

초중등 공학교육 강화 방안

김기수 교수

충남대학교

e-mail : kksoo@cnu.ac.kr

STEAM과 공학교육

(STEAM and Engineering Education)

김기수(충남대학교)

I. 공학이란?

1. 공학의 기원과 발전

공학은 기원전 3,000년경에 나일과 메소포타미아 계곡에서의 건축가들의 작업에서 시작되었다고 보인다. 특히 고대 이집트는 구리를 사용해서 여러 가지 도구를 만들었으며 안료제, 유리, 시멘트 등을 생산하는 등 실용적 기술의 어머니라고 불리는 문명을 발달시켰다. 로마 시대에는 로마 건설 및 로마 문명을 전파하는데 공학(Engineering)을 사용하였다.

중세에는 장인의 시대로 경험을 중시하였으며, 중세 후기에는 기술적인 발전이 성취되었으나 근대과학은 아직 태동되기 전이었다. 또한 고딕 성당, 화약, 대포 주조, 물레방아와 풍차의 대량 보급이 이루어졌으며, 이 시대에 엔지니어(engineer)란 명칭이 처음 사용되었다.

과학 혁명시대를 맞아 근대 과학이 탄생되어 과학의 선구자들은 수학, 천문학, 물리학 분야에 연구를 집중했으나, 이 지식의 실제적 적용에는 관심이 없었다.

근대 공학은 18세기에 탄생되었으며, 프랑스 토목학교에서 군대 공병(military engineers)을 교육하였다. 이 시기까지 공학 기술과 발전의 특징은 과학에 의존한 것이 아니고 자신의 지식 영역을 보유하고 있었다는 것이다. 또한 19세기 전반부에는 민간 엔지니어(civil engineer)가 기존의 군사 엔지니어(military engineer)에 반대되는 개념으로 생겨났으며, 현장에서의 경험과 숙련을 강조해서, 작업장에서 훈련을 받아서 지식을 축적했다. 그리고 19세기 중엽 이후에 들어와서 과학적 훈련과 실험실 교육의 중요성이 강조되기 시작하였다.

제 2차 세계대전 이후부터 공학에서 과학지식을 응용하는 비중이 커졌으며, 이 분야를 공학학문(engineering science)이라고 부르게 되었다. 따라서 오늘날에는 공학을 공학학문

(engineering science)과 공학설계(engineering design)로 구분하고 있다(이경우, 김병재, 이태희, 황농문, 한송엽, 2009).

2. 공학의 어원 유래

공학(工學, Engineering)의 유래는 'engine'과 'ingenious'로 '창조하다'는 뜻과 동일한 라틴어 'ingenerare'이다. 초기의 영어 동사 'engine'은 '발명하다'를 의미했다. 따라서 군사용 발명(engine)은 투석기(投石器), 부교(浮橋), 공격용 탑과 같은 장치였다. 이러한 것들을 고안하는 사람들은 엔지니어(engineer) 또는 군사공학자(military engineer)들이었다. 이와 대응되는 사람들은 토목 공학자였으며, 이들은 똑같은 지식과 기술을 구조물, 도로, 상수도(上水道), 하수처리시설 그리고 민간인에게 도움이 되는 여러 가지의 공사에 적용했다(브리테니카, 2011). 한자어 공학(工學)에서 공(工)은 장인, 기교, 솜씨, 일, 기능, 공업 등의 뜻을 가지고 있고 학(學)은 배우다, 공부하다, 가르치다 등의 뜻을 가지고 있다. 따라서 공학은 한자어 뜻풀이에 따라 공업(工業)에 관한 것을 연구하는 학문이라고 정의할 수 있다.

3. 공학의 정의

공학에 대한 국내·외의 많은 기관, 연구자, 사전의 개념을 정리하면 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 공학에 대한 정의

정의	출처
인류의 이익을 위한 연구, 경험, 실무에서 얻어진 판단력과 자연 과학의 지식, 재료와 자연의 힘을 경제적으로 이용 하는 방법을 찾아내는 분야	미국공학교육인증위원회 (ABET, 1997)
제약 하에서의 설계(Design under constraint)	Wulf(1998)
인간사회를 풍요롭게 하기 위해 자연과학적 원리와 방법을 실생활에 적용하는 학문	한국공학교육인증원 (ABEEK, 2005)
과학의 적용, 통제 가능한 계획	미국공학한림원(NAE)(강창욱, 2005, 재인용)
구조물, 기계, 장치, 공정 과정을 설계하기 위해 과학적 원리를 적용하는 것 또는 구조물, 기계, 장치, 공정 과정을 독립적으로나 복합적으로 사용하여 일하는 것 또는 설계에 대한 완벽한 인지를 바탕으로 제작하거나 운영하는 것 또는 특정한 운용 조건 하에 이들의 거동을 예측하는 것이며 이 모든 경우에 있어 의도한 기능, 동작의 경제성, 생명과 재산의 안전성에 관한 것들이 포함됨	미국 전문 직업 공학자 위원회(Engineering Council for Professional Development in the United State)(김기수, 이창훈, 2006 재인용)
과학적 지식과 기술적 수단, 그리고 인간의 지성과 감성을 총동원하여 가장 경제적인 방법으로 현실 사회가 요구하는 문제를 해결하는 종합 학문	이창훈(2007)
자연세계의 산물을 인간에게 유용하게 변환시키기 위하여 과학적 원리와 기술적 방법을 응용하여 제품과 공정을 설계하고 개발하는 학문	문대영(2008)
인류의 더 나은 삶을 위하여 연구, 경험 등에서 얻어진 수학과 자연 과학의 지식을 토대로 재료와 물질을 이용하여 인간이 직면하고 있는 현실적인 문제를 풀어 나가는 종합학문으로써 문제 해결의 최종단계	배선아(2009)
공업의 이론, 기술, 생산 따위를 체계적으로 연구하는 학문	국립국어원 표준국어대사전 (2011)
인류의 이익을 위해서 과학적 원리, 지식, 도구를 활용하여 새로운 제품, 도구 등을 만드는 것	위키백과사전(2011)
천연자원을 인간에게 이익이 되도록 최적으로 바꾸기 위해 과학을 응용한 학문	브리태니카 사전(2011)
기술학, 과학, 수학의 학문을 토대로 공업, 예술, 인문학 등의 모든 분야에 융합, 응용되어 인간의 삶을 보다 효율적이고 만족스럽게 변화시키는 경제적인 방법을 연구하는 학문	김영민(2012)

4. 공학의 핵심 개념, 기능, 성질

미국의 National Academy of Engineering에서는 2010년 'Standards for K-12 Engineering Education?'라는 연구에서 K-12 교육을 위한 핵심 공학 개념, 기능, 성질(Core Engineering Concepts, Skills, Dispositions for K-12 Education)을 관련된 여러 연구를 분석하여 〈표 2〉와 같이 추출하였다.

〈표 2〉 K-12 교육을 위한 핵심 공학 개념, 기능, 성질

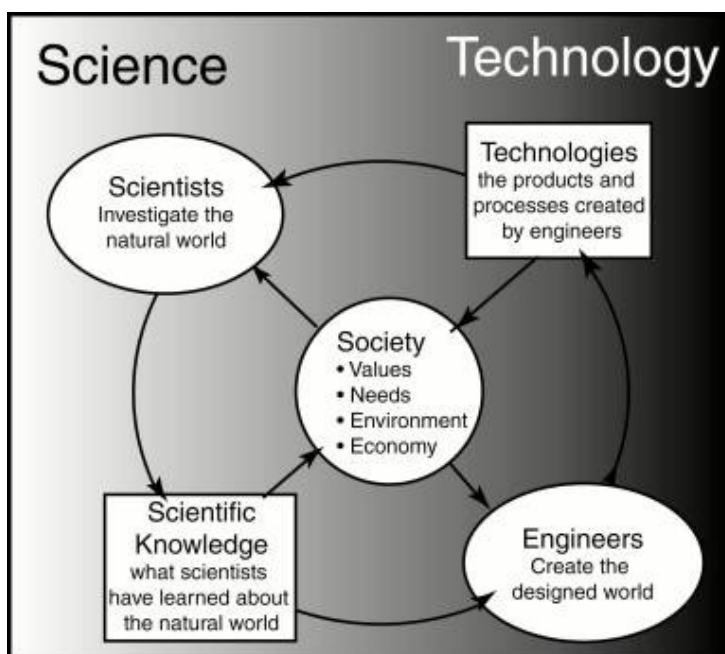
Source	Hacker et al. (2009)	Custer et al. (2009)	NAE and NRC, (2009)	ASEE CMC (2008)	Childress and Sanders (2007)	Childress and Rhodes (2008)	Sneider (2006)	Koehler et al. (2005)	계
연구방법	국제 델파이 조사	문헌고찰, 포커스 그룹	합의 연구	전문가 면담	문헌고찰	포커스 그룹, 수정 델파이 조사	문헌고찰, 교육과정 개발경험		
설계	√	√	√	√	√	√	√	√	8
과학, 수학, 기술과의 연계			√	√	√	√	√	√	6
공학과 사회	√			√	√		√	√	5
제약 조건		√			√	√	√	√	5
의사소통			√	√	√	√		√	5
체계/ 체계적 사고	√	√	√				√		4
모델링	√	√	√			√			4
최적화	√	√				√		√	4
분석		√	√			√		√	4
협동/팀워크			√		√		√		3
창의성			√		√	√			3
기술에 대한 심화된 지식	√						√	√	3
공학의 본질				√			√		2
시제품화		√						√	2
실험		√				√			2
시각화		√				√			2
기술의 이용, 관리, 평가						√	√		2
균형	√	√							2
윤리학			√		√				2
재료, 자원, 기능성, 설계명세서, 지속가능성, 발명, 효율성, 직업 선택으로서의 공학 이해, 현재 이슈에 대한 이해, 계획과 관리 기술, 의사 결정, 리더십, 낙관주의									1

출처 : NAE(2010b)

K-12 공학교육 관련 논문 연구 방법은 상이하였으나, 8개의 모든 논문들은 ‘설계하기(doing design)’ 또는 ‘설계 이해(understanding design)’를 공학에서 중요 개념(big idea)으로 확인하였다. 이것은 유일하게 모두에게 인정된 개념 또는 기능이다. ‘공학과 과학, 기술, 수학 사이에 연계하기(Making connections between engineering and science, technology, and mathematics)’가 8개의 논문 중에서 6개의 논문과 높은 관련이 있었다. ‘제한조건/제약(constraints)’은 5개의 논문에서 핵심 개념으로 구분되었고, 또한 5개의 논문에서 ‘공학과 사회의 관계(relationship between engineering and society)’ 이해가 중요하다고 하였으며, 5개의 논문에서 ‘의사소통(communication)’을 핵심 기능으로 확인하였다. 4개의 논문에서 ‘체계, 체계적사고(systems & system thinking)’가 중요한 개념 또는 기능으로 확인하였다. ‘최적화(optimization)’, ‘모델링(modeling)’, ‘분석(analysis)’이 공학 설계에서 중요한 개념과 실습으로 4개의 논문에서 확인되었다(NAE, 2010b).

5. 공학, 과학, 기술

많은 연구자들이 공학, 과학, 기술의 정의나 특성 등을 이용하여 이들간의 관계를 나타냈다. [그림 1]은 Engineering is Elementary에서 과학, 공학, 기술이 어떤 차이가 있고 어떻게 서로 연관되는지에 대해 나타낸 것이다.



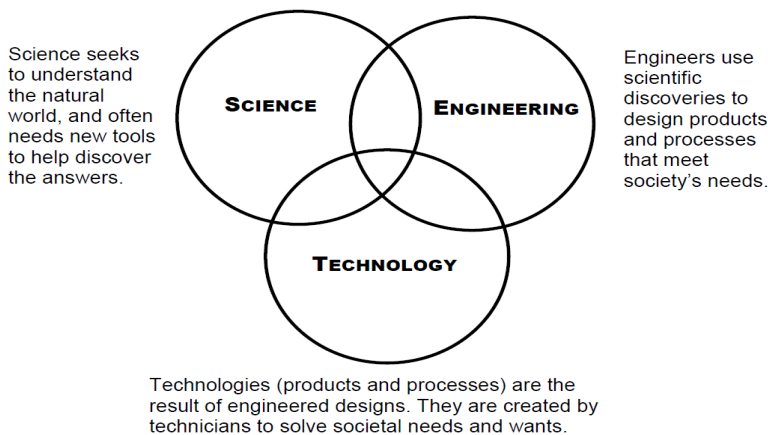
〈그림 1〉 과학, 공학, 기술의 관계

〈표 3〉 과학, 공학, 기술의 관계

구분	내용
과학	<ul style="list-style-type: none"> • 지식의 형태 • 자연의 세계와 물리적 속성을 이해하고 설명하려는 노력 • 과학적 지식은 예측에 사용될 수 있음. • 과학은 지식을 생산하기 위해 과학적 도구를 사용함.
공학	<ul style="list-style-type: none"> • 제한 조건하에 설계 • 사회적 문제나 필요를 위한 해결책 찾기 • 주어진 자원과 제한에서 최상의 해결책을 찾는 것을 목적으로 함. • 공학은 공학 설계 과정을 이용하여 해결책과 기술을 생산함.
기술	<ul style="list-style-type: none"> • 공학으로부터 산출된 지식, 시스템, 과정, 인공물의 형태 • 필요나 욕구를 해결하기 위해 인간에 의해 만들어진 거의 모든 것들 • 기술의 예로는 연필, 신발, 핸드폰과 물의 치수 과정 등이 있음.

실세계에서 이러한 분야들은 서로 긴밀히 연결되어 있다. 과학자들은 그들의 연구를 위해 공학자들이 만들어낸 기술을 사용한다. 반대로 공학자들은 종종 그들이 창조한 기술의 설계를 위해 알리기 위해 과학자들이 개발한 지식을 이용한다. 과학, 공학, 기술들은 모두 큰 사회적 상황 속에서 과학과 공학이 할 일을 결정한다. 인간의 가치, 욕구, 문제들은 과학자가 무엇을 연구해야하는지와 공학자들이 어떤 문제를 해결해야 하는지에 대한 큰 부분을 차지한다. 반대로 과학과 공학의 기술적 산출물들은 사회에 영향을 주고 인간의 문화를 변화시킨다 (http://www.mos.org/eie/science_engineering.php).

The Relationships Among Science, Engineering, and Technology



〈그림 2〉 과학, 공학, 기술 간의 관계(Massachusetts Science and technology&engineering curriculum framework, 2006)

공학을 정규교육과정에 포함시켜 운영하고 있는 미국의 Massachusetts주(州)에서는 Science and Technology/Engineering Curriculum Framework(2006)상에 [그림 2]와 같이 과학, 공학, 기술 간의 관계를 나타냈다.

빈센트(1990)는 공학이라는 용어가 과학이나 기술과 혼동되어 사용되기도 하지만 이들은 차이가 있다고 하였다. 과학, 공학, 기술은 모두 사회 문화적 상황에 의해 영향을 받으므로, 이 들을 구별해서 이해하거나 정의하는 것이 단순한 일은 아니지만, 구분해서 아래와 같이 간략히 정의하고 비교하였다. 공학(engineering)은 “자연, 인간, 사회, 인조물 등 제반 대상과 주변 환경이 복합적으로 작용하여 만들어진 문제에 대한 합리적이고 일반성 있는 해결 방법을 탐구하고 활용하려는 학문, 더 높고 더 큰 가치를 창출하는 인간의 경제적 활동을 다루는 기본 학문, 복지(부가가치) 창출에 관련되는 제반 학문 체계, 과학적 지식과 기술적 수단을 이용하여 가장 경제적인 방법으로 인간의 욕구를 충족시키는 체계적인 학문”이라고 정의하였다. 과학(science)은 “객관적이고 합리적인 방법으로 인간, 자연 또는 사회의 현상을 이해하고 통제하려는 학문, 체계적이고 합리적인 방법을 이용하여 자연이나 자연현상을 대상으로 원리나 법칙을 탐구하는 과정 또는 그 과정에서 얻어진 지식”이라고 정의하였다. “기술(technology)은 과학과 독립적으로 존재하며, 지적 호기심보다 실질적 유용성을 우선적으로 추구하고, 가설 연역적 방법을 사용하고, 검증과정보다 실현 과정을 중요시하여 자연, 인조물 또는 서비스를 변형, 생산하는 활동 또는 수단”이라고 정의하였다.

과학과 공학을 비교하면, 공학은 제품을 생산하여야 하기 때문에 경제성을 고려하여야 하고 그 제품이 우리 사회에 미치는 영향도 고려한다는 점에서 차별된다.

공학자와 과학자의 역할을 비교하여 보면 아래 표와 같다. 미국 공학교육인증원에서는 공학자를 “A professional who was a knowledge of advanced mathematics natural sciences gained by higher education, experience, and practice and is devoted primarily to the creation of new technology for the benefit of humanity”라고 정의하였다.

〈표 4〉 공학자와 과학자의 역할 비교

공학자	과학자
<ul style="list-style-type: none"> • 없었던 것을 창조 	<ul style="list-style-type: none"> • 무엇인가를 탐구
<ul style="list-style-type: none"> • 현실 적용을 지향함. 	<ul style="list-style-type: none"> • 과학적 지식 획득을 지향
<ul style="list-style-type: none"> • 문제해결 방법 또는 개선된 방법을 추구 	<ul style="list-style-type: none"> • 현상을 연구하며, 원인에 대한 해답을 추구
<ul style="list-style-type: none"> • 현실 사회에 적용함을 목표로 하므로, 윤리적인 문제와 사회적 또는 법적 책임을 저야 할 상황을 대비해야 함. 	<ul style="list-style-type: none"> • 자연을 대상으로 한 탐구를 목적으로 하므로 윤리적인 문제가 별로 없음
<ul style="list-style-type: none"> • 인류의 축적된 지식을 특정 상황에 적용하여 제품과 서비스를 생산 • 지식은 그 자체가 목적이 아님 - 구조물, 시스템, 제품 및 서비스를 생산하는 기초 자료가 됨. 	<ul style="list-style-type: none"> • 인류의 축적된 체계적인 지식에 새로운 지식을 추가하고, 보편적인 자연 법칙을 발견

과학자(Scientist)는 주변에서 발생하는 자연 현상에 대한 지식자체를 연구의 목표로 삼는다. 과학자는 새로운 지식을 탐구할 때 다음과 같은 체계적인 방법과 단계로 연구 활동을 한다.

- ① 자연 현상을 설명하기 위해 가설을 정립한다.
- ② 가설을 테스트하기 위해 실험을 구상하고 실행한다.
- ③ 결과를 분석하고, 결론을 도출한다.
- ④ 실험 결과를 가설과 부합하면 가설을 과학적 이론으로 정립한다.
- ⑤ 새로운 이론과 지식을 발표한다.

과학자는 개방적이고 탐구적인 성향을 갖는다. 비록 과학자의 근본 연구 목적이 자연 현상에 대한 새로운 지식을 얻는 것이긴 하지만 많은 과학자들이 자신의 아이디어를 응용해서 새로운 창조물을 개발하는 데 관여한다. 과학자와 공학자를 구분하는 방법은 매우 단순하다. 과학자는 자연현상에 대해 좀 더 이해하기 위해 연구하는 사람을 말하고, 공학자는 과학적 순수이론과 지식을 바탕으로 유용한 물건을 만드는 사람을 말한다.

공학자(engineer)는 분석과 설계의 원리를 통해 수학, 자연과학과 같은 과학적 지식을 문제 해결과 장치, 프로세스, 구조 및 모든 인간에게 유용하게 하기 위한 시스템을 개발하는 데 적용한다. 공학자와 과학자 모두 수학 및 과학교육을 받지만, 과학자는 자연 현상에 대한 새로운 지식을 얻기 위해 지금까지 배운 과학적 지식을 이용하는 반면, 공학자는 이러한 지식을 응용하여 사용 가능한 장치와 구조, 프로세스를 설계하고 개발한다.

공학과 과학은 상호 의존적인 관계가 된다. 일반적으로 인간의 이익을 위해 개발하는 모든 장치에 대한 아이디어는 모두 과학에서부터 시작된다고 생각할 수 있으나 거꾸로 공학에 의해 개발된 시스템에서 발생한 과학적 발견도 있다. 예를 들어 열역학은 공학자가 발명한 증기기관(steam engine)을 공부한 물리학자에 의해 개발되었는데, 증기기관을 개발할 당시에는 과학적 지식이 크게 작용하지 않았다. 과학적 지식이 공학적 개발로 이어지는 한 예로 과학자에 의해 발견된 핵분열의 원리를 핵발전소와 핵반응이 필요한 모든 장치 및 시스템을 개발하는 데 적용한 것을 들 수 있다.

이와 같이 과학자와 공학자의 역할이 일정 부분 겹쳐서 정확하게 구분하기 쉽지 않은 경우도 있지만 광범위한 의미에서 공학자를 과학자와 구분할 수 있다. 공학자는 주어진 문제를 해결하기 위해 연구 활동을 하고 과학자는 자연 현상을 탐구하기 위해 연구 활동을 한다. 즉, 공학자가 계산기를 개발하는 연구 활동의 목적은 손으로 하는 계산보다 빠르고 정확하게 계산하기 위한 것 이지만 과학자가 만유인력을 연구하는 것은 유용한 물건을 만들기 위한 것이 목적은 아니라는 것이다.

〈표 5〉 과학자, 공학자, 기술자 비교

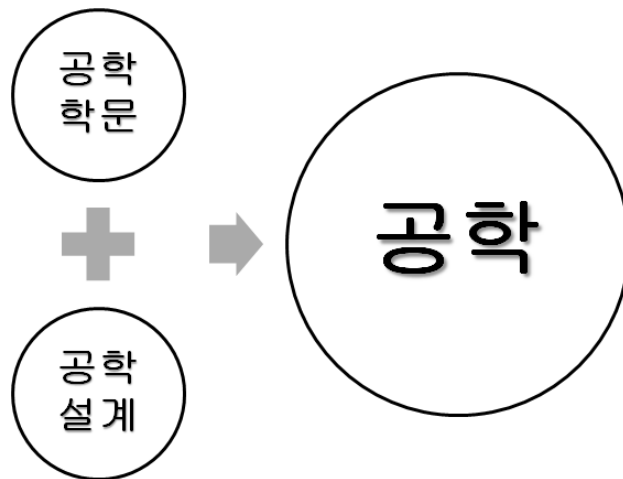
구분	과학자	공학자	기술자
역할	자연 현상을 관찰하며, 과학적 지식을 탐구함	과학적 순수이론과 지식을 바탕으로 유용한 물건을 개발함.	공학자 또는 설계자가 설계한 대로 기술을 적용하여 제작함.
성향	자연 현상을 이해하기 위해 개방적이며 탐구적임	기술적인 요소뿐만 아니라 경제성 등 현실적인 제한 요소를 고려해서 과학적인 순수이론을 적용시킴.	제품 개발에 적용되는 이론적 배경에 대한 지식은 많지 않으나 설계를 구현하는데 필요한 경험적 기술에 숙련되어 있음
예시	새를 탐구하여, 새는 유선형 날개로 공기 저항을 최소화하고 공기 흐름을 조절하며 날개를 이용해 추진력을 얻는다는 사실을 알아냄.	새가 하늘을 나는 원리를 적용해서 비행기의 날개를 설계함	공학자 또는 설계자가 설계한 비행기의 날개를 제작함.

기술자(technician)는 이론적인 원리를 바탕으로 작업장에서 실제로 적용되는 기술에 익숙한 사람이다. 특정 분야에 숙련된 기술자는 이론과 기술적인 실무 사이에서 중간 정도의 지식을 갖는다. 따라서 기술자는 해당 기술 분야에서는 일반 비전문가나 때로는 해당 기술 분야에 종사하는 사람들보다 조예가 더 깊다. 예를 들어 음향기술자는 음향공학자와 같이 음향학에 대해서 배운 적은 없지만 음향기기를 다루는 데에는 더 숙련되어 있으며, 음악가와 같이 스튜디오에서 작업하는 사람보다도 음향에 대해서 더 많은 지식을 갖고 있다(노승환 외, 2012).

II. 공학과 STEAM

1. 공학 내용 구성

공학에서 과학지식을 응용하는 비중이 커짐에 따라 현재는 공학을 [그림 3]과 같이 공학학문(Engineering Science)와 공학설계(Engineering Design)로 구분하고 있다(이경우 외, 2009).



〈그림 3〉 공학의 내용 구성

공학을 전문적으로 가르치는 공과대학의 교육과정을 분석해 보면 공학이 공학학문과 공학설계로 구성된다는 점이 좀 더 명확하게 나타난다.

공과대학의 공학교육과정을 분석하기 전에 공학교육인증제에 대해 이해가 필요하다. 공학교육인증제는 한국공학교육인증원(ABEEK: Accreditation Board for Engineering Education of Korea)에서 [그림 4]와 같은 목적으로 공과대학의 공학 및 관련 교육을 위한 교육 프로그램 기준과 지침을 제시하고, 이를 통해 인증 및 자문을 시행함으로써 공학 교육의 발전을 촉진하고 실력을 갖춘 공학 기술 인력을 배출하는데 기여하고자 한다. 우리나라는 2007년 6월, 세계 각국의 공학교육의 등가성을 서로 인정하기 위한 협약체인 워싱턴어코드(Washington Accord)에 정회원국으로 가입하였고, 2012년 10월까지 총 95개 대학 609개 프로그램이 인증을 받았다. 21세기 고도 경쟁의 지식기반 기술사회에서 국가적 생존과 직결되는 공학 분야의 인증 시스템의 국제 상호 인정에 대한 중요성은 엔지니어 자격의 국제적 통용성 확보를 필요로 하는 시대적 흐름을 감안할 때 절대적 요구사항이라 할 수 있다. EMF(Engineers Mobility

Forum)에서는 ‘워싱턴어코드에서 인정한 교육, 또는 이와 동등한 질이 보증된 교육을 받았을 것’을 국제기술사제도의 기술사 표준자격요건의 첫 번째로 규정하고 있다. 워싱턴 어코드는 미국, 영국, 호주, 캐나다, 뉴질랜드, 아일랜드 6개 국가의 공학교육프로그램 (Professional engineering degree program)의 인증을 담당하는 기관들끼리 서로 공학교육의 ‘Substantial Equivalency’를 보장하기 위한 ‘Mutual recognition’으로 1989년에 맺은 협약이다. 1995년 홍콩, 1999년 남아프리카공화국, 2005년 일본, 2006년 싱가포르, 2007년 대만과 우리나라, 2009년 말레이시아, 2011년 터키, 2012년 러시아의 가입으로 현재 15개 정회원국이 있고 방글라데시, 독일, 스리랑카, 인도, 파키스탄, 러시아 5개의 준회원국이 있다(한국공학교육인증원, 2012).



〈그림 4〉 공학교육인증의 목적(한국공학교육인증원, 2012)

공학교육인증기준2005(KEC2005)에서는 공학교육 프로그램이 〈표 6〉과 같은 학습성과를 포함하여야 한다고 기준을 제시하였다.

〈표 6〉 공학교육 프로그램 학습성과 기준(한국공학교육인증원, 2012)

- (1) 수학, 기초과학, 공학의 지식과 정보기술을 응용할 수 있는 능력
- (2) 자료를 이해하고 분석할 수 있는 능력 및 실험을 계획하고 수행할 수 있는 능력
- (3) 현실적 제한조건을 반영하여 시스템, 구성 요소, 공정을 설계할 수 있는 능력
- (4) 공학 문제들을 인식하며, 이를 공식화하고 해결할 수 있는 능력
- (5) 공학 실무에 필요한 기술, 방법, 도구들을 사용할 수 있는 능력
- (6) 복합 학제적 팀의 한 구성원으로서 역할을 수행할 수 있는 능력
- (7) 효과적으로 의사소통을 할 수 있는 능력
- (8) 평생학습의 필요성을 인식하고 이에 능동적으로 참여할 수 있는 능력
- (9) 공학적 해결방안이 세계적, 경제적, 환경적, 사회적 상황에 미치는 영향을 이해할 수 있는 폭넓은 지식
- (10) 시사적 논점들에 대한 기본 지식
- (11) 직업적 책임과 윤리적 책임에 대한 인식
- (12) 세계문화에 대한 이해와 국제적으로 협동할 수 있는 능력

교과영역의 인증 기준으로는 수학, 기초과학 및 전산학 교과목을 합하여 30점 이상으로 구성할 것과 전공 교과목은 설계 교육과정(기초설계와 종합설계 등이 포함)을 포함하여 54학점 이상으로 하도록 하였다.

[그림 5]는 공학교육인증제를 실시하고 있는 4년제 대학교의 기계공학과의 교육과정이다. 전제 졸업 학점은 130점이고, 115점의 전공 관련 최소학점(인증필수)을 이수하여야 하고 나머지 학점은 영어나 교양관련 교과를 자유롭게 이수하도록 하고 있다. 특히, MSC(Mathematics, Science, Computer)는 기초소양 과목으로 수학, 과학, 전산과 같은 교과를 의미하며 저학년부터 필수적으로 이수하도록 하고 있다.

학년	1학년		2학년		3학년		4학년		최소 이수 학점		
이수 구분	교과목	1	2	교과목	1	2	교과목	1		2	
교양	전문 교양	공학입문 공학윤리	3	3	공학경영 공학도를위한 세계문화	3	3	공학논문작성과 발표 공학법제	3	3	18
	MSC	수학1 기초물리학1 기초물리학실험1 화학	3 3 1 3								17
전공	MSC	수학2 기초물리학2 기초물리학실험2	3 3 1								
	전공 주제	컴퓨터언어 역학개론	2 3	공학수학1 공학수학2	3 3	수치해석	3				14
		미래설계상담1 미래설계상담2 창의설계입문	P P 2(2)	미래설계상담3 미래설계상담4 기계공작법 열역학 고체역학 기계재료학 전기전자공학개론 컴퓨터응용기초설계	P P 3 3 3 3 3 3(1)	미래설계상담5 미래설계상담6 현장실습 정밀공학 기계진동학 기계요소설계 CNC가공 및 실습 열전달 응용유체역학 자동화기구가상설계	P P P 3 3 3(1) 3 3(2)	미래설계상담7 미래설계상담8 졸업논문 자동제어 로봇시스템 에너지시스템 열유체실험 공기조화 최적설계 중합설계 유공압공학 응용자동제어 환경과 에너지 추진공학 생산자동화 컴퓨터응용생산공학	P P P 3 3(1) 2 3 3(1) 3(3) 3 3 3 3 3 3(1) 3(3) 3(3) 3(3)	3 3 3 3 3(1) 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	66 (12)

〈그림 5〉 공과대학 기계공학과의 교육과정(충남대학교, 2012)

가. 공학학문(Engineering Science)

공학학문은 새로운 기술을 개발하는 기초학문으로 전자기학, 열역학, 고체역학, 재료과학, 시스템 이론과 같은 분야의 학문을 의미한다(이경우 외, 2009). 공학학문은 공학설계에 필요하지만 아직 과학자들이 연구를 통해 만들어 내지 못한 이론과 원리 등을 공학자들이 직접적 연구를 통해 관련 지식을 바탕으로 과학적 지식을 만들어 내는 것을 의미한다.

나. 공학설계(Engineering Design)

공학설계는 공학학문의 지식을 바탕으로 우리가 필요로 하는 제품을 계획 또는 고안해가는 과정이다. 미국의 공학교육인증원에서는 공학설계를 "Engineering design is the process of devising a system, component, or process to meet desired needs. It is a decision making

process(after iterative), in which the basic sciences, mathematics, engineering sciences are applied to convert resources optimally to meet a stated objective"라고 정의하였다.

공학 설계의 과정을 요약하면 [그림 6]과 같다.

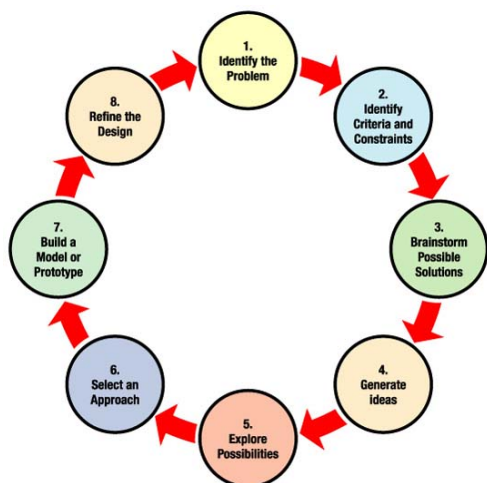
현대적인 공학은 설계, 구성(또는 생산), 작동이라는 세가지 성분이 있다. 설계는 인조물이 만들어지는 계획과정(회로, 설계도 등)을 지칭하며, 공학적 지식의 중심적인 부분으로 간주된다. 구성(또는 생산)은 계획들이 구체적 인조물로 변환되는 과정을 지칭한다. 작동(operation)은 의도된 필요를 충족하기 위해 구성된 인조물의 사용 과정을 다룬다. 설계, 구성, 작동의 사례를 항공기라는 대상으로 보



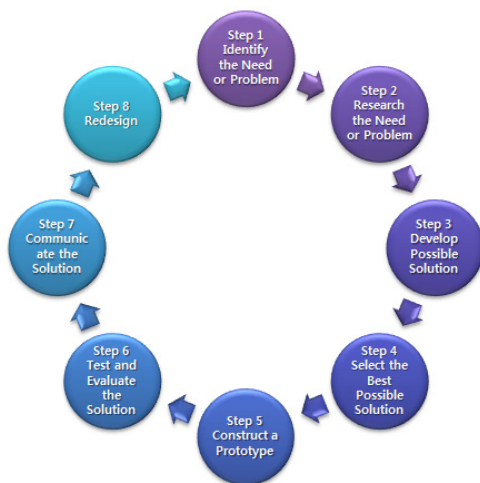
(그림 6) 공학설계의 기본적 과정

면, 항공기 설계과정, 항공기 제조/제작과정, 제작된 항공기의 조종 및 유지 보수 과정이 될 것이다(이경우 외, 2009).

미국의 NASA(National Aeronautics and Space Administration)와 Massachusetts주(州)에서는 K-12 수준에서의 공학설계과정(Engineering Design Process)을 [그림 7], [그림 8]과 같이 나타냈다.



〈그림 7〉 공학 설계 과정(NASA, 2012)



〈그림 16〉 Step of the Engineering Design Process(Massachusetts, 2006)

NASA(2012)에서는 공학설계과정을 총 8단계로 나누었고, 그 세부 단계는 다음과 같다.

- ① 문제 확인하기
- ② 조건과 평가기준 확인하기
- ③ 가능한 해결책에 대한 브레인스토밍 하기
- ④ 아이디어 만들기
- ⑤ 가능성 탐색하기
- ⑥ 최상의 접근법 선택하기
- ⑦ 모델이나 시제품 만들기
- ⑧ 설계 다듬기

Massachusetts주(州)에서도 Science and Technology/Engineering Curriculum Framework(2006)에 공학설계과정을 아래와 같이 총 8단계로 나누어 제시하였다.

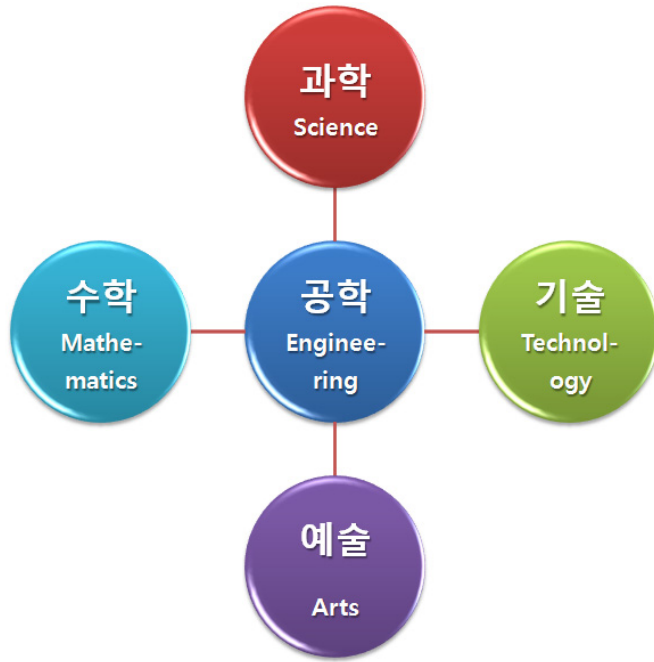
- ① 문제나 필요 확인하기
- ② 문제나 필요 연구하기
 - 현재의 문제 상황이나 해결책 조사하기
 - 면담, 도서관, 인터넷을 통해 다른 선택 탐색하기
- ③ 가능한 해결책 개발하기
 - 가능한 해결책 브레인스토밍 하기
 - 수학과 과학에서 끌어내기
 - 가능한 해결책을 2차원과 3차원에 명확히 나타내기
 - 가능한 해결책 정제하기
- ④ 최상의 가능한 해결책 선택하기
 - 어떤 해결책이 원천적인 필요와 문제를 가장 잘 해결하는지 결정하기
- ⑤ 시제품 만들기
 - 선택된 해결책의 2차원과 3차원 모델 만들기
- ⑥ 해결책 시험 및 평가하기
 - 잘 작동하는지
 - 설계 조건을 맞추고 있는지
- ⑦ 해결책 의사소통하기
 - 초기의 필요나 문제에 해결책이 얼마나 잘 맞는지에 대한 발표하기
 - 해결책의 사회적 영향과 상충관계 토론하기
- ⑧ 재설계하기
 - 시험과 발표 과정에서 모아진 정보 바탕으로 해결책 검사하기

2. 공학과 STEAM의 관계

공학을 구성하는 공학학문과 공학설계를 STEAM과의 관계를 분석하여 보았다.

공학학문과 STEAM의 관계를 보면 지금까지 고찰해온 것과 같이 공학의 정의, 공학 교육 관련 연구, 공학교육인증기준과 공과대학의 실제 교육과정들이 일관적으로 공학의 학문 내용으로 과학(Science), 수학(Mathematics), 기술(Technology), 예술(Arts)의 지식을 강조하고 이들

지식간의 융합을 중요하게 다루고 있었다. 특히 공학은 과학, 기술과는 매우 밀접한 관계를 가지고 서로간의 매우 큰 영향을 미치고 발전해 가고 있다. 현대의 공학은 과학과 기술의 상호작용이 풍부해지고, 과학과 기술을 서로 연결시키며, 과학적 지식을 받아들여 변형을 시킨다. 그러므로 공학은 자신이 스스로 만들어낸 고유의 독자적인 지식체계를 갖고 있는 종합적인 학문이다(이경우 외, 2009).



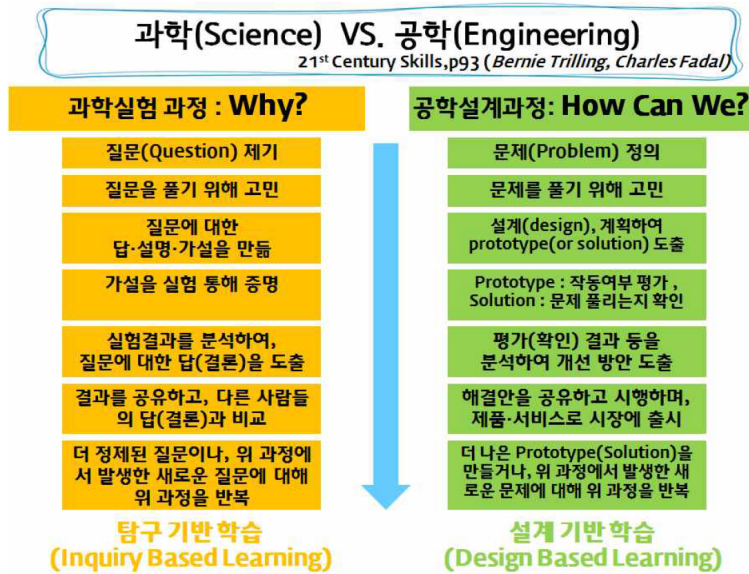
〈그림 9〉 공학과 과학, 기술, 수학, 예술의 관계

‘융합인재교육(STEAM) 실행방향 정립을 위한 기초연구(한국과학창의재단, 2012)’보고서에서는 다음과 같이 융합인재교육(STEAM)과 공학설계과정의 관계를 설명하였다.

창의적 설계는 공학적 요소를 기반으로 한 것이다. 실생활에서 주어지는 문제는 이론적인 지식만으로 해결하기가 쉽지 않다. 더욱이 학생들이 앞으로 사회에 나갔을 때도 지금과는 다른 차원의 문제를 맞닥뜨릴 가능성이 높다. 그러므로 융합인재교육(STEAM) 수업에서 다양한 실제의 문제에 대한 창의적 설계를 반복할수록 문제해결 능력이 높아진다. 그 방식을 살펴보면 ‘과학’보다는 ‘공학’에 가깝다.

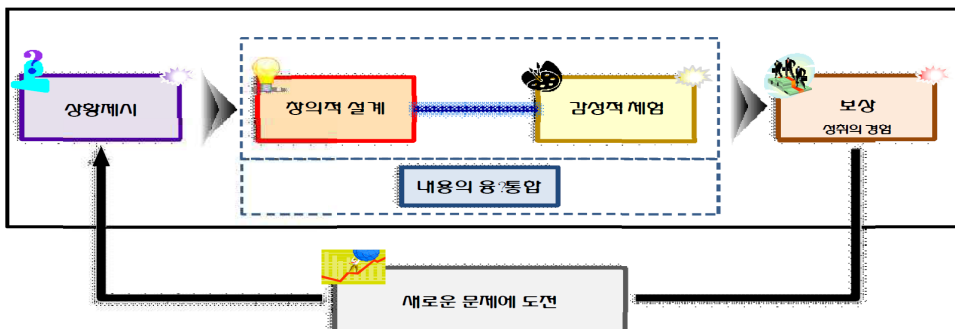
과학은 ‘왜?’라는 질문에 답을 제시하는 학문이다. 학생들이 자연현상에 대하여 궁금해 하는 질문은 대부분 과학의 범주에 속할 가능성이 높다. 예를 들면, ‘하늘은 왜 파랗까?’, ‘우주에서 가장 작은 입자는 무엇일까?’, ‘암은 왜 생기는 것일까?’처럼 그 원인과 이유를 묻는 것이다.

반면에 공학은 ‘어떻게?’라는 질문에 대한 해답을 찾기 위한 과정이다. ‘어떻게 하면 비행기를 더 안전하게 만들까?’, ‘어떻게 해야 작은 공간에 더 많은 데이터를 저장할까?’, ‘같은 돈으로 집을 더 따뜻하게 하려면 어떻게 해야 할까?’처럼 주어진 조건에서 문제를 해결하는 방법을 고민하는 것이다.



〈그림 10〉 과학적 탐구기반학습과 공학적 설계기반학습의 비교

〈그림 11〉과 같이 융합인재교육(STEAM) 수업 구성의 원리에서 ‘상황제시, 창의적 설계, 감성적 체험, 내용의 융·통합, 새로운 문제에 도전’은 공학에서 문제 해결(Problem Solving)을 강조하는 점, 공학 설계(Engineering Design)를 강조하는 점, 공학학문(Engineering Science)의 지식과 이들의 융합을 강조하는 점 등에서 매우 유사한 점을 갖고 있다.



〈그림 11〉 융합인재교육(STEAM) 수업 구성의 원리

Ⅲ. 초·중등 공학 교육

1. 초·중등 공학교육의 필요성

영국은 청소년 공학교육 프로그램의 가장 오랜 역사를 지니고 있으며, 지금도 매우 활발히 이루어지고 있다. 청소년들의 성장과정 단계별로 여러 비영리단체를 통해 다양한 공학관련 교육프로그램을 제공하는 Shape the Future 프로그램과 같이 여러 비영리 조직의 활발한 참여 및 여러 기업의 자발적인 참여뿐만 아니라 국가차원의 재정과 인프라 구축 등을 통하여 청소년 공학 교육이 이루어지고 있다(손소영, 2008).

미국은 미국공학교육학회 산하의 청소년 공학센터에서 초·중·고등학교 학생들에게 공학 기술 분야에 흥미를 유발시키고자 웹사이트를 운영하고 있으며 미국의 과학 재단에서는 청소년들을 위한 공학 교육을 위하여 연구비를 제공하고 있다(박태현, 2009). 미국의 과학, 공학, 기술관련 교육단체와 교육기관에서도 다양한 공학 교육 프로그램을 운영하고 있다. 초·중등 공학교육 프로그램으로는 The Academy of Engineering, Children Designing & Engineering, Design Technology and Engineering for America's Children, Engineering: An Introduction for High School, Engineering by Design, Engineering Your Future: A Project-Based Introduction to Engineering, Engineering of the Future, Exploring Design and Engineering, The Infinity Project(Middle School), Insights: An Inquiry-Based Elementary School Science Curriculum(Structures Module), INSPIRES(INcreasing Student Participation, Interest and Recruitment in Engineering and Science), Learning by Design, LEGO Engineering, PLTW(Project Lead The Way), NASA Education, Engineering is Elementary 등이 운영되고 있다.

또한 미국은 체계적인 공학교육을 위하여 미국 공학한림원(National Academy of Engineering; NAE)과 미국 국가 연구 위원회(National Research Council; NRC)를 중심으로 'Engineering Education in K-12' 와 'Standards for K-12 Engineering Education?' 과 같은 프로젝트를 통해 각 주별 특성에 맞춰 개별적으로 진행되고 있는 공학 교육에 대한 연구를 통해 효율적이고 체계적인 초·중등교육에서의 공학 교육을 도모하고 있다.

국내의 경우에도 한국공학교육학회, 한국공학한림원, 한국산업기술진흥원, 한국과학창의재단, 한국여성과학기술인지원센터, 공과대학, 공학 기술 관련 연구소 및 산업체를 중심으로 다양한 초·중등 공학교육 프로그램이 운영되고 있다. 하지만 아직까지 이들 프로그램의 체계성

과 다양성은 매우 부족한 실정이다. 특히 공학관련 교육과정은 학교 교육에서 매우 제한적으로 이루어지고 있는 실정이다. 김진수(2011)는 2007 개정 교육과정 시기까지의 국가교육과정의 필수 과목의 초·중등 교육단계까지 위계를 [그림 12]와 같이 나타내었다. 모든 교과목의 명칭이 동일하지만 공학관련 교과만이 유일하게 초등교육에서는 실과, 중등교육에서는 기술·가정, 고등교육에서는 공학으로 위계성이 없음을 지적하였다. 교과목의 명칭도 7차 교육과정까지는 초등학교에서는 실과, 중학교 1학년년부터 고등학교 1학년까지는 기술·가정, 고등학교 2학년에서 3학년까지는 공업 기술, 대학교에서는 공학으로 위계성이 없었다. 다만, 2007 개정 교육과정에서 고등학교의 '공업 기술' 교과목을 '공학 기술'로 변경하여 초등, 중등, 고등교육의 위계성과 연속성을 어느 정도 맞출 수 있게 되었다. 하지만 유일하게 고등학교에서 공학적 내용을 포함시킨 '공학 기술'교과는 입시위주의 분위기와 교사, 학생, 학부모 등의 인식 부족으로 인해 매우 낮은 채택율을 나타냈다.

학 교 급	대학	국어	영어	수학	과학	사회	공학	도덕	음악	미술	체육
	고	국어	영어	수학	과학	사회	공학 기술	도덕	음악	미술	체육
	중	국어	영어	수학	과학	사회	기술· 가정	도덕	음악	미술	체육
	초	국어	영어	수학	과학	사회	실과	도덕	음악	미술	체육
		과 목									

〈그림 12〉 기술 교과와 타 교과의 학교급간 위계 차이

출처 : 김진수(2011)

최근 연구팀에서 진행한 '초·중등 공학교육 강화방안 정책연구'에서는 초·중·고등학교 교사 500여명을 대상으로 설문을 조사하였다. '초·중·고등학교에서의 공학교육 필요성'에 대해 '매우 필요하다' 28.6%, '필요하다' 52.4%로 응답하여 대부분의 교사들(81.0%)이 공학교육의 필요성을 느끼고 있음을 나타냈다. 또한, '공학교육의 내용을 관련 교과에 분산적으로 반영 시, 보다 집중적으로 반영이 필요한 교과'를 물었을 때 80.8%의 교사들이 1순위로 실과(기술)교과를 선택하였다. 그 다음으로는 과학교과가 13.9%, 수학교과 5.0%, 기타교과 0.3%의 순으로 나타났다. 중등학교 교사들은 기술교사의 89.9%, 과학교사의 81.7%, 수학교사의 71.0%도 공학을 기술교과에 반영하여야 한다고 응답하였다. 또한 현재 진행중인 공학전문가를 대상으로 한 설문조사에서도 대부분의 공학전문가들은 초·중등수준에서의 공학교육이 필요한 점과 과학, 기술교과와 연계하여 가르쳐져야 한다는 점을 함께 인식하고 있는 것으로 나타나고 있다.

2. 초·중등 공학교육 강화방안

현재까지 문헌연구, 조사연구, 델파이연구, 프로그램 개발연구가 진행중이기 때문에 강화방안이 세부적으로 제시하지 못하였다. 하지만 이 연구를 통해 공학, 공학자에 대한 특성 및 속성, 공학과 STEAM의 연계성, 초·중등 공학교육의 실태와 필요성을 확인하였다.

앞으로의 연구를 통해 형식 교육과 비형식 교육에서의 초·중등 공학교육 강화방안이 도출될 것으로 생각하고 있으며, 이에 따른 구체적인 방안 역시 도출할 예정이다.

끝으로 국가의 경제와 경쟁력에 직접적이고 막대한 영향을 미치는 공학의 중요성은 점점 증대되어지고 있다. 선진국을 중심으로 한 많은 국가들도 공학의 중요성을 인식하고 초·중등 단계에서부터 다양한 공학교육을 실시하고 있다. 특히, 자원이 적은 우리나라의 경우에는 과학기술을 기반으로한 공학의 중요성은 더욱 중요할 것이다. STEAM과 공학은 매우 유사한점을 갖고 있다. 초·중등에서의 공학교육과 STEAM교육 연계를 통해 발휘된 시너지는 이공계기피현상을 해소하고 우리나라가 선진국으로 도약하는 디딤돌이 될 것이다.

▣ 참고문헌 ▣

- 강창욱, 임형규, 엄재윤, 조헌제, 임도수, 박창형 외. (2005). 미래를 경영하는 공학인. 서울: 한양대학교 출판부.
- 교육인적자원부. (2007). 2007 개정교육과정 중학교 교육과정 해설(수학, 과학, 기술.가정). 저자.
- 국립국어원. (2011). 표준국어대사전.
- 김영민. (2012). 공학전문가가 인지하는 고등학교 공학 기술 교과 교육 목표와 내용 요소. 충남대학교 대학원 석사학위논문.
- 김진수 (2011). 기술교육에서 공학교육의 강화 전략. 2011 동계 한국기술교육학회 학술대회 논문집, 33~57.
- 노승환. (2012). 창의적 공학설계 : Creative ideas. 한빛미디어.
- 노재규, 문창호, 박대욱, 박창규, 유현경, 이신영. (2012). 생각키움 창의적 공학설계입문. GS 인터비전.
- 문대영. (2008). STEM 통합 전근의 사전 공학 교육 프로그램 모형개발. 공학교육연구, 11(2), 90~101.
- 박태현. (2009). 청소년에게 공학마인드를 : 청소년 공학교육 현황과 방향. 공학교육, 16(2), 39~42.
- 배선아. (2009). 공업계열 전문계 고등학교 전기·전자·통신 분야의 활동 중심 STEM 교육프로그램 개발. 한국교원대학교 대학원 박사학위논문.
- 손소영. (2008). 영국 청소년 공학 탐험프로그램 소개. 공학교육, 15(2), 16~19.
- 손소영. (2008). K-12공학교육. 공학교육, 15(4), 12~15.
- 이경우, 김병재, 이태희, 황농문, 한송엽 (2009). 공학문제해결입문. 시그마프레스.
- 이창훈. (2007). 창의 공학 설계 교육 프로그램이 공학 입문자의 창의력과 공학 설계 능력에 미치는 효과. 충남대학교 대학원 박사학위논문.
- 충남대학교 공과대학 기계공학과. (2012). 월드와이드웹. <http://mec.cnu.ac.kr/engineering/> 에서 2012년 11월 1일 검색하였음.

- 한국과학창의재단. (2012). 융합인재교육(STEAM) 실행방향 정립을 위한 기초연구.
- 한국공학교육인증원. (2005). 공학인증기준설명서 2005(KEC2005).
- 한국공학교육인증원. (2012). 월드와이드웹. <http://www.abeek.or.kr/> 에서 2012년 11월 1일 검색하였음.
- 홍현필, 송수석, 박성균. (2011). 창의공학설계입문. GS인터비전.
- Accreditation Board for Engineering and Technology. (1997). Criteria for Accrediting Programs in Engineering in the United States. Author.
- American Society for Engineering Education. (2011). 월드와이드웹: <http://www.egfi-k12.org/> 에서 2011년 6월 15일 검색했음.
- Bernie Trilling, Charles Fadel. (2012). 21st century skills: learning for life in our times. 학지사.
- Encyclopedia Britannica , Inc. (2011).
월드와이드웹: http://preview.britannica.co.kr/bol/topic.asp?article_id=b02g0743b 에서 2011년 8월 22일 검색했음.
- International Technology Education Association and Its Technology for All Americans Project. (2000). Standards for Technological Literacy : Content for the Study of Technology. Reston, V. A. : Author.
- Massachusetts Department of Education. (2006). Massachusetts Science and Technology/Engineering Curriculum Framework.
- National Academy of Engineering. (2010a). Engineering K-12 Education, The National Academies Press.
- National Academy of Engineering. (2010b). Standards for K-12 Engineering Education?. The National Academies Press.
- National Aeronautics and Space Administration(NASA). (2012).
월드와이드웹. <http://www.nasa.gov/audience/foreducators/best/index.html> 에서 2012년 10월 20일 검색하였음.
- National Engineering is Elementary. (2012).
월드와이드웹.http://www.mos.org/eie/science_engineering.php 에서 2012년 9월 25일 검색하였음.

- National Research Council(2011). A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas. Washington: National Academy Press.
- National Research Council(2011). Successful K-12 STEM Education: Identifying Effective Approaches in Science, Technology, Engineering, and Mathematics. Committee on Highly Successful Science Programs for K-12 Science Education. Board on Science Education and Board on Testing and Assessment, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC; The National Academies Press.
- National Science Board(2007). A national action plan for addressing the critical needs of the U.S. science, technology, engineering, and mathematics education system. (Publication No. NSB-07-114). Washington, DC: US Government Printing Office.
- National Science Board(2009). STEM Education Recommendations for the President-Elect Obama Administration. Arlington, VA: Author. National Science Foundation. http://www.nsf.gov/nsb/publications/2009/01_10_stem_rec_obama.pdf.
- Sanders, M.(2006). A rationale for new approaches to STEM education and STEM education graduate programs. Paper presented at the 93rd Mississippi Valley Technology Teacher Education Conference, Nashville, TN.
- Sanders, M.(2009). STEM, STEM education, STEM mania. The Technology Teacher, 68(4), 20-26.
- Wikimedia Foundation, Inc. (2011). 공학. 월드와이드웹: <http://ko.wikipedia.org/wiki/공학> 에서 2011년 8월 20일 검색했음.
- Wikimedia Foundation, Inc. (2011). engineering .
월드와이드웹: <http://en.wikipedia.org/wiki/Engineering> 에서 2011년 8월 21일 검색했음.
- Wulf, William A. (1998). The Urgency of Engineering Education Reform. Realizing the New Paradigm for Engineering Education. Engineering Foundation Conferences.