

# 연구개발 품질보증 적용유형 분석 및 핵심 연구품질요소 도출

김덕환\* · 강미선\* · 지두환\* · 최상진\*

\* 한국에너지기술연구원 성과품질보증실

## R&D Quality Assurance : General Types and Key Quality Elements

Kim, Deok-Hwan\* · Kang, Mi-Sun\* · Ji, Doo-Hwan\* · Choi, Sang-Jin\*

\* Korea Institute of Energy Research, R&D QA Office

### Abstracts

**Purpose:** This study aims to analyze general types of R&D Quality Assurance(R&D QA) and to identify key quality elements for R&D QA. R&D QA is defined as all the planned and systematic actions to verify whether R&D processes are conducted in a proper manner and the results of R&D fully satisfy customers' requirements.

**Methods:** The existing R&D QA guidelines and the some cases were reviewed. From the review, three general types are analyzed and thirteen key quality elements are identified. Then, the survey on the eighteen domestic experts has been conducted for prioritization of the identified elements.

**Results:** As the result of this study, three types for R&D QA based on quality elements, standard process, and final evaluation are analyzed. Related to the first type, thirteen quality elements, e.g., administrative plan, project plan, process management and so on, are identified and prioritized.

**Conclusion:** This study contributes to develop the baseline for R&D QA including the types and the key quality elements. It may be helpful for the institute that has an interest adopting R&D QA.

**Key words:** R&D Quality Assurance, General Types, Key Quality Elements

• Received 17 July 2013, revised 17 September 2013, accepted 4 November 2013

† Corresponding Author([thekan@kier.re.kr](mailto:thekan@kier.re.kr))

© 2013, The Korean Society for Quality Management

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.

※ 본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업으로 수행한 결과입니다(B3-2453-04).(This work was conducted under the framework of Research and Development Program of the Korea Institute of Energy Research(KIER)(B3-2453-04).)

## 1. 서론

최근 국가경제 활성화 및 지속적 성장을 위한 첨단과학의 중요성이 부각됨에 따라 정부출연연구소의 연구개발에 대한 투자 및 지원이 지속적으로 확대되고 있다. 정부 R&D 예산의 경우 '08년 11.1조원에서 연 평균 8.8% 증가하여 '13년 16.9조원으로 확대되었다. 이는 미국(7.9% ('07~'09)), 독일(1.8% ('08~'10)) 등에 비해 상대적으로 높은 증가율로, 세계 2위 수준에 해당된다. 아울러 GDP 대비 R&D 투자 비중은 '08년 3.36%에서 '11년 4.03%로 증가한 것으로 나타났다(NSTC 2012A).

이와 같이 연구개발에 대한 양적 투자는 두드러지게 이루어졌으나, 핵심 원천기술 개발 또는 기술이전 건수 등 연구결과에 대한 질적 수준은 양적 투자에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 논문의 영향력을 나타내는 SCI 피인용도는 '08년 3.29회(30위)에서 '10년 3.57회(30위)로 거의 변동이 없었으며, 기술이전 비율('08년 22.2% → '11년 26.0%), 과학기술분야 경쟁력('08년 조사대상 14개국 중 5위 → '11년 14개국 중 5위) 측면에서도 두드러지는 향상이 없었던 것으로 나타났다(NSTC 2012A). 특히 정부출연연구소의 경우 이러한 문제가 더욱 심각하게 제기되었다. 정부출연연구소의 경우 정부 연구개발 예산의 40%를 배정받아 활용함에도 불구하고, 대학에 비해 논문은 1/9 수준, 특허는 1/3 수준, 사업화는 1/5 수준에 그치는 것으로 나타났다(KISTEP 2011).

실제로 이러한 문제로 인해 최근 기획재정부에서는 국가 연구개발 사업의 투자효율성 및 질적 성과 제고를 위하여 새로운 성과평가제도를 도입하였다(NSTC 2012B). 새롭게 시행된 성과평가제도는 연구개발사업의 질적 우수성 평가를 강화하는 것을 주요 목적으로 하고 있다. 즉, 논문, 특허 등의 단순 건수 중심의 양적 지표 보다는 연구개발 사업의 효과성 및 우수성을 측정할 수 있는 질적 지표를 확대 적용하는 것이다.

아울러 '05년 황우석 교수의 줄기세포 논문 조작 사건, '12년 일본의 모리구치 박사의 줄기세포 사기극 등을 통해 연구윤리의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 연구윤리의 핵심화두는 연구의 진실성에 관한 것으로, 데이터 혹은 결과물에 대한 위조, 변조, 표절로 인해 정확성과 객관성에 결함이 있는 연구가 수행되는 것이 가장 큰 문제로 꼽히고 있다(MEST 2011). 이러한 문제를 극복하기 위하여 정부에서는 연구노트의 작성을 의무화하고 있으며(MEST 2009), 연구개발 기록에 대한 체계적 관리의 중요성을 강조하고 있다(Lim 2011). 또한 베이비부머 세대의 시니어급 연구자들의 은퇴시기가 다가옴에 따라 이 들이 보유한 연구개발 노하우 및 아이디어의 관리에 대한 이슈도 함께 제기되고 있다. 실제로 '10년에서 '20년 사이에 과학기술인 11만 3천명이 대거 은퇴할 것으로 예상됨에 따라(Min 2012), 이들이 보유한 연구개발 노하우 및 지식 관리가 중요해지고 있는 실정이다.

연구개발 사업의 질적 수준제고, 연구윤리 문제 해소, 연구개발 노하우 관리를 위해서 새로운 연구개발 패러다임이 필요한데, 그 대안 중 하나가 '연구개발 품질보증'이다. 일반적인 품질보증의 정의와 유사하게 연구개발 품질보증을 정의하면 연구개발 프로세스를 통해 얻어진 성과물이 주어진 품질요건을 만족시킬 것이라는 신뢰감을 주는데 필요한 모든 계획적이고 체계적인 조치로 정의할 수 있다. 즉, 연구개발의 품질보증은 연구개발을 통해 얻어진 기술 및 성과물이 최초로 계획된 기술목표를 달성할 수 있도록 연구개발 과정이 주어진 절차와 방법대로 진행되었는지를 객관적으로 검증하는 제반 활동을 의미한다(KIER 2011).

'프로세스의 우수성이 품질수준을 결정한다'라는 품질경영의 격언과 같이 연구개발 품질보증은 연구개발 과정의 체계성 및 적합성을 확보하여 연구개발 산출물의 품질수준에 대한 신뢰감을 높이는 것이다. 연구개발 품질보증은 연구개발의 체계적인 수행, 연구개발 수행 중 발생하는 문서 및 기록의 효과적 관리, 결론 취득 과정의 논리적 흐름에 대한 추적성 제고 등을 통해 연구개발 질적 수준, 연구윤리 문제, 연구개발 노하우 관리 문제를 동시에 해결해 줄 수 있는 새로운 패러다임으로 작용할 수 있다.

국내에서는 일부 연구소를 중심으로 앞서 언급한 문제를 극복하기 위하여 연구개발 품질보증이 도입되어 운영되고 있다(Kwon and Lim 1995). 최근에 들어 많은 연구기관에서 연구개발 프로세스 혁신의 일환으로 연구개발 품질보증 제도의 도입을 고려하고 있으나, 연구개발 품질보증을 위한 구체적인 접근방법, 핵심 고려사항 등에 대한 기초연구가 부족하여 실질적인 도입에 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제를 해소하고 연구개발 품질보증 신규도입을 위한 기초자료 제공을 위하여 본 연구에서는 국내·외 적용사례 분석을 통해 연구개발 품질보증 적용 유형을 분석하고, 연구개발 품질보증과 관련된 기존 지침을 분석하여 연구개발 품질보증을 위한 핵심 연구품질요소를 도출하고자 한다.

## 2. 관련문헌 및 기존 사례연구

### 2.1. 품질관점의 연구개발 방법론

효과적으로 품질을 향상시키기 위하여 생산 후 제품검사에서, 생산 중 공정관리, 그리고 생산 전 품질개발로 품질경영 분야의 초점이 확대됨에 따라 근래에 들어 품질관점의 연구개발 방법론이 지속적으로 연구되고 있다. '80년대에 고객의 요구사항에 적합한 제품을 개발하는 QFD(Quality Function Deployment)(Chan and Wu 2002) 방법론이 제시되었으며, '90년대에는 제품의 품질, 시험용이성, 제조용이성 등을 제품개발 단계부터 고려하는 DFSS(Design for Six Sigma)(Kim et al. 2005)와 같은 DfX(Design for X) 방법론들이 제시되었다(Kuo et al. 2001).

이러한 품질관점의 연구개발 방법론은 고객의 요구를 충족하도록 제품 개발을 수행하고, 그 성과물을 활용하여 생산단계에서 고품질의 제품 및 서비스를 생산하는 것을 목적으로 개발되었다. 즉, 고객의 요구를 충족시키는 매개체를 제품 또는 서비스로 본 것이다. 이러한 이유 때문에 기존의 품질관점의 연구개발 방법론은 연구개발과 제품생산이 직접적으로 연결되어 고객가치를 창출하는 일반 기업에 적합한 방법론이라 할 수 있다. 하지만 연구개발과 제품생산을 통한 가치창출이 가시적인 수준에서 직접적으로 연결되지 않는 정부출연연구소와 같은 전문 연구기관의 경우에는 이러한 품질관점의 연구개발 방법론을 적용하는데 한계가 있었다.

### 2.2. 연구개발 품질보증 지침

제품 또는 서비스가 아닌 무형의 기술을 창출하는 연구개발 단계에서 일반적인 품질경영 관점의 방법론을 그대로 적용하는데 한계가 있다. 이러한 이유 때문에 학회, 정부 등에서 연구개발 품질보증을 위한 별도지침을 개발하여 제공하고 있다. 대표적으로 ASQ(American Society for Quality), ASME(American Society of Mechanical Engineers), US DOE(Department of Energy), Eurachem CITAC에서 연구개발 품질보증 지침을 제공하고 있다.

#### 2.2.1. ASQ - Quality Assurance Guidelines for Research and Development

먼저 ASQ(American Society for Quality)는 Table 1의 연구품질요소를 기반으로 연구개발 품질보증을 위한 지침을 개발하여 제공하고 있다(ASQ 2000). ASQ의 지침에서는 연구형태 및 연구과제의 위험도에 따라 연구품질요소를 차등적으로 적용하도록 정하고 있다. Table 1에 나타난 것과 같이 연구 형태를 소규모/분석 연구(Benchmark/Analytical), 기초연구(Basic Research), 응용연구(Applied Research)로 구분하고, 연구과제의 위험도를 높은 위험(H), 중간 위험(M), 낮은 위험(L)으로 분류한다. 이와 같이 연구형태 및 과제의 위험도에 따라 Table 1의 연구품질요소를 차등적으로 적용하도록 권고하고 있다. 이러한 차등적용은 연구과제가 주제, 규모 등의 다양한

요인에 따라 다른 방식으로 진행될 수 있으며 연구품질을 제고하는 동시에 연구수행의 유연성을 확보하기 위한 것으로 이해할 수 있다. 아울러 중요한 품질요소에 집중함으로써 연구개발 품질보증 활동의 효율성을 제고하기 위한 방편으로 해석할 수 있다.

**Table 1.** Quality Elements in ASQ Guidelines

Elements		Graded Approach			
		Benchtop/ Analytical	Basic Research	Applied Research	
	Responsibility	L, M, H	L, M, H	L, M, H	
Planning	Project Plans	L, M, H	L, M, H	L, M, H	
	Statistical DOE	M, H	M, H	M, H	
	Training	H	H	H	
Execution	Change Control	-	M, H	M, H	
	Drawing	-	M, H	M, H	
	Calculations	M, H	M, H	M, H	
	Procurement	H	M, H	M, H	
	Material Identification and Control	M, H	M, H	M, H	
	Nonconformance	H	H	H	
	Software	H	M, H	M, H	
	Testing	H	M, H	M, H	
	Instrumentation	M, H	M, H	M, H	
	Reports	M, H	M, H	M, H	
	Project Records	L, M, H	L, M, H	L, M, H	
Verification	Design Reviews	-	H	-	
	Inspection	Receiving In-process	H	M, H	M, H
			-	H	H
	Peer Reviews	M, H	M, H	M, H	
	Audit	L, M, H	L, M, H	L, M, H	

### 2.2.2. ASME NQA-1

ASME(American Society of Mechanical Engineers)는 원자력 설비의 품질보증 활동을 위하여 Table 2의 요구사항으로 구성된 NQA-1(Nuclear Quality Assurance)라는 표준을 제공하고 있다(ASME 2012). 이 표준의 경우 초기에는 원자력 설비의 품질보증 활동에만 적용되었으나, 후에 원자력 분야 연구개발 과제에도 동일하게 적용되고 있다. 국내에서는 ASME NQA-1을 받아들여 전력산업기술기준의 품질요건인 KEPIC-QAP으로 제정하여 원자력 분야 품질보증에 적용하고 있다.

**Table 2.** Requirements of ASME NQA-1

Quality Elements	
R1 : Organization	R10 : Inspection
R2 : Quality Assurance Program	R11 : Test Control
R3 : Design Control	R12 : Control of Measuring and Test Equipment
R4 : Procurement Document Control	R13 : Handling, Storage, and Shipping
R5 : Instructions, Procedures, and Drawing	R14 : Inspection, Test, and Operating Status
R6 : Document Control	R15 : Control of Nonconformance Items
R7 : Control of Purchased Items and Services	R16 : Corrective Action
R8 : Identification and Control of Item	R17 : Quality Assurance Records
R9 : Control of Special Processes	R18 : Audits

2.2.3. DOE – Order 414.1D

미국의 DOE(Department of Energy)는 Table 3의 연구품질요소로 구성된 DOE Order 414.1D(DOE 2011A)를 제정하여 산하 연구개발 기관에 품질보증 시스템을 구축·운영하도록 요구하고 있다. DOE Order 414.1D의 연구품질요소는 Management(관리), Performance(업무수행), Assessment(평가)의 3가지로 분류할 수 있으며, 과제의 특성에 따라 제시된 연구품질요소를 차등적용 하도록 하고 있다. 이는 연구품질요소를 일괄적으로 적용하기 보다는 기관 및 업무 특성에 따라 자율적으로 적용하도록 하고 있음을 의미한다.

**Table 3.** 10 Quality Criteria of DOE Order 414.1D

Category	Management	Performance	Assessment
Criteria	Program	Work Process	Management Assessment
	Quality Improvement	Design	Independent Assessment
	Documents and Records	Procurement	
	Personnel Training and Qualification	Inspection and Acceptance Testing	

2.2.4. Eurachem CITAC Guide

Eurachem CITAC은 유럽의 학계 및 업계 전문가로 구성된 연구그룹으로, 영국의 통상산업부(Department of Trade and Industry)에서 지원하는 National Measurement System Valid Analytical Measurement 사업의 일환으로 연구개발 품질보증에 관한 연구를 수행하여 그 결과로서 Eurachem CITAC Guide를 제시하였다(Eurachem CITAC 1998). Eurachem CITAC Guide에서는 연구개발 품질에 영향을 미치는 연구품질요소를 조직차원(Organizational)의 품질요소, 기술적(Technical) 품질요소, 분석업무(Analytical Task) 품질요소로 분류하여 제시하고 있으며 각각에 대해 어떻게 관리해야하는지를 언급하고 있다. 세부내용은 Table 4와 같다.

**Table 4.** Quality Elements of Eurachem CITAC Guide

Category	Elements
Organizational Quality Elements	Administrative and technical planning work
	Quality management, Corporate and local
	Record keeping and document control
	Staff qualifications, training and supervision of staff
	Equipment and computer controlled equipment
	Monitoring the quality system
	Subcontracting
Technical Quality Elements	Unit operations
	Technical capability of laboratory
	Methodology
	Reagents, reference material and calibrants
	Calibration of traceability
	Instrument performance
	Use of statistics
Analytical Task Quality Elements	Technical requirement related to particular unit processes
	Preparation and planning before starting work
	While the work is in progress
External Verification	When the work is complete

### 2.3. 연구개발 품질보증 적용사례

현재 연구개발 품질보증은 국내·외 일부기관에서 적용하고 있는 실정이다. 미국의 경우 DOE의 요구에 따라 DOE 산하 연구기관들(Brookhaven National Laboratory, 페르미 국립가속기 연구소)이 연구개발 품질보증을 수행하고 있으며, 국내의 경우 원자력연구원, 전자통신연구원, 국방과학연구소 및 국방기술품질원, 한국에너지기술연구원 등이 연구개발 품질보증을 수행하고 있다.

#### 2.3.1. 미국 Brookhaven National Laboratory(BNL)

앞서 언급한 바와 같이 미국 DOE 산하에 있는 연구소들은 DOE의 요구에 따라 품질보증시스템을 구축하고 있다. DOE는 10 CFR 830(Nuclear Safety Management)(DOE 2001) 및 DOE Order 414.1D(Quality Assurance)(DOE 2011A)를 통해 품질보증시스템이 안전경영시스템(DOE P 450.4: Safety Management System)(DOE 2011B)과 통합적으로 수립되어 운영되도록 요구하고 있기 때문에 따라서 DOE 산하기관의 품질보증시스템은 안전, 환경, 보건 등 원자력 관련 안전관리시스템이 유기적으로 결합된 통합경영시스템의 일환으로 운영된다.

즉, 품질보증활동이 법적 요구사항이 아닌 경영도구로 인식되고 있으며, 품질보증 관련 각 요소들이 연구소 내 업무 전반에 흡수되어 모든 구성원이 일상적인 연구업무를 수행하면서 자연스럽게 품질보증활동을 수행하도록 요구하고 있다. 아울러 이러한 활동을 지속적으로 운영하기 위하여 Quality Management Office라는 조직을 두고 있다.

#### 2.3.2. 미국 페르미 국립가속기 연구소 (Fermilab)

페르미 국립가속기 연구소(Fermilab)는 Office of Quality and Best Practices라는 전담 부서를 두고 연구개발

단계의 품질보증을 추진하고 있다. Fermilab은 '99년에 연구를 위한 품질지침서인 ANSI/ASQ Z1.13-1999를 도입하여 연구개발 품질보증활동을 추진하였으나 내부 반발로 인해 '02년 연구개발 품질보증 제도가 폐지되었다.

이후 연구개발 품질보증에 대한 내·외부 요구에 의해 '07년부터 연구개발 품질보증을 재추진하여 모든 연구개발 사업에 DOE Order 414.1D에서 요구하는 품질보증 활동을 수행하고 있으며, 현재는 IQA(Integrated Quality Assurance)를 구축하여 시범 적용 중에 있다. IQA는 DOE Order 414.1D와 ANSI/ASQ Z1.13-1999 등의 연구개발 품질보증과 관련된 다양한 요구사항을 하나로 정리한 통합 품질보증 시스템을 의미한다. 연구개발 수행을 위해 준수해야 할 다양한 요구사항을 통합하여 하나로 정리함으로써 연구개발 중 발생하는 품질보증활동의 효율성을 제고한 것이다.

### 2.3.3. 한국원자력연구원 (KAERI)

원자력은 후쿠시마 원전 사태에서 보는 바와 같이 공공 안전에 대한 위험도가 높으며, 대규모 투자비용이 수반되는 특성을 가지고 있다. 이러한 이유로 원자력 분야는 일찍이 안전 및 신뢰성과 관련된 품질보증 개념을 도입하여 원자력 시설의 안전한 이용을 추구하여 왔다(Park and Choi 2003). 한국원자력연구원의 경우 원자력안전법, 원자력안전법 시행령 등의 관계법령 등에 따라 '87년부터 원자력 설비에 관해 품질보증 활동을 수행하였다. 이후 '03년부터 연구개발 분야에 품질보증을 접목하는 시도를 추진하고, 품질경영부를 확대하여 연구개발 품질보증 활동의 정착을 위한 노력을 기울여왔다(Nam et al. 1999). 하지만 원자력 연구개발 사업을 대상으로 하는 연구개발 품질보증은 국내에 그 적용기준에 마련되지 않아 원자력설비에 적용하는 기준을 그대로 준용하고 있는 실정이다(Park and Choi 2003).

### 2.3.4. 한국전자통신연구원(ETRI)

한국전자통신연구원은 연구개발 성과물의 질적 수준제고를 위하여 '03년부터 ETRI 표준 프로세스를 구축하고, 이 프로세스에 따라 모든 연구개발과제를 수행하도록 하고 있다. ETRI 표준 프로세스는 소프트웨어 개발 시 일반적으로 활용되는 V-model을 기반으로 설계되었으며, 사업수주, 과제계획, 위험관리 등의 과제관리 프로세스, 요구사항 정의, 구조설계, 상세설계, 구현, 단위통합, 시스템 통합, 시험검증으로 이루어지는 연구개발 프로세스, 형상관리, 품질보증, 동료검토의 개발지원 프로세스로 구성된다(Park et al. 2012).

그리고 각 연구과제가 표준 프로세스를 적절히 준수하였는지, 그리고 고객요구사항에 따라 연구개발이 수행되었는지를 평가하기 위한 수단으로 '08년부터 Q-Mark 인증제도를 도입하여 운영하고 있다. Q-Mark 인증제도는 연구과제 단위의 사업 Q-Mark와 연구과제를 통해 얻은 기술단위의 Q-Mark 인증으로 구분된다. 사업 Q-Mark는 연구개발 프로세스가 표준 프로세스에 따라 수행되었는지, 결과물이 사업 시스템 요구사항을 충족하는지를 평가하여 우수한 연구과제에 대해 주어진다. 기술 Q-Mark는 해당 기술이 기술이전을 위한 시스템요구사항을 충족하였는지를 평가하여 우수한 기술에 대해 주어진다. 한국전자통신연구원은 연구개발 품질보증의 확산을 위하여 외부로 기술이전하는 모든 사업 및 기술에 대해 반드시 Q-Mark를 받도록 규정하고 있다. 아울러 원차원의 품질혁신팀과 각 연구본부별 품질보증연구실을 설치하여 연구분야별 품질보증 활동이 이루어지도록 하고 있다.

### 2.3.5. 국방과학연구소(ADD)-국방기술품질원(DTaQ)

기존의 국방분야의 무기체계 개발은 체계공학(Systems Engineering)에 기반하여 이루어졌으며, 국방과학연구소가 무기체계 연구개발단계를 담당하고, 국방기술품질원이 양산단계의 품질을 관리하는 이원화된 체계로 운영되었다

(DAPA 2010). 이는 연구개발 단계의 품질보다는 양산단계에서 발생하는 전통적 관점의 품질에 주안점을 둔 관리체계였다.

하지만 '10년에 발생한 K계열 무기체계 품질문제를 해소하기 위하여 방위사업청, 국방과학연구소, 국방기술품질원 등의 유관기관이 참여하는 품질관리 발전 TF가 발족되었다(K-Force Media 2013). 이러한 활동의 일환으로 체계공학 기반의 연구개발 표준 프로세스를 수립하여 이에 따라 연구개발이 진행되도록 하였다(DAPA 2010). 아울러 연구개발 단계의 산출물에 대한 중간 및 최종 평가를 강화하기 위하여 기존의 성능시험 뿐만 아니라 미 국방부에 활용중인 제조성숙도평가(MRA: Manufacturing Readiness Assessment)(DAPA 2012) 제도를 신규로 도입하였다. 이 제도는 연구개발 주요 단계에서 연구개발 산출물의 제조성숙도 등의 질적 수준에 대해 평가함으로써 다음단계로 진입하기 전 품질수준을 제고하는 것을 목적으로 한다.

뿐만 아니라 국방과학연구소는 '12년에 연구개발 품질을 담당하는 품질인증실('13년 R&D 품질혁신실로 명칭 변경)을 신설하고 무기체계 연구개발 단계의 품질향상을 위한 노력을 추진하고 있으며, 국방기술품질원 또한 개발단계 품질보증 활동을 위한 근거를 마련하고 연구개발 단계 품질향상을 위해 노력하고 있다.

### 2.3.6. 한국에너지기술연구원(KIER)

한국에너지기술연구원은 연구개발 단계의 품질제고를 위하여 '11년부터 연구원 경영목표 및 추진전략에 연구성과의 품질보증을 명시하고, 관련부서를 신설하여 연구개발 품질보증 활동을 추진해왔다. '12년에는 연구개발 품질보증 담당부서인 성과품질보증실을 원장실 직속으로 승격하고 전사적인 연구개발 품질보증활동을 위한 노력을 추진해왔다.

한국에너지기술연구원은 DOE Order 414.1D의 연구품질요소를 기반으로 국내에서 최초로 연구개발 전 주기에 걸친 10개 연구품질요소를 수립하였다(Kim et al. 2012). 한국에너지기술연구원의 10개 연구품질요소는 ① 연구계획(Plan), ② 훈련 및 자격(Training), ③ 문서 및 기록(Document/Record), ④ 업무프로세스(Process), ⑤ 설계(Design), ⑥ 구매(Procurement), ⑦ 시험(Test), ⑧ 평가(Assessment), ⑨ 연구보고서 작성 및 검수(Final Report), ⑩ 연구품질개선(Quality Improvement)로 구성되며 각 요소에 대해 관련된 세부항목을 포함하고 있다.

한국에너지기술연구원은 이러한 10개 연구품질요소를 연구과제의 특성에 따라 선택적으로 적용하도록 하여 연구과제 책임자의 연구수행 자율성을 최대한 보장하도록 하고 있다. 실제로 이를 위해 연구개발 품질보증 활동을 시작하는 과제는 10개의 품질요소로 구성된 연구품질수행계획을 작성하도록 하고 있다. 즉, 연구품질수행계획 작성 시 과제책임자와 연구개발 품질보증 담당부서간의 협의를 통해 10개 연구품질요소 중 어떠한 요소를 적용하고, 적용한다면 어떻게 관리할 것인지를 계획하게 된다. 그리고 연구품질수행계획을 바탕으로 과제책임자는 연구과정 중 품질보증 활동을 수행하고, 연구개발 품질보증 담당 부서는 연구품질수행계획을 바탕으로 과제책임자의 품질보증 활동이 정상적으로 진행되고 있는지 주기적으로 모니터링을 한다.

아울러 한국에너지기술연구원은 연구개발 과정을 체계화하고 일관된 품질보증 체계의 적용을 위하여 연구개발, 연구품질보증, 연구 성과관리의 세 가지 범주로 구성된 연구개발 표준 프로세스를 수립하고 '13년부터 본격 적용하고 있다.

## 3. 연구 방법론

본 연구에서는 앞서 살펴본 연구개발 품질보증 지침과 국내·외 적용사례를 분석하여 연구개발 품질보증의 적용



유형과 연구개발 품질보증을 위한 공통 연구품질요소를 도출하고자 한다. 아울러 도출된 연구품질요소에 대해 관련 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여 공통 연구품질요소 중 중요하게 고려해야하는 핵심 연구품질요소를 식별하고자 한다.

먼저 연구개발 품질보증 적용 유형을 파악하기 위하여 앞서 살펴본 6개 적용기관의 특성을 비교 분석한다. 적용기관 별 특이점을 파악하고 이를 분류함으로써 공통적으로 적용 가능한 연구개발 품질보증 유형을 파악할 수 있다. 그리고 연구개발 품질보증과 관련된 지침에서 제시된 품질요소를 바탕으로 공통적인 연구품질요소를 파악하고자 한다. 앞서 소개한 4개 지침에서 제시된 총 66개의 품질요소를 바탕으로 친화도법(Affinity Diagram)을 활용하여 품질요소를 계층화하여 공통 연구품질요소를 도출하였다. 그리고 공통 연구품질요소에 해당하는 기존 지침의 품질요소를 기반으로 각 공통 연구품질요소를 정의하였다.

아울러 도출된 공통 연구품질요소간의 중요도를 살펴보기 위하여 '13년 5월에 국내 정부출연연구소 10개 기관과 정부출연연구소와 유사한 성격을 가지는 민간기업 연구소 4개 기관의 총 14개 기관 품질 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문에 참여한 14개 기관은 전형적인 정부출연연구소의 연구개발 형태와 동일하게 과제 단위로 연구를 수행하고 있는 기관 중 연구개발 과정을 체계적으로 수행하기 위한 노력을 수행하고 있는 기관으로 선별하였다. 이 기관들은 연구개발 과정의 체계성 확보를 위하여 각자 기관 특성에 따라 연구품질활동 수행, 연구개발 분야에 대한 ISO9001 품질경영시스템 구축 및 운영, KOLAS(Korea Laboratory Accreditation Scheme), GLP(Good Laboratory Practices) 준수 등의 노력을 수행하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 연구기관의 품질관련 부서장 및 실무자 총 18명을 대상으로 설문을 실시하였으며, 공통 연구품질요소에 대해 공개 설명 과정을 통해 각 공통 연구품질요소가 의미하는 바를 이해한 상태에서 진행되었다. 설문은 개인별 설문지를 통해 이루어졌으며 각 공통 연구품질요소가 연구품질에 얼마나 영향을 미치는지에 대해 리커트 5점 척도로 설문을 실시하였다(Likert 1932).

본 연구에서는 공통 연구품질요소의 상대적 중요도 분석을 통해 핵심 연구품질요소를 식별하기 위하여 Kim et al.(2010)에서 제시된 우선순위 방법론을 활용하였다. Kim et al.(2010)에서 제시된 우선순위 방법론은 다수의 대안이 있는 경우 대안간의 선호도에 대한 쌍대비교 확률을 바탕으로 유사한 선호도를 가진 대안이 다른 순위를 부여받는 오류(Type I error)와 전혀 다른 선호도를 가진 대안이 같은 순위를 부여받는 오류(Type II error)를 동시에 줄일 수 있는 우선순위 방법론이다. 이 방법론은 대안들을 몇 개의 그룹으로 분류하고 각 그룹 간의 우선순위를 결정하게 된다. 이 방법론은 각 대안들 간의 우선순위를 제공하지는 않지만 상대적으로 우선순위 관계가 분명한 그룹 간의 우선순위만을 제공해준다. 즉, 이 방법론은 설문결과에 존재하는 불확실성에 대해 상대적으로 강건한 우선순위 결과를 제공할 수 있다. 만약 설문결과를 척도별로 점수화하여 합산하는 일반적인 방식을 활용하는 경우, 각 대안의 합산점수 차이에 대한 해석이 어렵고 합산점수 간에 작은 차이가 발생하더라도 서로 다른 우선순위를 부여하게 된다. 이러한 기존의 우선순위 결정 방법은 설문결과가 조금만 바뀌더라도 우선순위가 민감하게 변하게 되는 문제가 있다.

본 연구에서는 설문에 참여한 인원이 충분히 많지 않기 때문에 설문결과에 불확실성이 존재할 것으로 판단하였고, 식별된 공통 연구품질요소에서 중요한 소수의 핵심 연구품질요소를 식별하는 것이 목적이기 때문에 Kim et al.(2010)의 우선순위 방법론을 채택하여 활용하였다.

## 4. 분석 결과

### 4.1. 연구개발 품질보증 유형 분석

앞서 살펴본 바와 같이 연구개발 품질보증을 적용하고 있는 각 기관은 기관 연구분야의 특성에 따라 다양한 형태로 연구개발 품질보증 활동을 적용하고 있지만, 공통적으로 연구개발 품질보증 업무를 주관하는 전담부서를 설치하여 운영하고 있다. 기관의 특성에 따라 전담부서의 형태는 일부 상이하지만 연구개발 부서와 독립적으로 운영되고 있음을 알 수 있다. 아울러 각 기관은 연구품질요소 및 표준 프로세스를 기반으로 연구개발 품질보증을 적용하거나, 연구품질에 대한 평가 프로세스를 두어 연구개발 종료시점에서 연구개발 품질 수준을 평가하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 내용을 요약하면 Table 5와 같다.

**Table 5.** Comparison among the Research Institutes

Organization	Government Funded Research Institutes					
	BNL	Fermilab	KAERI	ETRI	ADD-DTaQ	KIER
	Quality Mgmt. Office	Office of Quality and Best Practices	Quality Mgmt.Div.	Quality Innovation Team	R&D Quality Reform Div.(ADD) Quality Mgmt. Div.(DTaQ)	R&D QA Office
① Quality Elements	DOE O 414.1	DOE O 414.1	NQA-1/KEPIC-QAP	-	-	Customization based on DOE O 414.1
② Standard Process	-	-	-	ETRI R&D Std. Process	Defense Acquisition R&D Std. Process	KIER R&D Std. Process
③ Assessment	-	-	-	Q-Mark	MRA/TRA	-

Table 5에 나타낸 바와 같이 국내·외 연구개발 품질보증의 적용 사례를 통해 다음의 세 가지 연구개발 품질보증 유형으로 분류할 수 있다. 첫째, 연구개발 과정의 중요 연구품질요소를 수립하고 연구개발자가 이를 중점적으로 관리하도록 요구함으로써 품질수준을 제고하는 유형이다(① Quality Elements). 여기서 말하는 연구품질요소는 연구개발 프로세스에서 연구개발 품질보증을 위하여 중요하게 고려하고 관리해야하는 세부 활동으로 해석할 수 있다. 예를 들어 BNL, Fermilab의 경우 DOE Order 414.1D의 연구품질요소를 중심으로 연구개발자가 연구품질을 고려하도록 요구하고 있으며, 한국에너지기술연구원은 DOE Order 414.1D를 바탕으로 국내에서 최초로 개발한 10개 연구품질요소를 적용하도록 요구하고 있다. 한국원자력연구원의 경우에는 NQA-1에서 제시하는 18개의 품질요소를 연구개발 품질보증에 그대로 적용하고 있다.

이러한 적용 유형은 연구품질요소에 따라 연구개발을 수행하기 위하여 연구개발 과제 수행 초기단계에서 각 연구품질요소를 연구개발 과정에서 어떻게 고려할 것인지를 계획하게 된다. 즉, 모든 연구품질요소를 일괄적으로 고려하는 것이 아니라, 연구개발 과제의 특성을 반영하여 연구과제 책임자가 선택적으로 각 연구품질요소를 차등적용(Graded Approach)할 수 있다. 이러한 유형은 연구과제 책임자가 연구품질요소를 선택적으로 적용함으로써 연구과제의 특성을 연구개발 품질보증 활동에 반영하기 용이하고 연구개발자의 자율성을 최대한 보장할 수 있는 장점이 있다. 하지만 연구개발자의 관심도에 따라 적용되는 수준이 달라지는 한계가 있다. 즉, 연구개발자가 연구개발 품질보증활동에 관심이 적은 경우 최소한의 연구품질요소만을 적용하려는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 유형은 연구개발자의 인식 전환이 동시에 이루어져야 제대로 된 효과를 얻을 수 있다.

두 번째 유형은 연구개발 과정을 표준화한 연구개발 표준 프로세스에 따라 연구개발이 진행되도록 요구하는 것이다(② Standard Process). 즉, 연구개발 과정을 몇 개의 세부 단계로 구분하고 각 단계에서 수행해야할 업무와 산출되는 표준 산출물을 정립하여 연구개발 과정에 체계적으로 진행될 수 있도록 하며, 결과적으로 연구개발 품질수준이

제고될 수 있도록 유도하는 유형이다. 한국전자통신연구원과 국방과학연구소-국방기술품질원의 경우 별도의 명시된 연구품질요소가 없는 대신, 각각 ETRI 표준 프로세스와 방위사업 연구개발 표준 프로세스를 수립하여 이러한 표준 프로세스에 따라 연구개발을 수행하면 자연스럽게 연구품질보증활동이 이루어지도록 하고 있다. 한국에너지기술연구원은 연구품질요소를 적용하고 있음에도 연구개발 수행을 위한 표준 프로세스를 수립하여 함께 적용하고 있다.

이러한 유형은 연구개발 표준 프로세스 수립을 통해 기존의 연구개발 과정에 연구개발 품질보증 활동을 내재화함으로써 연구개발자 입장에서 새로운 제도를 도입한다는 부담 없이 적용가능한 장점이 있다. 하지만 연구개발 프로세스가 표준화됨으로 인해 연구과제의 특성을 반영하는데 한계가 있으며, 범용적인 표준 프로세스를 수립하기 위하여 연구개발 표준 프로세스가 개념적인 수준에서 정립되어 실제 적용에 어려움이 발생할 여지가 있다.

마지막 유형은 연구개발이 종료되는 단계에서 연구개발 품질보증 활동의 적정성 및 연구개발 품질수준을 평가하는 절차를 두고 운영하는 것이다(③ Assessment). 즉, 기술이전이나 연구개발 후 양산단계로 전환 등을 위해 일정 수준의 품질수준을 도달하도록 연구개발과제에 요구하는 것이다. 예를 들어 한국전자통신연구원의 경우 Q-Mark 제도를 운영하여 외부로 기술이전이 되는 모든 과제는 반드시 Q-Mark를 획득하도록 하고 있으며, 국방분야의 경우 연구개발 종료단계에서 MRA, TRA 평가를 통해 일정 수준에 도달해야만 다음단계로 진행할 수 있도록 규정하고 있다.

이러한 유형은 연구개발 품질수준을 체계적으로 평가하고 연구개발 종료를 위한 명확한 연구품질수준의 기준점을 제시함으로써 연구개발 품질수준 제고를 강제화할 수 있는 장점이 있다. 하지만 기존의 과제평가 개념과 중복되어 연구개발자 입장에서 부담을 가질 수 있으며, 연구개발 품질보증을 수행하기 위한 구체적인 절차 및 기준이 제시되지 않는 한계가 있다. 아울러 전통적인 품질관리의 검사 개념과 마찬가지로 연구개발이 종료되는 시점에서 평가가 진행됨에 따라 평가 결과가 좋지 않은 경우 이를 보완할 수 있는 시간적 여유가 없는 한계가 있다.

이와 같은 세 가지 유형은 서로 장단점을 가지고 있으며, 특정 유형이 다른 유형에 비해 우수하다고 할 수 없다. 연구개발 품질보증을 수행하기 위해서 대부분의 기관은 연구품질요소 적용, 표준 프로세스 구축 및 적용, 품질평가 절차 운영의 세 가지 유형을 상호보완적으로 적용 운영하고 있는 것을 알 수 있다.

## 4.2. 공통 연구품질요소 도출

앞서 언급한 세 가지 유형 중 연구품질요소를 적용하는 첫 번째 유형과 관련하여 2.2에서 소개된 지침들에서 연구개발 과정에서 고려해야 하는 연구품질요소를 제시하고 있다. 2.2에서 살펴본 ASQ, NQA, DOE, Eurachem CITAC의 지침에서 제시한 연구품질요소를 바탕으로 친화도법을 이용하여 몇 개의 공통 연구품질요소를 그룹화하였다. 그 결과를 정리하면 Table 6과 같다.

Table 6. Common R&amp;D Quality Elements

Common Quality Elements	ASQ	NQA	DOE	CITAC
1. Administrative Plan	·Responsibility	·Organization		·Administrative and technical planning work ·Quality Mgmt., Corporate and local
2. Project Plan	·Project Plans	·Quality Assurance Program	·Program	·Preparation and planning before starting work
3. R&D Plan	·Software	·Design Control	·Design	·Technical capability of laboratory ·Methodology ·While the work is in progress
4. Process Mgmt.		·Control of Special Processes	·Work Process	·Unit operations
5. Documents & Records Mgmt.	·Change Control ·Drawing ·Reports ·Project Records	·Instructions, Procedures, and Drawing ·Document Control ·Quality Assurance Records	·Documents and Records	·Record keeping and document control
6. Use of Statistics	·Statistical DOE ·Calculation			·Use of statistics
7. Nonconformance and Corrective Action	·Nonconformance	·Control of Nonconformance Items ·Corrective Action	·Quality improvement	·When the work is complete
8. Material Mgmt.	·Material Identification and Control	·Identification and Control of Item ·Handling, Storage, and Shipping		·Reagents, reference material and calibrants
9. Procurement Mgmt.	·Procurement	·Procurement Document Control ·Control of Purchased Items and Services	·Procurement	·Subcontracting
10. Training and Qualification	·Training		·Personnel Training and Qualification	·Staff qualifications, training and supervision of staff
11. Equipment Mgmt.	·Instrumentation	·Control of Measuring and Test Equipment		·Instrument performance ·Calibration of traceability ·Equipment and computer controlled equipment
12. Testing & Inspection	·Testing ·Inspection	·Test Control ·Inspection, Test and Operating Status	·Inspection and Acceptance Testing	
13. Assessment	·Design Reviews ·Peer Reviews ·Audit	·Audits	·Mgmt. Assessment ·Independent Assessment	·Monitoring the quality system ·External Verification

Table 6에서 보는 것과 같이 각 지침에서 제시하는 연구품질요소는 (1) 경영 계획(Administrative Plan), (2) 과제 계획(Project Plan), (3) 연구개발방법 계획(R&D Plan), (4) 프로세스 관리(Process Management), (5) 문서 및

기록관리(Documents and Records Management), (6) 통계의 활용(Use of Statistics), (7) 부적합 사항 관리 및 시정조치(Nonconformance and Corrective Action), (8) 연구자재 취급관리(Material Management), (9) 구매 관리(Procurement Management), (10) 인력 및 훈련(Training and Qualification), (11) 실험 및 측정장비 관리(Equipment Management), (12) 시험 및 검사(Testing and Inspection), (13) 내·외부 평가(Assessment)의 총 13개의 공통 연구품질요소로 요약 분류할 수 있다.

Table 6에서 식별된 각각의 공통 연구품질요소에 대한 정의는 아래와 같다.

- (1) 경영 계획 : 연구개발 품질보증을 수행하기 위한 조직의 Vision 및 실천목표 수립, 관련 부서의 책임 및 권한 정의, 전체 연구과제에 대한 포트폴리오 구성 등 연구개발 품질보증을 수행하기 위한 경영기반을 제공하는 활동
- (2) 과제 계획 : 각 과제별로 연구개발을 수행하기 위한 세부 연구내용, 연구과제 참여자 업무, 연구추진체계 및 일정 등을 계획하는 활동
- (3) 연구개발방법 계획 : 연구개발 과제의 목표 달성을 위하여 현재 보유하고 있는 기술역량을 분석하고, 목표 달성을 위한 최적의 설계 및 실험 방법 등을 식별하고 결정하는 활동
- (4) 프로세스 관리 : 연구개발 중 품질수준에 치명적인 영향을 미치거나 특수한 프로세스 및 공정을 식별하고 체계적으로 관리하는 활동
- (5) 문서 및 기록관리 : 연구개발 중 발생하는 각종 문서 및 기록을 생성하고, 유지, 관리, 활용하는 활동
- (6) 통계의 활용 : 체계적이고 효율적 실험수행 및 정량적 분석을 위한 실험 계획법, 통계적 분석을 수행하는 활동
- (7) 부적합 사항 관리 및 시정조치 : 최초 목표 및 요구에 부합하지 않는 산출물 등 부적합 사항을 식별하고 관리하여 재발하지 않도록 조치를 취하는 활동
- (8) 연구자재 취급관리 : 연구개발에 필요한 원자재, 표준물질, 시약 등의 수급, 저장 및 취급 활동
- (9) 구매 관리 : 연구개발과제 수행을 위한 자재의 구매 및 조달, 서비스의 용역과 관련되어 협력업체를 식별하고 관리하는 활동
- (10) 인력 및 훈련 : 연구개발 수행에 필요한 인력의 자격 및 능력을 식별하고, 이를 확보하기 위하여 훈련을 계획하고 수행하는 활동
- (11) 실험 및 측정장비 관리 : 연구개발에 활용되는 실험기기 및 측정기기에 존재하는 오차로 인한 연구결과의 오류를 방지하기 위하여 설비를 유지 관리하고, 활용 전에 각 장비가 정상적으로 작동하는지를 검정하고 교정하는 활동
- (12) 시험 및 검사 : 연구개발 산출물이 목표된 요구사항에 적합한지를 확인하기 위하여 시험 및 검사를 계획하고 수행하는 활동
- (13) 내·외부 평가 : 연구개발 산출물에 대한 내부 평가 및 검토, 외부 평가를 수행하는 활동

그리고 13개 공통 연구품질요소는 Table 7과 같이 연구과정의 시점에 따라 연구계획단계(Planning), 연구수행단계(Execution), 연구검증단계(Verification)로 분류할 수 있다. 먼저 연구원 전체 차원의 계획을 수립하는 경영계획, 개별 연구과제를 계획하는 과제계획 그리고 과제계획에서 수립된 연구개발 목표를 달성하기 위하여 구체적인 연구개발 방법을 결정하는 연구개발방법 계획의 활동을 연구계획단계로 분류할 수 있다. 그리고 프로세스 관리, 문서 및 기록관리, 통계의 활용, 부적합 사항 관리 및 시정조치, 연구자재 취급관리, 구매 관리, 인력 및 훈련, 실험 및 측정장비 관리, 시험 및 검사를 연구수행단계로 분류할 수 있다. 마지막으로 연구개발 산출물에 대한 내부 평가 및 검토, 외부평가를 포함하는 내·외부 평가는 연구검증단계에 해당되는 것으로 볼 수 있다.

**Table 7.** Classification of Common Quality Elements

Phase	Common Quality Elements
Planning	(1) Administrative Plan
	(2) Project Plan
	(3) R&D Plan
Method	(4) Process Mgmt.
	(5) Documents & Records Mgmt.
	(6) Use of Statistics
	(7) Nonconformance and Corrective Action
Execution	(8) Material Mgmt.
	(9) Procurement Mgmt.
	(10) Training and Qualification
	(11) Equipment Mgmt.
	(12) Testing & Inspection
Verification	(13) Assessment

뿐만 아니라 연구수행단계의 연구품질요소는 일반적으로 품질경영 분야에서 말하는 품질문제의 발생유형인 산출 방법(Method), 원자재(Material), 인력(Man), 설비(Machine), 측정(Measure)의 5M 관점에서 분류가 가능하다. 산출 방법(Method) 측면에서는 실험 및 제작 등의 과정에서 연구품질에 영향을 미치는 핵심 프로세스 및 공정을 식별하고 관리하는 프로세스 관리, 연구개발 중 발생하는 문서 및 기록을 관리하는 문서 및 기록관리, 효율적 실험 수행을 위한 실험계획 및 통계분석을 수행하는 통계의 활용, 최초 계획에 부합하지 않는 사항에 대한 식별 및 시정조치 활동을 수행하는 부적합 사항 관리 및 시정조치 활동이 포함된다. 원자재(Material) 측면에서는 연구자재의 관리 및 자재의 구매 활동이 포함되며, 인력(Man) 측면에서 연구개발자의 자격 및 훈련이 해당된다. 설비(Machine) 측면에서 장비 유지 및 점검 등의 활동을 수행하는 실험 및 측정장비의 관리가 해당되며, 측정(Measure) 측면에서는 연구개발 산출물을 적합성을 확인하기 위한 시험 및 검사 활동이 해당된다.

Table 6, Table 7에서 보는 바와 같이 연구개발 품질보증과 관련된 지침에서 제공하는 연구품질요소는 연구계획부터 연구수행 및 연구평가 범위에 걸쳐 제시되고 있음을 알 수 있다. 아울러 일반적 제조 프로세스의 품질경영과 유사하게 5M 관점의 연구품질요소가 제시되고 있음을 알 수 있다. 다만, 연구개발의 특성에 따라 5M 관점 중 Method 분야의 연구품질요소가 상대적으로 강조되고 있는 것을 알 수 있다.

### 4.3. 공통 연구품질요소 중요도 분석 결과

연구품질 관련 전문가 18명을 대상으로 앞서 도출된 공통 연구품질요소에 대해 설문을 실시하였다. 얻어진 설문 결과를 요약하면 Table 8과 같고, 설문결과의 평가자간 신뢰도를 확인하기 위하여 크론바흐 알파(Cronbach's alpha)값을 산출하여 Table 8에 함께 나타내었다. 여기서 크론바흐 알파는 0.774로 나타났으며 이는 설문조사에서 일반적으로 신뢰할 수 있다고 보는 기준인 0.7을 상회하므로 이 설문결과는 신뢰할 수 있는 것으로 판단된다 (Cronbach 1951).

Table 8. Results of Questionnaire

Common Quality Elements	Responses(Frequency)				
	① Very Important	② Important	③ Moderate	④ Unimportant	⑤ Very Unimportant
(1) Administrative Plan	7	9	1	1	0
(2) Project Plan	8	9	1	0	0
(3) R&D Plan	4	9	5	0	0
(4) Process Mgmt.	7	10	1	0	0
(5) Documents & Records Mgmt.	11	4	3	0	0
(6) Use of Statistics	1	7	8	2	0
(7) Nonconformance and Corrective Action	4	7	7	0	0
(8) Material Mgmt.	6	3	5	3	1
(9) Procurement Mgmt.	3	4	8	3	0
(10) Training and Qualification	11	6	0	1	0
(11) Equipment Mgmt.	6	5	4	2	1
(12) Testing & Inspection	9	6	3	0	0
(13) Assessment	9	8	1	0	0

Cronbach's Alpha = 0.774

공통품질요소의 상대적 중요도를 알아보기 위하여 18명의 설문점수를 등간척도(Interval Scale)로 가정하고 (Jaccard and Wan 1996), 아래의 귀무가설과 대립가설에 대해 각 품질요소 설문점수의 모평균 차이에 대해 Pairwise t-test을 실시하였다. 여기서  $\mu_i$ 는  $i$ 번째 품질요소에 대한 설문점수의 평균을 의미한다. 여기서 대립가설을  $\mu_i < \mu_j$ 로 설정한 것은 설문점수가 작을수록 중요도가 높기 때문에,  $i$ 번째 품질요소가  $j$ 번째 품질요소보다 중요한지를 통계적으로 확인하기 위해서이다.

$$H_0 : \mu_i = \mu_j$$

$$H_1 : \mu_i < \mu_j$$

각 공통품질요소 중요도 간 t 검정 결과의 유의확률(p-value)을 나타내면 Table 9와 같다. Table 9의 유의확률이 낮을수록 귀무가설이 기각되고 대립가설이 채택될 수 있음을 의미한다. 즉,  $i$ 번째 공통품질요소가  $j$ 번째 공통품질요소보다 중요하다는 주장의 신뢰수준이 높은 것을 의미한다. 예를 들어 '(1) 경영계획'과 '(6) 통계의 활용'에 대한 검정결과 유의확률이 0.002가 나왔으므로 99.8%의 신뢰수준에서 '(1) 경영계획'이 '(6) 통계의 활용'보다 상대적으로 중요하다고 할 수 있다.

**Table 9.** Result of Pairwise T-test(p-value)

i \ j	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(1) Administrative Plan	.747	.155	.685	.785	.002	.124	.027	.001	.816	.088	.652	.851
(2) Project Plan		.008	.395	.605	.000	.019	.012	.000	.685	.031	.402	.605
(3) R&D Plan			.976	.977	.007	.334	.143	.048	.981	.271	.925	.983
(4) Process Mgmt.				.729	.000	.023	.007	.001	.759	.018	.500	.729
(5) Documents & Records Mgmt.					.000	.006	.002	.000	.625	.007	.215	.500
(6) Use of Statistics						.979	.711	.500	.999	.866	.999	.999
(7) Nonconformance and Corrective Action							.200	.007	.997	.353	.988	.994
(8) Material Mgmt.								.282	.997	.906	.993	.991
(9) Procurement Mgmt.									.999	.857	.999	.999
(10) Training and Qualification										.006	.227	.413
(11) Equipment Mgmt.											.978	.978
(12) Testing & Inspection												.696

본 연구에서는 Table 9의 유의확률을 바탕으로 대안간의 선호도에 대한 쌍대비교 확률( $p_{ij}$ )을 산출하였다. 여기서  $p_{ij}$ 는  $i$ 번째 대안이  $j$ 번째 대안보다 높은 선호도를 가지는 확률을 의미한다. 즉, Table 9의 유의확률은  $i$ 번째 공통 품질요소가  $j$ 번째 공통품질요소보다 중요하다고 주장할 때 이 주장이 거짓이 되는 확률로 해석할 수 있으며 이는 Kim et al.(2010)의  $1-p_{ij}$ 로 가정할 수 있다. 이러한 쌍대비교 결과를 바탕으로 Kim et al.(2010)에 따라 우선순위를 결정하면 Table 10과 같다. 아울러 Kim et al.(2010)에서는 두 가지 오류를 줄이기 위하여 Homogeneity와 Separation이라는 두 지표를 제공하고 있다. Homogeneity는 같은 순위를 부여받은 대안의 선호도간 유사성을 종합한 지표이며, Separation은 다른 순위를 부여받은 대안의 선호도간 차이를 종합한 지표이다. 즉, 이 두 지표는 0과 1사이의 값을 가지며 두 지표가 모두 1에 가까울수록 설문결과에 존재하는 불확실성에 대해 강건한 우선순위임을 의미한다. Table 10에 Homogeneity와 Separation의 값도 함께 나타내었다.

**Table 10.** Priority of Common Quality Elements by Kim et al.(2010)

Group 1	>	Group 2	>	Group 3
(1) Administrative Plan				
(2) Project Plan				
(4) Process Mgmt.		(3) R&D Plan		(6) Use of Statistics
(5) Documents & Records Mgmt.	>	(7) Nonconformance and Corrective Action	>	(8) Material Mgmt.
(10) Training and Qualification		(11) Equipment Mgmt.		(9) Procurement Mgmt.
(12) Testing & Inspection				
(13) Assessment				
Homogeneity : 0.927 / Separation : 0.948				

Table 10에서 보는 것과 같이 13개의 공통 연구품질요소는 세 개의 그룹으로 분류하여 우선순위가 결정되는 것을 알 수 있다. 즉 그룹 1에 속한 (1) 경영계획, (2) 과제계획, (4) 프로세스 관리, (5) 문서 및 기록관리, (10) 인력 및 훈련, (12) 시험 및 검사, (13) 내·외부 평가의 중요도가 가장 높고, 그룹 2에 속한 (3) 연구개발방법 계획, (7) 부적합 사항 관리 및 시정조치, (11) 실험 및 측정장비 관리가 다음 중요도를 가지며 그룹 3에 속한 (6) 통계의 활용, (8) 연구자재 취급 관리, (9) 구매 관리가 상대적으로 중요하지 않은 것으로 나타났다. 이는 같은 그룹 내에 존재하는



연구품질요소 간의 선호도는 상대적으로 명확하지 않으나, 다른 그룹에 속한 연구품질요소의 선호도 차이는 상대적으로 명확하다는 것을 의미한다.

## 5. 토의 및 결론

본 연구에서는 연구산출물의 질적수준을 향상시키기 위하여 연구개발 과정의 체계적 수행을 지원하는 연구개발 품질보증에 대해 살펴보았다. 연구개발 품질보증은 연구개발 과정을 일련의 프로세스로 보고 이 프로세스를 체계적으로 수행하도록 함으로써 그 산출물의 품질을 보증하고자 하는 활동이다. 연구개발 품질보증과 관련하여 국제적으로 각 분야별 학회, 정부기관 등에서 지침을 제정하여 제공하고 있지만, 국내에서는 일부 연구기관에서만 적용하고 있다.

본 연구에서는 국내·외 연구기관에서 적용하고 있는 연구개발 품질보증 활동을 분석하여 연구개발 품질보증의 유형을 세 가지로 분류하였다. 첫째, 연구품질요소를 제정하여 이를 준수하고 관리하도록 하는 유형, 둘째, 연구개발 표준 프로세스를 수립하여 이에 따라 연구개발을 체계적으로 수행하도록 하는 유형, 셋째, 연구개발 품질 수준을 평가함으로써 품질수준을 제고하는 유형으로 구분이 가능하다. 각 유형은 상대적으로 장단점을 가지고 있으며 어느 유형이 우수하다고는 할 수 없으며, 연구기관의 특성에 따라 다르게 적용되고 있음을 알 수 있다.

아울러 국제적으로 제정되고 있는 연구개발 품질보증 지침을 분석하여 공통적으로 제시된 13개의 공통 연구품질요소를 도출하였다. 도출된 공통 연구품질요소는 경영 계획, 과제 계획, 연구개발방법 계획, 프로세스 관리, 문서 및 기록관리, 연구자재 취급관리, 인력 및 훈련, 통계의 활용, 실험 및 측정장비 관리, 구매 관리, 시험 및 검사, 부적합 사항 관리 및 시정조치, 내·외부 평가이다. 이러한 공통 연구품질요소는 계획-수행-검증의 연구개발 전 과정에 걸쳐 다양하게 나타나는 것을 알 수 있다.

그리고 국내 14개 정부출연연구소 및 민간 연구소의 연구품질 관련 전문가 18명을 대상으로 공통 연구품질요소의 중요도에 대한 설문을 실시하여 경영계획, 과제계획, 프로세스 관리, 문서 및 기록관리, 인력 및 훈련, 시험 및 검사, 내·외부 평가가 다른 공통 연구품질요소에 비해 중요한 핵심 연구품질요소인 것으로 파악하였다. 즉, 연구개발의 품질 수준을 향상하기 위해서 경영전반에 걸친 계획 및 지원활동이 선행되어야 하며, 연구개발 과제수행 초기단계부터 연구개발 품질보증을 고려해야 할 것이다. 또한 연구개발 과정 중에 핵심 프로세스 관리, 문서 및 기록관리, 연구 인력관리가 중요하게 이루어져야 할 것이다. 아울러, 계획된 기술적 목표 수준을 도달했는지를 확인하는 시험 및 검사활동과 연구개발 과제가 제대로 진행되었는지를 평가하는 내·외부 평가 활동도 연구개발 품질 수준에 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

이상의 본 연구결과는 향후 연구개발 품질보증을 새롭게 도입하는 연구기관 및 연구개발을 관리하는 정부 부처에 중요한 시사점을 제공할 것이다. 연구기관에는 연구개발 품질보증을 위해서 중요하게 고려되어야 할 연구품질요소를 제시함으로써 효과적으로 연구개발 품질보증을 도입할 수 있도록 해준다. 즉, 연구개발 품질보증 도입 초기에 중요한 연구품질요소부터 순차적으로 도입하여 서서히 연구개발 문화를 변화시켜갈 수 있는 장점이 있다. 아울러 연구개발 과제를 관리하는 정부 부처에서는 연구개발 과제의 질적수준 제고를 위하여 중요 연구품질요소를 관리할 수 있는 정책적 방안을 마련하고, 이를 중심으로 연구개발 과제를 관리할 수 있다.

본 연구와 관련되어 지속적으로 수행되어야 할 후속 연구는 다음과 같다. 첫째, 도출된 공통 연구품질요소를 수행하기 위한 구체적인 실행방안이 개발되고 우수사례가 발굴되어야 할 것이다. 본 연구에서는 식별된 공통 연구품질요소를 정의한 수준에 머물렀지만 각 연구품질요소 별로 관리 방안 및 우수사례를 발굴한다면 연구개발 품질보증의

도입이 보다 용이해질 것이다. 둘째, 본 연구에서 제시한 연구개발 품질보증 유형 중 연구개발 표준 프로세스, 연구개발 품질수준 평가에 대한 후속 연구가 필요할 것이다. 본 연구에서는 연구품질요소를 준수하는 유형에 대해서만 관련 지침등을 바탕으로 공통 연구품질요소를 도출하였다. 하지만 연구개발 표준 프로세스 활용 유형 및 연구개발 품질수준 평가 유형에 대해서는 다른 연구 접근이 필요할 것이다. 마지막으로 국제적으로 제시된 연구개발 품질보증 지침을 바탕으로 국내 연구개발 환경에 적합한 한국형 연구개발 품질보증 지침서 개발 및 표준화가 필요할 것이다. 이를 통해 정부출연연구소 등의 주요 연구기관이 연구개발 품질보증 활동을 수행함으로써 국가 차원의 연구개발 경쟁력 강화가 가능할 것이다.

## REFERENCES

- ASME. 2012. "Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications." NQA-1.
- ASQ. 2000. "Quality Assurance Guidelines for Research and Development." ASQ MB104.
- Chan, Lai-Kow and Wu, Ming-Lu. 2002. "Quality Function Deployment: A Literature Review." *European Journal of Operational Research* 143:463-497.
- Cronbach, Lee J. 1951. "Coefficient alpha and the internal structure of tests." *Psychometrika* 16:297-334.
- DAPA. 2010. "Regulation for Defense Acquisition." Defense Acquisition Program Administration. Mar. 30.
- DAPA. 2012. "Guidelines for Manufacturing Readiness Assessment." Defense Acquisition Program Administration. Apr.6.
- DOE. 2001. "Nuclear Safety Management." Code of Federal Regulations 830. Department of Energy.
- DOE. 2011A. "Quality Assurance." DOE O 414.1D. Department of Energy.
- DOE. 2011B. "Integrated Safety Management Policy." DOE P 450.4A. Department of Energy.
- Eurachem CITAC. 1998. "Quality Assurance for Research and Development and Non-routine Analysis." Eurachem/CITAC Guide CG2.
- Jaccard, James and Wan, Choi K. 1996. "LISREL approaches to interaction effects in multiple regression." Thousand Oaks, CA: Sage.
- K-force Meida. 2013. "Quality Control between Development and Production of Weapon Systems." Jan. 28.
- KIER. 2011. "Regulation of Research Quality Assurance." Korea Institute of Energy Research. Jul. 26.
- Kim, Deok-Hwan, Kang, Mi-Sun, and Choi, Sang-Jin. 2012. "A Case Study on the Development of Quality Management System for Energy Research Area." Conference of Korea Society for Energy Engineering, Seoul, Korea, Oct. 11-12.
- Kim, Deok-Hwan, Kim, Kwang-Jae, and Park, K. Sam. 2010. "Compromising Prioritization from Pairwise Comparisons Considering Type I and II errors." *European Journal of Operational Research* 204(2):285-293.
- Kim, Kwang-Jae, Min, Dae-Ki, Kim, Deok-Hwan, Choi, Bong, Lee, Pal-Hoon, and Lee, Seung-Hyun. 2005. "A Systematic Generation of CTQ Candidates in DFSS/C : Methodology Development and A Case Study." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 33(2):74-86.
- KISTEP. 2011. "Survey and Analysis Report on National R&D project 2010." Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning.
- Kuo, Tsai-C., Huang, Samuel H., and Zhang, Hong-C. 2001. "Design for manufacture and design for 'X' : concepts, applications, and perspectives." *Computers & Industrial Engineering* 41(3): 241-260.
- Kwon, Hyuk-Il and Lim, Nan-Jin. 1995. "Feasibility Study on the Application of Quality Assurance in Research and Development." *Journal of the Korean Society for Quality Management* 23(1):74-94.
- Likert, Rensis. 1932. "A technique for the measurement of attitudes." *Archives in Psychology* 140:1-55.
- Lim, Jin-Hee. 2011. "A Study on the Records Management Tasks for Obtaining Quality Research and Laboratory." *Journal of Record Management & Archives Society of Korea* 11(1):183-206.

- MEST. 2009. "Guideline for Management of Research Note in National R&D Project." Ministry of Education and Science and Technology. July 1.
- MEST. 2012. "Manual for R&D Integrity." Ministry of Education and Science and Technology.
- Min, Cheol-Gu. 2012. "Use of Scientists and Engineers." STEPI Insight, 93 (May 1).
- Nam, Ji-Hee, Kim, Kwan-Hyun, and Cho, Mun-Seong. 1999. "ASQC : Guideline for R&D Quality Assurance." KAERI/TS-97/99.
- NSTC. 2012A. "Conference for R&D Performance." National Science and Technology Commission. Dec. 6.
- NSTC. 2012B. "Report on performance of government R&D project." National Science and Technology Commission. Jul. 17.
- Park, Chan-Gook and Choi, Gi-Ryun. 2003. "A Study on the Improvement of Quality Assurance System in KOREA for Application of Quality Assurance for Nuclear R&D." Proceeding for the Korea Society for Energy Engineering. Spring.
- Park, Jong-Geun, Sung, Ki-Soon, and Kim, Hae-Sook. 2012. "Development of R&D Standard Process for E Research Institute." Journal of the Korean Society for Quality Management 31(4):127-149.