

## 시스템엔지니어링 기술 프로세스를 적용한 지속 가능 평가모델 설계 연구 : 모바일 산업 중심으로

김상진<sup>1)</sup>, 차우창<sup>2)\*</sup>

1) 금오공과대학교 대학원 컨설팅학과, 2) 금오공과대학교 산업공학과

### A Study on the Design of Sustainability Evaluation Model Applied to Systems Engineering Technical Process : Focused on the Mobile Industry

Sang Jin Kim<sup>1)</sup>, Woo Chang Cha<sup>2)\*</sup>

1) Dept. of Consulting, Graduate School, Kumoh National Institute of Technology

2) Dept. of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

**Abstract** : A study on the sustainability evaluation of the requirements of the mobile industry closely related to the human factor was needed. We conducted the sustainability evaluation of the mobile industry using a quantitative evaluation method with the AHP tool and a qualitative evaluation method reflecting the technological age flow of the philosophical thoughts to improve the reliability of the evaluation results of the model verification. And this evaluation is to evaluate the consistency of the connection between the national sustainability and the mobile industry. In order to draw the conclusion of the relevance, the team member Delphi 5-point scale was used. As a result, the priority was confirmed in the national sustainable development indicator and mobile industry indicator. Quantitative and qualitative evaluation was applied to the discontinued model of mobile to derive insufficient indicators, and it was confirmed that if the indicators were improved and reflected, it would be sustainable. And in order to secure reliability and accuracy, we made a

**Received:** October 14, 2021 / **Revised:** December 4, 2021 / **Accepted:** December 7, 2021

\* 교신저자 : Woo Chang Cha/chaw@kumoh.ac.kr

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

proposal to apply the systems engineering process to the development of the model evaluation field. The systems engineering technology process meets the needs and requirements of stakeholders throughout the lifecycle and it is suitable for the development model of the industry's sustainability assessment.

**Key Words** : Mobile's Sustainability System, National Sustainability Report, systems engineering Technical Process, Collective Intelligence, Stakeholder's Needs, Reductionism, Structuralism

## 1. 서론

미래세대의 필요를 충족시킬 수 있는 가능성을 보존하면서 현 세대의 필요를 충족시키는 개발이 지속 가능 발전 (Sustainability Development)이며, 환경 문제뿐만 아니라 개발도상국의 균형 있는 발전을 추구하고 성별, 지역, 인종 및 국가에 따라 차별과 고통이 없는 세상을 만들기 위한 목표를 설정하게 된다.[1] 최근 기업 경영에서 가장 중요시되고 있는 것은 '지속 가능 경영'이며, 기업의 목표 설정 및 사업전략 등을 구상하기 위한 전문가와 지속 가능 평가 기준이 필요하다. 이에 본 연구를 통해 프로젝트 진행 시 지속 가능 여부를 평가하는 개발 모델을 제시하고자 한다.

현대사회의 메가 트렌드인 '모바일 산업'을 연구 주제로 선정하였으며, 기존 연구로는 모바일 산업과 인간 시스템통합 (HSI) 방법론, 에자일 및 회복성 공학에 대한 연관성 연구를 진행하였으나,[2],[3] 여전히 모바일 산업의 단종 모델이 발생하거나, 모델의 생명주기(Life Cycle)가 짧아짐을 확인하였다. 선행연구로는 국가 지속 가능 보고서를 통해 상위 시스템을 연구하고, 서브 시스템인 모바일 산업과의 연관성에 대해서 고찰할 예정이다.

팀원 델파이 방식을 활용하여 국가 지속 가능 보고서의 주요 지표와 모바일 산업의 주요 지표에 대한 우선순위 및 연관성에 대해서 실증분석 및 개발 모델을 제안하고, AHP(계층분석) 통계적 분석 방법을 통해 각 지표의 결과를 도출한다. 모바일 산업의 단종 모델에 대한 원인 분석 및 지속 가능하기 위한 방법론으로 시스템엔지니어링 기술 프로세스

적용 및 이해관계자의 니즈 및 요구사항 정의를 통해 개발 모델의 신뢰성을 확보한다. 집단지성의 실효성 검증, 사용성 평가 연구 및 적용 가능성 검증을 통해 모든 산업에서 활용할 수 있는 지속 가능 평가 모델 설계를 제안하고자 한다.

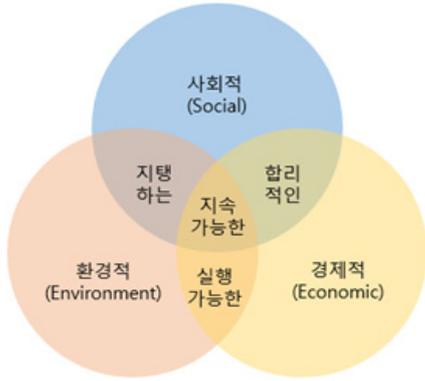
## 2. 선행연구

### 2.1 지속가능성의 개념 연구

지속가능성이란 자연과 함께 지속적으로 조화롭게 살려는 인간의 요구사항이 얼마나 충족 가능한지 평가하는 것이다. 미국 LEED (Leadership in Energy Environmental Design)에서 제시하는 'The Triple Bottom Line'에서는 지속가능성을 정의하기 위한 지표로 경제성, 사회성, 환경성을 나타내고 있다.[4] 지구의 환경을 보존하면서 경제적 이익을 창출하며, 환경부하를 감소시켜서 지구환경의 지속성을 증가시키는 것이며, 3가지 분야가 모두 통합을 이루어야 한다는 뜻이다.

미래세대가 사용할 경제, 사회, 환경 등의 자원을 낭비하거나 여건을 저하 시키지 않는 조화와 균형을 이루는 것이며, 시스템 지속성은 상태 혹은 목적의 동일성을 유지하는 역량으로 정의된다. '지속 가능하다'의 의미는 현재 기술의 실현 가능성으로 판단하는 기술적 가능성으로 '기술자', 이론과 실험에 근거하여 판단하는 물리적 가능성으로 '과학자', 정의와 공리에 기반한 추론으로 판단하는 논리적 가능성으로 '철학자'까지 모두 3가지 유형의 사람으로 정의되기도 하며, 그림 1과 같이 지속 가능성의 관점

에서 디자인의 역할을 보면 환경적, 사회적, 경제적 지속가능성으로 시스템 상태의 미래를 예측한다.[5]



[Figure 1] The Role of Sustainable Design

### 2.2 세계 지속 가능 발전 목표

경제발전으로 인한 환경과피 문제에 대한 심각성을 인식하고, 문제의식 속에서 지속 가능 발전에 대한 국제사회의 논의가 계속되고 있다. 1972년 유엔 인간 환경 회의, 1992년 리우선언, 2000년 MDG 새 천년 개발 목표 채택, 2016년 SDGs 채택 등 국제사회의 협약이 이루어지고 있다. 이는 각 국가의 정책에도 영향을 미치고 있으며, 우리가 새로 만들어 가야 할 변화에 대한 희망을 가져 주게 된다.

지속 가능 발전은 유엔총회에서 그림 2와 같이 17개 목표로 구성되었으며, 새 천년 개발 목표(MDGs)의 한계를 넘어 국내외의 불평등 문제, 정의, 기후변화, 인권, 성 평등, 환경 지속성, 평화와 안보를 아우르게 개발 목표를 제시하고 있다.[6]



[Figure 2] Sustainable Development Goals

### 2.3 국가 지속 가능 발전 비전 및 전략

국제사회의 지속 가능 발전에 대한 노력과 정책은 우리나라에도 영향을 끼치고 있으며, 2000년 대통령 직속 지속 가능발전위원회 발족, 2007년 지속 가능발전 기본법 제정, 2010년 저탄소 녹색성장 기본법 제정, 2011년 제2차 지속 가능 발전 기본계획 수립, 2018년 한국형 지속 가능 발전 목표인 K-SDGs를 수립하였다. 우리나라는 환경 및 자원의 지속가능성 강화, 기후변화 적응 및 대응 체계 확립, 사회적 형평성 및 국민 건강 증진, 경제 및 산업구조 지속가능성 제고를 통하여 G20에 맞는 국가 지속 가능 역량을 확보하여 세계 일류 선도국가를 구현하려는 비전을 가지고 있다.

K-SDGs는 UN-SDGs와 연계하여 국내 여건을 반영 및 보완하고 있으며, 17개 목표는 사회, 환경, 경제 등 전 분야를 포괄하고 목표를 수립한다. 포용성을 강조하는 현 정부 지향점 및 코로나-19, 기후변화 등 위협 속에서 미래 한국의 지속 가능 성장을 견인할 핵심 가치로는 ‘혁신’을 반영하여 비전으로 삼고 있으며, 기존에 수립한 5대 핵심 가치인 사람, 번영, 평화, 협력은 계승하되, 평화와 협력을 통한 4대 전략을 마련하고 있다.[7]

비전	포용과 혁신을 통한 지속가능 국가 실현			
전략	사람	번영	환경	평화·협력
	사람이 사람답게 살 수 있는 포용사회	혁신적 성장을 통한 국민의 삶의 질 향상	미래 세대가 함께 누리는 깨끗한 환경	지구촌 평화와 협력 강화
K-SDGs 17개 목표	[목표1] 빈곤층 감소와 사회안전망 강화 [목표2] 식량안보 및 지속 가능한 농업 강화 [목표3] 건강하고 행복한 삶 보장 [목표4] 모두를 위한 양질의 교육 [목표5] 성평등 보장 [목표11] 지속가능한 도시와 주거지	[목표8] 좋은 일자리 확대와 경제성장 [목표9] 산업의 성장과 혁신 활성화 및 사회 기반시설 구축 [목표10] 모든 종류의 불평등 해소 [목표12] 지속가능한 생산과 소비	[목표6] 건강하고 안전한 물관리 [목표7] 에너지의 친환경적 생산과 소비 [목표13] 기후변화와 대응 [목표14] 해양생태계 보전 [목표15] 육상생태계 보전	[목표16] 평화·정의·포용 [목표17] 지구촌 협력 강화

[Figure 3] K-SDGs Vision & Strategy

## 2.4 지속 가능 기술철학

지속 가능 기술은 결정론 혹은 목적론의 기존 철학적 사고와 지식이 필요하며, 지속가능성 정량적 평가를 뒷받침하기 위해 정성적인 기술철학의 필요성을 확인하였다. 지속 가능 발전 기술철학은 과학적 세계관을 현대 기술철학의 관점에서 다루게 되며, 시대 기술 흐름의 정성적 고찰은 지식정보화 사회의 기술적 관점과 포스트모더니즘 사회의 기술 철학적 관점으로 볼 수 있다. 현대 기술철학은 지속 가능 기술철학으로 변화하고 있다.

<Table 1> Change to Sustainable Technology Philosophy

철학	사고	주요 내용
근대 철학	보편적 인간 중심의 철학적 사고	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 과학혁명, 종교개혁, 르네상스</li> <li>- 과학과 지식에 대한 폭발적 증가</li> <li>- 개인 고유 특성 및 주관적 삶의 문제를 외면</li> <li>- 경험론과 합리론</li> </ul>
현대 철학	개별적 인간 중심의 철학적 사고	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개인의 자유와 책임을 중요시 하는 철학, 문학 과 과학기술의 흐름</li> <li>- 포스트모더니즘 시대의 도래</li> </ul>

기술적 체계의 구성요소인 업무구조와 작업자, 사회적 체계의 구성요소인 기술과 직무가 서로 상호적으로 관련을 맺으며 업무가 진행되므로 업무체계의 산출물을 기술적 체계와 사회적 체계의 두 하위 체계를 통합적으로 설계해야 한다. 시간의 흐름에 대한 과학기술 철학, 시스템 지속 가능 철학으로의 전환이 필요하며, 이를 위해 기술철학의 정성적 관점에서 환원주의 및 구조주의 관점에서 집중하기로 하였다.

## 2.5 기술 환원주의와 구조주의

환원주의는 철학에서 복잡하고 높은 단계의 사상이나 개념을 하위 단계의 요소로 세분화하여 명확하게 정의할 수 있다는 주장이다. 근대 과학을 이끌어온 기본 전략은 환원론이며, 아무리 복잡한 것이라 하더라도 그것을 잘게 분해함으로써 기본적인 단순성에 도달할 수 있다고 하는 통찰에 기초를 두고 있

다. 모바일 산업의 부분을 국가 지속 가능 발전의 전체로 연관 지어 평가하는 측면에서 ‘전체는 부분의 합이다’, ‘전체를 분해하면 부분에 속성이 남는다’의 개념인 환원주의와 연관성이 높으며, 모바일 산업의 단종 모델 원인 분석과 부족한 지표에 대한 해결 방법을 도출하는 뒷받침이 된다.[8]

구조주의는 사회, 문화, 경제 등에서 우리가 현재 쓰고 있는 담론을 규정하고 숨어있는 또는 무의식적인 언어의 구조를 강조하고 있다. 현실의 모든 측면이 구체적인 실체 자체가 아니라 실체의 경험적 과학적 구성과 그 관계의 측면에서 가장 잘 이해된다고 주장하며, 그것의 목적은 하나의 형식적 틀에서 경험적 이론의 모든 중요한 측면을 포함하는 것이다. 어떠한 실체든 경험이든 그것의 완전한 의미는 그것을 부분으로 삼고 있는 구조 안으로 통합 됨으로써 비로소 인식될 수 있다는 관점과 현대 기술철학에서 실재를 만들어 내는 구조나 관계를 설명하는 심리철학의 ‘구조주의’적 관점에서 사회 기술적 시스템 (Socio-Technical System)을 바라볼 수 있다. 여러 가지 요소들이 복합적으로 얽혀 있어 해결이 어려운 문제로 시스템 전체를 고려해야 하거나, 구체적인 현상보다 그 배후의 현상들을 지배하는 보편적인 구조가 실재한다는 관점에서 국가 지속 가능 지표와 모바일 산업 지표 간 연관성 연구를 진행한 본 연구의 지속 가능 모델 설계를 뒷받침하게 된다. [9]

## 3. 지속 가능 평가모델 설계

### 3.1 SE 기반의 평가모델 설계

시스템엔지니어링은 설계, 제작, 생산의 비용을 절감시키고 일정을 줄임과 동시에 리스크 관리가 가능한 장점이 있으며, ISO/IEC 15288 기반의 시스템엔지니어링 프로세스는 프로젝트 프로세스, 기술 프로세스, 프로젝트 활성화 프로세스, 합의 프로세스 4개의 프로세스가 있다.

기술 위주의 개발이 이루어지는 모바일 산업의

특성과 실무적인 시스템엔지니어링 업무에 밀접한 ‘기술 프로세스’에 집중하여 설계를 진행하고자 한다. 국가 지속 가능 지표와 모바일 산업의 우선순위 지표를 도출하고, 기술 프로세스 14단계에 매핑 및 적용하여 효과성 및 신뢰성을 확보하고자 한다.

### 3.2 시스템의 평가 지표 선정

국가 지속 가능 보고서와 모바일 산업의 주요 지표를 중심으로 시스템의 평가 지표 연관성 분석이 필요하여 전문가의 지식과 경험을 통해서 문제 해결 및 미래예측을 진행하고자, 표 2와 같이 전문가 36명을 활용하여 팀원 델파이 방식을 활용한 5점 척도 방법으로 온라인 설문 평가를 실시하였다. [10]

<Table 2> Evaluation using the Delphi Method

구분	인자1	인자2	인자3	인자4	인자5
직책	사원대리	과장 차장	부장 임원	-	-
나이	20~30대	40대	50대	-	-
근무경력	1~10년	11~15년	16~20년	21년 이상	-
부서	개발	제조	기술	품질	영업
성별	남성	여성	-	-	-

국가 지속 가능 지표는 K-SDGs에서 활용하였으며, 모바일 산업 지표는 효율적인 의사결정을 위한 방법론을 적용하기 위해 모바일 전문가가 모여, 다양한 관점을 통해 더 나은 결과를 지향하는 ‘집단지성(Collective Intelligence)’ 과 다수의 구성원 관점과 지혜를 모아 내는 ‘브레인스토밍(Brain Storming)’ 기법을 활용하였다. 공정성과 형평성 논리에 입각하여 그림 4의 5단계 과정(목표 설정 - 문제 발견 - 진단 - 계획 수립 - 실행)을 거쳐서 진행하여 총 12개의 주요 지표가 선정되었고, 모바일 전문가의 핵심 키워드는 ‘게임’, ‘SNS’, ‘모바일 사용 유형’, ‘기술 진보’이었다.



[Figure 4] Decision making 5 Step Process

<Table 3> Indicator of the Mobile Industry

No	모바일 산업 주요 지표 선정
1	세계 스마트폰 보급율
2	선진국 스마트폰 사용 점유율
3	소득수준과 스마트폰 소유비율
4	국가 연령대별 스마트폰 소유비율
5	소셜 미디어 사용자
6	한국시장 5G 스마트폰 판매량 추이
7	스마트폰 연간성장률
8	전 세계 모바일 게임 소비자 지출비율
9	전 세계 앱 스토어 소비자 지출
10	국내 모바일 콘텐츠 시장
11	전 세계 모바일 앱 시장 규모
12	모바일 앱 유형별 다운로드 현황

### 3.3 평가모델 설계를 위한 실증분석

논의 과정을 통해 의견의 합의점을 찾는 방법의 팀원 델파이 (Delphi Method)는 전문가들의 익명성이 보장된 상태에서 의견을 개진하고 이를 다른 전문가들에게 피드백하는 과정을 반복하여 객관적이고 안정적으로 합의를 이끌어 낼 수 있는 장점이 있다. 국가 지속 가능 주요 지표와 모바일 산업 간의 연관성에 대해서 설문조사를 실시하였다. 연구의 신뢰성 확보를 위해 전문가 36명으로 델파이 1라운드 설문을 진행한 후, 그 평균값을 공유하고 동일한 방향으로 델파이 2라운드 설문을 실시하였다. 이때 비전문가 112명도 설문에 참여하여 전문가와의 차이점에 대한 비교 분석을 진행하였다. 그 결과 그림 5와 같이 국가 지속 가능 지표에 대해서는 전문가가 평가한 상위 10개 중 일반인과 일치하는 항목은 총 8개 항목이나, 평균 점수는 비전문가가 0.775점(전문가 4.227점, 비전문가 3.452점)이 낮은 결과를 나타내었다. 전문가는 경제, 사회, 환경 모든 부문에 연관성을 두고 있는 반면에 비전문가는

경제 부문에 다소 집중되는 경향을 보였다.



[Figure 5] Comparison of National Sustainability Indicators

모바일 산업에 대한 전문가와 비전문가와와의 연관성 우선순위 비교 시 그림 6과 같이 전문가가 평가한 상위 10개 중 비전문가와 일치한 항목은 8개 항목이나, 평균 점수는 비전문가가 0.335점 (전문가 4.475점, 비전문가 4.14점)이 낮은 결과를 나타내었다. ‘세계 스마트폰 보급률’ 항목은 전문가는 3위였으나, 비전문가 평가에서는 12위로 차이가 보였다. 이는 비 전문가 입장에서 스마트폰의 보급이 대중화가 되었다는 의미로 해석되었다.



[Figure 6] Comparison of Mobile Industry Indicators

### 3.4 가설 설정 및 통계적 분석

국가 지속 가능 보고 상위 6개 지표와 모바일 산업 상위 6개 지표에 대한 가설을 설정하였으며, 총 12개의 지표에 대해서 지속 가능한 모델인지에 대한 점수를 산정하였다. 지표에 맞게 추세와 비율로

구분하고, 증감률이 11% 이상일 때 2점, 0~10% 일 때 1점, -1~-20일 때 -1점, -11이하 일 때 -2점으로 점수를 부여하고, 가중치를 주어 100점으로 환산하여 평가한다. 지표의 80%가 + 점수이고, 총점이 80점 이상 시 지속 가능하다고 판단한다. 비전문가 평가에 대한 주요 지표 12개의 평균과 표준편차는 표 4와 같이 산출되었으며, 정규성이 있고 안정적이었다.

<Table 4> Indicator Mean and Standard Deviation

No	지표명	평균	표준편차
1	초고속 인터넷 가입자 수	3.87	1
2	경제 성장률	3.71	0.856
3	국내 총생산	3.64	0.721
4	온라인 신청가능 민원종류	3.64	1.146
5	1인당 GDP	3.57	0.856
6	고용률	3.36	0.909
7	모바일 앱 유형별 다운로드 현황	4.29	0.653
8	전 세계 모바일 앱 시장 규모	4.22	0.756
9	선진국 스마트폰 사용 점유율	4.20	0.757
10	소득수준과 스마트폰 소유비율	4.17	0.734
11	전 세계 모바일 게임 소비자 지출비율	4.16	0.754
12	스마트폰 연간 성장률	4.09	0.856

2개 이상 집단들의 평균을 비교하는 통계분석 기법인 분산분석을 통해 설문자의 개인 정보와 각 지표 간의 통계적 유의성을 평가해 보기 위해, 각각의 개인 정보를 종속변수로 두고 분산분석(P-Value)을 분석한 결과 표 5와 같이 업종에 따라 모바일 산업에 대한 인식의 차이는 있는 것으로 볼 수 있으며 (P-Value < 0.50), 성별에 따라 국가 지속 가능 및 모바일 산업의 인식에 차이가 대체로 있는 것으로 볼 수 있다. 나이에 따라 ‘고용률’ 및 ‘소득수준과 스마트폰 소유 비율’에 대한 인식의 차이가 볼 수 있으며, 거주지에 따라 ‘경제 성장률’, ‘국내 총생산’, ‘고용률’, ‘스마트폰 연간 성장률’에 대한 인식의 차이가 있다고 볼 수 있다.

<Table 5> Analysis of Variance

No	지표 구분	평가 지표명	업종	나이	성별	거주지
1	국가 지속 가능	초고속 인터넷 가입자 수	0.486	0.589	0.000	0.055
2		경제 성장률	0.258	0.589	0.000	0.008
3		국내 총생산 (GDP)	0.283	0.206	0.015	0.044
4		온라인 신청 가능 민원종류	0.050	0.147	0.003	0.568
5		1인당 GDP	0.178	0.459	0.014	0.526
6		고용률	0.400	0.001	0.348	0.020
7	모바일 산업	모바일 앱 유형별 다운로드 현황	0.001	0.168	0.205	0.178
8		전 세계 모바일 앱 시장 규모	0.011	0.079	0.000	0.224
9		선진국 스마트폰 사용 점유율	0.043	0.062	0.000	0.395
10		소득수준과 스마트폰 소유 비율	0.011	0.038	0.004	0.135
11		전 세계 모바일 게임 소비자 지출 비율	0.001	0.559	0.000	0.471
12		스마트폰 연간성장률	0.011	0.085	0.011	0.019

의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소 간의 쌍대 비교에 의한 판단을 통해 평가자의 지식, 경험, 직관을 포착하고자 하는 의사결정 지원방법론인 AHP(Analytic Hierarchy Process, 계층분석 기법)를 통해 시스템의 평가 지표 연관분석을 진행하였다.[11] 표 6과 같이 국가 지속 가능 지표 상위 6개에 대한 일치성 지수(Consistency Index)는 0.0927로 0.1보다 작아 수용할 만한 것으로 확인되었고, Factor2인 ‘경제 성장률’이 상대적으로 가장 중요한 요소임이 밝혀졌으며, 모바일 산업 지표 상위 6개에 대한 일치성 지수는 0.0959로 수용 가능한 것으로 확인되었고, Factor 4인 ‘전 세계 모바일 게임 소비자 지출현황’이 상대적으로 가장 중요한 요소임이 확인되었다.

<Table 6> Result of AHP (CI = Consistency Index, <0.1)

구분	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	CI
국가 지속 가능	0.099	0.225	0.151	0.105	0.210	0.110	0.0927
모바일 산업	0.164	0.163	0.124	0.230	0.200	0.120	0.0959

지속 가능 모델에서 제시한 지속가능성 판단 기준으로 평가한 결과, 모바일 산업의 지속 가능 발전 지표 12가지 모두 + 점수이고, 총점이 83.4점으로 표 7과 같이 산출되었다. 총점이 80점 이상이므로 ‘모바일 산업은 지속 가능하다’고 판단하며, 정량적 지표를 통한 지속 가능성 과 가설을 채택하게 되었다.

<Table 7> Hypothesis Test

No	지표명	종류	증감율	점수	점수 환산
1	모바일 앱 유형별 다운로드 현황	비율	33%	2	8.34
2	전 세계 모바일 앱 시장 규모	추세	18%	2	8.34
3	선진국 스마트폰 사용 점유율	비율	19%	2	8.34
4	소득수준과 스마트폰 소유비율	비율	0.85%	1	4.17
5	전 세계 모바일 게임 소비자 지출비율	추세	35%	2	8.34
6	스마트폰 연간 성장률	추세	9%	1	4.17
7	초고속 인터넷 가입자 수	추세	12.6%	2	8.34
8	경제 성장률	추세	21.7%	2	8.34
9	국내 총생산	추세	19.2%	2	8.34
10	온라인 신청가능 민원종류	추세	0.1%	1	4.17
11	1인당 GDP	추세	13.4%	2	8.34
12	고용률	추세	2.8%	1	4.17
합계					83.4

#### 4. 시스템엔지니어링 프로세스 적용 연구

##### 4.1 모바일 단종 모델 원인 분석

모바일 산업의 지속 가능 평가 모델 설계를 위해 단종 모델의 원인 분석을 통한 부족함을 도출하기로 하였다. S 기업의 N 모델은 치명적인 배터리 품질 이슈로 인해 출시 이후 리콜 및 단종 결정을 하게 되었다. 원인을 분석해 보면 젤리 롤(Jelly Roll) 내측의 분리 막이 손상되어 음극판과 양극판이 만나게 되어 배터리 발화사고가 발생하였고, 표 8과 같이 배터리 제조사와의 공동 개발 협력 부족, 잠재 리스크 발굴 부족, 제품 조기 출시와 고객 니즈 고려 부족이 도출되었다.

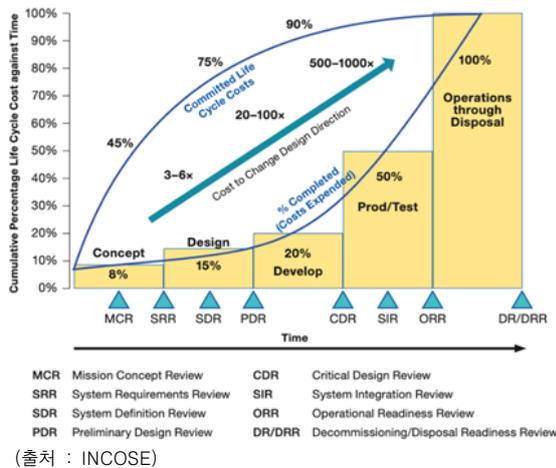
<Table 8> Analysis of Causes of Mobile Discontinuation Model

No	단종 원인분석
1	중소기업 공동개발 협력 부족
2	잠재 리스크 발굴 부족
3	제품 조기 출시
4	고객 니즈 고려 부족

이와 같이 개발 단계 초기에 이해관계자의 요구 사항 및 시스템 요구사항 식별 시 해결할 수 있으나, 잠재 Risk 및 Weak Point 발굴 미흡으로 사전 불량 예측이 어려웠으며, 경쟁사보다 빠른 출시에 목표를 두고 이해 관계자 (Stakeholder) 관점에는 요구사항 분석이 필요하며, 재발 방지 및 근본 대책 수립을 위한 프로세스 적인 보완이 필요하다.

4.2 SE 기술 프로세스 적용의 필요성

고객의 요구사항 및 자체 제품을 개발할 시에 초기 콘셉트 청사진인 시스템엔지니어링 활동은 설계, 제작, 생산의 비용을 절감시키고 일정을 줄임과 동시에 리스크를 관리하는 장점이 있다. 시스템엔지니어링은 복잡한 시스템 개발 문제 해결과 이해 당사자들의 요구사항을 달성하기 위한 학제 간 기술적, 총체적 접근 방법으로 정의하고 있으며, 수명주기 비용 결정 시기(결함 발견에 드는 비용)가 초기 단계에서 대부분 결정한다고 보고 있다.[12]



[Figure 7] Determine Lifecycle Costs

시스템엔지니어링이 필요한 이유 및 적용 시 효과를 살펴보면, 고도의 전문 설계자가 요구되는 경우, 참여조직이 분산되어 의사소통이 어려운 경우, 많은 이해당사자가 참여하는 경우, 관련된 H/W 및 S/W의 많은 부분이 동시 개발이 필요한 경우, 소형 시스템의 긴급 개발 / 저가 운용 / 신뢰성 / 고성능 / 유지 보수가 필요한 시스템이 필요한 경우, 많은 기능 분야에 고도의 신기술이 적용되는 경우 등 총 6가지로 요약이 된다. ISO/IEC/IEEE 15288 기반의 시스템엔지니어링 프로세스는 프로젝트 프로세스, 기술 프로세스, 프로젝트 활성화 프로세스, 합의 프로세스 4가지의 프로세스가 있으며, 본 연구는 모바일 산업 특성상 기술 위주의 개발이 진행되며, 실무적인 SE 업무에 가장 밀접한 프로세스인 ‘기술 프로세스’에 초점을 두고 진행하려고 한다. 기술 프로세스를 분석해 보면 각 단계별 검증(Verification) 및 운용(Operation)의 중요성에 대한 확인이 가능하며, 이해관계자의 니즈 와 요구사항을 지속 가능 평가와 연결하도록 한다. SE 기술 프로세스는 총 14단계로 구성되어 있으며, 표 9와 같이 역할을 정의하였다. 기존에는 3P (People, Product, Process)와 지원체계 (Enabling System)를 활용하여 선행연구를 진행하였으나, 신뢰성 확보가 필요하여 시스템엔지니어링 기술 프로세스를 적용하게 되었다.[13],[14]

<Table 9> systems engineering Technology Process Analysis

No	프로세스	역할
1	사업/임무 분석 프로세스	요구사항 정의는 해당 조직이나 엔터프라이즈의 사업 비전과 운용개념, 그밖에 사업 부문에서 사업 니즈를 정의할 때 쓰이는 조직의 전략적 목적 또는 목표에서 시작된다.
2	이해관계자 니즈 및 요구사항 정의 프로세스	요구공학 엔지니어는 획득 엔터프라이즈의 엔터프라이즈 수준 운용개념과 엔터프라이즈의 스템 수준 예비 운용개념을 지침으로 삼아, 사업 운영 부문 이해관계자들이 구조화된 프로세스를 통해 이해관계자 니즈를 도출 하도록 이끈다. 요구공학 엔지니어는 이해관계자 니즈를 다시 공식적인 이해관계자 요구사항으로 변환한다.

No	프로세스	역할
3	시스템 요구사항 정의 프로세스	StRS에 담긴 이해관계자 요구사항을 다시 시스템 요구사항으로 변환하여 주로 시스템 요구사항 규격서에 수록한다. * StRs: StakeholderRequirements Specification
4	아키텍처 정의 프로세스	복수의 시스템 아키텍처 대안을 정의하고, 그 중 하나를 선택한다.
5	설계 정의 프로세스	시스템 아키텍처를 충실하게 구현할 수 있을 정도로 시스템 구성요소를 상세히 정의한다.
6	시스템 분석 프로세스	수학적 해석, 모델링, 시뮬레이션을 이용하여 다른 기술 프로세스를 지원한다.
7	구현 프로세스	시스템 요구사항, 아키텍처, 설계를 충족하는 시스템 구성요소를 실현한다.
8	통합 프로세스	시스템 구성요소를 결합하여 한 시스템을 실현한다.
9	검증 프로세스	시스템, 시스템 구성요소, 수명주기 중 업무 산출물이 명시된 요구사항을 충족한다는 증거를 제시한다.
10	전환 프로세스	시스템을 계획적이고 질서정연하게 운영 국면으로 이전한다.
11	확인 프로세스	시스템과 시스템 구성요소, 수명주기 중 업무 산출물이 의도한 운영환경 안에서 의도한 쓰임새를 발휘한다는 증거를 제시한다.
12	운영 프로세스	시스템을 사용한다.
13	유지보수 프로세스	운영중인 시스템을 유지한다.
14	폐기 프로세스	시스템이나 시스템 구성요소가 비활성화, 분해되어 운영에서 제거된다.

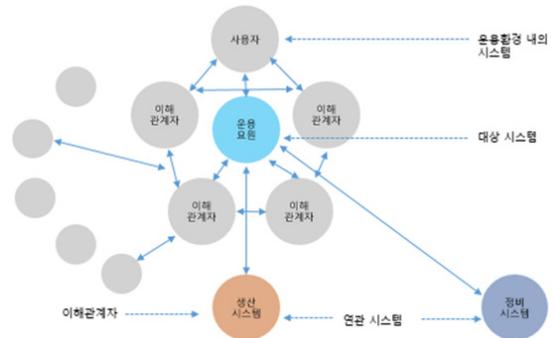
### 4.3 이해관계자의 니즈 및 요구사항 정의

시스템엔지니어링 기술 프로세스 단계 중 핵심 단계는 앞서 진행한 선행연구 및 모바일 단종 모델의 원인 분석에도 확인되었듯이, 두 번째 단계인 ‘이해관계자 니즈 및 요구사항 정의 프로세스’이다. 표 10과 같이 4가지의 요구사항 정의를 내릴 수 있다.[15]

<Table 10> Stakeholder Needs Definition Process

No	요구사항 정의
1	이해관계자의 요구사항이 정확하게 표현되었는지 당사자들에게 확인
2	시스템 수명주기가 끝날 때까지 유지관리에 적합한 양식으로 이해관계자 요구사항을 기록
3	수명주기 전체에 걸쳐 이해관계자의 니즈와 요구사항 추적성 정립 및 유지
4	형상 관리를 위한 기준선 정보를 제공하게 되며, 활동에 있어서 가장 중요한 문제의 하나는 요구사항을 추출해 줄 이해관계자가 누구인지 식별함에 있음

이 단계에서는 이해관계자 - 운전자 - 사용자와의 밀접한 관계 속에서 요구사항을 정의하게 되며, 고객 요구사항과 적용되는 법적 및 규제적 요구사항을 충족하는 제품 및 서비스를 일관성 있게 제공하기 위한 조직의 능력에 이해관계자가 영향 또는 잠재적 영향을 미치기 때문에 조직은 이해관계자 및 이해관계자와 관련되는 요구사항에 정보를 모니터링하고 검토해야 한다.[16],[17]



[Figure 8] Acquire the Needs of Stakeholders, Operator and Users

### 4.4 SE 기술 프로세스의 개발 모델 적용

이해관계자 요구사항으로부터 국가 지속 가능한 시스템과 모바일 산업의 서브 시스템 간의 인터페이스 관계를 나타내는 것이 시스템엔지니어링의 산출물이다. 수명주기를 고려한 이해관계자 요구사항, 고품질의 균형 잡힌 시스템, 다 학제적 접근법을 이용하여 복잡한 문제를 해결하기 위한 시스템적 접근의 사고를 진행해야만 한다.

주어진 목적을 달성하기 위해 입력을 출력으로 변환시키는 상호 연관된 활동들의 집합이 프로세스이다. 조직의 성숙도와 특성에 적합하게 어떤 프로세스가 갖추어야 하는지 이해하는 게 중요하며, 본 연구에서는 SE 기술 프로세스를 표 11과 같이 개발 모델에 적용하였다.

<Table 11> Application of Technology Process Development Model

No	SE 기술 프로세스	개발모델 적용
1	사업/임무 분석 프로세스	문제 및 기회 범위 정의
2	이해관계자 니즈 및 요구사항 정의 프로세스	수명주기 개념 개발 이해관계자 요구사항 분석
3	시스템 요구사항 정의 프로세스	시스템 요구사항 분석 및 관리
4	아키텍처 정의 프로세스	아키텍처와 설계 연계 (운영적, 기술적, 시스템적)
5	설계 정의 프로세스	시스템 구성요소의 설계 특성 및 인에이블러 정의
6	시스템 분석 프로세스	의사결정 정보분석 및 수행
7	구현 프로세스	구현 수행 및 결과 관리
8	통합 프로세스	통합 수행 및 결과 관리
9	검증 프로세스	검증 수행 및 결과 관리
10	전환 프로세스	전환 수행 및 결과 관리
11	확인 프로세스	확인 실시 및 결과 관리
12	운영 프로세스	운영 수행 및 결과 관리, 고객지원
13	유지보수 프로세스	유지보수 및 물류 지원 수행
14	폐기 프로세스	폐기 수행 및 완료

## 5. 개발 모델의 검증

### 5.1 집단지성의 실효성 검증

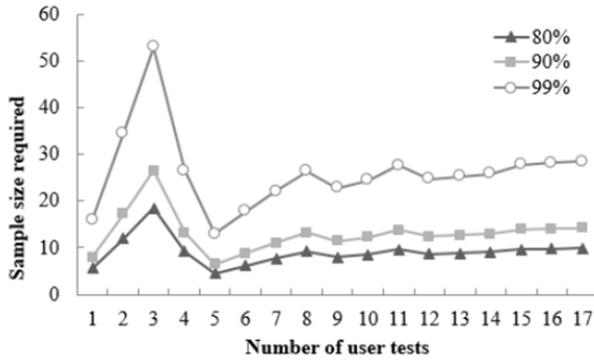
인간이 활동의 주체가 되면 전개될 상황을 예측하기 너무 어렵게 되며, 다수의 생각과 행동 패턴이 다양하고, 발생 가능한 경우의 수가 너무 많아 선형적 예측은 부질없게 된다. 다양성이 충만한 보통 사람이 발현하는 통합적 집단지성(Collective Intelligence)은 오류가 있을 수 없으며, 오류란 과거의 기준으로 판단한 이상치 값이지만, 관점을 달리하면 상황이 바뀐 것을 알려주는 귀중한 증표이고, 다양한 개성의 총체적 집단지성은 세상을 건인

하는 주류이며, 정상이지 오류가 아니다. 이런 측면에서 집단지성의 비전문가 집단 실효성 사례연구를 진행한 결과 Pamela J.Hinds는 전문가의 저주에서 작업 성과를 예측하는 실험에 있어서 전문가 집단은 도메인 지식이 일천한 신참자 보다 못한 예측 결과를 보였고, 과업의 완료 시간을 추정하는데 있어서 정확도가 가장 떨어졌으며, 새로운 대안을 생각하는 일에도 저항하는 태도를 보였다. 특이한 일은 중간 정도의 지식을 가지고 있는 일반인이 가장 정확한 예측을 했다. 또 William Morton Wheeler는 개미가 협업 등의 집단생활을 통하여 효율적으로 먹이를 얻고 거대한 개미집을 건설하는 모습 등을 관찰하여, 개체로서는 미미한 존재인 개미가 군집으로서는 상당히 높은 지능 체계를 구성한다고 주장하였다. 100억 개 정도의 뇌 신경 세포를 지닌 인간에 비해 개미 한 마리의 뇌 신경 세포는 수백 개에 불과하지만, 개미들은 ‘집단 두뇌’를 통하여 고도의 지능을 지닌 것처럼 행동한다. 기존의 연구개발 방법론의 패러다임을 바꾸었다고 할 수 있는 집단지성에 의한 연구는 앞으로 경제, 사회, 환경 등 지속 가능 발전에 필요한 문제를 해결하는 데 큰 도움이 될 것이며, 실효성 검증 시 “소수의 전문가 의견보다 다수의 비전문가 의견이 더 정확하다”라는 정의를 도출할 수 있었다.

### 5.2 사용성 평가의 신뢰도 향상

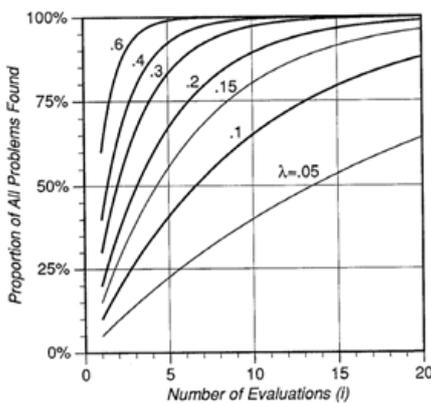
본 연구의 지속가능성 평가를 위한 비교 항목의 우선순위 및 일치성, 연관성을 파악하기 위해서 팀원 델파이 및 AHP 방법론을 사용하였으며, 평가자의 사용성 평가가 신뢰도가 있는지 추가 연구를 진행하였다. 사용성 평가의 표본크기(Sample Size)에 대한 결정의 선행연구를 보면, Lewis(2001)는 사용성 평가를 위해서는 작은 샘플만 필요하다고 주장하였으며, 이는 누적 이항 확률 공식에 의해 사용성 평가 시 샘플 크기의 요구사항을 재정의하였고, 신뢰성과 유효성이 검증되었다. 그림 9에서 보면 Alex Cazanias(2017)은 광범위한 테스트를 수행하는 데 발생하는 비용이 크기 때문에 테스트 수를 줄

이면 성공할 수 있다고 주장하였으며, 사용성의 문제를 발견할 수 있는 샘플 사이즈에 대해서 90% 이상의 경우 12~13명의 사용자가 필요하다고 분석하였다.[18],[19]



[Figure 9] Required Sample Size and Problem Detection Rate (Alax Cazans, 2017)

Jakob Nielsen & Thomas K.Landauer(1993)은 사용성 문제를 발견하는 것에 대한 수학적 모델을 연구 발표하였는데, 다양한 평가 횟수에서 발견된 사용성 문제의 비율을 보여주며, 그림 10과 같이 평가 횟수가 많음이 불필요하다는 것을 보여주었다. 본 연구에서 활용한 평가자(전문가)는 36명으로 신뢰성 확보가 되었음을 반증하게 되었다. [20]



[Figure 10] Ratio of Usability Problem to the number of Evaluations (Jakob Nielsen & Thmas K. Landauer, 1993)

### 5.3 모델의 신뢰성 평가 (정량적 검증)

실효성의 집단지성 고찰과 샘플 사이즈 분석을 통한 사용성 평가를 이용하여 개발 모델의 검증 신뢰성을 확보하였고, 시스템엔지니어링 기술 프로세스를 개발 모델에 적용하여 모바일 산업의 지속가능성에 대한 정량적 검증을 진행하였다.

모바일 산업이 지속하기 위해 필요한 12가지 주요 지표에 대해서 단종 모델과 지속 모델에 적용 후 평가를 실시하였다. 전문가 7명이 팀원 토포이 방식으로 5점 척도를 평가한 결과, 표 12와 같이 단종 모델은 2.32점, 지속 모델은 4.01점으로 평가되었고, 이는 본 연구에서 진행된 국가 지속 가능 보고서와 모바일 산업 간의 부족 항목에 대한 도출을 근거로 하여, 모바일 단종 모델에 적용 시 지속 가능성을 확인하였다.[21]

<Table 12> Application of Design Model to discontinued model vs Sustainable Model

No	주요 평가 지표명	단종 모델	지속 모델
1	초고속 인터넷 가입자 수	2.43	3.86
2	경제 성장률	3.00	4.14
3	국내 총생산	2.86	3.43
4	온라인 신청 가능 민원종류	2.57	4.29
5	1인당 GDP	2.57	4.43
6	고용률	3.00	3.43
7	모바일 앱 유형별 다운로드 현황	2.00	4.43
8	전 세계 모바일 앱 시장 규모	1.86	4.00
9	선진국 스마트폰 사용 점유율	1.86	4.14
10	소득수준과 스마트폰 소유 비율	1.71	3.71
11	전 세계 모바일 게임 소비자 지출 비율	2.00	4.43
12	스마트폰 연간성장률	2.00	3.86
평균		2.32	4.01

### 5.4 SE 기술 프로세스 적용 결과

성공적으로 시스템을 개발하기 위해서는 시스템 수명주기 단계의 모든 이해관계자를 식별하고 이해관계자의 요구사항을 도출하는 게 가장 중요하며, 복잡한 문제의 균형 잡힌 해결책이 되기 위해 다양한 관점 또한 필요하다.

본 연구에서 SE 기술 프로세스를 적용한 결과 표 13과 같은 결과가 도출되었다. 문제 해결 방안 및 기회를 유리하게 활용할 수 있는 유형 도출이 가능했고, 정의된 환경에서 사용자와 다른 이해관계자가 요구하는 능력을 제공할 수 있는 시스템에 대한 이해 당사자 요구사항 정의가 가능한 것 외에 총 9가지의 결과는 고객의 기대를 만족시키고, 수명 주기적 균형 시스템 해결책을 도출하여 발전시키고 지속 가능 시스템의 근간이 될 것이다.

〈Table 13〉 The Results of the application of Technology Process

No	SE 기술 프로세스 적용결과
1	문제 해결 방안 및 기회를 유리하게 활용할 수 있는 유형 도출
2	정의된 환경에서 사용자와 다른 이해 관계자가 요구하는 능력을 제공할 수 있는 시스템에 대한 이해 당사자 요구사항 정의 가능
3	필요한 이해 관계자 요구사항 식별 가능
4	시스템 아키텍처 대안 도출 및 시스템 요구사항을 충족하는 대안을 선택 및 표현 가능
5	대안에 대한 객관적 식별, 특성 파악, 평가하여 가장 유익한 행동 경로 선택 가능
6	아키텍처 개체와 일관된 구현 가능
7	시스템 구성요소를 실현
8	객관적인 증거 제공
9	서비스를 제공하는 능력 확립, 운영, 유지

## 6. 결론

지속가능성은 과학기술과 밀접하게 연결되어 있으며, 미래세대의 필요를 충족시킬 수 있는 가능성을 보존하면서 현재대의 필요를 충족시키는 개발 및 발전이다. 지속 가능한 것은 기술적 가능성, 물리적 가능성으로 정의되며, 역할로는 사회적, 환경적, 경제적으로 구분된다. 선행연구로 지속가능성의 개념, 세계 지속 가능 발전 목표, 국가 지속 가능 발전의 비전 및 전략을 진행하였다. 지속 가능 기술은 결론론 혹은 목적론의 기존 철학적 사고와 지식이 필요하며, 지속가능성 정량적 평가를 뒷받침하기 위해

정성적인 기술철학의 고찰이 필요하게 되었다. 기술 환원주의는 분석적 연구 방법론을 의미하며, 전체를 몇 개의 단순한 요소로 분해해서 그 구성 요소들의 개별적인 성질을 밝히려고 노력하였고, 구조주의는 여러 가지 요소들이 복합적으로 얽혀 있어 해결이 어려운 문제로 시스템 전체를 고려해야 하거나 구체적인 현상보다 그 배후의 현상들을 지배하는 보편적인 구조가 실재한다는 관점에서 볼 때 모바일 산업의 지속 가능 평가를 국가 지속 발전의 지표와 연관성이 있다는 결론을 얻었다. 국가 지속 가능 보고서 지표와 모바일 산업 주요 지표 중심으로 5점 척도의 팀원 델파이 방법론 및 AHP 분석을 통해 시스템의 평가 지표 연관성 분석을 진행하여, 총 12개의 지표를 도출하였으며, 전문가와 비전문가와 비교 분석을 통해 집단지성의 실효성 검증 및 실증분석을 진행하였다. 모바일 단종 모델의 원인 분석을 통해 문제점을 도출한 후 시스템엔지니어링 기술 프로세스 적용의 필요성을 확인하였고, 이는 시스템엔지니어링 기술 프로세스 중 수명주기 동안 이해관계자들의 니즈와 요구사항을 충족 시키는지에 따라 결정하게 되어 있다. 시스템엔지니어링 프로세스를 기반으로 모바일 산업의 지속 가능 평가를 국가 지속 가능 보고서와 연관하여 정량평가를 진행하였다.

개발 모델 검증은 집단지성의 실효성 평가와 사용성 평가를 통해 본 연구의 신뢰성을 확보하였고, 시스템엔지니어링 기술 프로세스를 적용하여 총 9가지의 효과 및 결과가 도출되었다. 개발 모델에 대해서 전문가 평가를 통해 모바일의 단종 모델과 지속 모델에 대입하여 유효성을 확인하였다. 본 연구에서 개발된 지속 가능 평가 모델은 향후 지속 가능 전문가 및 경영 컨설턴트가 사업을 기획, 개발, 운영 시 지속가능성 평가의 기준 제시가 가능하다. 더불어 창업을 준비하거나 신규 프로젝트를 추진하는 기업에서도 국가 지속 가능 지표와 추구하는 아이템 간의 연관성 분석을 통해 고려해야 할 지표와 우선순위 지표가 무엇인지 미리 예측할 수 있다. 본 연구를 통해 도출된 개발 모델은 산업 전 분야에 활용 가능한 장점이 있다.

사 사

본 연구는 금오공과대학교 학술 연구비 (202002180001)로 지원 되었음.

References

1. Our Common Future Report (1987), World Commission on Environment and Development (WCED)
2. S. J. Kim & W. C. Cha (2021), A Study of Human System Integration Methodology For the Mobile Industry Sustainability System Evaluation Model Design, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, v17 No1, p43-52
3. S. J. Kim & W. C. Cha (2020), A Study of Human System Integration Methodology Proposal For the Mobile Industry Sustainability System Evaluation Model Design, Systems Engineering for Korean New Deal (2020 Autumn Symposium), Journal of the Korea Society of Systems Engineering, p130
4. LEED (2011) Green Associate Study Guide, GBES, p17
5. W. C. Cha (2013). A Study of Systems Engineering Process Model For the Cognitive Interface Design Process, Cognitive System, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, v9 No2, p15-22
6. Sustainable Development Goals (2015), the 70th UN General Assembly, UN-SDGs.
7. National Sustainable Development Goals (2020), 4th Master Plan for Sustainable Development, K-SDGs
8. Heil (2004), Multiple Realization and the Metaphysics of Reduction, Philosophy of Mind : a Guide and anthology, Oxford University Press
9. Kaeppler, L. Adrience (1985), Structured Movement Systems in Tonga, Paul Spencer(Eds), Society and the Dance, NewYorkL: Cambridge UP
10. Waldron, J.S.(1971), The Delphi Process : Some Assumptions and some Realities, AERA
11. W. C. Cha & S. P Jang (2004), The Selection of Human factors Evaluation Criteria for Information Display on VDT using AHP, Journal of society of Korea industrial and systems Engineering, v27 no1, p 109-120
12. Systems Engineering Handbook (2018), Acquisition Program Administration
13. W. C. Cha (2011), Environment Design for Digitalized Main Control Room in Nuclear Power Plant, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, v7 no2, p1-5
14. W. C. Cha (2010), Anthropometric Data Collection for MCR Environment Design of Nuclear Power Plant, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, v6 no1, p47-52
15. W. C. Cha & D. W. Na (2010), System Analysis Study of Public Transit Transfer System, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, v6 no2, p15-20
16. S. C. Yoon & S. H. S (2014), Characteristics Analysis of Sustainable Manufacturing System and V&V Strategy, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, v10 no2, p51-58
17. INCOSE (2015). Systems Engineering Handbook, 4th Edition, Edited by T. M. S.

- David D. Walden, Garry J. Roedler, Kevin J. Forberg, R. Douglas Hamelin, Hoboken, New Jersey
18. Carl W Turner, James R. Lweis, Jakob Nielsen (2006), Determining Usability Test Sample Size, International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, 2nd Edition, V3
19. Alex Cazanias, Andre de San Miguel(2017), Estimating Sample Size for Usability Testing, University of Queensland
20. Jakob Nielsen and Thomas K.Landauer (1993), A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems, INTERCHI' 93, p24-29
21. B. S. Byun (2020). System Concept Development Methodology for Company Survival, Book Lab p.33-44