

품질 및 신뢰성 분야의 동향과 발전 방향

염봉진^{1*} · 서순근² · 윤원영³ · 변재현⁴

¹KAIST 산업 및 시스템공학과/ ²동아대학교 산업경영공학과
³부산대학교 산업공학과/ ⁴경상대학교 산업시스템공학부

Trends and Future Directions of Quality Control and Reliability Engineering

Bong-Jin Yum · Sun-Keun Seo · Won Young Yun · Jai-Hyun Byun

¹Department of Industrial and Systems Engineering, KAIST

²Department of Industrial and Management Systems Engineering, Dong-A University

³Department of Industrial Engineering, Pusan National University

⁴Department of Industrial and Systems Engineering, Gyeongsang National University

Industrial engineering has played a central role in creating knowledge on quality control and reliability engineering (Q&R) and delivering such knowledge to various industries. This special issue paper is prepared in celebration of the 40th anniversary of the Korean Institute of Industrial Engineers (KIIE), and includes discussions on how Q&R areas have evolved over almost 100 years and on the current domestic and international trends of Q&R activities in industry as well as in academia. To identify academic research trends, all Q&R related papers published in the Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers (JKIIE) and IE Interfaces are examined and classified according to their research topics. Recent Q&R related papers published in IIE Transactions are also examined and classified in a similar manner, and the papers published in KIIE journals are compared with those in IIE Transactions with respect to the research areas emphasized, yearly trend of each research area, type of systems studied, research approaches and methodologies adopted, etc. In addition, quality control activities in domestic industries are evaluated based on a recent survey conducted by Korea Productivity Center, and for domestic reliability engineering activities, government-led projects and their accomplishments over the past decade are introduced. Based on the above, recommendations are made for the future directions of academic research and Q&R activities in industry.

Keywords: Quality Control, Reliability Engineering, Research Areas, Industrial Practices

1. 서론

기업 경쟁력의 원천은 고객만족에 있으며, 제품이나 서비스의 품질과 신뢰성(Quality and Reliability : Q&R)은 고객만족의 중요한 요소 중 하나이다(<Figure 1> 참조). 아울러, 제품기능의 복잡화, 신기술/신소재의 출현, 제조물 책임 강화, 고객의 높은

기대 수준 등으로 Q&R 분야의 중요성은 더욱 높아지고 있다. 이에 부응하기 위해 기업들은 다양한 Q&R 활동을 전개해 오고 있으며, 그 기본 정신은 '전사적 추진', '지속적 개선' 등으로 요약할 수 있을 것이다(<Figure 1> 참조). 이러한 활동이 구호로 그치지 않고 실질적 결실로 연결되기 위해서는 무엇보다 '기술력'이 뒷받침되어야 한다. 그동안 산업공학은 범용기술(또

본 논문을 작성하는 데 많은 도움을 주신 한국생산성본부의 이춘선 상무, 유종관 위원, 그리고 한국산업기술시험원 박정원 소재부품본부장께 깊이 감사드립니다.

* 연락저자 : 염봉진 교수, 305-701 대전광역시 유성구 대학로 291, KAIST, Tel : 042-350-3116, Fax : 042-350-3110,

E-mail : bjjum@kaist.ac.kr

는 관리기술)로서 Q&R 분야에 관한 지식을 창출하고, 이를 산업체에 보급하는 데 중심적 역할을 담당해 왔다(<Figure 1> 참조).

본 논문의 목적은 대한산업공학회 창립 40주년을 맞이하여 Q&R 분야의 역사적 흐름과 국내외 학계의 연구 동향, 산업체 및 중요 단체의 활동 내용 등을 파악하고, 개선 및 발전 방향을 제시하는 데 있다. 제 2장에서는 Q&R 분야의 국내외 변천 과정을 요약했으며, 그 밖에 국내외 학술단체, 정부 및 민간 기관, 주요 학술지, 주요 학술대회 등을 소개하였다. 제 3장에서는 학술연구의 국내외 동향을 정리하였다. 먼저 Q&R 각각의 연구 분야를 분류했으며, 이를 기준으로 대한산업공학회지와 산업공학지에 게재된 Q&R 관련 논문 전체를 분류하고 연도별 추이를 조사했다. 국외 학술지로는 IIE Transactions에 최근 6년 동안 게재된 Q&R 관련 논문을 조사하고, 그 결과를 대한산업공학회지와 산업공학지의 조사 결과와 비교했다. 제 4장에서는 Q&R 분야의 산업체 활용 현황에 대해 기술하였다. 품질분야에 대해서는 한국생산성본부 ‘제조업 생산성 패널조사’ 결과를 이용했으며(Manufacturing Productivity Panel Survey, 2013), 신뢰성 분야는 지난 10여년 동안 정부 주도로 추진된 소재·부품 신뢰성 향상사업의 성과를 요약했다. 제 5장에서는 앞 장의 조사, 분석 결과를 바탕으로 Q&R 분야의 개선 및 발전방향에 대해 논의하였다. 끝으로, 제 6장에 결론을 기술하였다.

본 연구에서는 Q&R이라는 방대한 분야를 비교적 짧은 시간 내에 다루었기 때문에, 본의 아니게 누락하거나, 중요도에 비추어 소홀히 다루거나, 또는 오류가 존재하는 내용도 있을 것이다. 독자 여러분의 지적과 조언을 기대한다.

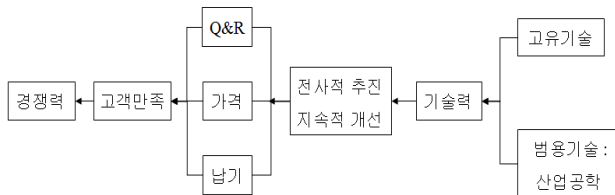


Figure 1. Competitiveness, Q&R and industrial engineering

2. 품질 및 신뢰성 분야 국내외 동향

2.1 품질관리의 변천과정

품질관리 관련 국내외 활동이 어떻게 진화해 왔는가를 크게 1920~1940년대, 1950~1970년대, 1980~1990년대, 1990년대 이후로 구분하여 제시하고자 한다. 근대적 품질관리 활동은 1920~1940년대에 통계적 품질관리의 태동과 보급으로 비로소 시작되었다고 볼 수 있는데, 미국의 벨연구소에서 1924년 Shewhart가 관리도를, 1928년에 Dodge와 Romig가 Acceptance Sampling 방법을 개발하였고, 1931년에는 Shewhart가 통계적 품질관리를 위한 단행본인 ‘Economic Control of Quality of Manufactured Product’를 출판하였다. 벨연구소는 제2차 세계

대전 발발 이후 전쟁물자의 품질을 관리하기 위한 군사규격을 제정하는 데에 선도적 역할을 하게 된다. 1944년에는 통계적 품질관리 최초의 학술지인 ‘Industrial Quality Control’이 창간되었다. 1946년에 미국 내 여러 개의 품질관련 단체가 ASQC (American Society for Quality Control)로 합병되었으며, 같은 해 일본과학기술연맹(Union of Japanese Scientists and Engineers; JUSE)도 설립되었다. 그리고 1947년에는 세계 표준화 기구인 ISO(International Organization for Standardization)가 설립되었다.

종합적 품질관리(Total Quality Control; TQC)는 1950~1970년대에 나타났다. 1961년에는 Feigenbaum이 ‘Total Quality Control’을 출간하였다(1951년 출간한 책의 명칭 변경). 1951년 일본의 JUSE는 품질관리와 품질방법론에 공로를 세운 회사와 개인에게 수여하는 데밍상(Deming Prize)을 제정하였으며, Juran은 ‘Quality Control Handbook’을 출간하였다. 일본의 Ishikawa는 1962년에 생산현장의 직장들의 품질관리 활동을 정리하여 품질관리 분임조(QC Circle)라고 명명했는데, QC Circle은 이후 2차, 3차 협력업체까지 급속히 보급되면서 일본 품질관리의 대표적 활동으로 자리 잡게 된다. Crosby는 1979년에 ‘Quality Is Free’라는 책을 출간하는데, 이 책에는 그가 1960년대 초부터 발전시켜 온 무결점(Zero Defect : ZD) 운동의 내용을 담고 있다. 한편, 국내에서도 본격적인 품질관리 활동을 위하여 1962년에 한국규격협회를 창립하여 국가표준사업을 시작하였다. 1975년에 품질관리대상이 제정된 이후, 이 상의 운영을 주도적으로 수행하여 국내 품질관리활동 우수기업을 발굴하고 표창함으로써 국내 기업들이 품질관리에 보다 적극적으로 나서도록 독려했다. 한국규격협회는 1993년에 한국표준협회로 이름이 바뀌었고, 품질관리대상은 1994년 한국품질대상, 2000년 국가품질상으로 변경되었다.

1980~1990년대는 품질경영의 시대라고 볼 수 있다. 데밍(Deming)은 미국 제조업의 문제점과 발전방향을 품질경영 입장에서 정리하여 1986년에 ‘Out of the Crisis’라는 책을 출간하였다(1982년 출간한 책의 명칭 변경). 이후 1987년에 국제표준화기구(ISO)에서 ‘ISO 9000 Family of Quality Management Standards’를 발행함으로써 품질경영을 위한 국제적인 표준이 제정되었고, 같은 해에 미국에서는 말콤볼드리지 국가품질상(Malcolm Baldrige National Quality Award; MBNQA)을 제정하여 침체된 미국기업의 경쟁력 제고를 위한 품질경영 활동을 본격적으로 장려하기 시작하였다. 이러한 미국의 움직임에 자극을 받아 일본은 1996년에 사회경제생산성본부(현 일본생산성본부)에서 일본 경영품질상을 제정하였다. 이러한 ISO 품질경영시스템이나 MBNQA, 일본 경영품질상 등은 품질을 제고하기 위하여 시스템 또는 프로세스 관점의 접근, 경영자책임(리더십), 고객의 요구와 기대를 충족하기 위한 전사적 활동을 강조하였다. 국내에서는 1992년에 품질경영촉진법이 제정되고, 국가적 차원에서 품질문제를 관장하는 국립기술품질원이 1996년에 설립되어 공업표준과 품질안전 업무를 담당하다가, 2013년 국가기술표준원으로 명칭이 변경되어 현재 국가표준

· 인증제도와 소비자 제품 안전정책의 총괄 운영 · 조정 및 국가 계량 · 측정체계를 운영하고 있다. 국제적으로는 국제표준화기구(ISO, IEC)의 대표기관으로서 무역기술 장벽에 대응하는 총괄주무부처의 역할을 수행하고 있다.

1990년대 이후에는 식스시그마 혁신활동과 설계 · 개발 단계에서 품질을 확보하기 위한 활동이 활발하게 전개되었다. 식스시그마 혁신 방법론은 1980년대 후반에 모토롤라에서 개발되고 GE(General Electric)에서 활성화되어 전 세계 기업에 보급되었다. 이 방법론은 DMAIC(Define-Measure-Analyze-Improve-Control) 로드맵을 이용하여 혁신 프로젝트를 수행하는데, 고객 중심 사고, 프로세스 개선, 과학적인 문제해결, 조직적인 인력양성, 재무성과와의 연계 등의 장점 때문에 산업체에 급속하게 보급되었다. 국내에는 1996년 LG전자 창원공장, 한국중공업(현 두산중공업), 삼성전관(현 삼성 SDI)에 처음으로 보급된 후, 국내 대기업뿐만 아니라 중견기업에도 확산되었다(Park *et al.*, 2006). 하지만 식스시그마는 2000년대 후반부터 그 열기가 감소하는 추세에 있는데, 그 이유는 아직 명확히 밝혀진 바는 없으나, 경영진의 교체에 따른 추진 동력과 연속성 상실, 일부 경영진의 성과에 대한 조급함, 식스시그마를 추진함에 있어서 벨트 제도의 운영을 위한 기업 자원의 과다소요, 식스시그마를 추진하는 컨설턴트나 추진사무국의 성과에 대한 과대 포장, 기업 인력의 변화에 대한 저항, 식스시그마 자체의 문제점(즉, 통계적 방법론의 습득 및 적용의 난점, 산포의 원인 규명이나 근본적 대책 미흡) 등이 거론되고 있다. 하지만 식스시그마 이후 이를 능가할 만한 혁신 방법론은 아직 출현하지 않고 있으며, 여러 기업에서 식스시그마에서 강조한 고객중심 사고와 프로세스 개선을 통하여 산출물의 품질을 높이려 하고 있으며, 식스시그마의 방법론 중 해당 기업에 맞는 것은 선별하여 활용하고 있다. 그리고 사무 · 간접 부문이나 유통, 서비스 산업에서는 린 시스템과 연결한 린 시그마를 활용하고 있다(George, 2003; Martin, 2007). 일부 기업의 연구소나 품질 부문에서는 개발을 위한 식스시그마 방법론인 DFSS(Design for Six Sigma)를 계속하여 활용하고 있다.

1980년대 후반부터 설계 · 개발 단계에서 품질을 확보하는 것이 중요해지면서 다구치의 강건설계, 품질기능전개 등의 방법론을 이용한 활동이 활발하게 전개되었다. 품질기능전개는 1960년대에 일본에서 개발되어 조선소의 선박제작 등에 적용된 이후, 1988년 Harvard Business Review에 소개되면서(Hauser and Clausing, 1988) 전 세계적으로 알려졌는데, 이 방법은 신제품의 개발 초기 단계에서 관련자들이 모여 고객의 요구사항을 기술특성, 부품특성, 공정특성 등으로 차례로 전개해 나가는 방법이다. 이 방법을 이용하여 가능한 초기단계에서 설계변경과 같은 작업을 수행할 수 있게 됨으로써 일본의 자동차 등 주요 산업에서 신제품 개발기간 단축, 품질향상, 원가절감을 동시에 추구할 수 있었다. 다구치의 강건설계방법 역시 1950년대부터 일본을 중심으로 활용되다가 1980년대 중반 Journal of Quality Technology에 소개됨으로써(Kackar, 1985) 전 세계적으

로 알려지고, 활발한 연구와 적용이 병행되었다. 제품이 생산되기까지는 제품설계, 공정설계, 제조 등의 여러 단계를 거치게 되는데, 제품의 성능에 영향을 미치는 외란(사용환경의 변화), 내란(제품의 노후화), 불완전 제조 등의 잡음에 둔감한 제품은 제품설계 단계에서만 확보할 수 있다(Taguchi and Wu, 1980). 이러한 잡음에 대한 대응책으로서 잡음을 제거하거나 통제하지 않고 잡음이 있는 상태에서도 잡음에 강건한 제품을 설계할 수 있도록 하는 다구치 방법은 그동안 제품의 품질향상에 크게 기여하였다. 다구치 강건설계에 대한 자세한 내용은 Yum *et al.*(2013)을 참조하기 바란다.

국내 품질관리 활동을 정리해보면, 과거에는 정부주도로 교육 및 포상을 통하여 품질관리 활동을 독려하고 단기간에 국내 기업들이 품질관리의 중요성을 인식하여 활동하였다면, 현재는 국내 주요 기업들이 각 기업의 특성과 문화에 맞게 자체적인 품질관리 활동을 전개하고 있는 것으로 보인다. 예를 들어, LG전자의 TDR(Tear-Down and Redesign) 활동, 포스코의 QSS(Quick Six Sigma), VP(Visual Planning), 마이머신 제도 등은 기업의 특성에 맞게 자체적으로 확립한 품질관리 활동이라고 볼 수 있다. 이와 같이 세계적 수준의 국내 기업들은 자체적으로 훌륭한 품질 시스템을 보유하고 품질개선 활동을 추진하여 세계 최고의 품질수준을 유지하고 있지만, 그 외의 기업들이 이러한 수준에 도달하기 위해서는 앞으로 많은 노력이 필요하다고 판단된다. 즉, 검사중심의 수동적인 관리활동에서 벗어나 통계적 품질관리를 기반으로 한 보다 체계적인 제조공정의 진단과 개선, 그리고 강건설계 등 품질설계 방법을 활용하여 설계와 개발 단계에서 품질을 높이는 보다 적극적인 품질관리활동을 전개하는 것이 필요하다고 본다. 한편, 최근 한국생산성본부에서 실시한 조사 결과를 보면(Manufacturing Productivity Panel Survey, 2013), 많은 기업에서 품질관리기법의 활용이 상대적으로 부진한 것으로 평가되고 있다. 이는 기법의 수요자 측의 문제도 있겠으나, 공급자 입장에서 실용적인 기법의 개발과 보급, 활용성을 높이기 위한 전산화 작업 등에 좀 더 많은 관심과 노력이 필요하다고 판단된다.

2.2 신뢰성공학의 발전과정

지금까지의 신뢰성분야의 발전 과정을 하드웨어 신뢰성을 중심으로 간략히 서술하고자 한다. 아래 내용은 본 논문의 저자들이 파악하고 있는 사항과 Azakhail and Modarres(2012), Barlow(1984), Saleh and Marais(2006), Zio(2009) 등을 참조하여 작성하였다.

2차 세계대전 후 1945년에서 1950년 사이 미 공군에서는 전자부품의 품질에 많은 관심을 가졌는데 이 부품들이 임무기간 동안에 30% 정도만 제대로 작동하는 것으로 조사되었다. 그리고 이들을 수리하거나 교체하는 비용이 구입가격의 10배 이상이나 되었다. 이에 따라 부품들의 고장현상을 분석하고 개선하기 위한 노력이 필요하게 되었으며, 전자부품의 신뢰성을

공식적으로 연구하게 되는 계기는 1950년에 Ad Hoc Group on Reliability of Electronic Equipment의 설립이라고 할 수 있다. 그리고 미 국방성의 Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment(AGREE)의 설립과 활동이 독립된 학문분야로서의 신뢰성 연구의 시작이라고 여겨지며, 1957년 AGREE report가 발행됨으로써 신뢰성공학 관련 기초적인 개념이 정립되었다. 이 보고서에서는 새로운 시스템의 개발 시 신뢰성 시험이 반드시 실시되어야 한다고 강조하고 있다. 또한 제품의 원형제작 및 생산 시 신뢰성 평가방법과 신뢰성을 고려한 규격(specification)의 작성방법 등이 구체적으로 기술되어 있기 때문에 오늘날 신뢰성공학 발전에 획기적으로 기여했다고 할 수 있다. 특히 전기전자 시스템의 신뢰성분석과 평가를 위한 다양한 방법론들이 개발되었다. 아울러, 전자시스템의 이치형 논리를 확장하여 부품이나 시스템의 상태를 고장과 작동의 두 가지로 단순화하고, 작동에서 고장상태로 변화하는 시점, 즉 고장시점을 확률변수로 정의한 후 그 확률분포로써 고장현상을 모형화하게 되었다. 번인(Burn-in)을 통해 부품이나 시스템의 초기 고장을 제거한 후에는 고장률이 근사적으로 일정(constant hazard rate)한 것으로 가정할 수 있으므로 고장까지의 시간분포로서 지수분포(exponential distribution)를 많이 활용하였다. 따라서 초기의 신뢰성공학 분야에서는 부품수준의 신뢰성과 관련하여 지수분포를 가정한 다양한 분석방법들이 연구되었다. 미국항공우주국(NASA : National Aeronautics and Space Administration)이 1958년에 창설되어 우주개발을 위한 인공위성의 연구개발에 착수하게 되었고, NASA에서는 인공위성의 고 신뢰성을 위하여 인공위성과 로켓 체계의 신뢰성 분석, 신뢰도 예측, 고장모드 및 영향분석(FMEA : Failure Mode and Effects Analysis), 고장나무 분석(FTA : Fault Tree Analysis) 등 중요한 기법을 개발하고 활용하는 등 대형 시스템의 신뢰성을 분석하고 예측하는 연구들이 시작되었다. 또한 1965년에 국제전기기술위원회(IEC : International Electrotechnical Commission) 내에 장비와 부품의 신뢰성 기술위원회가 발족됨으로써 부품 신뢰성

의 국제 승인 표준이 논의되기 시작하였다. 1960년대에는 마모나 노후화 현상을 반영할 수 있는 와이블 분포나 대수정규분포 등 다양한 고장분포들에 대한 연구가 이루어지고 고장물리(POF : Physics of Failure) 개념이 소개되었다.

1970년대가 되면 특히 대형시스템 수준에서의 신뢰성을 분석하기 위한 방법론으로서 FTA가 항공우주나 핵발전소 분야에서 활발히 연구되고 활용된다. 충격모형의 연구나 Network 신뢰도 연구도 시작되었다.

1980년대에는 전자제품, 반도체 분야의 획기적인 발전으로 인해 제품의 수명주기가 매우 짧아지고 신제품 개발이 지속적으로 이루어지게 됨으로써 전 세계시장에서 기업 간 경쟁이 치열하게 전개되었다. 따라서 무엇보다 중요한 경쟁요소인 품질, 신뢰성을 짧은 개발기간에 검증하고 보증하는 것이 필요하게 되었다. 이를 위해 가속수명시험(ALT : Accelerated Life Test)의 설계와 분석 방법론에 대한 연구가 수행되었다. 신뢰성 데이터 분석에서 베이지안(Bayesian) 방법론의 응용, 네트워크 신뢰성 분야, 그리고 대형 복잡시스템(전력시스템 등)에서의 공통원인고장 모형 및 분석이 활발히 연구되었다.

1990년대에는 파손역학에서 주로 이루어진 고장물리 방법론이 다양한 분야에서 활발히 연구되기 시작하였고 초가속수명시험(HALT : Highly Accelerated Life Test)과 강건설계 실험 계획법 등 시험방법론의 발전으로 인해 고장을 보다 정확하게 예측하고 예방하는 것이 가능하게 되었다. 예를 들어 1990년대 초 미 국방 분야에서는 고장물리와 관련된 프로그램을 시작하였으며 수명시험이나 과거 데이터를 이용한 예측에서 탈피하여 부하분석 및 열화과정 해석을 통해 보다 신속하고 정확하게 의사결정을 가능하게 하는 방법론들이 연구되었다.

2000년대로 오면 지금까지 문제점들이 노출된 고장률 예측을 위한 각종 신뢰성 데이터베이스(예를 들어, MIL-HDBK 217) 등을 대체할 수 있는 고장물리 분야가 더욱 다양하게 연구되었으며, 시스템 신뢰성 분야에서는 대형시스템분석을 위한 상용 소프트웨어의 개발, 시뮬레이션 방법론의 응용, 기능안전

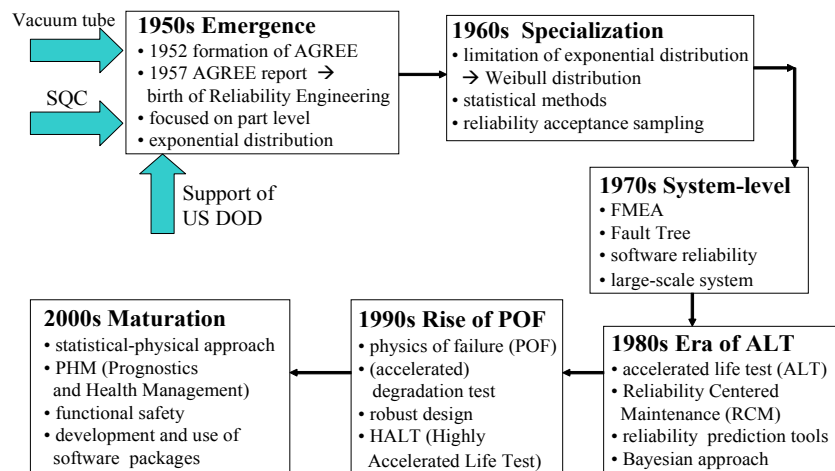


Figure 2. Evolution of reliability engineering

(functional safety) 등 안전성 및 위험분석과의 통합화에 관한 연구가 수행되었다. 특히 최근에는 재료, 부품, 장비의 고장 예측 진단 기술의 개발과 활용(Prognostics and Health Management)이 요구되고 있으며 이를 위한 확률과정 이론, 베이저안 방법론에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

지금까지 논의한 신뢰성공학의 발달과정을 <Figure 2>에 요약하였다.

국내에서의 신뢰성 분야의 발전과정을 살펴보면, 1970년도부터 산업공학분야에서 교육과 연구가 시작되었으며 다양한 공학 분야와 산업체에서 개별적으로 부분적인 연구가 진행되어 왔다. 더욱이 조립중심의 산업에서 벗어나 신제품 개발의 필요성이 대두되면서 품질, 신뢰성문제가 산업체를 중심으로 주요한 이슈가 되기 시작하였다. 이러한 분위기 속에서 1999년에 한국신뢰성학회가 창립되었다. 2000년대에 들어서는 정

부차원의 대책이 추진되기 시작하여 부품소재 산업육성정책의 하나로 국가기술표준원을 중심으로 신뢰성향상사업(신뢰성평가기반 구축사업 : 신뢰성평가 장비구축, 기준개발, 신뢰성인증 및 평가)이 시작되었다. 국가기술표준원의 신뢰성평가기반 구축사업은 2008년부터 한국부품소재산업진흥원으로 이관되었다가, 2009년 통합 이후 한국산업기술진흥원이 부품소재 신뢰성향상사업을 담당하고 있다. 2009년부터는 그동안 정부인증체제의 신뢰성인증 업무를 민간인증체제로 전환했으며, 현재 10개의 신뢰성 평가센터가 인증업무를 담당하고 있다 (<Table 2> 참조). 그리고 2010년에 신뢰성 인력 양성과 관련기술의 보급을 위해 한국신뢰성협회가 설립되었다. 올해 산업통상자원부에서 2014년 소재부품 신뢰성향상 사업계획을 발표했는데 특히 소프트웨어 융합형 부품에 대한 신뢰성 인프라(장비, 평가법 등)의 확대, 소재부품 기술개발 단계에서 신뢰성

Table 1. Korean organizations related to quality and reliability

단체/기관	활동 내용
대한산업공학회(1974)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 학술발표회, 토론회 및 강습회의 개최 ◦ 학회지와 기타 간행물의 발행 및 배부 ◦ 산업합리화 및 생산성 향상을 위한 산학협동 등
한국품질경영학회(1999) (구 한국품질관리학회(1965))	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 품질경영의 이론과 응용에 관련된 연구 ◦ 학회지와 기타 간행물의 발간 및 배부 ◦ 연구발표회, 토론회 및 강연회 등의 개최 ◦ 품질경영의 발전을 위한 산학협동 등
한국신뢰성학회(1999)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 신뢰성 이론과 활용에 관한 연구 ◦ 학술발표회, 토론회 및 강습회의 개최 ◦ 학술지와 기타 간행물의 발행 및 배부 ◦ 신뢰성향상을 위한 산학협동 등
한국표준협회(1962)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 교육사업 ◦ 국가품질상 제도 운영 ◦ 산업표준화와 품질경영에 관한 조사 연구 ◦ KS, ISO 인증 ◦ 국제협력 등
한국생산성본부(1957)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 생산성연구조사 ◦ 교육훈련 ◦ 컨설팅 ◦ 지수조사발표 ◦ 자격인증 등
국가기술표준원(1996)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 한국산업표준(KS) 제·개정, KS표시 인증 ◦ 국제표준화기구와 협력 ◦ 기술규제 대응 ◦ 제품안전관리제도 운영 ◦ 적합성평가기관 인증 등
한국산업기술진흥원(2009)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 신뢰성 관련 활동 : 소재·부품 산업육성 ◦ 신뢰성향상기반 구축사업 ◦ 신뢰성산업체 확산사업 등
한국신뢰성협회(2010)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 신뢰성 인력 양성 ◦ 신뢰성기술 보급 등

() : 설립 연도

Table 2. Reliability assessment centers in Korea

구분	분야	신뢰성평가센터	사이트
부품	전기전자	한국산업기술시험원	http://www.ktl.re.kr/
	전기전자	전자부품연구원	http://www.keti.re.kr/
	전기전자	한국기계전기전자시험연구원	http://www.ktc.re.kr/united/
	기계	한국기계연구원	http://www.kimm.re.kr/
	자동차	자동차부품연구원	http://www.katech.re.kr/
소재	화학	한국화학연구원	http://www.kRICT.re.kr/
	화학	한국건설생활환경시험연구원	https://www.kcl.re.kr/
	화학	한국화학융합시험연구원	http://www.ktr.or.kr/
	금속	포항산업과학연구원	http://www.rist.re.kr/rist/main.jsp
	섬유	FITI시험연구원	http://www.fiti.re.kr

조기 확보 추진방안 강구 등을 주요한 사업목표로 삼고 있다. 이에 관한 자세한 내용과 사업실적은 제 4.2절에서 소개한다.

최근의 국내 신뢰성 분야의 주요한 동향으로는 첫째, 정부 정책 분야에서는 산업통상자원부의 소재부품 기술개발사업과 중소기업청의 기술혁신개발사업 등 정부 R&D 사업에서 개발 완료된 제품에 대한 신뢰성평가를 의무화하는 방향으로 나아가고 있다. 둘째, 기업의 신뢰성 업무도 출하 후 필드 고장 발생 제품의 신뢰성 개선에 초점을 맞추었던 과거와 달리 개발단계부터 신뢰성을 확보하기 위한 노력을 전개하고 있으며, 개발품의 초기결함을 찾아내기 위한 HALT의 적용이 확대되고 필드고장을 미연에 방지하기 위한 활동들이 전개되고 있다. 그리고 신뢰성 인력양성 측면으로는 대학에서의 교육과정과 차별화된 신뢰성 전문가 육성을 위한 실무중심의 교육과정들이 한국신뢰성협회, 한국산업기술시험원 등에서 운영 또는 개발되고 있다. 최근 들어, 순천향대학교에서 산업체 재직자를 위한 계약학과로서 신뢰성품질공학과의 3~4학년 과정으로 개설되었다.

신뢰성 요소기술 측면에서는 첫째, 가속시험과 관련하여 2013년에 IEC 62506(Methods for Product Accelerated Testing)가 제정되었으며 가속수명시험(ALT)에서 가속열화시험(ADT : Accelerated Degradation Test)과 초가속수명시험(HALT) 등으로 기업의 관심이 이동 중이다. 둘째, 신뢰성 예측분야는 MIL-HDBK-217F에서 Bellcore Method, Telcordia SR332, RiAC HDBK-217PLUS(통계적 접근)로 발전하고 있으며 미 Maryland 대학의 CALCE Center에서 제안한 Virtual Qualification(고장물리 접근)으로 진화하고 있는 중이다. 셋째, 신뢰성 관리 프로세스 측면에서는 개발단계에서의 신뢰성 확보를 위한 활동이 연구되고 있으며, 새로운 종합적 신뢰성 지표(Reliability Index)의 개발도 시도되고 있다(Park, 2010).

2.3 Q&R 관련 국내의 주요 단체 및 기관

현재 품질과 신뢰성 관련 국내 학회, 단체 및 기관으로는 대

한산업공학회, 한국품질경영학회(구 한국품질관리학회), 한국신뢰성학회, 한국표준협회(구 한국규격협회), 한국생산성본부, 한국신뢰성협회, 국가기술표준원, 한국산업기술진흥원 등이 있다. 이들 기관의 활동내용을 <Table 1>에 정리하였다. 국내 신뢰성평가센터는 <Table 2>와 같이 부품분야 5개와 소재분야 5개가 지정되어 있다.

품질과 신뢰성 관련 미국, 일본의 주요 단체와 기관의 활동내용을 각각 <Table 3>과 <Table 4>에 나타내었다.

2.4 Q&R 관련 주요 학술지와 학술대회

Q&R 관련 대표적인 국내의 학술지 목록과 발행기관을 <Table 5>에 나타내었다. 그리고 대표적인 국제학술대회와 주관기관을 정리하여 <Table 6>에 나타내었다.

2.5 Q&R 관련 표준 및 규격

대표적 국제 표준화 기구와 활동 내용은 <Table 7>과 같다. 각 기관의 보다 자세한 활동 내용과 제공하고 있는 표준에 대해서는 해당 기관의 홈페이지를 참고하기 바란다. 국내에서는 Q&R 관련 주요 내용을 보다 명확하게 규정하고 이를 통한 Q&R 향상을 도모하기 위해 한국산업표준(KS : Korean Industrial Standards)을 제정, 운영하고 있다(국가기술표준원 담당). 현재 품질 분야에 약 140건, 신뢰성 분야에 약 60건의 규격을 유지하고 있다. 품질 분야는 'Q-품질경영' 부문으로 분류되어 있으며, 다시 품질경영일반, 공장관리, 관능검사, 시스템인증, 적합성평가, 통계적기법 응용, 기타 등으로 세분화 되어 품질시스템, 검사 및 인정기관에 대한 요건, 통계적 방법의 활용 등에 관한 사항을 규정하고 있다. 신뢰성 분야는 'A-기본' 부문의 신인성관리에 포함되어 있다. 주요 내용으로 KS A 3004에 신뢰성관련 용어가 정의되어 있으며, KS A 5608-1~3에 가속수명시험 설계 및 데이터 분석이 규정되어 있다. 그리고 신뢰성관련 IEC 규격을 채택한 KS A IEC 60300(신인성 관리), 60605(장비 신뢰

Table 3. American organizations related to quality and reliability

Organization	Activities
ASQ(1946)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Publications ◦ Conferences and Events ◦ Training ◦ Certification ◦ Research (Future of Quality Study, Surveys)
IEEE(1963)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Reliability Society <ul style="list-style-type: none"> - Journals publication - Conferences (RAMS, IRPS) - Education - Technical Committees
ANSI(1918)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Accreditation of Standards Developing Organizations ◦ U.S. Representative of International Standards Organization(ISO, IEC) ◦ Accreditation of Conformity Assessment Bodies ◦ Education and Training
ASTM International(1898)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Development of International Voluntary Consensus Standards ◦ Training ◦ Proficiency Testing Programs ◦ Product/Personnel Certification Program

Table 4. Japanese organizations related to quality and reliability

Organization	Activities
日本品質管理學會(1970) (Japanese Society for Quality Control)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Hold conferences and support the research and development ◦ Support joint promotions that involve both academia and industry ◦ Actively develop a variety of events, including symposia and field trips ◦ Strengthen relations with and among related societies, both domestic and foreign ◦ Make progress in terms of public relations
日本信賴性學會(1978) (Reliability Engineering Association of Japan)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Journal Publication ◦ Seminars, Symposium, Research Meetings
日本科學技術連盟(1946) (Union of Japanese Scientists and Engineers)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Establishes and Manages “The Deming Prize” ◦ Holds “Reliability and Maintainability Symposium” ◦ Education and Training in Q&R
日本規格協會(1945) (Japanese Standards Association)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Research and development ◦ Education and training ◦ Promoting JIS and other publications ◦ Cooperating in international standardization activities ◦ Certification of management systems ◦ Certification of management system auditors, etc
品質工學會(1993) (Robust Quality Engineering Society)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Society Bulletin, “Quality Engineering” ◦ Quality Engineering Conference ◦ Seminars at Member Enterprises ◦ Promotion of Research in Quality Engineering ◦ Activities for ISO Standardization of Quality Engineering

성 시험), 60706(장비 보전성), 60812(FMEA), 61014(신뢰성 성장 프로그램), 61025(FTA), 61078(신뢰성 블록 다이어그램, RBD), 61163(신뢰성 스트레스선별), 61713(소프트웨어 신인성), 61882(위험운전성, HAZOP) 등이 있다.

3. 품질 및 신뢰성 분야 국내외 학술연구 동향

3.1 연구분야 분류

품질관리 분야는 5개의 대분류 분야와 각 대분류 분야를

Table 5. Important journals related to quality and reliability

학술지 명칭	발행 기관
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 대한산업공학회지 ◦ 산업공학지(1988~2012) 	대한산업공학회
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 품질경영학회지 ◦ Asian Journal on Quality 	한국품질경영학회
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 신뢰성응용연구 ◦ International Journal of Reliability and Applications 	한국신뢰성학회
<ul style="list-style-type: none"> ◦ IIE Transactions 	IIE
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Industrial Quality Control(1944~1967) ◦ Journal of Quality Technology ◦ Quality Progress ◦ Quality Engineering ◦ Quality Management Journal ◦ Technometrics(Jointly with ASA) 	ASQ
<ul style="list-style-type: none"> ◦ IEEE Transactions on Reliability 	IEEE
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 品質 	日本品質管理學會
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 信賴性 	日本信賴性學會
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 品質工學 	品質工學會
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Quality and Reliability Engineering International 	Wiley
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Microelectronics Reliability 	Elsevier
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Reliability Engineering and System Safety 	Elsevier

Table 6. Important meetings and conferences related to quality and reliability

학술대회 명칭	주관 기관
<ul style="list-style-type: none"> ◦ World Conference on Quality and Improvement 	ASQ
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Annual Fall Technical Conference 	ASA, ASQ
<ul style="list-style-type: none"> ◦ INFORMS Annual Meeting(Sessions Sponsored by Quality, Statistics and Reliability Section) 	INFORMS
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Annual Reliability and Maintainability Symposium 	AIAA, ASQ, IEEE, IIE
<ul style="list-style-type: none"> ◦ IEEE International Reliability Physics Symposium 	IEEE
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 信賴性・保全性シンポジウム(Reliability and Maintainability Symposium) 	日本科學技術連盟

Table 7. International standards organizations related to quality and reliability

Organization	Activities
ISO(1947)	<ul style="list-style-type: none"> • Development of Voluntary International Standards • Training and Education
IEC(1906)	<ul style="list-style-type: none"> • Development of Consensus-based International Standards in Electrotechnology Areas • Conformity Assessment Certification • Meetings and Events

5~7개 정도의 중분류 분야로 나누어 <Table 8>에, 신뢰성 분야는 4개의 대분류 분야로 나누고 각 대분류 분야 내에서 5~6개의 중분류 분야를 지정하여 <Table 9>에 나타내었다.

3.2 대한산업공학회

(1) 품질분야 연구

국내 산업공학 분야에서 이루어진 품질관리 분야의 연구성

과를 대한산업공학회지(Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers; JKIIIE)와 산업공학(IE Interfaces)지에 출판된 논문들을 중심으로 살펴보고자 한다. 학회지가 발간된 1975년부터 2014년 9월까지 신뢰성을 제외한 품질관리 분야 논문 수는 대한산업공학회지 107편, 산업공학 90편이다. 게재된 논문수의 연도별 추이는, 대한산업공학회지는 <Figure 3>에, 산업공학지는 <Figure 4>에, 그리고 두 학술지에 게재된 논문을 합한 것은 <Figure 5>에 나타내었다. <Figure 3>을 보면 대한산업

Table 8. Research areas of quality control(major and sub-classifications)

대분류	중분류
품질설계	반응표면 최적화 강건설계(다구치방법), 기타 실험계획법, 허용차설계, 목표값/평균/규격 결정
공정관리	관리도, FDD(FDC), 공정능력분석, 품질제어, 품질특성모형과 예측, 공정관리 전산시스템, 기타
품질 측정 및 검사	측정시스템 평가 및 개선 선별검사, 샘플링검사, 검사시스템, 기타
품질경영	품질계획, 품질시스템, 품질정보시스템, 식스시그마, 제조물책임(PL), 품질 표준과 규격
품질 일반	산업체 품질관리 현황, 품질기법 활용도 조사, 일반 Review, 서비스 품질, 확률/통계/데이터마이닝, 기타

Table 9. Research areas of reliability engineering(major and sub-classifications)

대분류	중분류
설비보전	예방보전, 번인, 수리부속 최적화, 조건기반 보전, 기타
수명시험	수명시험/자료, 가속수명시험자료, (가속)열화시험/자료, 샘플링검사, 사용현장/보증자료, 구조/시스템 신뢰도
시스템 신뢰성	신뢰성 메트릭, 고장/열화현상 모형, 시스템/네트워크 신뢰도 평가, 신뢰도 예측, 신뢰성 설계/최적화
신뢰성 일반	소프트웨어 신뢰성, 인간 신뢰성, 안전시스템 신뢰성, 보증정책, 기타

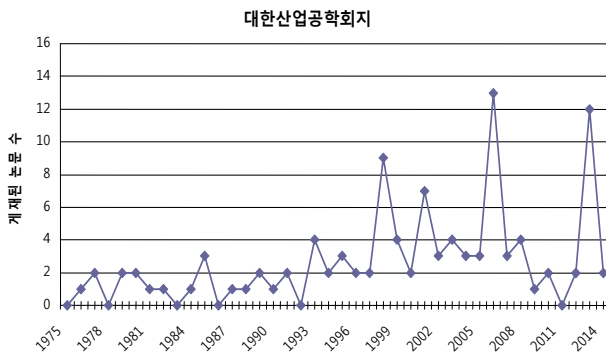


Figure 3. Annual number of quality control papers published in JKIE

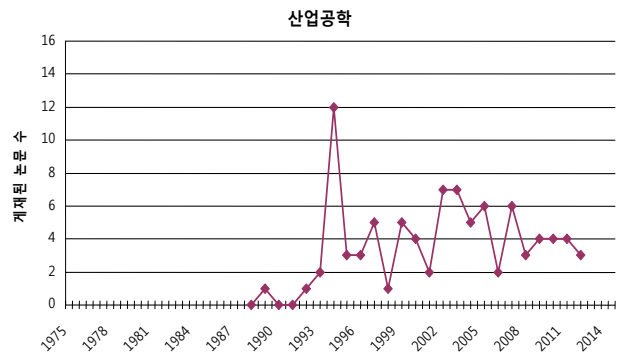


Figure 4. Annual number of quality control papers published in IE Interfaces



Figure 5. Annual number of quality control papers published in both journals



Figure 6. Annual percentages of quality control papers published in both journals

공학회지에 게재된 연간 논문수가 10개가 넘는 경우는 2번 있는데, 이들은 모두 품질관련 특집호를 발간했을 때이다. 2006년에 ‘6시그마 혁신’, 2013년에 ‘다구치의 강건설계방법’ 특집호를 각각 발간하였다. 산업공학지에도 1994년에 논문 수가 10편이 넘는 것은 ‘ISO 9000’ 특집호가 발간되었기 때문이다 (<Figure 4> 참조). 두 학술지에 게재된 품질관리 관련 논문 수

를 합한 <Figure 5>를 보면, 1975년부터 1992년까지는 품질관리 관련 논문의 수가 4편 이하이고, 1993년부터는 2011년과 아직 전체 issue가 발간되지 않은 2014년을 제외하고는 항상 연간 게재 논문 수가 5편 이상이었다. 한편, 2013년의 특집호를 제외하면 지난 5~6년 동안 품질관리 관련 논문이 감소하는 경향을 보이는데, 이것이 일시적 현상인지, 아니면 의미 있는

추세인지는 좀 더 지켜볼 필요가 있다.

다음으로 전체 게재논문 중에서 품질관리 분야 논문이 차지하는 비중을 알아보기 위해, 연도별로 대한산업공학회지와 산업공학지에 실린 전체 논문 수 대비 품질관련 논문 수의 비율을 퍼센트(%) 단위로 <Figure 6>에 나타내었는데, 연도별 품질관련 논문의 비율은 평균 6.9%, 최소 0, 최대 20.0%로 나타났다.

품질관리 분야의 논문을 대분류와 중분류 주제별로 구분하

고, 그 수를 <Table 10>에 나타내었다. <Figure 7>과 <Figure 8>에는 대한산업공학회지와 산업공학지에 실린 논문들의 대분류 결과를 원그래프로 표시하였다. <Table 10>을 보면 5개의 대분류 중, 품질일반을 제외하고는 게재된 논문들이 비교적 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 품질일반의 경우, 산업공학지에는 서비스 품질 논문이 12편이 게재된 반면, 대한산업공학회지에는 2편만이 실려 있다. 그리고 최근 6년 동안에는 이 분야

Table 10. Classification of quality control papers published in JKIIIE and IE Interfaces(all years)

대분류	중분류	대한산업공학회지	산업공학	합계
품질설계	반응표면 최적화	5	2	7
	강건설계(다구치방법)	11	9	20
	기타 실험계 획법	5	6	11
	허용차설계	3		3
	목표값/평균/규격 결정	6		6
소계		30	17	47
공정관리	관리도	10	1	11
	FDD(FDC)	1	4	5
	공정능력분석	3	1	4
	품질제어	1		1
	품질특성모형과 예측	3	7	10
	공정관리 전산시스템	1	1	2
	기타			
소계		19	14	33
품질경영	품질계획	2	3	5
	품질시스템	1	18	19
	품질정보시스템		2	2
	식스시그마	10	10	20
	제조물책임법(PL법)	1	3	4
	품질 표준과 규격			
소계		14	36	50
품질 측정 및 검사	측정시스템 평가 및 개선	4	6	10
	선별검사	15		15
	샘플링검사	14		14
	검사시스템	6	5	11
	기타			
소계		39	11	50
품질일반	산업체 품질관리 현황	2		2
	품질기법 활용도 조사			
	일반 Review	1		1
	서비스품질	2	12	14
	확률, 통계, 데이터마이닝			
	기타			
소계		5	12	17
합계		107	90	197

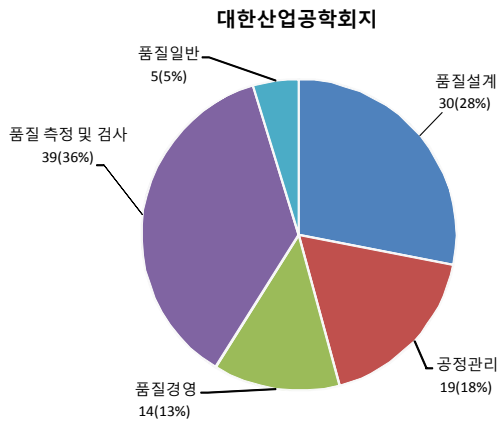


Figure 7. The number and percentage of papers in each major quality control research area(JKIIE)

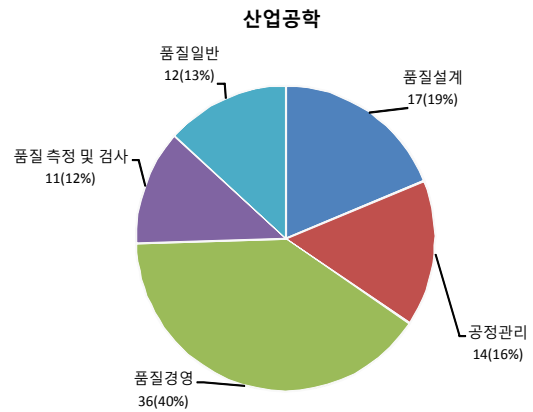


Figure 8. The number and percentage of papers in each major quality control research area(IE Interfaces)

의 논문이 1편 밖에 없다(<Table 14> 참조). <Figure 7>과 <Figure 8>로부터 대한산업공학회지에는 ‘품질측정 및 검사’가, 산업공학지에는 ‘품질경영’ 분야의 논문이 상대적으로 더 많이 게재되었음을 알 수 있다.

<Figure 9>에는 대한산업공학회지와 산업공학지에 게재된 품질설계 분야 논문들의 중분류 결과를 나타내었는데, 다구치의 강건설계 분야는 다양한 이론연구와 산업분야 응용 논문들로 구성되어 있고, 반응표면 최적화 분야에는 다수반응변수 문제와 혼합물실험 관련 연구가 주류를 이루고 있다. 기타 실험계획 분야에는 선별실험계획과 진화적 조업법(Evolutionary Operation; EVOP)에 대한 이론적 연구와 반도체산업에 응용한 실험계획 논문들이 주로 게재되었다. 허용차설계 분야에는 공차해석, 허용차 배분, 다수 성능특성의 허용차 논문들이 3편 발표되었고, 목표값/평균/규격 결정 분야에는 공정평균과 규격한계 설정을 위한 연구논문들이 다수를 차지하였다. 품질설계 분야의 특징을 보면, 다구치의 강건설계 분야 연구가 가장 활발했는데, 2013년 특집호 외에도 많은 이론적 연구와 실제 응용연구 성과가 두 학술지에 게재되었다. 다구치 강건설계 분야에 게재된 논문들의 응용분야를 보면 반도체(9편)와 사출

성형(4편) 분야의 논문이 가장 많았는데, 이는 국외에서 기계나 자동차 분야에도 다구치방법의 응용논문이 많이 게재된 것과 비교 된다. 국내에서 기계나 자동차 산업분야의 강건설계 응용논문들은 기계관련 학술지에 실렸을 것으로 유추된다.

공정관리 분야의 중분류 결과는 <Figure 10>에 나타냈는데, 관리도 분야의 연구는 경제적-통계적 설계, 관리도 평가, 자기 상관자료가 있는 경우에 대한 논문들이 주로 대한산업공학회지에 발표되었다. 고장탐지진단(Fault Detection and Diagnosis; FDD)과 고장탐지분류(Fault Detection and Classification; FDC) 분야에는 비정상 탐지/분류, 결함크기분포, 모니터링시스템에 관한 논문들이 주로 산업공학지에 게재되었고, 공정능력 분석 분야에는 공정능력지수 개발, 다변량 비대칭 분포 등에 관한 연구가 발표되었는데, 이 분야의 중요성에 비해 논문편수가 적은 편이었다. 품질특성모형과 예측 분야에는 불량예측, 반도체공정과 미니밀공정에 적용한 논문 3편이 산업공학지에 게재되었으며, 품질제어에 관한 논문은 1편만이 발표되었다.

<Figure 11>에는 품질경영 분야 논문들의 중분류 결과를 나타내었는데, 품질시스템과 식스시그마 논문들이 주로 발표되

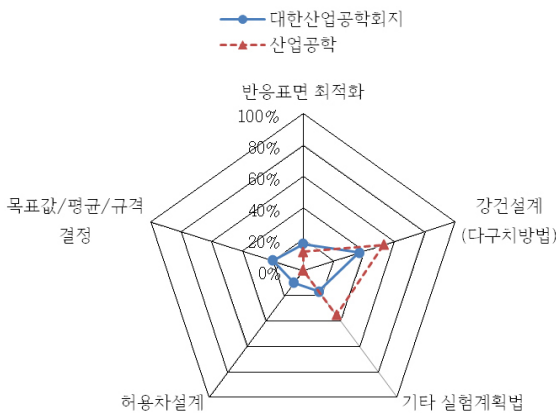


Figure 9. Classification of quality design papers

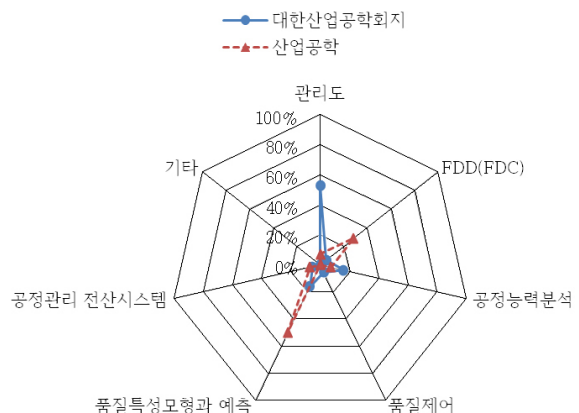


Figure 10. Classification of process control papers

있음을 알 수 있다. 식스시그마 분야 논문은 다양한 적용 현황과 발전방향을 다룬 2006년 특집호를 포함하여 대한산업공학회지와 산업공학지에 20편이 발표되었다. 품질시스템 관련 논문은 주로 산업공학지에 게재되었으며 ISO 품질경영시스템에 관련된 논문이 가장 많았고(1994년에 ISO 관련 특집호 발간), 이외에 국방표준화, 성과측정 등에 관한 연구결과가 게재되었다. 그리고 품질계획 분야에는 품질기능전개, 감성품질, 품질비용 관련 연구 결과가, 품질정보시스템에는 품질관리 자동화, 웹과 모바일 기술을 활용한 연구 논문이 게재되었다. 제조물책임법 분야에는 제품안전과 기업의 제품책임에 관한 논문이 실렸고, 품질 표준과 규격 분야의 논문은 게재되지 않았다.

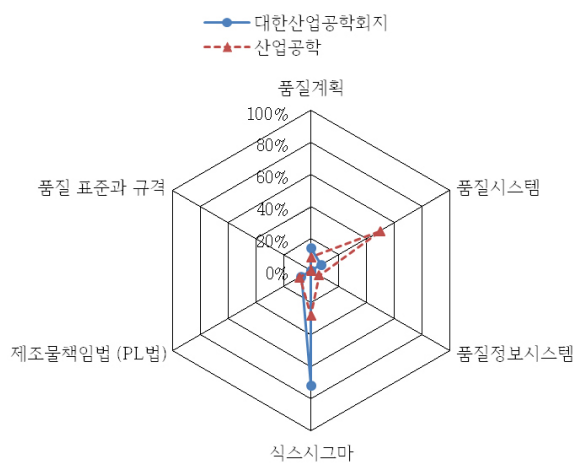


Figure 11. Classification of quality management papers

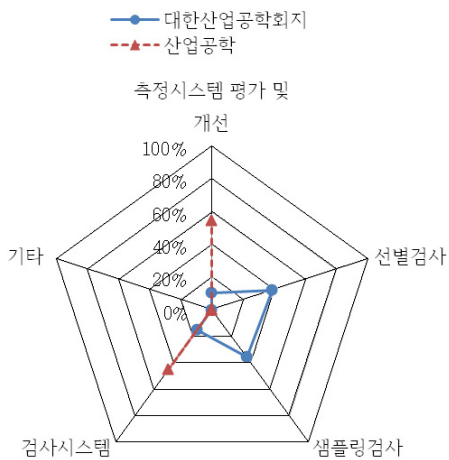


Figure 12. Classification of quality measurement and inspection papers

품질 측정 및 검사 분야의 논문은 <Figure 12>에 중분류 분야별로 구분하여 나타내었는데 대한산업공학회지와 산업공학지를 합해서 보았을 때 4개의 중분류 항목별로 비교적 고르게 논문이 게재되었다. 측정시스템 평가 및 개선 분야의 논문은 주로 산업공학지에 발표되었는데, 그 내용은 안정성/경제성

평가, 계기 검 · 교정, gage R&R, 측정오차 영향 평가, 3차원 측정기 능력 평가 등이다. 선별검사(15편)와 샘플링검사(14편) 논문은 대한산업공학회지에만 게재되었는데, 선별검사 분야에는 선별절차의 경제적 설계와 대응특성 이용방법이, 샘플링 검사에는 다단계, 대응특성, 조정형, 선별형, 연속생산형, 중속 샘플링 등에 관한 논문이 게재되었다. 샘플링검사 분야 논문은 대한산업공학회지 초반에 주로 발표되고, 선별검사 논문은 중반 이후에 많이 발표되었는데, 이는 검사장비 기술이 발달함에 따라 품질검사가 샘플링검사서 전수검사로 이동한 것을 반영한 것으로 판단된다. 검사시스템 분야에는 검사비용, 검사장비, 영상처리기법, 탐지확률에 관한 논문들이 포함되어 있다.

<Figure 13>에는 품질일반으로 분류된 논문의 중분류 결과를 나타내었는데, 서비스 품질 분야 논문은 14편으로 주로 산업공학지에 게재되었다. 서비스품질 분야 논문들은 주로 인터넷/웹 서비스, 카노모델, SERVQUAL 모델, 통신서비스, 공공부문 응용에 관한 것이다. 산업체 품질관리 현황에 관한 논문은 학회지 발간 초기에 중공업제품, 시멘트 제품에 대한 품질관리 현황을 다룬 2편의 논문이 게재된 이후 더 이상 찾아볼 수 없었으며, 품질기법 활용도 조사에 관한 논문은 아직 게재된 바 없다. 이에 대한 논의는 제 6장을 참조하기 바란다. 일반 Review 논문은 e-Business 시대의 품질공학에 관한 논문 1편뿐인데, 향후 품질관리 방법론, 적용대상 등에 관한 Review 논문이 보다 적극적으로 발표되기를 기대한다(제 5장 참조). 품질 관리에 초점을 맞추지 않은, 확률, 통계, 데이터마이닝 자체에 관한 논문은 이번 조사에는 포함하지 않았다. 이 중분류분야를 포함시킨 이유는 비교 대상인 IIE Transactions에는 Q&R 관련 issue에 확률, 통계, 데이터마이닝 자체에 관한 논문이 수록되어 있기 때문이다.

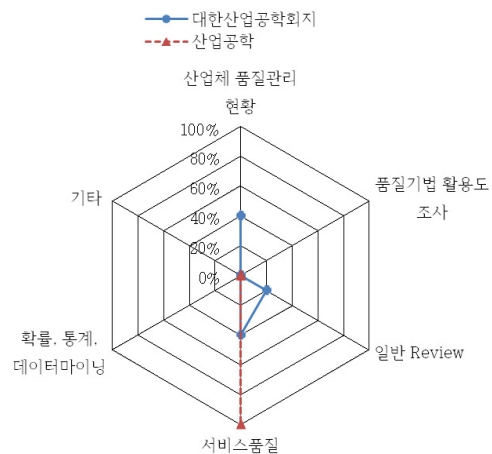


Figure 13. Classification of general quality control papers

(2) 신뢰성분야 연구

<Table 9>의 분류에 근거하여 국내 신뢰성연구의 흐름을 대한산업공학회지(산업공학지 포함)를 중심으로 살펴보고자 한

다. 학회지는 1975년부터 발간되었으며 2014년 9월까지 발표된 신뢰성 관련 논문은 총 127편(대한산업공학회지 88편, 산업공학지 39편)으로 집계되었다. 이는 전체 논문 편수 2428편의 약 5.2%이며 4년씩 묶어서 게재된 논문 편수를 보면 <Figure

14>와 같다. 앞의 4구간(1990년 이전)에서는 전체 논문 수 대비 신뢰성 분야 논문의 비율이 8.5~15.0%에서 이후 3.3~6.9%로 다소 줄어든 것을 알 수 있다. 이로써 1990년대 이후 학회 학술지에 게재되는 전체 논문수가 크게 증가하는 것에 비해 신뢰

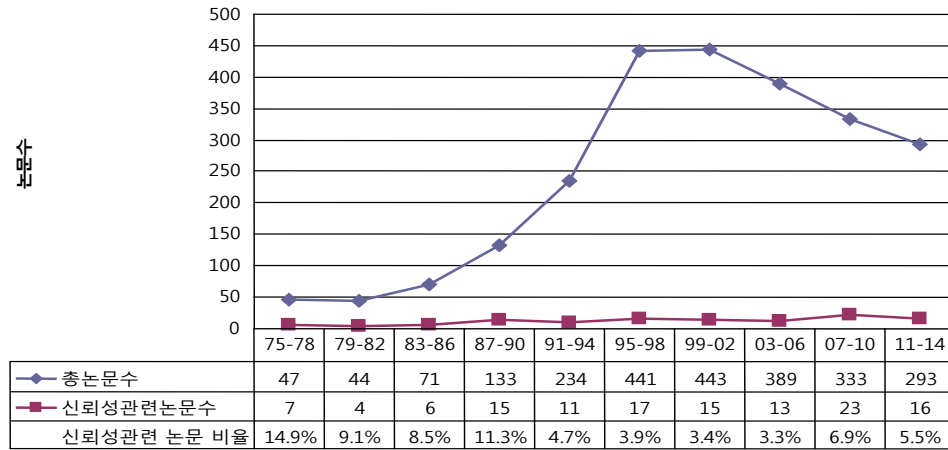


Figure 14. The trend of the number of papers related to reliability(JKIIE and IE Interfaces)

Table 11. Classification of reliability engineering papers published in JKIIIE and IE Interfaces(all years)

대분류	중분류	대한산업공학회지	산업공학	합계
설비보전	예방보전	29	5	34
	번인	1	1	2
	수리부속 최적화	3	1	4
	조건기반 보전	2		2
	기타	1	5	6
	소계	36	12	48
수명시험	수명시험/자료			0
	가속수명시험/자료	12		12
	(가속)열화시험/자료	1	1	2
	샘플링 검사	4		4
	사용현장/보증자료	3	2	5
	구조/시스템 신뢰도		1	1
	소계	20	4	24
시스템신뢰성	신뢰성 메트릭	3	3	6
	고장/열화현상 모형	2	2	4
	시스템/네트워크 신뢰도 평가	7	3	10
	신뢰도 예측		2	2
	신뢰성 설계/최적화	8	3	11
	소계	20	13	33
신뢰성일반	소프트웨어 신뢰성	7	2	9
	인간 신뢰성	1		1
	안전시스템 신뢰성	1	3	4
	보증정책	2	1	3
	기타	1	4	5
	소계	12	10	22
	합계	88	39	127

성 분야의 연구는 조금 증가하는 수준에 머무르고 있는 것을 알 수 있다.

127편의 신뢰성 관련 논문들을 <Table 11>에 주제별로 요약하였다.

신뢰성 분야 논문들을 대분류에 따라 <Figure 15>에 나타내었는데, 이를 보면 전체적으로 설비보전 분야의 논문 수(48편, 38%)가 가장 많고, 그 다음이 시스템 신뢰성(33편, 26.0%) 분야이다. 즉 최적화문제가 많이 연구된 것으로 여겨지며 응용성격의 논문이 주로 발표되는 산업공학지의 경우 시스템 신뢰성 분야의 연구가 상대적으로 많이 발표된 것으로 나타났다. 그리고 대분류별로 각 중분류가 차지하는 정도를 <Figure 16>에 나타내었으며, 각 대분류별 연구의 특징을 차례로 기술하기로 한다.

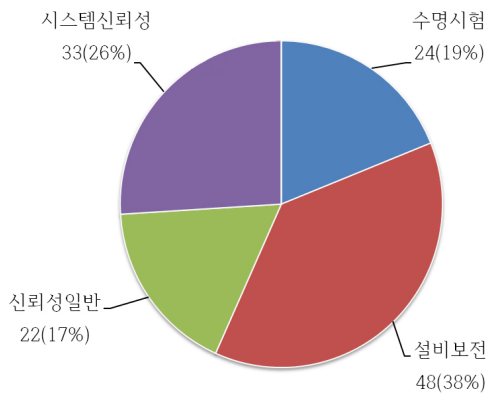


Figure 15. The number and percentage of papers in each major reliability area(JKIIE and IE Interfaces)

① 설비보전

설비보전 분야는 부품, 시스템의 수명주기 동안 발생할 수 있는 고장(설비의 작동정지)에 대해 효과적인 대처방안을 연구하는 분야라고 할 수 있다. 그러므로 신뢰성 분야에서 가장 중요한 분야 중의 하나이며, 많은 연구가 이루어져 왔다.

부품이나 시스템의 사용기간에 따른 특성을 고장률함수(욕조형)에 근거하여 분석하면 초기고장기간, 우발고장기간, 마모고장으로 나누어 볼 수 있다. 기간에 따라 다양한 신뢰성확보방안이 있을 수 있는데, 대표적으로 초기고장기간에서 번인방법이나 기간을 최적으로 결정하는 문제(2편, 4%), 그리고 마모고장기간에는 예방보전을 최적으로 실시하는 문제들이(34편, 71%) 다양한 가정 하에서 연구되어 왔다.

국내에서도 학회지 초기부터 시간기준 예방정비(교체)정책, 검사 및 주문 정책, 보증정책(warranty) 하에서의 보전방식, 조건기반 보전정책(2편, 4%) 등이 연구되어 왔으며, 번인 최적기간 결정문제도 일부 다루어졌다. 확정적 모형(deterministic model)에서 비용최소화의 설비교체문제는 경제성공학의 한 분야로서 일부 연구되기도 하였다. 2000년도 이후에는 복잡한 구조의 시스템(이차원 (n, m) 중 (r, s) 시스템, 다계층 복합시스

템 등)에 대한 보전 최적화 문제들이 연구되었으며 최적방안을 찾기 위해 메타휴리스틱과 시뮬레이션이 이용되었다. 이외에도 베이지안 교체정책, 보전스케줄링문제, 보전조직의 문제들도 조금씩 다루어졌다. 수리 가능한 시스템의 보전 시 필요한 수리부속과 관련하여서도 최적 주문정책에 대한 연구가 수행되었으며 특히 다단계(multi-echelon) 수리체계를 고려하였다. 무기체계의 개발 시 고려되는 초기 수리부속품의 적정 확보량의 결정문제도 다루어졌다.

② 수명시험

수명시험 분야는 수명시험, 가속수명시험, 열화시험, 가속열화시험에서 획득한 자료 및 사용현장자료, 보증자료 등을 통계적으로 분석하여 아이템의 신뢰성 척도를 평가하거나 예측하는 데 활용하는 신뢰성 데이터 분석과, 이들 시험에서 투입 시험단위 수, 시험시간, 스트레스 수준 등을 결정하는 시험계획이나 신뢰성 샘플링 검사계획을 개발하는 연구를 포함한다. 또한 부품 신뢰도의 (일부) 정보로부터 시스템 신뢰도를 추정하거나 스트레스-강도모형을 통해 구조 신뢰도를 추정하는 연구도 포함된다.

수명시험에 포함된 논문(대한산업공학회지 20편, 산업공학지 4편)을 분류한 <Figure 16(b)>를 보면 가속수명시험, 사용현장/보증자료, 샘플링검사 순으로 논문 수가 많으며, 가속수명시험에 관한 연구(12편, 50%)가 가장 활발하게 수행되었음을 파악할 수 있다. 특히 국내에서는 일정형, 계단형, 점진형 가속수명시험의 설계(7편), 가속열화시험의 설계(1편), 샘플링검사의 시험계획(4편)에 대한 논문 등 설계 성격의 연구에 편중되어 있음을 확인할 수 있다. 전체 논문을 성격별로 분류하면 통계적 분석(9편, 37.5%), 시험계획을 도출하는 설계(12편, 50%), 사례연구와 개발을 포함한 응용(3편, 12.5%) 연구로 분류할 수 있다. 응용논문이 주로 발표되는 산업공학지를 포함했음에도 응용논문의 편수(3편)는 많지 않았다. 그리고 사용조건하의 수명시험과 자료분석에 해당되는 연구가 한편도 없는 특이한 현상을 보이고 있다.

③ 시스템 신뢰성

이 대분류 분야에는 하드웨어, 소프트웨어, 인간 혹은 이들로 이루어진 다양한 시스템에 대해 적절한 신뢰성 메트릭(metric)을 개발하는 연구, 고장이나 열화가 일어나는 현상을 모형화하는 연구 등을 포함하는 신뢰성 기초이론 분야와, 네트워크를 포함한 시스템 수준에서의 신뢰도를 평가하거나 예측하는 분야, 중복시스템을 최적화하거나 신뢰도를 배분하는 등의 신뢰성 설계 분야가 포함된다.

시스템 신뢰성에 포함된 논문(대한산업공학회지 20편, 산업공학지 13편)을 중분류별로 구분하여 원형도표로 작성한 <Figure 16(c)>를 보면 국내에서는 시스템/네트워크 신뢰도의 평가가 가장 큰 비중(30%)을 차지하고 있으며, 신뢰성 설계 논문 11편 중에서 중복설계 최적화에 관한 논문이 8편으로 이 주제

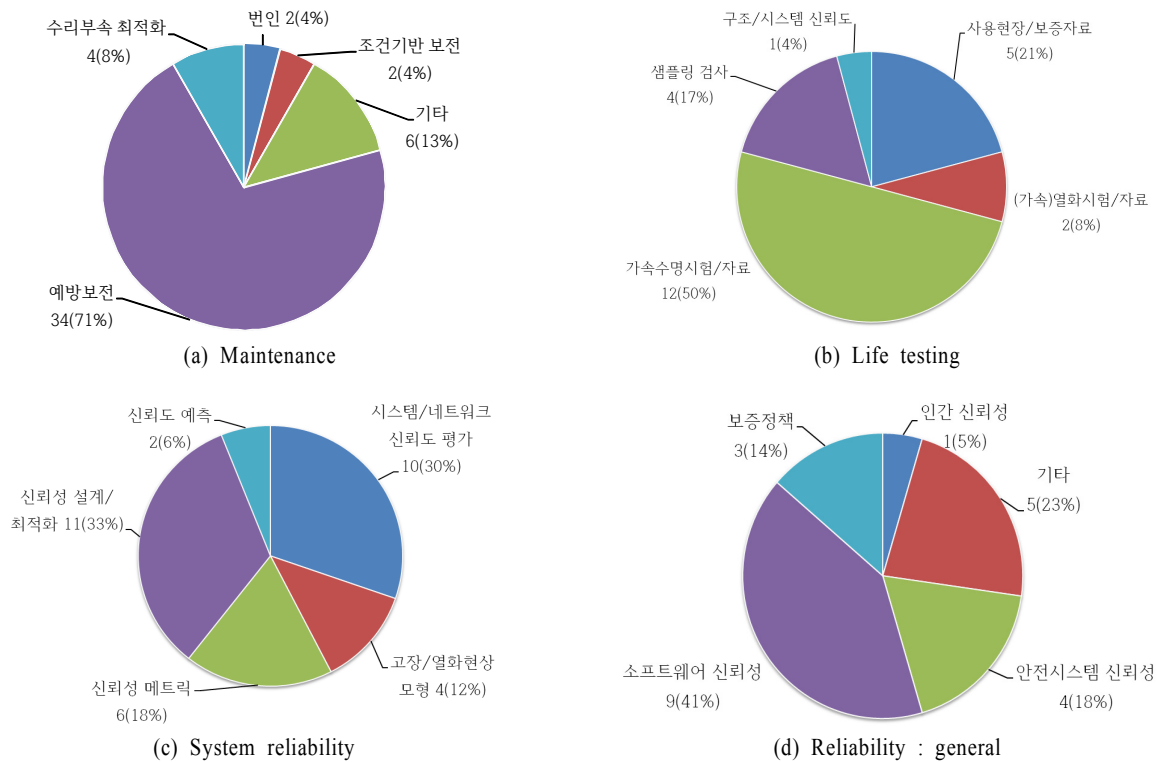


Figure 16. The number and percentage of each sub-category papers in each of four major reliability areas(JKIEE and IE Interfaces)

에 연구가 집중된 것을 알 수 있다. 수명시험 분야와는 달리 응용 성격의 논문이 산업공학지에 비교적 많이 발표되었으며(36%), 최근 들어서는 철도, 항공전자, 원자력과 합정 등의 시스템에 대한 신뢰성 모형 및 응용연구로 관심영역이 다양해지고 있다.

④ 신뢰성일반

앞의 3가지 대분류 분야 이외의 연구주제들을 신뢰성일반 분야에 포함했는데, 대한산업공학회지와 산업공학지에 발표된 세부주제별 논문편수 및 비율은 <Figure 16(d)>에 나타나 있으며, 연구분야 및 연구내용은 다음과 같다.

- **소프트웨어 신뢰성** : 소프트웨어 신뢰성에 관한 논문은 9편(41%)으로 초기부터 다수의 연구결과들이 발표되었다. 소프트웨어의 신뢰도 및 가용도 분석, 소프트웨어 출시(software release) 시점 결정문제, 소프트웨어 성장모형 등이 연구되었으며 소프트웨어개발 모형도 다루어 졌다. 그러나 최근에는 이 주제의 연구성과의 발표가 부진한 편이다.
- **인간 신뢰성** : 시스템의 고장과 사고발생을 유발하는 인간의 실수에 관한 연구분야로서, 원자력발전소 안전을 위한 인간 신뢰성분석과 관련된 논문이 1편이 있다.
- **안전시스템 신뢰성** : 안전시스템의 신뢰성과 관련된 논문(4편, 18%)은 산업공학지 특집호(2012년, 25권 4호)에 최근 발표되었다.
- **보증정책** : 제품의 신뢰성에 대한 보증(warranty) 관련 연구로서, 3편(14%)의 논문이 발표되었으며 보증비용의 추정문제들이 주로 다루어 졌다.

- **기타** : 그 외의 연구로는 자동제조시스템의 RAM 분석, 통신시스템의 정비 의사결정시스템 개발, 컨테이너터미널의 RAM 관리시스템, 다단계수리 및 복합시스템의 RAM 분석용 시뮬레이션설계 등이 있다.

3.3 IIE Transactions

대표적 국외 산업공학 학회로서 Institute of Industrial Engineers(IIE)를 선정하고, 학회지 중 IIE Transactions에 최근 6년 동안 게재된 Q&R 관련 논문을 조사, 분석하였다.

(1) 전반적 추이

먼저 <Table 12>에 대해 설명하면,

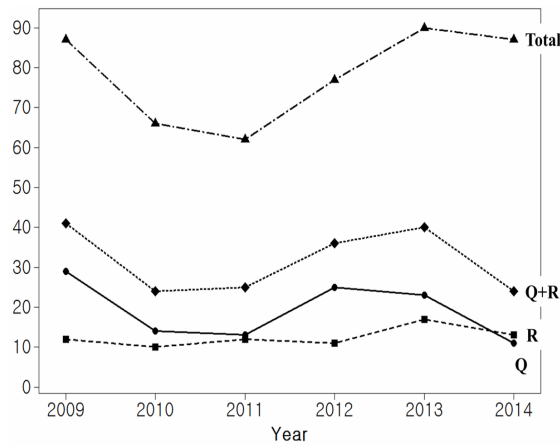
- ① Q&R 관련 issue의 해당 논문 수는 굵은 숫자로 표시했다.
- ② 연도 별, issue 별로 총 논문수를 기록했다.
- ③ Q&R 관련 issue에 대해서는 총 논문수를 (품질 관련 논문 수/신뢰성 관련 논문수)로 나누었다.
- ④ ‘Total’에 해당하는 줄에 연도 별 총 논문수를, ‘Q&R Total’에 해당하는 줄에 연도 별 Q&R 논문수를 ‘품질 관련 논문 수+신뢰성 관련 논문 수 = 합계’와 같이 기록하였다.
- ⑤ 특집호에 대한 주석은 표 바로 아래에 표기하였다.

<Table 12>로부터 전체 72 issue 중 27 issue, 즉 37.5%가 Q&R 관련 issue이며, 논문수로는 40.7%가 Q&R 관련 논문임을 알 수 있다. 이를 다시 세분하면, 전체 논문의 24.5%가 품질 관련 논문이며, 16.2%가 신뢰성 관련 논문이다. <Figure 17>은

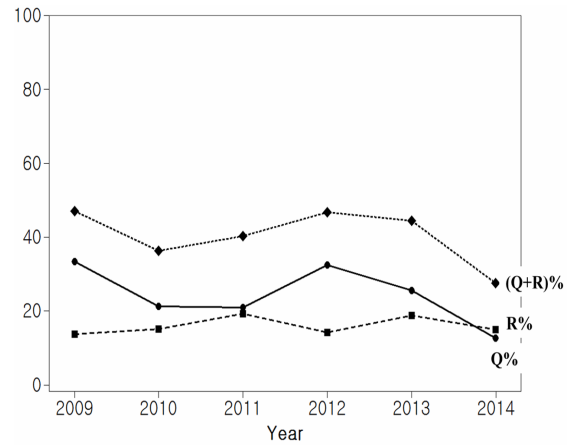
Table 12. Number of Q&R papers published in IIE Transactions(2009~2014)

Issue	Vol.41(2009)	Vol.42(2010)	Vol.43(2011)	Vol.44(2012)	Vol.45(2013)	Vol.46(2014)	
1	10(2/8)*	7	5(4/1)	5(4/1)	6	5	
2	6	6(6/0)	5	6	8(3/5)	7(3/4)	
3	8	5	5	5	8	7	
4	9(6/3)	6(3/3)	5(5/0)	6(5/1)	8(5/3)	7	
5	6	4	5	6	6	8(6/2)	
6	8	5	6	6	9(9/0)^	5	
7	6(6/0)	5	5(2/4)	9(8/1)#	8	8	
8	6	6(2/4)	5	7	8	8	
9	9(8/1)**	6	5(1/4)	7(4/3)	7(2/5)	7	
10	6	6(3/3)	6	5	6	9(2/7)	
11	7(7/0)	5	5(1/4)	9(4/5)	8(4/4)	8	
12	6	5	5	6	8	8	
Total	87	66	62	77	90	87	469
Q&R Total	29+12 = 41	14+10 = 24	13+13 = 26	25+11 = 36	23+17 = 40	11+13 = 24	115+76 = 191

* Barlow 특집, ** Multistage 특집, # Nano 특집, ^ Manufacturing and QM 특집.



(a) Number



(b) Percentage

Figure 17. Yearly trend of Q&R papers in IIE Transactions(2009~2014)

<Table 12>의 내용을 그래프로 나타낸 것이다. 신뢰성 관련 논문은 수나 비율 면에서 안정적인 모습을 보이고 있다. 품질 관련 논문은 2013년 이후 다소 감소하는 추세를 보이고 있으나, 이러한 현상이 일시적인 것인지, 아니면 의미 있는 것인지는 좀 더 지켜봐야 할 필요가 있다고 판단된다.

(2) 논문 분류, 특징, KIIE 논문과의 비교-품질 분야

IIE Transactions에 게재된 품질 분야의 논문을 국내 학술지 논문의 분류체계에 맞춰 <Table 13>과 같이 분류하였으며, 그 특징을 요약하면 다음과 같다.

① 5개의 대분류 중, 공정관리에 관한 논문이 주류를 이루고 있다. 즉, 지난 6년 동안 발표된 공정관리 분야의 논문은

총 69편이며 품질분야 전체 논문(115편)의 약 60%에 해당된다.

- ② 공정관리 분야에서도 관리도에 관한 논문의 비중이 매우 높다. 즉, 총 38편의 논문이 발표되었는데, 이는 공정관리 분야 전체 논문의 약 55%에, 그리고 품질분야 전체 논문의 약 33%에 해당된다.
- ③ 공정관리 분야에서 ‘품질제어’와 ‘품질특성 모형과 예측’ 관련 논문이 꾸준히 발표되고 있다.
- ④ 품질설계 분야의 논문은 많은 편은 아니며, 2013년, 2014년에는 발표 실적이 없다.
- ⑤ ‘품질경영’ 분야(식스시그마 포함)의 논문은 발표되지 않았다. 이는 ‘품질경영’ 분야의 논문은 IIE에서 발간하는 다른 잡지인 Industrial Management에서 다루기 때문으로

Table 13. Classification of quality control papers in IIE Transactions(2009~2014)

대분류	중분류	2009	2010	2011	2012	2013	2014	합계
품질설계	반응표면 최적화			1	1			2
	강건설계(다구치방법)	3	1	1	2			7
	기타 실험계획법							
	허용차설계	1						1
	목표값/평균/규격 결정		1		1			2
소계		4	2	2	4	0	0	12
공정관리	관리도	8	4	6	6	8	6	38
	FDD(FDC)	3				1		4
	공정능력분석							
	품질제어	2	3		2	4	1	12
	품질특성 모형과 예측	1	1	3	4	2		11
	공정관리 전산시스템							
	기타	1	1		2			4
소계		15	9	9	14	15	7	69
품질 측정 및 검사	측정시스템 평가 및 개선			1		1		2
	선별검사	1						1
	샘플링검사					1		1
	검사시스템							
	기타							
소계		1	0	1	0	2	0	4
품질경영	모든 중분류 분야	0	0	0	0	0	0	0
소계		0	0	0	0	0	0	0
품질일반	산업체 품질관리 현황							
	품질기법 활용도 조사							
	일반 Review	1			1	1		3
	서비스 품질		1				1	2
	확률, 통계, 데이터마이닝	3	1	1	4	3	3	15
	기타	5	1		2	2		10
소계		9	3	1	7	6	4	30
합계		29	14	13	25	23	11	115

판단된다.

- ⑥ ‘품질측정 및 검사’ 분야와 ‘품질일반’의 ‘서비스 품질’ 관련 논문 발표 실적은 미미한 수준이다.

다음, 지난 6년 동안 대한산업공학회지와 산업공학지에 게재된 논문과 IIE Transactions에 게재된 논문을 비교하기 위해 <Table 14>를 마련하였다.

<Table 14>를 바탕으로 양 학회의 학술지에 게재된 논문을 비교하면 다음과 같다.

- ① KIIIE 학술지에서도 공정관리 분야의 논문 비율이 25%로 높으나(품질설계 분야의 논문 비율이 가장 높지만, 이는 2013년도 특집호 때문이며, 실질적으로는 공정관리 분야

의 논문 비율이 가장 높음), IIE Transactions 만큼 (60%) 높지는 않다.

- ② 특히 KIIIE 학술지에서 관리도에 관한 논문의 비율은 5~6% 정도로서 IIE Transactions의 33%와 큰 차이가 있다.
- ③ IIE Transactions에는 공정관리 분야의 품질제어 관련 논문이 꾸준히 발표되고 있으나, KIIIE 학술지에는 발표 실적이 거의 없다.
- ④ KIIIE 학술지에서 품질설계 분야의 논문 비율이 높은 것은 앞서 언급한 대로 2013년도의 특집호 때문이며, 이를 제외한다면 양 학회 학술지에서 품질설계 분야의 논문이 많은 편은 아니다. 특히 강건설계 분야에 해결해야 할 과제들이 아직도 많다는 점을 고려할 때(Yum et al., 2013) 바람직한 추이는 아니라고 판단된다.

Table 14. Yearly trend of quality control papers in KIIE and IIE journals(2009~2014)

대분류	중분류	2009		2010		2011		2012		2013		2014		합계	
		K*	I**	K	I	K	I	K	I	K	I	K	I	K	I
품질설계	반응표면 최적화					1	1	1	2					3	2
	강건설계(다구치방법)	1	3	1	1	1	1	1	2	7				11	7
	기타 실험계획법			1										1	0
	허용차설계		1	1										1	1
	목표값/평균/규격 결정				1				1					0	2
공정관리	관리도		8		4		6		6	1	8	1	6	2	38
	FDD(FDC)		3	1		1		1			1			3	4
	공정능력분석													0	0
	품질제어		2		3				2		4		1	0	12
	품질특성 모형과 예측		1	1	1		3	1	4	1	2	1		4	11
	공정관리 전산시스템													0	0
	기타		1		1				2					0	4
품질 측정 및 검사	측정시스템 평가 및 개선					1	1				1			1	2
	선별검사		1	1										1	1
	샘플링검사										1			0	1
	검사시스템	1				1								2	0
	기타													0	0
품질경영	품질계획					1				1				2	0
	품질시스템	1												1	0
	품질정보시스템													0	0
	식스시그마	2						1						3	0
	제조물책임법(PL법)													0	0
	품질 표준과 규격													0	0
품질일반	산업체 품질관리 현황													0	0
	품질기법 활용도 조사													0	0
	일반 Review		1						1		1			0	3
	서비스 품질			1	1								1	1	2
	확률, 통계, 데이터마이닝		3		1		1		4		3		3	0	15
	기타		5		1				2		2			0	10
합계		5	29	7	14	5	13	5	25	12	23	2	11	36	115

* : JKIE and IE Interfaces, ** : IIE Transactions.

- ⑤ 양 학회 학술지에서 ‘품질측정 및 검사’ 분야와 ‘품질일반’의 ‘서비스품질’ 관련 논문 발표 실적은 미미한 수준이다.
- ⑥ IIE Transactions에 게재된 논문을 분류할 때, ‘품질일반’의 ‘확률, 통계, 데이터마이닝’에는 Q&R 관련 issue에 게재된 논문 중에서 특별히 Q&R을 염두에 둔 것이 아니라 확률, 통계, 데이터마이닝 자체를 다룬 논문을 포함하였다. 한편, 대한산업공학회지나 산업공학지에는 Q&R 관련 issue를 따로 발간하고 있지 않기 때문에 위와 같은 성격의 논문은 포함하지 않았다. 따라서 ‘확률, 통계, 데이터마이닝’ 항목은 비교 대상에서 제외했다.

그리고 IIE Transactions에 등장하는 논문들 중에는 다변량 데이터, 자기상관(autocorrelated) 데이터, 프로파일(profile) 데이터, 시공간(spatio-temporal) 데이터와 같이 좀 더 복잡한 특징치를 다룬 논문이 많이 있는데, 이를 다루기 위해 전통적 확률, 통계적 방법뿐 아니라 다양한 데이터마이닝, 비모수적 방법 등을 동원하고 있다.

- (3) 논문 분류, 특징, KIIE 논문과의 비교신뢰성 분야
최근 신뢰성의 연구동향을 파악하고 국내 연구방향과 비교하기 위해 품질분야와 마찬가지로 IIE Transactions에 게재된

최근 6년간 논문을 분석하였다. 2009년부터 2014년 현재까지 게재된 논문 중에서 신뢰성관련 논문의 수는 총 76편으로서 전체 발표논문 수의 16.2%이며, 각 연도 별로 꾸준히 발표되고 있음을 알 수 있다.

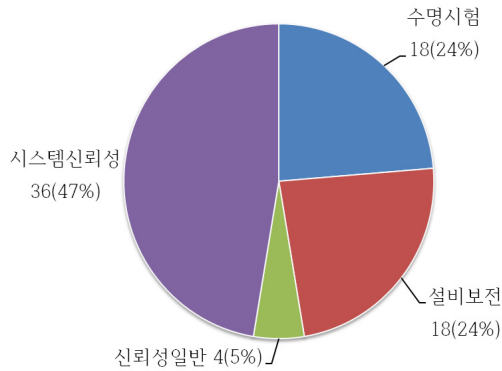


Figure 18. The number and percentage of papers in each major reliability area(IIE Transactions)

대분류 분야별로 보면, <Figure 18>과 같이 시스템 신뢰성(36편), 설비보전(18편) 또는 수명시험(18편), 신뢰성 일반(4편) 순으로 논문이 많이 발표되었다. 설비보전의 점유율이 상대적으로 높은 국내와 달리 시스템 신뢰성에 관한 실적이 가장 높다.

<Table 15>는 총 76편의 논문을 연도별, 세부 주제별로 분류한 결과이고, <Figure 19>는 대분류 분야별로 각 중분류 분야가 차지하는 정도를 원그래프로 나타낸 것이다. 각 대분류별로 중분류 분야의 연구 내용과 동향을 살펴보면 다음과 같다.

① 설비보전

이 분야의 연구논문은 총 18편으로 이중 예방보전 연구논문이 가장 많으며, 다음으로 변인 최적화 연구이다. 이들 연구내용을 정리하면 변인 최적기간, 다집단의 변인, 가속 변인 및 조건기반정비 등 초기고장기간에 대한 연구들이 다수 포함되어 있다. 그리고 고장발견을 위한 검사정책이나 예방보전 연구로서 다부품, 다상태, 다단계 등 복잡시스템을 가정하고 있으며, 이의 분석을 위해 Markovian 마모 모형, 다양한 확률과정 모형

Table 15. Classification of reliability engineering papers in IIE Transactions(2009~2014)

대분류	중분류	2009	2010	2011	2012	2013	2014	합계
설비보전	예방보전	1	1	1	1	3		7
	변인			1		3	1	5
	수리부속최적화					1		1
	조건기반보전		2			2		4
	기타					1		1
소계		1	3	2	1	10	1	18
수명시험	수명시험/자료		1		1		1	3
	가속수명시험/자료		1	1	2	1	1	6
	(가속)열화시험/자료	1			1	1		3
	샘플링 검사							0
	사용 현장/보증자료						1	1
	구조/시스템 신뢰도		1	2		2		5
소계		1	3	3	4	4	3	18
시스템 신뢰성	신뢰성 메트릭	1			2			3
	고장/열화현상 모형	1	2	1	1		5	10
	시스템/네트워크 신뢰도 평가	6		2		3	3	14
	신뢰도 예측			1				1
	신뢰성 설계/최적화	1	2	2	3			8
소계		9	4	6	6	3	8	36
신뢰성일반	소프트웨어신뢰성							0
	인간신뢰성							0
	안전시스템신뢰성							0
	보증정책	1		1			1	3
	기타			1				1
소계		1	0	2	0	0	1	4
합계		12	10	13	11	17	13	76

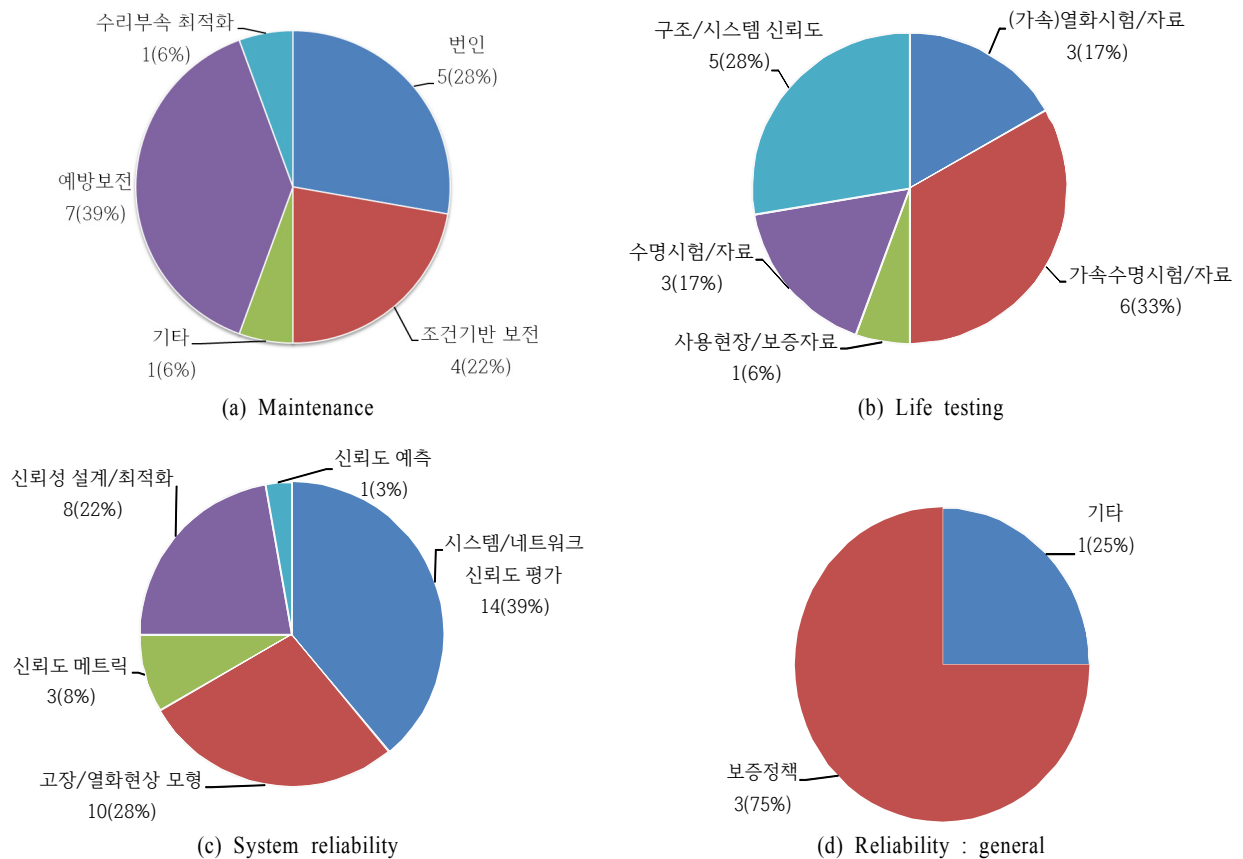


Figure 19. The number and percentage of each sub-category papers in each of four major reliability areas(IIE Transactions)

등을 사용하고, 베이지안 방법, 퍼지 베이지안 등 새로운 분석 방법 등이 활용되고 있다. 특히 조건기반 모니터링과 잔여수명 예측과 관련된 연구들을 다수 포함하고 있다. 그 외 n 중 k 시스템의 수리부속품 주문최적화 연구가 있으며, 사례연구로는 Wind-turbine 보전최적화 연구도 있다. IIE Transactions에서 설비보전 분야의 가장 두드러진 특징은 고전적인 시간기반 보전에 관한 연구는 미미한 수준이며, 최근 경향은 주로 상태점검을 위한 검사, 검사결과를 분석한 이후 잔여수명 예측, 이에 근거한 보전실시 연구에 초점을 맞추고 있다는 것이다.

② 수명시험

<Figure 19(b)>를 보면 대한산업공학회 발간 저널과 유사하게 가속수명시험에 관한 연구의 비중이 가장 높지만(33%) 국내만큼 편중되어 있지는 않으며, 시험설계에 편중된 연구경향을 보이는 국내와 달리 열화정보를 이용하여 잔여수명을 추정하는 연구(2편) 등 다양한 주제의 논문이 발표되고 있다. 한편 최근 기업에서의 활용도와 관심이 떨어진 신뢰성 샘플링 검사에 관한 연구는 전무하다.

또한 신뢰성 데이터의 분석 시 베이지안 접근법을 채택한 연구가 8편으로 수명시험 분야의 약 44% 정도를 차지하고 있으며, 시스템 신뢰도를 추정하기 위한 부품 시험계획의 설계(2편), 부하분담(load-sharing) 시스템과 스트레스-강도 모형에 대

한 통계적 분석법에 관한 논문이 각각 2편과 1편이 포함되어 있다.

그리고 전체 논문을 성격별로 분류하면 통계적 분석(13편, 72.2%), 시험계획을 도출하는 설계(4편, 22.2%), 사례연구와 개발을 포함한 응용(1편, 5.6%)이며 국내와 달리 설계보다는 통계적 분석이 높은 비율(72%)을 차지하고 있고, 산업공학 전반을 수용하는 학회지의 성격에 따라 수명시험 분야에서 응용으로 분류할 수 있는 논문은 매우 적은 편에 속한다.

③ 시스템신뢰성

<Figure 19(c)>를 보면 중분류 분야 중에서 시스템/네트워크 신뢰도 평가, 고장/열화 현상 모형, 신뢰성 설계 순으로 점유율이 높다.

세부적으로 보면 신뢰성 메트릭 분야에서 수리가능 시스템의 평균함수, 다상태(multi-state) 시스템에 퍼지 집합 적용 등 3편, 고장/열화현상 모형에서 열화모형에 관련된 논문이 10편, 시스템/네트워크 신뢰도 평가에서 네트워크 신뢰도 5편을 포함한 14편, 그리고 신뢰성 예측 관련논문이 1편 포함되어 있다. 특히 다상태 시스템의 모형, 분석, 설계에 관한 논문이 9편으로 최근의 연구추세가 반영되고 있다.

한편 신뢰성 설계/최적화 분야에는 병렬, 대기, n 중 k 구조 등의 중복시스템에 대한 최적화가 거의 대부분인 국내와 달

리, 중요도 척도에 의한 신뢰성 설계, 신뢰도 배분, 다상태 시스템이나 부하분담 시스템의 설계 등이 포함되어 있으며 중복 시스템의 최적화에 대한 논문은 전무하다. 그리고 최근 들어 열화과정과 신뢰성 메트릭에 확률과정을 활용하는 연구가 제법 포함되어 있다. 한편 응용 성격의 논문은 7편으로 20%를 약간 상회하는 수준이다.

④ 신뢰성일반

신뢰성일반에 포함된 연구로는 보증정책과 관련된 연구로서 이차원보증정책, 중고제품의 개선수준 결정문제, 보증 하에서의 Gross profit 예측에 관한 연구들이 있다. 그리고 실제 현장 사례연구로서 센서 신뢰성 연구가 있으며 다른 분야로 분류된 사례로서는 하드디스크 개발 프로세스의 신뢰성모형, Ultra-thin dialectic films의 신뢰성 연구 등이 있다.

이상의 결과를 바탕으로 대한산업공학회지(산업공학지 포함)와 IIE Transactions에 최근 6년간 게재된 신뢰성 분야의 논문을 분류체계에 맞춰 <Table 16>과 같이 분류하였다. 국내는 시스템 신뢰성(9편, 37%), 설비보전(8편, 33%) 수명시험(3편, 13%) 순으로 논문 수가 많으며, IIE Transactions에서는 시스템

신뢰성에 관한 논문 비율이 가장 높고, 설비보전과 수명시험의 발표 편수는 동일하며, 신뢰성 일반으로 분류된 논문편수는 매우 적은 편이다. 중분류의 비교는 대한산업공학회지(산업공학지 포함) 중분류별로 논문수가 적어 전체 논문을 대상으로 하여 대분류별로 비교하면 다음과 같다.

① 설비보전

국내의 모두 이 분야에서 예방보전 관련 논문의 비율이 높으나 국내는 34편(71%)으로 IIE Transactions의 7편(39%)에 비해 월등히 높다. IIE Transactions의 경우 번인이 5편(28%)으로 상대적으로 높으며 조건기반보전도 4편(22%)으로 높은 것이 특징이다. 이 분야에 대한 국내연구는 학술지 초창기부터 다양하게 수행되어 왔지만 최근에는 연구결과가 활발하게 발표되지 않는 것으로 판단된다. 특히 연구성과의 양만이 아니라 그 내용에 있어서도 부품이나 시스템의 복잡화, 계측 및 센서기술 등의 발전 추세 등을 반영하여 활성화되어야 하나 연구실적은 다소 미흡하다고 여겨진다. 특히 이론 연구와 더불어 산업현장의 실제 문제와 연관된 실용적인 보전최적화 연구가 부족한 것은 앞으로 산학협력을 통한 공동연구의 필요성을 보여주는 것으로 판단된다. 그리고 기계공학, 전자공학 분야

Table 16. Yearly trend of reliability papers in KIIE and IIE journals(2009~2014)

대분류	중분류	2009		2010		2011		2012		2013		2014		합계	
		K*	I**	K	I	K	I	K	I	K	I	K	I	K	I
설비보전	예방보전		1	1	1	1	1	1	1	3	3	1		7	7
	번인						1				3		1		5
	수리부속최적화			1							1			1	1
	조건기반보전				2						2				4
	기타										1				1
수명시험	수명시험/자료				1				1				1		3
	가속수명시험/자료			1	1		1		2		1		1	1	6
	(가속)열화시험/자료		1						1		1				3
	샘플링 검사														
	사용현장/보증자료				1								1	1	1
	구조/시스템 신뢰도	1			1		2				2			1	5
시스템 신뢰성	신뢰성 메트릭		1						2						3
	고장/열화현상 모형		1	1	2		1		1				5	1	10
	시스템/네트워크 신뢰도 평가		6				2	1			3		3	1	14
	신뢰도 예측						1	1						1	1
	신뢰성 설계/최적화		1	1	2		2	1	3	3		1		6	8
신뢰성일반	소프트웨어신뢰성														
	인간신뢰성														
	안전시스템신뢰성							3						3	
	보증정책		1				1						1		3
	기타				1		1							1	1
합계		1	12	7	10	1	13	7	11	6	17	2	13	24	76

* : JKIE and IE Interfaces, ** : IIE Transactions.

의 하드웨어 지식을 기반으로 한 보전최적화 모형 및 방안의 연구가 앞으로 보다 활발히 이루어져야 할 것이다.

② 수명시험

IIE Transactions에서는 가속수명시험의 연구에 관한 비중 (33%)이 높지만 국내만큼 편중되어 있지 않으며, 고장정보가 적을 때 유용한 베이지안 접근법을 채택한 연구가 상대적으로 많이 발표되고 있다. 또한 논문의 주제와 성격이 국내보다 상당히 다양한 편이다.

국내에서는 수명시험 분야 중에서 가속수명시험에 대한 연구가 가장 활발히 수행되었으며, 현재 신뢰성 향상사업의 일환으로 신뢰성 평가기관에서 개발한 가속수명시험법이 소재 부품 종합 정보망에 220건 등록되어 있는 등 국내 산업계에 많은 기여가 있었다. 앞으로 양적, 질적인 면에서 높은 성과를 기대한다. 한편, 대한산업공학회지에 가장 많이 발표된 가속수명시험계획은 산업계에서 활용도가 높지 않으므로 이런 연구 실적을 현업에 보급시키기 위하여 기업체와의 공동연구를 활발하게 수행해야 할 필요성이 있다.

다음으로, 전문가나 과거의 관련 정보를 활용하는 베이지안 접근법은 고장정보가 부족한 신뢰성 분야에서는 활용도가 매우 높음에도 불구하고 이런 접근법을 채택한 국내 연구가 상대적으로 적은 편이다. 그리고 가속시험법에 대한 기업의 관심이 가속수명시험에서 가속열화시험과 초가속수명시험(HALT)으로 이동 중이나(Meeker, 2010) 국외에 비하여 이들 시험법에 관련된 국내연구는 부족한 실정이다. 또한, 수리 후 시스템 상태변화와 수리 간 중속성의 특색을 가지고 있는 수리가능 시스템의 고장추세와 패턴을 기술하거나 이런 유형의 자료를 통계적으로 분석하는 발표실적도 거의 없는 편이다.

③ 시스템신뢰성

IIE Transactions에는 열화현상 모형에 관한 논문이 국내보다 상대적으로 많으며, 특히 다상태 시스템 관련 논문이 다수 발표되었다. 그리고 국내와는 달리 중복설계 최적화에 관한 논문은 한편도 실리지 않고 있다. 국내의 경우 시스템 신뢰도 평가에서 다상태 시스템과 더불어 통신망을 제외한 인프라 네트워크에 대한 발표실적이 드문 편이다. 또한 다양한 아이টে에 대해 고장이나 열화가 발생하는 현상을 심층적으로 모형화하거나, 통신 네트워크, 공급망, 나노기술 등의 응용영역에 특화된 논문실적이 적어 산업계에 직접적으로 기여할 수 있는 연구가 미흡한 편이다. 특히 기업에서 활용도가 높은 신뢰성 예측에서 최근 관심 주제인 고장물리와 통계적 접근법을 결합한 방법에 대한 연구도 전무하다.

한편, 시스템신뢰성분야는 다른 대분류 분야와 달리 응용성격의 연구가 많은 편이지만, 현업에의 활용도가 그리 높지 않다고 여겨지는 중복시스템의 최적화에 관한 연구가 가장 많이 수행되었다.

④ 신뢰성일반

이 분야의 국내 연구로는 소프트웨어 및 인간 신뢰성연구가 일부 있으며, 안전시스템의 신뢰성 연구가 최근에 발표되었으나 IIE Transactions에는 이에 관련된 연구가 없다. IIE Transactions의 경우는 보증정책에 관한 연구가 대부분(4편중에 3편)이다.

국내 연구를 평가하면 이 분야로 분류된 소프트웨어 신뢰성은 최근 시스템의 고장에서 소프트웨어 결함이 차지하는 부분이 계속 증가하는 경향을 보인다는 점에서 매우 중요한 신뢰성 연구 분야이다. 그러나 학회지 초기에만 일부 연구결과가 발표되다가 최근에는 발표가 미흡한 점으로 볼 때 산업공학 분야에서 이 부문에 대한 연구가 활발히 진행되지 못하고 있음을 알 수 있다. 그 외 사례연구들이 일부 있으나 적은 편으로 다양한 분야에서의 사례연구가 하드웨어 분야와의 공동연구 형태로 활발히 진행되지 못하고 있다고 여겨진다. 최근 연구에서 안전시스템과 관련하여 IEC 61508을 중심으로 하는 기능안전성은 신뢰성과 안전성을 통합하여 분석하는 분야로서 앞으로의 유망한 발전 방향으로 여겨진다.

4. 품질 및 신뢰성 분야 국내 산업체 활용

4.1 품질관리 분야

품질관리 분야의 국내 산업체 활용 현황을 파악하기 위해, 2013년 한국생산성본부에서 실시한 제조업 생산성 패널조사 (Manufacturing Productivity Panel Survey, MPS, 2013) 결과를 이용하였다. MPS는 주력 제품의 생산활동이 주요 4대 제조업 (자동차, 조선, 일반기계, 통신기기)에 해당하는 종사자 50인 이상의 기업체를 대상으로 실시되었다. 본 논문에서는 MPS의 설문 항목 중 품질 관련 항목(신뢰성 관련 항목 일부 포함)에 대한 분석을 통해 대기업과 중소기업 별 국내 산업체의 품질관리 현황을 정리하였다. 여기서, 대기업은 중견기업까지 포함한다.

먼저, 생산관리 부문의 설문 항목 중, <Table 17>의 4개 설문의 결과를 분석하였다.

설문 C16-2의 각 문항은 <Figure 20>에 나타나 있는 7점 척도에 따라 동종업계 평균 대비 자사의 수준을 평가하도록 하였다. <Table 18>에 설문 C16-2의 각 문항에 대한 평가 결과를 요약하였다. 단, 설문 분석에 포함한 대기업 총수는 95개, 중소기업 총수는 504개이다.

<Table 18>의 결과로부터 파악할 수 있는 사항은 다음과 같다. (1) 중소기업의 평균 점수가 대기업보다 전반적으로 낮다. (2) 대기업은 모든 문항에 대해 평균 5점 이상으로 평가하였다. 즉, 자사의 품질관리 부문의 수준을 동종업계 평균 대비 평균적으로 '높음' 이상이라고 평가하였다. (3) 대기업, 중소기업 모두 문항 1, '경영자가 품질에 관심을 가지고 독려한다'를 가장 높게 평가하였다. (4) 대기업, 중소기업 모두 문항 5, 'SPC,

Table 17. Q&R related questionnaires(production control area)

설문 번호	설문 내용	세부 문항
C16-2	귀사의 품질관리 부문의 수준을 평가해 주십시오.	1. 경영자가 품질에 관심을 가지고 독려한다 2. 생산현장 뿐 아니라 조직의 전 구성원이 품질개선에 참여한다 3. 동일한 품질문제가 발생하지 않게 체계적인 재발방지 프로그램이 운영되고 있다. 4. 품질데이터가 효과적으로 측정·관리되고 있다. 5. SPC, TQM, 6시그마 등 품질관리기법이 체계적으로 활용되고 있다
C16-4	귀사의 설비관리 부문의 수준을 평가해 주십시오.	1. 설비 관련 데이터와 설비 이력관리가 체계적으로 이루어지고 있다 2. 설비로스 감축, 성능향상을 위한 개별 개선활동이 이루어지고 있다 3. 설비의 예방 보전활동이 이루어지고 있다 4. 설비운영자(혹은 작업자)에 의한 자주보전활동이 이루어지고 있다
C17-1	품질, 원가, 납기(Q, C, D) 측면에서의 상대적중요도 를 평가하여 주십시오.	
C19	다음은 생산체계화 기법(Manufacturing Practice)에 관한 문항입니다. 생산체계화 기법에 대한 설명을 참고하여 응답하여 주십시오.	여러 문항 중, ‘도입 운영 중인 생산체계화 기법 중 최대5개까지 중요도 순으로 선택하십시오’라는 문항 분석 (체계적이고 구체적인 기법의 도입이 아닌 단순한 개념의 적용은 해당되지 않음. 또한, 단일 부서차원으로 추진되는 개선기법 개선도구 등도 해당되지 않음)

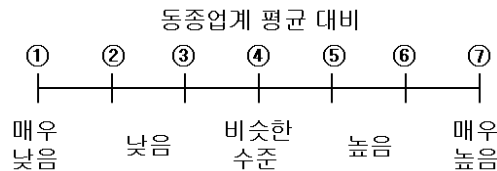


Figure 20. Measurement scale for questionnaires C16-2 and C16-4

Table 18. Means and standard deviations of the scores for 5 items in questionnaire C16-2

Item 1	MC*	SMC**	Item 2	MC	SMC	Item 3	MC	SMC
Mean	5.93	5.57	Mean	5.51	5.02	Mean	5.34	4.87
STD#	1.06	1.14	STD	1.09	1.16	STD	1.16	1.17
Item 4	MC	SMC	Item 5	MC	SMC	* : major companies ** : medium and small-sized companies # : standard deviation.		
Mean	5.43	4.92	Mean	5.12	4.29			
STD	1.17	1.17	STD	1.30	1.37			

Table 19. Means and standard deviations of the scores for 4 items in questionnaire C16-4

Item 1	MC	SMC	Item 2	MC	SMC	Item 3	MC	SMC	Item 4	MC	SMC
Mean	5.06	4.71	Mean	5.01	4.63	Mean	5.12	4.64	Mean	5.18	4.61
STD	1.12	1.16	STD	1.13	1.21	STD	1.20	1.17	STD	1.09	1.17

TQM, 6시그마 등 품질관리기법이 체계적으로 활용되고 있다’를 가장 낮게 평가하였다.

설문 C16-4는 신뢰성 분야와 관련된 설문으로서, 설비관리 부문의 수준에 대한 4가지 문항으로 구성되어 있다(<Table 17> 참조). 그 결과를 정리하면 <Table 19>와 같다.

<Table 19>의 결과로부터 파악할 수 있는 사항은 다음과 같

다. (1) 설문 C16-2의 결과와 마찬가지로 중소기업의 평균 점수가 대기업보다 전반적으로 낮다. (2) 대기업, 중소기업 모두에서 설문 C16-4의 문항에 대한 평균 점수가 C16-2의 문항에 대한 평균 점수보다 전반적으로 낮다(단, 설문 C16-2의 5번 문항 제외). 즉, 대기업, 중소기업 모두 자사의 설비관리 부문의 수준을 품질관리 부문의 수준 보다 낮게 평가하고 있다. (3) 대기

업, 중소기업 각각에서 문항 별 평균 점수는 큰 차이를 보이지 않는다.

설문 C17-1에서는 ‘품질’, ‘원가’, ‘납기’ 각각의 상대적 중요도를 백분율로 표시하도록 하였다(단, 합이 100%가 되어야 함). <Table 20>에 ‘품질’을 1위로 평가한 기업과 3위로 평가한 기업의 수와 비율을 정리하였다. 대기업, 중소기업 각각 대략 3개의 기업 중 2개의 기업이 ‘품질’의 상대적 중요도를 가장 높게 평가했으며, 가장 낮게 평가한 대기업과 중소기업의 비율은 각각 3% 정도였다. 즉, 많은 기업들이 품질의 확보 없이 원가(또는 가격)와 납기만으로는 높은 경쟁력을 유지할 수 없다고 판단하고 있는 것으로 보인다. 다만, 실제 ‘품질’, ‘원가’, ‘납기’ 간에 상충이 발생했을 때에도 많은 기업이 ‘품질’에 최우선 순위를 두고 절충안을 마련할 것인가에 대해서는 위 설문 결과가 해답을 제공해 주는 것은 아니라고 보며, 따로 조사가 필요하다고 판단된다.

설문 C19에 대해서는 여러 문항 중, ‘생산체계화 기법 중 최대 5개까지 중요도 순으로 선택하시오’라는 문항을 분석하였다. 열거한 35가지 생산체계화 기법 중, Q&R 관련 기법은 QFD(Quality Function Deployment), DFSS(Design for Six Sigma), TQC 또는 TQM, Six Sigma, 품질혁신 운동(Single PPM, 100 PPM), TPM(Total Productive Maintenance), 자주보전활동 등 7가지였다.

랜덤하게 선택했을 때 기대할 수 있는 기업의 수보다 더 많은 기업이 어떤 기법을 1~5순위 내에 포함했을 때 이를 ‘유의한(significant)’한 선택이라고 보고 해당 기법의 순위 분포를 <Table 21>에 보였다. <Table 21>에서 i 는 어떤 기업이 선택한 생산체계 기법의 수를 의미하며, $i = 1, 2, 3, 4, 5$ 에 해당하는 대기업 수는 각각 10, 22, 12, 9, 42개이고, 중소기업 수는 각각 140, 146, 48, 33, 137개 이다. j 는 해당 기법의 순위를 의미한다.

<Table 21>의 결과로부터 파악할 수 있는 사항은 다음과 같다.

(1) QFD, DFSS, TPM, 자주보전활동, 중소기업에서의 Six Sigma, 대기업에서의 품질혁신운동 등은 유의한 수준을 넘지 못하였다. (2) 대기업과 중소기업 모두 TQC, TQM을 상대적으로 가장 중요한 품질관련 기법으로 평가하고 있다. (3) Six Sigma는 약 24%의 대기업에서 여전히 중요시하고 있다(단, 그 중요도는 TQC, TQM보다 다소 낮다). (4) 약 14%의 중소기업에서는 품질혁신 운동(Single PPM, 100 PPM)을 중요시하고 있다(단, 그 중요도는 TQC, TQM보다 다소 낮다).

다음으로 연구개발 부문의 설문 중, <Table 22>의 5개 설문의 결과를 분석하였다.

모든 문항은 동종업계 평균 대비 자사의 수준을 <Figure 20>의 7점 척도로 평가하도록 하였다. <Table 23>에 E01-1부터 E03까지의 5개 문항에 대한 결과를 정리하였다.

<Table 23>의 결과로부터 파악할 수 있는 사항은 다음과 같

Table 20. Numbers and proportions of companies who rank ‘Quality’ first (a) and third (b) in questionnaire C17-1

(a)	MC	MSC	(b)	MC	MSC
N1*	65	338	N3**	3	15
Proportion(%)	68.4	67.1	Proportion(%)	3.2	3.0

* : number of companies who rank ‘Quality’ first.

** : number of companies who rank ‘Quality’ third.

Table 21. Q&R related manufacturing practices considered significant

TQC, TQM-대기업						TQC, TQM-중소기업					
$i \backslash j$	1	2	3	4	5	$i \backslash j$	1	2	3	4	5
1	0*(0**)	-	-	-	-	1	8(5.7)	-	-	-	-
2	3(13.6)	1(4.5)	-	-	-	2	23(15.8)	16(11.0)	-	-	-
3	3(25.0)	0(0)	2(16.7)	-	-	3	11(22.9)	3(6.3)	3(6.3)	-	-
4	3(33.3)	0(0)	1(11.1)	0(0)	-	4	3(9.1)	4(12.1)	3(9.1)	1(3.0)	-
5	7(16.7)	6(14.3)	1(2.4)	3(7.1)	2(4.8)	5	20(14.6)	10(7.3)	9(6.6)	8(8.5)	9(6.6)

Six Sigma-대기업						품질혁신운동-중소기업					
$i \backslash j$	1	2	3	4	5	$i \backslash j$	1	2	3	4	5
1	0(0)	-	-	-	-	1	1(0.7)	-	-	-	-
2	2(9.1)	2(13.6)	-	-	-	2	8(5.5)	8(5.5)	-	-	-
3	1(8.3)	1(8.3)	2(16.7)	-	-	3	0(0)	2(4.2)	1(2.1)	-	-
4	1(11.1)	1(11.1)	0(0)	1(11.1)	-	4	1(3.0)	3(9.1)	3(9.1)	0(0)	-
5	3(7.1)	4(9.5)	2(4.8)	1(2.4)	3(7.1)	5	8(5.8)	10(7.3)	14(10.2)	10(7.3)	4(2.9)

* : number of companies, ** : proportion(%).

Table 22. Q&R related questionnaires(R&D area)

설문 번호	설문 내용	세부 문항
E01-1	귀사의 개발 프로세스의 수준을 평가하여 주십시오	여러 문항 중, '단계별로 DR(Design Review)이 잘 운영된다'라는 문항 분석
E01-2	귀사의 제품기획 및 설계 프로세스 수준을 평가하여 주십시오	여러 문항 중, '제품, 부품, 공정의 품질목표가 반영되고 있다'라는 문항 분석
E01-3	귀사의 개발 목표관리 수준을 평가하여 주십시오	여러 문항 중, '개발 단계에서 품질목표관리가 이루어진다는 문항 분석
E01-4	귀사의 개발 기법 및 도구 활용 수준을 평가하여 주십시오	여러 문항 중, 'VA/VE, QFD(품질기능 전개), 실험계획법(다구찌기법) 등 개발기법을 잘 활용하고 있다'라는 문항 분석
E03	귀사의 개발성과를 동종업계 평균과 비교하여 평가하여 주십시오	여러 문항 중, '품질목표 달성도'라는 문항 분석

Table 23. Means and standard deviations of the scores for 5 items in <Table 22>

E01-1	MC	MSC	E01-2	MC	MSC	E01-3	MC	MSC	E01-4	MC	MSC	E03	MC	MSC
Mean	4.94	4.39	Mean	5.12	4.80	Mean	5.02	4.65	Mean	4.43	3.90	Mean	4.94	4.55
STD	1.29	1.33	STD	1.21	1.25	STD	1.16	1.27	STD	1.35	1.32	STD	1.14	1.18

다. (1) 설문 C16-2, C16-4의 결과와 마찬가지로 중소기업의 평균 점수가 대기업보다 전반적으로 낮다. (2) 연구개발 부문과 생산관리 부문의 평가자가 일반적으로 다르겠으나, 각각 <Figure 20>의 7점 척도의 의미에 충실하게 점수를 부여했다는 전제 아래, 대기업과 중소기업 모두에서 <Table 22>의 연구개발 부문 문항에 대한 평균점수가 설문 C16-2의 문항에 대한 평균점수보다 전반적으로 낮다. (3) 생산관리 부문과 마찬가지로 대기업, 중소기업 각각에서 개발 기법 및 도구활용 수준은 상대적으로 낮게 평가되었다.

한국생산성본부에서 실시한 2013 MPS 결과 중 품질 관련 부분을 요약하면, (1) 품질에 대한 경영진의 높은 관심, 고객만족 요소 중 품질을 원가나 납기에 비해 높게 평가한 기업이 대략 2/3정도라는 점, 생산체계화 기법 중 TQC, TQM, Six Sigma, 품질혁신운동 등의 상대적 중요도가 높다는 점 등은 매우 고무적인 결과이다. (2) 다만, '품질관리기법의 활용'이 상대적으로 낮게 평가되고 있다는 것은(생산관리 부문, 연구개발 부문 공통) 기법의 수요자 측의 문제도 있겠으나 공급자 측면에서 심각히 받아들여야 할 결과라고 믿어진다. 즉, 실용적인 기법의 개발과 보급, 활용성을 높이기 위한 전산화 작업 등에 좀 더 많은 관심과 노력이 필요하다고 판단된다.

MPS는 비록 Q&R에 초점을 맞춘 조사는 아니었으나 많은 유용한 정보를 제공하고 있으며, 이러한 체계적인 조사연구가 그 필요성에 비해 드물게 이루어지고 있다는 점에서 2013 MPS의 의의가 있다고 판단된다. 앞으로 Q&R에 초점을 맞춘 체계적인 조사도 실시되기를 기대한다.

4.2 신뢰성 분야

국내에서는 산업통상자원부 산하기관인 국가기술표준원에

서 2000년부터 신뢰성 평가·인증을 포함한 부품소재 신뢰성사업에 10년간 4,395억 원의 예산을 투입하여 국가기술표준원을 중심축으로 부품 및 소재 별 신뢰성 평가센터를 통해 범국가적 신뢰성 평가 기반을 구축하는 등 정부주도의 신뢰성 향상 사업을 추진하였다.

2009년부터 민간으로 전환하여 시행되고 있는 신뢰성·평가 인증절차는 부품소재 제조업체가 인증을 신청하면 분야별 정부출연 연구기관 중심으로 설치된 신뢰성 평가센터(<Table 2>의 6분야 10개 기관 참조)에서 신뢰성 평가를 실시하게 되며, 기술적 검토와 심의가 완료되면 국가기술표준원에서 신뢰성 인증서를 교부하게 된다.

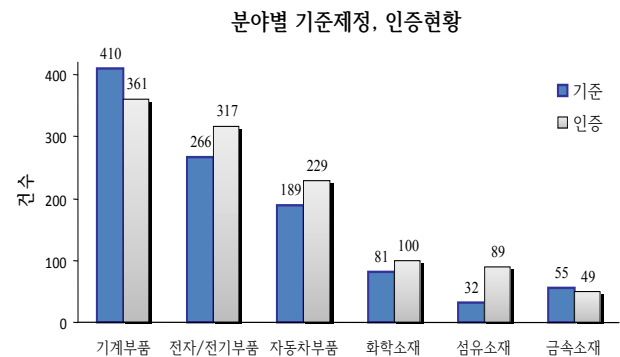


Figure 21. Current status of reliability standards and certifications by application fields of components and materials

<Figure 21>과 같이 2014년 9월 말 부품소재 종합정보망(Materials and Components Technology Network) 등록기준으로 1,033종의 신뢰성 평가기준을 제정하였으며, 1,145건의 제품을 인증하였다. 그리고 신뢰성 평가·인증제도의 실효성 확보를 위

하여 인증을 받은 부품·소재에 대해 공공기관의 우선구매 제도를 통해 판로를 지원하며, 수요기업에서 이의 결함으로 인해 손실이 발생하였을 경우 보상해주는 신뢰성보험 제도를 2003년부터 도입하고 있다. 또한 2008년부터 수요기업과 소재 부품기업이 같이 참여하는 수요연계형 신뢰성 산업체 확산사업 등을 지원하고 있다.

5. 발전 방향

5.1 품질 분야

앞에서 논의한 동향 및 개선점을 바탕으로 학술적 관점에서 품질관리 분야의 발전 방향을 요약하면 다음과 같다.

(1) 연구분야의 다변화

현재까지 대한산업공학회지와 산업공학지에 게재된 논문의 연구분야는, 실험계획법 기반 품질설계, 공정관리 분야의 관리도와 품질특성 모형/예측, 품질측정/검사 분야의 선별검사와 샘플링검사 등에 편중되어 있다. 한편, 통계적 공정관리와 제어 이론을 결합한 품질제어에 관한 논문은 그 중요성에도 불구하고 거의 찾아 볼 수 없었고, VOC, QFD, 품질비용 등에 관한 품질계획, 기업의 일관성 있는 품질관리를 위해 필수적인 품질정보시스템, 그리고 국내외 표준 및 규격에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 앞으로 이러한 분야에 대해서도 많은 관심과 연구가 이루어지기를 기대한다. 아울러, 현재까지 집중하고 있는 연구분야에서도 그 대상과 내용을 다양화할 필요가 있다. 예를 들어, 다단계 시스템(multistage systems)에 대한 모형화, 공정관리(감시, 진단, 제어 등), 최적화(강건설계) 등에 관한 연구를 들 수 있다.

(2) 고유기술 분야와의 협력

고유기술 분야와의 협력을 통한 응용 연구는 새로운 문제의 발굴과 특화된 기법의 개발로 이어질 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 그동안 국내 산업공학과에서는 금융, IT, Health Care 등의 서비스 산업으로의 진출에 관심을 가져 왔다. 그러나 최근 6년 동안에는 이 분야의 논문이 1편밖에 발표되지 않았으며, 과거의 논문들도 새로운 방법론의 개발보다는 주로 응용 사례에 관한 것이었다. 서비스산업의 중요성이 점차 높아지는 추세에 맞춰 위 분야의 ‘산업공학화’에 Q&R 분야가 크게 기여할 수 있게 되기를 기대한다. 그 외에 제약(특히 신약 개발) 분야의 QbD(Quality by Design) 접근방법에서는 실험계획, 최적화 등의 통계, 산업공학 기법이 중요한 역할을 하고 있으며, 나노기술과 신에너지 분야(풍력, 태양광, 바이오 등)에도 관심을 가질 필요가 있다.

(3) “Data-rich” 환경 하의 데이터 분석

시스템이 점차 복잡해지고 데이터 수집 기술이 발전함에 따

라 많은 양의 데이터가 축적되고 있다. 이러한 데이터는 실험을 통하여 얻어진 것이 아닌 관측 데이터(observational data)이며 고차원일 때가 많기 때문에 효과적, 효율적 분석을 위해서는 전통적 방법, 데이터마이닝, 비모수적 방법을 결합한 새로운 방법이 필요하다. Q&R 분야의 전문가가 그 위치를 확고히 해나가야 할 분야라고 판단된다.

(4) 데이터 성격의 다양화에 따른 기법의 고도화

데이터의 양이 문제가 되는 것은 아니나, 랜덤한 단변량 데이터가 아닌 다양한 형태의 데이터가 자주 등장하고 있다. 예를 들어, 다변량 데이터, 자기상관(autocorrelated) 데이터, 프로파일(profile) 데이터, 시공간(spatio-temporal) 데이터, 전산실험 데이터 등이다. 이를 다루기 위해서는 다변량분석, 시계열분석, FDA(Functional Data Analysis), Spatial Statistics, 비모수통계, Kriging 등의 고급 기법이 필요하다.

5.2 신뢰성 분야

신뢰성 분야의 국내의 학술적 연구동향과 산업체 활용 실태를 기반으로 다음과 같은 발전방향을 제안하고자 한다.

(1) 안전성과 신뢰성의 통합적인 분석: 기능안전성

위험사건을 예방하고 인간·환경·재산에 미치는 영향을 경감하기 위한 안전제어시스템(Safety Instrumented System : SIS)의 기능안전성에 대한 요건을 정립한 IEC 61508이 십여 년 전에 공표되었다. 그리하여 지금까지 주로 기계 및 전자부품 수준의 신뢰성에 초점이 맞추어진 안전의 개념이 하드웨어와 소프트웨어를 통합한 시스템 수준의 신뢰성과 안전성을 확보하기 위한 새로운 패러다임으로 전개되고 있다(IEC 61508, 2.0 ed., 2010).

이런 기능안전성은 범용적인 기능안전성 규격인 IEC 61508이 1998년에 발행된 이래 프로세스 산업, 원자력 발전설비, 철도차량, 기계류 제품, 의료기기 등 다양한 산업 분야의 기능안전성 관련 국제표준이 제정되었으며, 2011년에는 기능안전성 규격 중에서 최초로 일반용 양산제품에 적용되는 규격으로서 자동차에 관한 기능안전성 국제표준인 ISO 26262가 제정되었다(ISO 26262, 2011).

따라서 우리나라 핵심 산업의 하나인 자동차에서 전장품의 비중이 점증되는 경향과 안전에 대한 관심이 증대되는 추세에 부응하여 2012년 산업공학지(25권 4호)에서 기능안전 특집호(6편 수록)를 발간했는데, 이것이 계기가 되어 안전성과 신뢰성을 결합한 기능안전성 연구와 보급에 산업공학 전문가의 적극 참여와 주도적 역할이 요망된다.

(2) 응용영역과 대상 시스템의 다변화

전통적으로 신뢰성연구는 전자부품연구에서 시작하였으며 전자제품들이 주요한 연구 분야였으며, 그 후 다양한 분야에서 신뢰성 연구가 추진되었다. 그러나 상대적으로 국내의

기계 분야와의 공동연구가 활발히 추진되지 못한 실정이다. 앞으로 기계 분야와의 공동연구가 보다 활발히 추진되어, 원자력산업, 철도, 국방 분야 등으로 신뢰성 연구가 과급되기를 기대한다. 특히 이전에는 설계기술이 부족하여 독자설계를 하지 못한 무기체계의 경우에 독자적인 연구개발이 활성화되고 있으므로 신뢰성 예측, 보증시험 등의 연구가 더욱 필요하게 될 것으로 전망된다. 더불어 일반적인 시스템보다 컴퓨터/통신, 전력 송배전, 철도 등의 교통, 수도/가스 공급망 등 인프라 네트워크를 포함한 다양한 대형 시스템으로 연구 영역의 확장도 필요하다.

(3) 고유기술 분야와의 협력에 의한 특화된 연구

산업공학은 기본적으로 현장의 문제를 해결하는 것이 학문의 가장 기본적인 과제였다. 특히 신뢰성 기술은 설계단계에 주로 쓰이므로 고유기술자의 도움이 없이 산업공학자만으로 현장에 유용한 기술을 개발하기는 매우 어려운 학제적인 전공에 속한다. 따라서 전자, 기계, 소프트웨어 분야 등의 전문가가 포함된 학제적 연구를 통해 그 분야에 특화된 신뢰성 연구가 절실하다. 또한 이를 위해 이론적인 연구와 더불어 보다 다양화하고 복잡화되는 시스템의 신뢰성, 안전성을 확보하기 위해서는 산학협력의 공동연구도 필수적이라고 할 수 있다.

(4) 소프트웨어 신뢰성 분야 활성화

최근 대형시스템이나 자동차 및 전자제품의 분야에서도 소프트웨어의 비중이 지속적으로 증가됨에 따라 하드웨어와 소프트웨어를 분리하여 시스템 신뢰성을 분석하기가 어려운 여건이므로 이 분야의 연구가 보다 활발히 수행되어야 할 것이다. 특히 소프트웨어의 고 신뢰도를 확보하는 설계, 그리고 평가 및 예측을 위한 분석 방안 등이 연구되어야 할 것이다.

(5) 초 고 신뢰도 아이템과 베이지안 접근법

설계수명이 20년 이상이거나 고장관련 축적정보가 거의 없는 해저 케이블, 발전설비, 원자력 설비 등의 극히 높은 신뢰도를 요구하는 아이템에 대해서는 베이지안 접근법이 필수적이므로 이를 채택한 연구가 활성화 되어야 한다.

(6) 강건설계의 도입 및 활용

기업의 신뢰성 관점이 신뢰성 향상에서 신뢰성 보증으로 변하는 추세에 부응하며, 실험실에서의 시험조건과 실제 사용현장과의 상이한 여건에 대한 하나의 해결책으로 신뢰성 분야에서 강건설계(robust design)의 도입은 필수적이라고 여겨진다(Kim and Yum, 2002). 따라서 비정규성, 관측중단 현상 등의 특징을 가지는 신뢰성 분야에 적합한 강건설계방법의 개발과 활용법에 대한 연구도 필요하다.

(7) 진단기술과 고장예측기술의 개발

IIE Transactions의 연구경향에서도 알 수 있듯이 부품이나 장비의 마모, 노후화의 진단 기술, 잔여수명예측 기술, 최적 보

전의사결정 모형의 개발은 최근의 신뢰성 분야에서의 주요한 연구 영역이다. 이 영역에는 다양한 연구주제들이 존재하며, 또한 이들 주제에 대한 연구를 산업공학을 전공한 연구자들이 독자적으로 수행하려면 시스템의 하드웨어의 이해와 더불어 센서기술, 제어기술 등 복합적인 지식이 요구되므로 관련 고유기술 전공자와 산업체 전문가와의 공동연구를 수행하는 것이 가장 효과적인 접근방법으로 판단된다.

(8) 소프트웨어 개발

현재까지 보급된 신뢰성(상용)소프트웨어는 아직까지 제공 기능이나 수준이 품질이나 통계분석 분야와 달리 한정적이고 고가이므로 국내 현업에서 실무자가 필요한 수준의 기능을 쉽게 활용할 수 있도록 신뢰성 소프트웨어의 개발에 대한 관심이 요망된다.

5.3 품질 및 신뢰성 공통

국내 Q&R 분야 연구의 발전과 활성화를 위해 다음을 제안한다. Q&R 분야의 발전방향에 대한 일반적 논의는 Montgomery (2013)을 참조하기 바란다.

(1) 강점을 가진 연구주제 도출

새로운 연구주제를 개발하는 것 외에, 우리가 강점을 가질 수 있는 연구주제를 도출하여 더욱 강화해 나가는 것도 매우 중요하다. 예를 들어, 반도체산업이나 조선산업 자체의 경쟁력은 잘 알려져 있으나, 이런 선도산업에서의 Q&R 분야의 연구성과는 우리가 강점을 가지고 있다고 하기에는 아직 미흡하다고 판단된다.

(2) 특집호 발간 및 학술대회 특별 세션

그 동안 대한산업공학회지와 산업공학지를 합쳐 Q&R 관련 특집호가 4회 발간되었는데 다소 미흡한 실적이라고 판단된다. 연구회 등의 노력으로 시의적절한 주제에 대해 좀 더 자주 특집호가 발간될 수 있기를 기대한다. 아울러, 학술대회의 특별 세션과 이를 바탕으로 한 특집호 발간도 장려할 필요가 있다.

(3) Review 논문

Review 논문의 중요성은 재론할 필요가 없겠으며, 앞으로 많은 review 논문이 게재될 수 있기를 기대한다. 다만, 그 값을 더욱 높이기 위해 “Review-Discussions-Rejoinder” 형태의 review 논문을 제안한다.

(4) 비교 논문

많은 연구자들이 어떤 문제를 해결하기 위한 방법의 개발에는 많은 노력을 기울이고 있으나, 대표적 기법들의 성능을 비교하고 사용 상 지침을 제공해 주는 연구는 흔하지 않다. 이러한 방법의 수요자는 대부분 비전문가라는 점을 고려할 때, Q&R(그리고 산업공학 전체) 분야의 보다 확고한 정착을 위해

비교 연구는 매우 낱요하다고 판단된다.

6. 결 론

본 연구는 대한산업공학회 창립 40주년을 기념하기 위한 학술 활동의 일환으로 기획되었다. Q&R 분야의 국내외 단체 및 기관의 활동 내용과 학술연구 동향을 정리하고 앞으로의 발전 방향을 제시하고자 하는 목표를 가지고 시작하였다. 이를 위해 먼저 지금까지의 품질 및 신뢰성 분야의 전체적인 흐름을 정리하고 관련 학회 및 단체, 기구, 주요 학술지 및 학술대회를 소개하였다. 그리고 학술연구의 흐름을 정리하기 위해 국내는 대한산업공학회지(산업공학지 포함)에 게재된 논문을 중심으로 주제별 분류, 경향, 특징을 기술하였고, 국외는 IIE Transactions의 2009~2014년에 게재된 논문을 중심으로 분석하였다. 아울러, 국외의 동향은 주로 미국과 일본을 중심으로 파악하였다. 그러므로 본 논문의 내용이 Q&R 분야의 모든 국내외 연구를 통괄하는 것은 아니며, 산업공학에서 이 분야의 전반적인 흐름과 특징을 찾는 한정된 의미를 가진다는 것임을 밝혀둔다.

본 연구를 통해 파악한 학술연구 분야의 개선 및 발전 방향에 대해서는 이미 제 5장에 요약했으므로, 그 외 분야에 대한 결론을 요약하면 다음과 같다. 먼저, 산업체 Q&R 보급 현황, Q&R 기법 활용도에 대한 주기적 조사가 필요하다. 이는 학계 단독으로 실시할 수 있는 사업은 아니라고 보며, 관련된 민·관 단체와의 협조 하에 이뤄져야 할 것이다. 특히, 문항 작업을 할 때 학계에서 적극 참여하여 단순한 현황파악이 아닌 보다 유용한 정보(예 : 어떤 기법의 활용도가 왜 낮은가?, 무엇이 필요한가? 등)를 얻을 수 있도록 노력할 필요가 있다. 다음, 기업에서 Q&R 기법의 활용도는 일반적으로 만족스러운 수준은 아닌 것으로 파악된다(예 : 제 4.1절의 한국생산성본부 MPS 결과 참조). 이는 수요자 측의 문제도 있겠지만 공급자 측면에서 심각히 받아들여야 할 사항이라고 믿어진다. 즉, Q&R 분야의 정착을 위해 실용적인 기법의 개발과 보급, 활용성을 높이기 위한 전산화 작업 등에 좀 더 많은 관심과 노력이 필요하다고 판단된다. 전산화와 관련하여 R 소프트웨어의 활용도 고려해 볼 필요가 있다. 이미 제 5장에서도 언급했듯이 현대 Q&R 분야는 고급 기법을 필요로 할 때가 많다. 따라서 자체 개발 또는 통계학과와의 협력을 통해 이러한 고급기법을 커리큘럼에 포함시킬 필요가 있다. 그리고 Q&R 분야에 젊은 연구자의 진입을 장려하기 위한 적극적 노력이 필요한 시점이라고 판단된다.

끝으로, 대한산업공학회 창립 40주년을 맞이하여 시작한 이번 분야별 특집 사업이 앞으로 주기적으로 갱신되며 지속될 수 있도록 학회 차원의 관심과 지원을 기대한다.

참고문헌

ANSI, <http://www.ansi.org/>.

ASQ, <http://asq.org/index.aspx>.

ASTM International, <http://www.astm.org/>.

Azakhail, M. R. and Modarres, M. (2012), The Evolution and History of Reliability Engineering-Rise of Mechanistic Reliability Modeling, *International Journal of Performability Engineering*, **8**, 35-47.

Barlow, R. E. (1984), Mathematical Theory of Reliability : A Historical Perspective, *IEEE Transactions on Reliability*, **R-33**, 16-20.

CALCE, <http://www.calce.umd.edu/>.

Crosby, P. B. (1979), *Quality is Free*, McGraw-Hill, New York.

Deming, W. E. (1986), *Out of the Crisis*, MIT, Cambridge, MA (First published in 1982 under the title, *Quality, Productivity, and Competitive Position*).

Feigenbaum, A. V. (1961), *Total Quality Control*, McGraw-Hill, New York (First published in 1951 under the title, *Quality Control: Principles, Practice, and Administration*).

George, M. (2003), *Lean Six Sigma for Service : How to Use Lean Speed and Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions*, McGraw-Hill, New York.

Hauser, J. R. and Clausing, D. (1988), The House of Quality, *Harvard Business Review*, **66**(3), 63-73.

Institute of Industrial Engineers (2009~2014), *IIE Transactions*, **41**(1)~**46**(12).

IEC, <http://www.iec.ch/>.

IEC 61508 (2010), *Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic (E/E/PE) Safety Related Systems*, 2.0 ed., Part 1-7, IEC, Switzerland.

IEC 62506 (2013), *Methods for Product Accelerated Testing*, 1.0 ed., IEC, Switzerland.

IEEE Reliability Society, <http://rs.ieee.org/>.

ISO, <http://www.iso.org/iso/home.html>.

ISO 26262 (2011), *Road Vehicles-Functional Safety*, Part 1-9, ISO, Switzerland.

Japanese Society for Quality Control, http://www.jsqc.org/en/about_us/about_us.html.

Japanese Standards Association, http://www.jsa.or.jp/default_english.asp.

Juran, J. M. (1951), *Quality Control Handbook*, McGraw-Hill, New York.

Kackar, R. N. (1985), Off-line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method, *Journal of Quality Technology*, **17**, 176-188.

Kim, M. and Yum, B.-J. (2002), Development of Reliability Design Methodology Using Accelerated Life Testing and Taguchi Method, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **28**(4), 407-414.

Korea Institute for the Advancement of Technology (2011), *10-Year History of Components and Materials Reliability 2000 ~ 2010*.

Korea Institute for the Advancement of Technology, <http://www.ariat.or.kr/site/main/index/index001.jsp>.

Korea Productivity Center, <http://www.kpc.or.kr/>.

Korea Testing Laboratory, <http://www.ktl.re.kr/>.

Korean Agency for Technology and Standards, <http://www.kats.go.kr/>.

Korean Institute of Industrial Engineers (1975~2014), *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **1**(1)~**40**(5).

Korean Institute of Industrial Engineers (1988~2012), *IE Interfaces*, **1**(1)~**25**(4).

Korean Institute of Industrial Engineers, Bylaw, <http://www.kiie.org/>.

Korean Reliability Society, Bylaw, <http://www.koras.or.kr/>.

Korean Society for Quality Management, Bylaw, <http://www.ksqm.org/>.

Korean Standards Association, <http://www.ksa.or.kr/>.

Manufacturing Productivity Panel Survey (2013), <http://mps.kpc.or.kr/>, Korea Productivity Center.

- Martin, J. W. (2007), *Lean Six Sigma for Supply Chain Management*, McGraw-Hill, New York.
- Materials and Components Technology Network, <http://www.mctnet.org/index.jsp>.
- Meeker, W. Q. (2010), Trends in the Statistical Assessment of Reliability, in *Advances in Degradation Modeling-Applications to Reliability, Survival Analysis, and Finance*, edited by M. S. Nikulin, N. Limnios, N. Balakrishnan, W. Kahle, and C. Huber-Carol, Birkhauser, Boston, 3-16.
- Montgomery, D. (2013), The Quality, Reliability and Statistical Engineering Professional in the 21st Century, *Quality and Reliability Engineering International*, **29**(1), 1.
- Park, J. W. (2010), Reliability Management in the Development Stage, *Technology+Management*, December Issue, 32-35.
- Park, Y.-K., Yoon, C.-H., Ryu, Y.-H. (2006), Current Situation, Issue, and Development of Six Sigma Innovation in Korea, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **32**(4), 254-267.
- Reliability Association of Korea, <http://www.rako.or.kr/>.
- Reliability Engineering Association of Japan, <http://www.reaj.jp/>.
- Robust Quality Engineering Society, <http://www.qes.gr.jp/>.
- Saleh, J. H. and Marais, K. (2006), Highlights from the Early (and Pre-) History of Reliability Engineering, *Reliability Engineering and System Safety*, **91**, 249-256.
- Shewhart, W. A. (1931), *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, D. Van Nostrand Company, New York.
- Taguchi, G. and Wu, Y. (1980), *Introduction to Off-Line Quality Control*, Central Japan Quality Control Association, Japan.
- Union of Japanese Scientists and Engineers, <http://www.juse.or.jp/>.
- Yum, B. J., Kim, S. J., Seo, S. K., Byun, J. H., and Lee, S. H. (2013), The Taguchi Robust Design Method : Current Status and Future Directions, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **39**(5), 325-341.
- Zio, E. (2009), Reliability Engineering : Old Problems and New Challenges, *Reliability Engineering and System Safety*, **94**, 125-141.