

A Statistical Study on the Differences in R&D Capabilities of Individual Companies from an Industrial Perspective: Maritime and Fisheries Industry Case

Sang-Gook Kim[†] · Boong Kee Choi

R&D Innovation Strategy Team, Korea Institute of Science and Technology Information

산업적 관점에서 개별 기업들의 연구개발역량 차이에 대한 통계적 고찰: 해양수산 산업 사례

김상국[†] · 최봉기

한국과학기술정보연구원 R&D혁신전략팀

As the uncertainty of technology development and market needs increases due to changes in the global business environment, the interest and demand for R&D activities of individual companies are increasing. To respond to these environmental changes, technology commercialization players are paying great attention to enhancing the qualitative competitiveness of R&D. In particular, R&D companies in the marine and fishery sector face many difficulties compared to other industries. For example, the R&D environment is barren, it is challenging to secure R&D human resources, and it is facing a somewhat more difficult environment compared to other sectors, such as the difficulty in maintaining R&D continuity due to the turnover rate of researchers. In this study, based on the empirical data and patent status of private companies closely related to the R&D technology status, big data analysis, and simulation analysis methods were used to identify the relative position of individual companies' R&D capabilities and industrial perspectives. In this study, based on industrial evidence and patent applications closely related to the R&D technology status, the R&D capabilities of individual companies were evaluated using extensive data analysis and simulation analysis methods, and a statistical test was performed to analyze if there were differences in capabilities from an industrial point of view. At this time, the industries to be analyzed were based on all sectors, the maritime industry, the fisheries industry, and the maritime industry integration sector. In conclusion, it was analyzed that there was a certain level of difference in the R&D capabilities of individual companies in each industry sector, Therefore when developing a future R&D capability system, it was confirmed that it was necessary to separate the population for each industry and establish a strategy.

Keywords : Maritime and Fisheries, R&D Capability, Evaluation Measures, Grade Evaluation, Simulation Analysis

1. 서론

최근 급변하는 경영환경과 시장수요를 창출할 수 있는 혁신제품을 개발해야만 하는 수요자 중심의 시장환경에서는 기업의 R&D 역량이 더욱 중요하게 인식되고 있다. 또한 R&D를 통한 기술혁신은 기업의 경쟁력과 성장의 핵심요소로 여겨지고 있다[4]. 연구개발투자는 기업의 성과창출 측면에서 극복해야 될 불확실성이 크며, 일반적으로 기업 R&D투자에 따른 기업성과의 선순환구조는 연구개발, 제품개발, 마케팅 등의 성공을 전제로 한다. 이같은 사업화 단계별 불확실성을 극복하기 위한 가능성은 지극히 낮은 것이 현실이다.

국내 해양수산 연구개발 분야의 투자와 관리를 전담하고 있는 해양수산과학기술진흥원은 연구개발사업 수행주체를 선정할 때 많은 어려움을 겪고 있다. 첫 번째로, 해양수산 부문의 연구개발사업 제안 기업들의 R&D 역량이 타산업 대비 상대적인 열위 경향을 보인다는 점이다. 두 번째로, 연구개발 사업 선정평가지 평가 전문가의 주관적인 경험과 지식에 기반한 평가경향이 일정수준 이상 존재한다는 점이다. 세 번째로, R&D 선정평가지 연구개발 가능성 평가점수의 선정 기준값에 대한 변동성이 존재하며, 매년 지원 가능한 R&D 사업비 규모와 제안 신청 기업들의 수에 따라 상이한 선정 기준값이 존재하고 있다는 점을 지적하고 있다. 특히, 최근까지 운용되어온 국가 R&D 선정평가 지표체계가 ‘연구개발 가능성 평가’와 ‘중복성 및 연구개발비 적정성 검토’에 관한 지표로 구성되어 있어 연구개발성공 가능성에 대한 평가 결과가 반영되는데 한계가 있다. 마지막으로 해양수산 산업의 분류는 이질적인 산업이 함께 혼재되어 있는 경향이 높아 해양수산 산업적 관점에서 개별기업들의 연구개발역량을 평가하기에 어려움이 많다.

따라서 본 연구에서는 해양수산 국가연구개발사업 제안 신청기업들의 연구개발역량 예측능력 제고와 선정평가 전문가들의 평가결과에 대한 변동성(volatility)을 줄이기 위해서, 연구개발역량을 평가하기 위한 변수들을 조작적으로 정의하고, 해당 변수들을 대상으로 증거데이터를 확보한 이후에, 평가변수별 모수(parameter) 분석과 연구개발역량 종합점수에 대한 시뮬레이션 분석을 수행한다. 시뮬레이션 분석결과, 연구개발역량 종합점수의 확률분포를 추정하고 등급별 백분위값을 활용하여 개별기업들의 연구개발역량을 판단하는 측정지표로 활용한다. 이같은 접근은 개별 기업들의 모집단이 구성되는 방식에 따라 평가등급 결과가 상이할 수 있다. 특히 해양수산 산업의 경우에 해양부문과 수산부문, 그리고 해양 및 수산부문에서 산업적인 연구개발역량이 상이할 가능성이 높아 이같은 3개 산업을 대상으로 모집단을 각각 구성하는 것이 필요한지

에 대한 통계적 검증이 필요하다. 따라서 상기 3개 산업과 전산업의 연구개발역량을 비교분석하기 위하여 통계적 검정을 마지막으로 수행한다.

2. 선행연구

Souitaris는 혁신과 관련된 기업의 연구개발활동이 혁신을 창출하는 중요한 원천이며 혁신과 관련된 가장 중요한 기업 활동 중 하나라고 주장하였다[2]. Burgelman 외는 기술혁신 역량을 기업의 기술혁신을 촉진하고 지원하는 일련의 기업 특성으로 정의하였다[6]. 다수의 많은 선행연구들에서는 기술혁신 역량이 외부로부터 지식을 발견하고 흡수하고 활용하는 학습역량과 연구개발 전략, 프로젝트 실행 및 포트폴리오 관리, 연구개발비 지출 등을 통합할 수 있는 능력인 연구개발 역량, 이외에도 자원배분, 생산, 마케팅, 조직, 전략계획과 관련된 역량들을 다양하게 제시하였다[1, 6, 7, 8, 13].

연구개발역량이 기술사업화 성과, 기술혁신 성과, 기업성과 등에 미치는 영향에 관한 연구들이 많이 진행되어 왔다. Kim et al.[6] 연구에서는 개별 기업의 연구개발역량이 기술경영능력과 연구개발능력에 연관되는 세부 평가지표들을 대상으로 상관관계를 해석하기 위해 군집분석(clustering analysis) 수행하였다. 이 연구에서는 개별기업들의 산업적 성과와 기술적 성과가 일정 수준 이상 개별기업들의 연구개발역량에 영향을 미친다는 사실을 확인하였다[4]. 특히 상기의 연구결과는 본 연구에서 연구개발역량 세부 평가지표를 정의하는데 활용되었다. Yoon et al.[13]. 연구에서는 국내 중소기업의 연구개발 및 기업성과에 미치는 영향을 확인하면서, 연구개발 및 기술혁신과 관련된 여러 역량 중에서 집중적으로 활용해야할 역량과 정부가 보완해야할 지원제도를 분석하였다[11].

Park[8]의 연구에서는 정부출연 연구기관들을 대상으로 R&D 역량 요인이 기술혁신성과에 미치는 영향에 관해서 구조방정식 모형을 활용하여 분석하였다. Kim et al.[7] 연구는 국내 게임산업의 CT R&D 성과지표의 타당성을 도출하여 권역별 게임산업 관련 기업들의 경쟁력을 분석하였다. 경쟁력 분석에 활용한 변수는 기업체수, 종업원수, 매출액에 기초한 입지계수, R&D 역량분석에 활용한 변수는 권역 변수를 대상으로 하였다. Zhu[14]의 연구는 기업의 기술혁신역량과 기술사업화역량이 기술성과와 경영성과에 미치는 영향을 회귀분석과 분산분석을 통해 분석하면서, 기술혁신 및 사업화 역량이 기술성과에 영향을 미치고, 기술성과는 경영성과에 영향을 미친다는 사실을 밝혀냈다. Hwang and Sung[5] 연구는 기술도입 102개 기업을 대상으로 설문조사를 통해 기술사업화역량과 연구개발역

량이 혁신성과에 긍정적 영향을 미친다는 사실을 밝혀냈다. 또한 시장변동성은 기술사업화역량과 혁신성과간의 관계를 조절하는 효과로 작용한다는 사실을 추가로 제시하였다.

국내의 경우에 기술사업화 주체가 기술을 사용하여 수익을 창출할 수 있는 능력을 평가하기 위한 기술력평가 지표를 공공 부문에서 활용하고 있으며, 이러한 기술력 평가 지표는 2006년 이후에 기술금융에 활용하기 위하여 현재까지 기술평가기관을 중심으로 발전되어 왔다. Park and Yang[9]의 논문과 Sung[11]의 연구 논문에서는 기술력평가모형과 실증연구의 비교분석을 위한 연구가 수행되었으며, 기술력평가 결과가 사업화 성공 및 안정성을 상당 부분 설명할 수 있다는 실증적 증거를 마련하였다.

이처럼 다수의 국내 기술력평가 기관들은 기술경영 및 연구개발능력, 기술성, 시장성, 사업성 평가 항목을 공통적으로 활용하고 있다. 기술성, 시장성, 사업성 평가항목을 대상으로 산업적 성과나 기술적 성과와 연계하여 직접적으로 관련된 증거 자료를 확보하기 어렵다. 이에 반해 기술경영 및 연구개발능력 평가지표는 증거자료 확보가 일정수준 가능하며, 본 연구에서는 해당 평가지표들을 고려하여 연구개발역량을 평가할 수 있는 평가체계를 구성하였다.

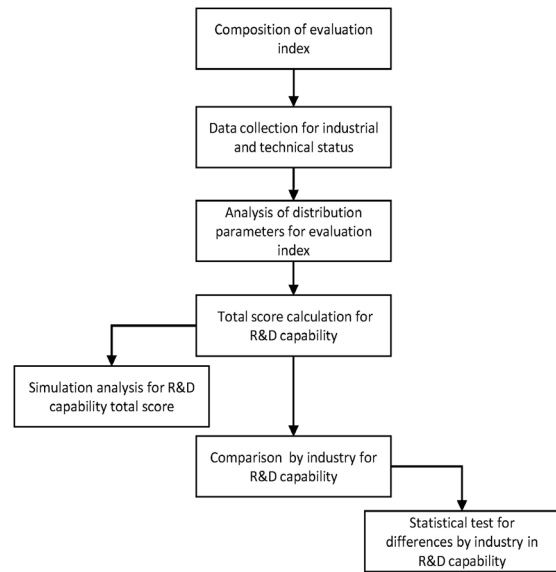
3. 연구 방법론

3.1 연구방법론 설계

연구개발역량을 진단할 수 있는 체계를 아래 <Figure 1>과 같이 설계하였다. 먼저 역량진단 평가지표를 구성하고, 역량진단 평가지표별 자료를 수집한다. 확보된 증거 자료를 활용하여 개별 평가지표별로 경험적 확률분포의 모수(parameter)를 분석하고, 시뮬레이션 모델링을 통해 개별 평가지표별 확률분포를 종합하는 모형을 가법(addition)을 통해 구성한다. 마지막으로 전산업/해양산업/수산산업/해양 및 수산산업별 연구개발역량의 차이를 분석하기 위하여 산업별 종합점수의 다중비교검정과 분산동일성 검정을 실시한다. 이때 경험적 관측치와 시뮬레이션에 의한 추정치를 각각 분리구성하여 통계적 검증을 실시하였다. 최종적으로 통계적 검증 결과를 도출한다.

여기서 개별 평가지표별 경험적 확률분포와 연구개발역량 종합점수에 대한 확률분포를 추정하기 위해서 확률분포 적합(distribution fitting) 방법을 활용하며, 이때 통계적 적합도(goodness-of-fit) 검정을 위하여 앤더슨-달링(Anderson-Darling), 콜모고로프-스미르노프(Kolmogorov-Smirnov), 카이제곱(Chi-Square) 검정을 각각 사용한다. 이

렇게 추정된 개별 평가지표들의 경험적 확률분포를 종합하기 위해서 시뮬레이션을 방법을 활용한다. 즉, 개별 평가지표별 확률분포를 더하여 최종결과점수에 대한 확률분포를 추정하는 과정이 필요하다. 이때 경험적 확률분포를 추정하는 과정에서 개별 평가지표별 원시 자료를 정규화(normalization)하여 지표별 단위(unit)를 단일화하였다. 여기서 사용된 scaling 방법은 최소-최대 규모화(Min-Max scaling) 방법을 활용한다.

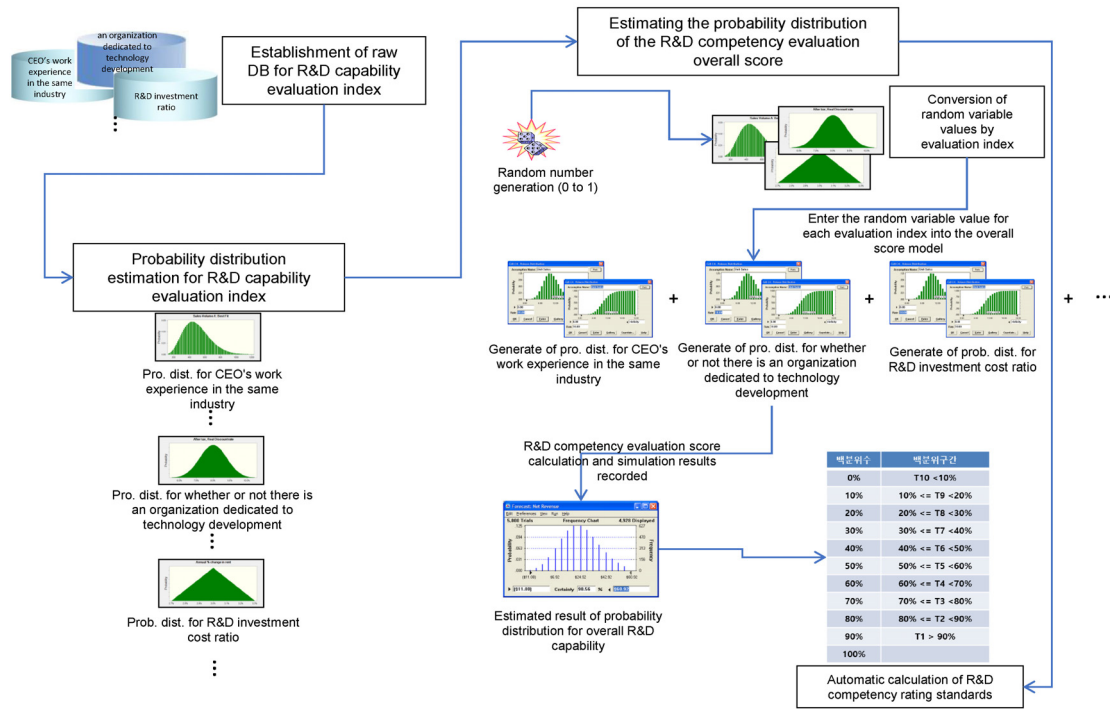


<Figure 1> Research Framework

산업별 연구개발역량 종합점수의 확률분포 추정을 위한 시뮬레이션 수행방법은 아래 <Figure 2>와 같다.

본 연구에서는 총 11개의 역량진단 변수들을 대상으로 확률변수를 모델링하며, 총 4개 산업(전산업 / 해양산업 / 수산산업 / 해양 및 수산산업)을 대상으로 연구개발역량 종합점수 확률분포를 추정한다. 이때 연구개발역량을 진단하는 등급체계를 5개 등급(매우나쁨-나쁨-보통-좋음-매우좋음)으로 구분하고, 해당 등급의 결과가 산업에 따라 차이가 발생하는지 여부를 확인하기 위해 통계적인 유의성 검증을 실시한다.

통계적 유의성을 검증하기 위해서 일원분산분석(single Factor ANOVA)와 다중비교검정(Multiple Comparison testing) 방법 중 튜키 검정(Tukey's test)를 수행한다. 일원분산분석은 설명요인들의 변화요인을 분석하는 것으로, 본 연구에서는 각 4개 산업별 연구개발 역량의 평균값을 비교분석한다. 또한 F-검정을 사용하여 처치 원인별 평균들이 동일하지 한꺼번에 비교하는 것과는 다르게, 각 처치 원인별 평균의 짝이 어떻게 다른지 확인하기 위해 다중비교검정을 수행하며, 이중에서도 Tukey의 스튜던트화 범위(Studentized Range)



<Figure 2> Simulation System for Calculating the Overall Score of R&D Capabilities

검정 방법을 사용하는데, 이는 다중비교검정 방법으로 검정력이 좋다는 사실이 이미 알려져 있다. 마지막으로 일원분산 분석에서 가정한 각 처리 그룹별 동일 분산 여부를 확인하기 위한 검정으로 분산동일성 검정을 수행하며, 세부적으로는 Hartley 검정방법을 사용한다.

3.1 연구개발역량 평가지표 구성

Park and Yang[9]의 연구와 Sung[11]의 연구에서 기술 개발 사업화 성과에 유의하나 영향을 미친 평가항목들이

기술경영 및 연구개발능력에 밀집된 것으로 드러난다. R&D 성과에 영향을 미치는 요인에 대한 선행연구들은 기술 자체의 속성 및 세부 사업화 요인보다는 기술경영 및 기술개발능력과 사업화로 연계시키는 기획 기능 등이 중요한 것으로 제시된다. 따라서 본 연구에서 연구개발역량을 진단하기 위한 지표구성을 위해서 기술력 평가지표중에 기술경영 및 연구개발능력 관련 세부지표들을 검토하면서, 세부지표별로 산업적 성과나 기술적인 연구개발성과를 판단할 수 있는 정량적 지표들을 대상으로 구성하였으며 그 결과는 아래 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Composition of R&D Capability Evaluation Index

Major index	Middle index	Detail index	Quant./Qualit.	Evaluation index contents	
Technology management and R&D capabilities	technology management ability	Level of technology management experience	quantitative (qualitative)	CEO's work experience training related to technology management	
		Organization dedicated to technology development	quantitative	Whether there is a company-affiliated research institute and R&D department and operation training	
		R&D investment cost ratio	quantitative	R&D investment cost against sales	
		No. of patent registration	quantitative	Number of patents, application patents, utility models, credit models applications	
		No. of patent applications	quantitative		
		Utility model registration status	quantitative		
	R&D capability	R&D capability	Utility model application status	quantitative	
			Technology commercialization performance	quantitative	Number of technology commercialization cases and sales scale according to performance
			Technology certification holding status	quantitative	Number of certifications and awards

3.2 연구개발역량 평가지표별 데이터 구성

본 연구에서 설계한 연구개발역량 세부 평가지표는 <Table 1>에서 제시한 기술경영능력 7개, 연구개발능력 2개와 기업분류 속성 4개 변수(기업규모, 한국표준산업분류, 기업유형, 종업원 규모)를 추가로 구성하여 총 13가지 변수를 사용하였다. 한국기업데이터(KED)로 부터 구매하여 확보한 최근 5년(2016~2020) 동안의 국내 연구개발 중심 35,398개 기업들의 자료 중에서 모든 변수에 관측가능한 자료만을 선별하여 12,761개 기업의 자료를 분석에 활용하였다. 따라서 12,761개의 개별 기업들의 연구개발역량 수준에 대해 레이블링(labeling)하고 이는 전산업 기준 연구개발역량 수준의 결과로 활용되었다. 여기서 레이블링 방법은 5점 척도를 사용하여 매우 나쁨 1, 나쁨 2, 보통 3, 좋음 4, 매우 좋음 5로 점수를 부여하였다.

각 변수들의 속성과 범주를 살펴보면, 실용신안등록 유무와 실용신안출원 유무 변수는 범주형으로 정의하면서 출원 및 등록건수가 없는 경우에 0, 있는 경우에 1로 설정하였다. 기업규모는 범주형으로 정의하면서, 대기업 1, 중기업 2, 소기업 3, 한시성중소기업 4, 중견기업 5, 보호대상중견기업 7, 판단제외 8로 설정하였다. 업종분류도 범주형 변수로 정의하면서, 한국표준산업분류(KSIC) 중분류업종(2자리 기준)도 A01업종에서부터 S96업종까지 68개의 분류를 순차적으로 값을 할당하였다. 기업유형 분류도 범주형 변수로 정의하면서 개인 1, 일반법인 2, 비영리법인 3, 공공기관 4로 설정하였다. 대표자의 동업종 종사연수, 특허등록건수, 특허출원건수, 기술상용화실적 건수, 기술인증 및 수상실적 보유 건수, 보유 종업원 규모 변수들은

이산형 변수로 정의하면서 해당 변수가 갖을 수 있는 변수값들을 최소-최대 규모화를 적용하였다.

3.3 평가지표별 데이터 특성

먼저 12,761개의 개별 기업들을 대상으로 R&D역량 탐색을 위한 13가지 속성(attributes)과 R&D역량 수준을 3개/5개의 클래스(class)로 분류하였으며, 각각의 변수의 특성에 따라 범주형과 연속형으로 구분하였다. 연속형 변수는 정규화하여 0 ~ 1의 숫자로 표기하였다.

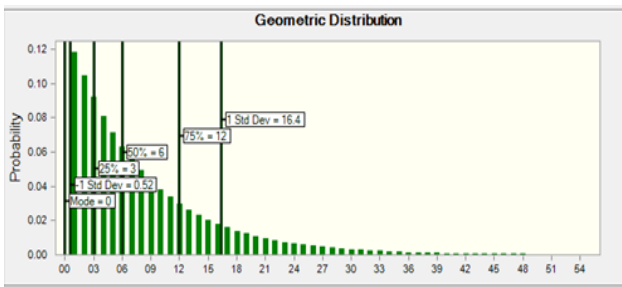
3.4 평가지표별 모수(parameter) 특성 분석

해양수산 부문의 연구개발역량 진단을 위해서 총 11개 평가지표별 확률분포에 대한 모수를 분석하였으며, 이때 4개 산업(전산업, 해양산업, 수산산업, 해양 및 수산산업)을 기준으로 각각 분석하였다. 한국해양수산개발원에서 분류한 해양수산업 분류체계는 해양레저관광업에서부터 수산업, 해운항만 물류업, 해양건설업, 해양자원개발업, 해양환경업, 조선업, 해양수산기기 장비제조업, 해양수산서비스업, 해양수산공공활동으로 다양하다. 특히 해양수산 산업에서의 개별 기업들의 연구개발역량을 분석하기 위해서는 해양, 수산, 해양 및 수산부문으로 각각 재분류가 필요하며, 이때 해양 및 수산부문은 명확하게 해양부문과 수산부문이 아닌 모든 경우를 이 분류로 재분류 하였다.

아래 <Figure 2> 부터 <Figure 5>, <Table 3>부터 <Table 6>은 ‘기업 대표의 동업계종사연수’ 평가지표에 대한 4개 산업별 경험적 확률분포를 분석한 결과이다.

<Table 2> Data Structure by Evaluation Index

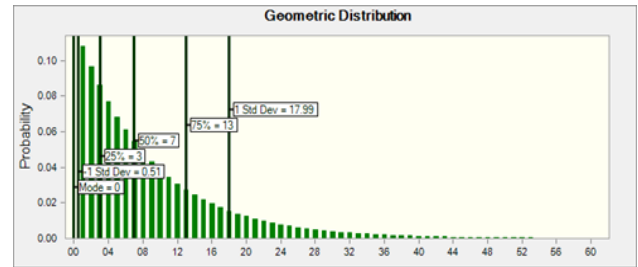
Measures	Role	Type	Range value	Scaling & Range
CEO experience of the same industry	Attribute	Discrete	0~65	Min-Max scaling
Tehchnical development organization's operational training	Attribute	Continuous	-0.503~55.772	Min-Max scaling
No. of patent registration	Attribute	Discrete	0~32,137	Min-Max scaling
No. of patent applications	Attribute	Discrete	0~114,931	Min-Max scaling
Utility model registration status	Attribute	Categorical	0 or 1	0 or 1
Utility model application status	Attribute	Categorical	0 or 1	0 or 1
R&D cost ratio	Attribute	Continuous	-0.286~11.87	Min-Max scaling
Technology commercialization performance	Attribute	Discrete	0~147,068	Min-Max scaling
Technical certification and award-winning	Attribute	Discrete	0~100	Min-Max scaling
Company size	Attribute	Categorical	1~8	1~8
Industry classification	Attribute	Categorical	A01~S96 (68)	A01 ~ S96 (68)
Company type classification	Attribute	Categorical	1~4	1~4
Employee size	Attribute	Discrete	1~103,929	Min-Max scaling
R&D capability	Class	Categorical	1~5	5-points scale



<Figure 3> Probability Distribution for CEO Experience based on all Industries

<Table 3> Descriptive Statistics for Probability Distribution for CEO Experience based on all Industries

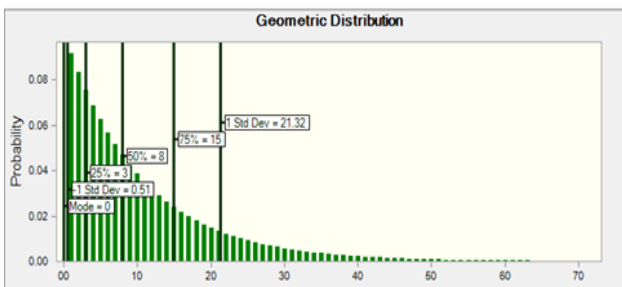
Statistic	Geometric distribution
Mean	8.46
Median	6
Mode	0
Standard Deviation	7.94
Variance	63.09
Skewness	2
Kurtosis	9.02
Coeff. of Variation	0.939



<Figure 5> Probability Distribution for CEO Experience based on Fisheries Industry

<Table 5> Descriptive Statistics for Probability Distribution for CEO Experience based on Fisheries Industry

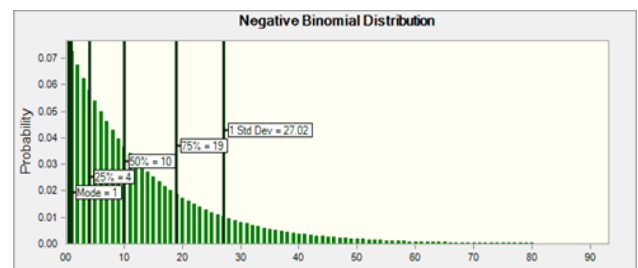
Statistic	Geometric distribution
Mean	9.25
Median	7
Mode	0
Standard Deviation	8.74
Variance	76.38
Skewness	2
Kurtosis	9.01
Coeff. of Variation	0.9444



<Figure 4> Probability Distribution for CEO Experience based on Marine Industry

<Table 4> Descriptive Statistics for Probability Distribution for CEO Experience based on Marine Industry

Statistic	Geometric distribution
Mean	10.92
Median	8
Mode	0
Standard Deviation	10.4
Variance	108.23
Skewness	2
Kurtosis	9.01
Coeff. of Variation	0.9531



<Figure 6> Probability Distribution for CEO Experience based on Marine and Fisheries Industry

<Table 6> Descriptive statistics for probability distribution for CEO experience based on Marine and fisheries industry

Statistic	Negative Binomial
Mean	13.76
Median	10
Mode	1
Standard Deviation	13.26
Variance	175.7
Skewness	2
Kurtosis	9.01
Coeff. of Variation	0.963

<Table 7> The Estimated Probability Distribution for Total Score of R&D Capability

Industry	A-D	A-D P-value	K-S	K-S P-value	Chi-Square	Chi-Square P-value	Parameters
All industries - Gamma dist.	6206.0089	0.000	0.1176	0.000	249315.1265	0.000	location = 0, scale = 4.64186, type = 0.36128
Marine industry - Beta dist.	0.3848	-	0.0675	-	11.2	0.191	Min = -0.01793, Max = 9.65334, Alpha = 0.79408, Beta = 2.41871
Fisheries industry - Maximum extreme dist.	30.1059	0.000	0.1172	0.000	685.5857	0.000	Maximum likely = 0.67704, scale = 0.883
Marine and fisheries industry - Beta dist.	0.7545	-	0.0951	-	12.4471	0.053	Min = -0.88747, Max = 8.33316, Alpha = 1.71098, Beta = 2.44997

이외에 나머지 10개의 평가지표에 대해서도 동일한 방식으로 경험적 확률분포를 분석하였다.

3.5 연구개발역량 종합점수의 확률분포 추정

해양수산 부문의 연구개발역량을 진단하기 위한 평가지표들은 기업대표의 동업계종사연수, 특허등록건수, 특허출원건수, 실용신안출원건수, 공인규격 인증건수, 기술상용화실적 건수, 최근 5년 평균 연구개발비, 매출액 대비 연구개발비 비율, 기술상용화실적 대비 매출액 규모, 연구개발전담부서 운영연수인 총 11개의 평가지표를 구성하였다. 먼저, 총 11개의 평가지표들에 대한 총점수를 산출하는 산식을 구성하고 이 산식에 대한 확률분포를 추정한다.

$$Total\ score = \sum_{i=1}^{11} P(x_i)$$

where $X_i = i^{th}$ evaluation variable

이때 시뮬레이션 방법을 적용하기 위하여 개별 평가지표들의 추정된 확률변수(random variable)들을 반영하였고, 시뮬레이션 수행회수는 200,000번으로 설정하였다.

결과적으로, 해양수산 산업별 연구개발역량 종합점수의 추정 확률분포는 위 <Table 7>과 같이 각각 분석되었다.

결과적으로, 연구개발역량 종합점수의 추정 확률분포는 전산업인 경우에 감마분포, 해양산업은 베타분포, 수산산업은 최대극값분포, 그리고 해양 및 수산산업은 베타분포로 분석되었다. 이의 분석 결과는 산업별 연구개발역량에 차이가 존재하는지 통계적 검정을 수행하는데 있어서 기본적인 모형으로 활용가능하여 통계적 시뮬레이션을 활용할 때 충분한 표본 확보가 가능해진다.

4. 연구개발역량 비교분석

본 연구에서는 해양수산 부문의 산업의 연구개발역량이

업종에 따라 차이가 발생하는지 통계적 검정을 수행한다. 이때 산업별 기준은 전산업, 해양산업, 수산산업, 그리고 해양 및 수산산업을 대상으로 한다. 한국기업데이터(KED)로 부터 구매확보한 전산업 기준 관련 기업 자료는 205,656개, 해양산업 기준 관련 기업은 130개, 수산산업 기준 관련 기업은 811개, 해양 및 수산산업 기준 관련기업은 85개로 분석되었다. 따라서 4개의 산업별 검정대상 자료의 차이가 발생되고 있어 표본수의 비율을 고려해야할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 연구개발역량 종합점수의 관측치 기반 분산분석(ANOVA)과 앞서 추정된 적합 확률변수 기반 분산분석을 각각 수행하여 4개 산업간의 연구개발역량 차이가 존재하는지를 검정하고자 한다. 통계적 검정은 먼저 일원분산분석(single factor ANOVA)을 실시하여 4개 산업간 역량차이가 존재하는지 여부를 확인하고, 어떤 산업간의 차이가 발생하는지 확인하기 위해 다중비교검정(multiple comparison test) 방법인 Tukey's test를 실시한다. 마지막으로, 각 산업별 연구개발역량의 분산이 동일한지 여부를 확인하기 위해 분산동일성 검정인 Hartley test를 수행한다.

4.1 관측치 기반 분산분석(ANOVA)

ANOVA 분석은 설명요인들인 4개 산업간 연구개발역량의 평균값을 비교분석하는 것으로, 본 연구에서 Microsoft Excel 2019에서 제공하는 분산분석 도구를 활용하였으며, Tukey 검정과 Hartley 검정은 Excel에서 직접 프로그래밍을 통해 분석하였다.

일원분산분석을 수행하기 위한 가설은 아래와 같이 수립하였다.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \text{ (연구개발역량 평균이 모든 4개 산업에서 동일하다)}$$

$$H_1: \text{연구개발역량 평균이 모두 같은 것은 아니다.}$$

분석 결과는 아래 <Table 8>과 같이 산출되었다.

따라서 검정통계량 $F = 25.40521$ 가 임계치 $F_{.05} = 2.604952$

<Table 8> The Result of Single Factor ANOVA with Observation Data

Summary				
Groups	Count	Sum	Average	Variance
all industries TSI	205656	344889.5	1.677021	4.14757
marine TSI	130	308.4188	2.372452	4.163283
fisheries TSI	811	1041.925	1.284742	2.348984
marine and fisheries TSI	85	246.843	2.904035	4.036

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	315.5697	3	105.1899	25.40521	2E-16	2.604952
Within Groups	855747.2	206678	4.140485			
Total	856062.8	206681				

를 초과하고 있고, P-value 2E-16이 유의수준 5% 보다 작아 그룹간 평균이 같다는 귀무가설(H0)을 기각 가능하다. 즉 산업간 연구개발역량이 차이가 존재한다고 할 수 있다. 다음은 각 산업별 평균의 짝이 어떻게 다른지 확인하기 위하여 다중비교검정을 실시하였다. 이때 Tukey의 스튜던트화 범위(Studentized Range) 검정을 활용하였으며, 가설은 아래와 같이 수립하였다.

H0: $\mu_j = \mu_k$
 H1: $\mu_j \neq \mu_k$

여기서 i=k=1(전산업), 2(해양산업), 3(수산산업), 4(해양및수산산업)

다중비교검정을 수행하기 위해서, 유의수준 5%, 처리 그룹수 4, 총표본수 206,682, 처리 그룹간 자유도 3, 처리 그룹내 자유도 206,678, Studentized Range 3.633, Tukey's test 임계값 2.5689를 적용하였다.

<Table 9> The Result of Tukey's Test with Observation Data

MCT	all industries TSI	marine TSI	fisheries TSI	marine and fisheries TSI
All industries TSI	-	3.8955	5.4793	5.5583
marine TSI	-	-	5.6582	1.8729
fisheries TSI	-	-	-	6.9802
marine and fisheries TSI	-	-	-	-

* Tukey's 검정통계량이 임계값 2.5689보다 크면 귀무가설 기각, 작으면 귀무가설 채택

따라서 전산업과 해양산업간, 전산업과 수산산업간, 전산업과 해양및수산산업간, 해양산업과 수산산업간, 수산산업과 해양및수산산업간 연구개발역량에 차이가 존재하고 있는 것으로 분석되었다.

마지막으로 앞서 일원분산분석에서 가정한 각 처리 그룹별(산업별) 동일분산 여부를 확인하기 위하여 분산동일성 검정을 수행하며 Hartley test를 활용한다. 이때 가설은 아래와 같이 수립하였다.

H0: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$ (분산 동일)
 H1: 각 분산이 모두 동일한 것은 아니다 (분산 동일성 위배)

여기서 σ_1^2 = 전산업 기준 연구개발역량 종합점수의 분산
 σ_2^2 = 해양산업 기준 연구개발역량 종합점수의 분산
 σ_3^2 = 수산산업 기준 연구개발역량 종합점수의 분산
 σ_4^2 = 해양및수산산업 기준 연구개발역량 종합점수의 분산

분산동일성 검정을 수행하기 위해서, 처리그룹수 4, 총표본수 206,682, 분자 자유도(df1) 4, 분모자유도(df2) 51,670, Hartley F_{max} table 임계값 1을 적용하였다.

<Table 10> The Result of Hartley Test with Observation Data

all industries TSI s.d.	marine TSI s.d.	fisheries TSI s.d.	marine and fisheries TSI s.d.
2.036558273	2.04041239	1.532639404	2.008979849
all industries TSI variance	marine TSI variance	fisheries TSI variance	marine and fisheries TSI variance
4.147569599	4.16328272	2.348983541	4.036000033
Max varaince	4.16328272		
Min variance	2.348983541		
Hartley test statistics	1.7724		

* Hartley 검정통계량이 임계값 1 보다 크면 귀무가설 기각, 작으면 귀무가설 채택.

따라서, 검정통계량 1.7724가 임계치 1을 초과하고 있어, 그룹(산업)간 분산이 동일하다는 귀무가설을 기각할 수 있다. 결과적으로 4개 산업간의 연구개발역량 종합점수의 분산이 동일하지 않다는 결론을 도출하였다.

4.2 적합 확률변수 기반 분산분석(ANOVA)

앞서 분석한 관측치 기반의 ANOVA 분석방법과 동일한 절차를 통해 분석을 실시하였다. 다만 적합 확률변수 기반 분산분석을 수행하기 위하여 앞서 추정된 4개 산업별 연구개발역량 종합점수의 확률분포를 고려하여 랜덤시뮬레이션을 200,000회 실시한 결과 자료를 활용하였다. 이때 도출된 자료의 개수는 전산업 199,317개, 해양산업 197,174개, 수산산업 176,958개, 해양및수산산업 187,899개가 생성되었다. 이때 일원분석분석, 다중비교검정, 그리고 분산동일성 검정을 위한 가설수립은 앞서 수립한 내용과 모두 동일하다.

일원분석분석 결과는 아래 <Table 11>과 같이 분석되었다.

따라서 검정통계량 $F = 26898.99$ 가 임계치 $F_{.05} = 2.604952$ 를 초과하고 있고, P-value 0이 유의수준 5% 보다 작아 그룹간 평균이 같다는 귀무가설(H_0)을 기각 가능하다. 즉 관측치 기반의 결과와 동일하게 산업간 연구개발역량이 차이가 존재한다고 할 수 있다.

다중비교검정을 수행하기 위해서, 유의수준 5%, 처리 그룹수 4, 총표본수 761,348, 처리 그룹간 자유도 3, 처리 그룹내 자유도 761,344, Studentized Range 3.633, Tukey's test 임계값 2.5689를 적용하였다.

따라서 4개의 모든 산업간 연구개발역량에 차이가 존재하고 있는 것으로 분석되었다.

<Table 12> The Result of Tukey's Test with Simulated Data

MCT	all industries TSI	marine TSI	fisheries TSI	marine and fisheries TSI
All industries TSI	-	112.7115	44.6379	218.4513
marine TSI	-		158.8532	106.8314
fisheries TSI	-			256.0608
marine and fisheries TSI	-	-	-	-

* Tukey's 검정통계량이 임계값 2.5689보다 크면 귀무가설 기각, 작으면 귀무가설 채택.

마지막으로, 분산동일성 검정을 수행하기 위해서, 처리 그룹수 4, 총표본수 761,348, 분자 자유도(df1) 4, 분모자유도(df2) 190,336, Hartley F_{max} table 임계값 1을 적용하였다.

<Table 13> The Result of Hartley Test with Simulated Data

all industries TSI s.d.	marine TSI s.d.	fisheries TSI s.d.	marine and fisheries TSI s.d.
2.768931049	2.023076097	1.04953689	1.875931729
all industries TSI variance	marine TSI variance	fisheries TSI variance	marine and fisheries TSI variance
7.666979154	4.092836895	1.101527684	3.519119853
Max variance	7.666979154		
Min variance	1.101527684		
Hartley test statistics	6.9603		

* Hartley 검정통계량이 임계값 1 보다 크면 귀무가설 기각, 작으면 귀무가설 채택

<Table 11> The Result of Single Factor ANOVA with Simulated Data

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
all industries TSI	199317	334037.3	1.67591	7.666979
marine TSI	197174	474966.9	2.408872	4.092837
fisheries TSI	176958	243743.8	1.377411	1.101528
marine and fisheries TSI	187899	585120.3	3.114015	3.51912

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	338255.6	3	112751.9	26898.99	0	2.604921
Within Groups	3191307	761344	4.191676			
Total	3529563	761347				

따라서, 검정통계량 6.9603이 임계치 1을 초과하고 있어, 그룹(산업)간 분산이 동일하다는 귀무가설을 기각할 수 있다. 결과적으로 관측치 기반의 분석결과와 동일하게 4개 산업간의 연구개발역량 종합점수의 분산이 동일하지 않다는 결론을 도출하였다.

4.3 Result

먼저, 4개 산업에 대한 관측치 기반 연구개발역량 종합점수 평균의 일원분산분석결과, 각 산업부문별 평균이 동일하지 않다는 것을 확인하였다. 4개 산업에 대한 다중비교검정 결과, 해양산업과 해양 및 수산산업간의 연구개발역량 평균이 동일하고, 그 외의 산업들에 대해서는 모두 동일하지 않다는 것을 확인하였다. 4개 산업에 대한 분산동일성 검정 결과, 각 산업간 분산이 모두 동일하지 않다는 사실을 확인하였다.

적합 확률변수 기반 4개 산업에 대한 연구개발역량 평균의 일원분산분석결과와 각 산업부문별평균이 동일하지 않다는 것을 확인하였다. 4개 산업에 대한 다중비교검정 결과, 모든 산업들에 대해서는 연구개발역량 평균이 동일하지 않다는 것을 확인하였으며, 4개 산업에 대한 분산동일성 검정 결과, 모든 산업간 분산이 동일하지 않다는 것을 사실을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 개별 기업들의 연구개발역량을 진단할 수 있는 체계를 개발하기 위하여 기존의 기술력평가 세부 평가지표 중에서 산업적 증거와 기술적 증거 자료를 활용하여 정량적인 평가 및 진단이 가능한 체계를 새롭게 제시하였다. 개별 기업의 연구개발역량의 상대적 수준을 산업적 측면과 기술적 측면에서의 증거 자료를 활용하여 상대적인 수준(비교우위 또는 비교열위)을 파악할 수 있는 체계 개발을 시도하였다. 특히 개별 기업의 연구개발역량이 산업별(업종별) 기준을 달리 적용할 때 해당 그룹내에서 연구개발역량 수준이 달라지는지를 분석하기 위한 시도를 하였다. 이때 연구개발역량의 종합점수를 활용하여 산업간의 연구개발역량이 차이가 존재하는지 확인하기 위하여 통계적 검정을 3가지 관점(일원분산분석, 다중비교검정, 분산동일성검정)에서 각각 수행하였으며, 이로 인해 연구개발역량 차이에 대한 사실의 객관화를 도모하였다. 또한 분석대상의 자료를 보다 충분히 확보하기 위해, 연구개발역량 종합점수의 관측치 외에도 산업별 연구개발역량 종합점수의 확률분포를 적합하여, 이후 해당 확률분포를 근거로 무작위 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구에서는 해양수산 부문을 대상으로 연구개발역량을 분석하였으며, 향후 해양수산 부문 연구개발역량 진단평가 체계 구축 시 해양, 수산, 해양 및 수산, 전산업을 근거로 평가체계를 각각 구분하여 구축하는 것이 보다 타당할 수 있다라는 사실을 확인하였다. 단지 관측치 자료를 근거로 해양산업과 해양 및 수산 산업간의 연구개발역량 평균이 동일하다는 사실 이외에, 분산분석의 결과(일원분산분석, 다중비교, 분산동일성)가 거의 동일하게 분석되어 상기의 사실을 보다 객관화 시킬 수 있었다.

본 연구의 한계로는 연구개발역량 진단을 위한 개별 평가지표별 증거데이터 수집 시, 최근 5년(2016~2020)의 자료를 대상으로 한 것이며, 이는 관측자료의 근본적 한계로 인한 지적에 대해 자유로울 수는 없을 것이다. 방법론 측면이 아닌 증거 자료 측면에서의 연구결과의 일반화를 보완하기 위해서는 보다 긴 기간의 자료 수집이 필요할 수 있을 것으로 예상된다. 이외에도 연구개발역량 진단을 위한 종합점수 산출 평가지표 구성 시, 개별 평가지표의 상대적인 가중치를 고려하지 않은 결과이다. 이는 다수의 연구개발역량 평가지표 중에서 보다 더 큰 영향력을 제공할 수 있는 평가지표들에 대한 분석이 필요할 수 있음을 말한다.

Acknowledgement

This study has been partially supported by Research Funds of KISTI (Korea Institute of Science and Technology Information) and KIMST (Korea Institute of Marine Science and Technology Promotion) in Korea.

References

- [1] Bobe, B. and Bobe, A.C., Benchmarking Innovation Practices of European Firms, Joint Research Centre, European Commission (EC), Brussels, Luxembourg: ECSC-EEC-EAEC, 1998.
- [2] Burgelman, R.A., Christensen, C.M., and Wheelwright, S.C., Strategic Management of Technology and Innovation, McGraw-Hill/ Irwin, 2004.
- [3] Christensen, J.F., Asset profiles for technological innovation, *Research Policy*, 1995, Vol. 24, pp. 727-745.
- [4] Cooper, R.G., Overhauling the new product process, *Industrial Marketing Management*, 1996, Vol. 25, pp. 465-482.
- [5] Hwang, K.Y. and E.H. Sung, The Relationships between Technology Commercialization Competence, R&D Capacity, Innovation and Export Performance: In the Firms Introduced the Technology from Government-

- funded Research Institutes in Daedeok Innopolis, *Journal of Korea Trade*, 2015, Vol. 40, No. 1, pp. 285-309.
- [6] Kim, S.G., Lim, J.S., and Park, W., A Study on the Characteristics of Enterprise R&D Capabilities Using Data Mining, *Journal of Intelligence and Information Systems*, 2021, Vol. 27, No. 1, pp. 1-21.
- [7] Kim, Y.J. and D.W. Yang, The comparative analysis of game capability by region-focus on the analysis of LQ index and CT R&D competence level, *The Journal of Digital Policy & Management*, 2011, Vol. 9, No. 3, pp. 133-144.
- [8] Park, J.P., Analysis of R&D Competence Factors on Technology Innovation in Government-funded Research Institutes, Masters dissertation, Chungnam National University, Daejeon, 2008.
- [9] Park, S.C. and Yang, D.W., The Empirical Study on Relationship between SMEs' Technology Evaluation Index and Technology Commercialization Performance, *Korean Journal of Business Administration*, 2010, Vol. 23, No. 1, pp. 41-63.
- [10] Souitaris, V., Firm-specific Competencies Determining Technological Innovation : A Surveying Greece, *R&D Management*, 2002, Vol. 32, No. 1, pp. 61-77.
- [11] Sung, W.H., A Study on Technology Ranking Valuation Using Technology Composite Index, *Journal of Korea Technology Innovation Society*, 2006, Vol. 8, No. 2, pp. 583-604.
- [12] Yam, R.C.M., Guan, J.C., Pun, K.F., and Tang, E.P.Y., An audit of technological innovation capabilities in chinese firms: Some empirical findings in Beijing, China, *Research Policy*, 2004, Vol. 33, pp. 1123-1140.
- [13] Yoon, H., Hong, A., and Jung, S., The effects of R&Ds, technology innovation capability and the innovation support system of small- and medium-sized business on the company performance, *Innovation Studies*, 2018, Vol. 13, No. 2, pp. 209-238.
- [14] Zhu, S.G., A study on the influence of technological innovation capability and technology commercialization capability on technological innovation performance and management performance, Masters dissertation, Gachon University, Geonggi-do, 2013.

ORCID

Sang-Gook Kim | <https://orcid.org/0000-0001-7018-9716>

Boong Kee Choi | <https://orcid.org/0000-0001-6034-1091>