지엄은 미국은 1962년, 일본은 1971년, 차이나는 1986년부터 시작하였고 우리는 2001년이므로 꽤 늦었습니다. 차이가 인공위성을 쏘아 올리는 것은 결코 우연이 아닙니다. 그러나 우리는 지름길로 왔다고 생각합니다. 모두가 합심하여 좋은 결과를 내고 있습니다. 어려움에 처해 있는 우리학계는 이제 신뢰성기술의 발전은 물론 국내 Marketing에도 힘을 쏟아야 할 것입니다.

[참고 사항]

[*1] Customer Variability Ratio = Severe User / Median User.

[*2] 간이적으로 다음 식으로 추정한다.

$$(BXLife)^{\beta} \approx x \cdot (\eta^{\beta}), \quad X = 100 \cdot x$$

$$\eta \approx MTTF$$

여기서 β = Shape Parameter, η = Characteristic Life.

X = Cumulative Failure Rate(%) within Lifetime.

[*3] Success-Run Theorem; $R = (1 - C)^{(1/N)}$,

Lipson Equality; $(N/N') = (L'/L)^{\beta}$,

여기서,

R = Reliability, C = Confidence Level,

N = Sample Size, L = Life Requirement,

N' = Revised smaller Sample Size,

L' = Longer Life Requirement resulting from smaller Sample Size.

[*4] Sample Size Equation;

$$N = (\chi^2(\alpha, 2r + 2)/2) \cdot (1/\ln(1 - x)^{(-1)})$$

$$\cdot (L/(AF \cdot h))^{\beta} + r.$$

이식에서 $C \approx 0.6$ 이면

$$N = (r + 1) \cdot (1/x) \cdot (L/(AF \cdot h))^{\beta} + r.$$

또 $r = 0$, $L = AF \cdot h$ 이면

$$N = (\chi^2(\alpha, 2)/2) / \ln((1 - x)^{(-1)}).$$

Success-Run Theorem에서,

$$N = \ln(1 - C) / \ln R = (\ln 1/\alpha) / \ln(R^{(-1)}).$$

따라서 위 식과 동일. $(\ln 1/\alpha)$ 은 $(\chi^2(\alpha, 2)/2)$ 와 수학적으로 동일함에 유의.

여기서 χ^2 = Chi-squared Distribution,

α = Significance Level = 1 - C,

r = Number of Failure,

AF = Acceleration Factor,

h = Test Hour.

※ Determination of Sample Size for Lifetime Test In the Inception of Robot R&D, Proceedings of 10th International Conference on URAI, 2013, p. 63-65.