

# 6-sigma 방법론을 적용한 종합설계 교육모델 개발

유경현

군산대학교 기계융합시스템공학부 교수

## Development of Capstone Design Education Model Using 6-sigma Methodology

Ryu, Kyunghyun

Professor, School of Mechanical Fusion System Engineering, Kunsan National University

### ABSTRACT

Capstone design education is essential in the engineering design process according to the certification standards of ABEEK. Capstone design process should be properly trained in undergraduate courses in order to increase the design ability of systems, components and processes within realistic constraints. In this study, a modified design model as a capstone design education model was proposed to reduce the separation between the design process at industrial sites and the design process at university education. The modified design model based on 6-sigma methodology is composed of 6 design steps such as define, measure, analyse, design, verify, and report. Each step has appropriated design contents and tools, and is configured to generate design results. The proposed design model was directly applied to the capstone design class for automotive engineering in Kunsan National University, and it was confirmed that the proposed DMADVR methodology was a very useful design education model to enhance the design ability, teamwork ability and communication skills required by ABEEK.

**Keywords:** Engineering education, 6 sigma, Capstone design, Design process, Engineering design

## 1. 서 론

한국공학교육인증원(Accreditation Board for Engineering Education of Korea, ABEEK)의 인증기준(KEC2005)에서는 프로그램 교육목표에 부합하도록 여러 학습성과를 설정하도록 요구하고 있다. ABEEK에서는 공학설계와 관련하여 “현실적 제한조건을 고려하여 시스템, 요소, 공정 등을 설계할 수 있는 능력”에 대한 학습성과를 요구하고 있으며, 해당 학습성과 성취도를 평가할 수 있는 체계를 수립하여야 하고 수립된 평가체계에 따라 성취도를 측정하도록 요구하고 있다(한국공학교육인증원, 공학교육인증기준 2015).

또한 ABEEK 인증기준에서는 공학도들의 현장 적응력을 높이기 위하여 설계관련 교과목을 체계적으로 편성하도록 요구하고 있다. 「기계공학 및 유사 명칭 공학 프로그램에 대한 인증기준」을 살펴보면, “교과과정에 기초설계와 종합설계를 포함하여 12학점 이상의 설계 교육을 이수하여야 한

다”고 명시하면서 설계교과목을 체계적으로 편성하여 운영하도록 요구하고 있다(한국공학교육인증원, 공학교육인증기준 2015).

따라서 공학교육인증 프로그램으로 운영되는 모든 학과에서는 공학설계와 관련하여 저학년에서는 창의력을 기르기 위한 기초설계 교과목을, 고학년에서는 설계경험을 쌓기 위한 종합설계 교과목을 운영하여야 하며, 프로그램에 참여하는 모든 학생들은 반드시 해당 교과목을 공학교육인증 기준에 맞게 이수하여야 하는 실정이다.

이는 ABEEK에서는 공학설계 교육이 제대로 이루어지고 있는지 설계 결과물에서의 설계교육 내용을 토대로 판단하고 있기 때문이다. 즉, 공학교육인증 평가과정에서 방문 평가 전에는 자체평가보고서에 수록된 강의계획서를 기반으로 강의계획서에 설계교육 계획 등을 포함하고 있는지 살펴보고, 현장 방문 시에 수강생들의 설계과제 수행 결과물(예: 작품, 보고서, 발표자료, 설계발표회 동영상 등)의 내용과 수준을 근거로 설계 교과목의 적절성을 판정하고 있다(한국공학교육인증원, KEC2015 인증평가 판정가이드).

특히, 수강생들의 설계 결과물에서 설계교육 내용, 즉 설계

Received May 25, 2020; Accepted June 16, 2020

† Corresponding Author: khryu@kunsan.ac.kr

©2020 Korean Society for Engineering Education. All rights reserved.

절차(구성요소)에 따라 현실적 제한조건을 반영하여 개방형 설계 문제(open-ended design problem)를 해결한 내용을 확인할 수 있도록 요구함에 따라 설계 과제가 개방형 문제 위주로 진행되어야 한다(한국공학교육인증원, KEC2015 인증평가 판정가이드). 더군다나 설계 교과목에서 의사소통기술(communication skill)이나 팀워크(teamwork)를 다루도록 요구하고 있기 때문에 설계교과목에서는 팀을 구성하여 설계교육을 실시할 필요가 있다.

이처럼 공학교육인증에서 요구하는 종합설계는 설계 구성요소, 제한 조건 및 개방형 문제 등과 같이 설계 교육의 적절성을 위해 교육 조건이 구체적으로 명시되고 있음에도 불구하고, 설계 교육의 방법론에 있어서는 갑론을박(Dym, C.L, 1994; R.J. Eggert, 2005; 김종원, 2008)이 분분한 상황이다.

본 연구에서는 국내에 소개된 설계교육의 방법론을 검토해 보고, 내실 있는 공학교육인증프로그램 운영을 위한 현실적인 설계교육으로서 6 Sigma를 적용한 설계 방법론을 제시하고자 한다.

## II. 공학설계 방법론

현재 일반적으로 공학설계에 적용되고 있는 설계방법론을 살펴보면 여러 학자들의 견해가 약간씩 다른 것을 확인할 수 있다. Dym, C.L(1994)는 Fig. 1에서와 같이 고객으로부터 요구사항을 분석하여 문제를 정의하는 과정, 설계 명세를 설정하는 개념 설계과정, 설계 모형화 및 분석 등의 예비설계 과정, 설계 정제 및 최적화를 위한 상세 설계 과정, 설계 내용을 기록하는 설계 의사소통 과정, 그리고 제조 명세를 작성하는 최종 설계 과정으로 설계 절차가 이루어진다고 정의하였다.

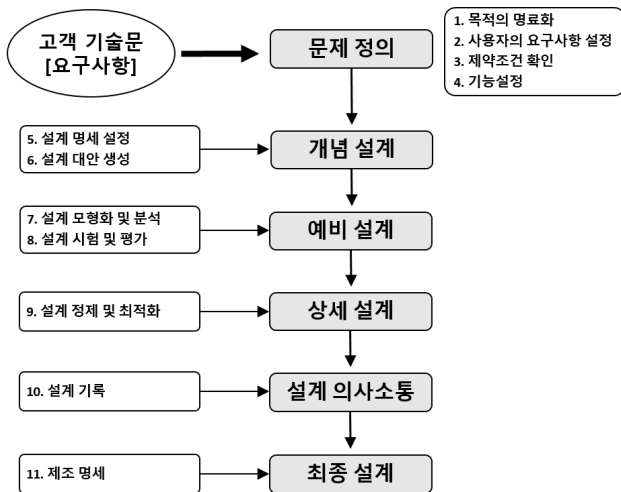


Fig. 1 Engineering design process by Dym, C.L.

이와 다르게 R.J. Eggert(2005)는 공학 설계를 고객의 원하는 기능에 따라 제품의 형태를 결정하기 위한 의사 결정 프로세스 및 활동이라고 정의하면서 Fig. 2에서처럼 공식화(Formulation) → 개념 생성(Concept) → 구성(Configuration) → 변수 설계(Parametric) → 상세 설계(Detail) 과정으로 설계가 이루어진다고 정의하였다.

G.E. Dieter & L.C. Schmidt(2007)는 Fig. 3에서와 같이 공학설계가 개념 설계(문제 정의, 정보 수집, 개념 생성, 개념 평가 및 선정)과정을 거친 후, 구체화 설계(제품 형상 설계, 매개 변수 설계를 실시한 다음, 최종적으로 상세 설계를 실시하는 과정으로 이루어진다고 정의하였다.

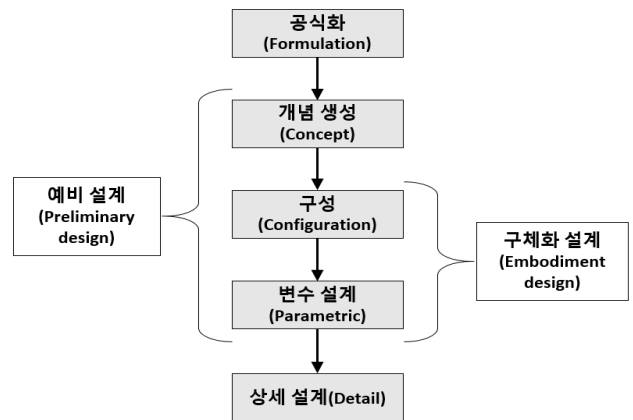


Fig. 2 Engineering design process by R. J. Eggert

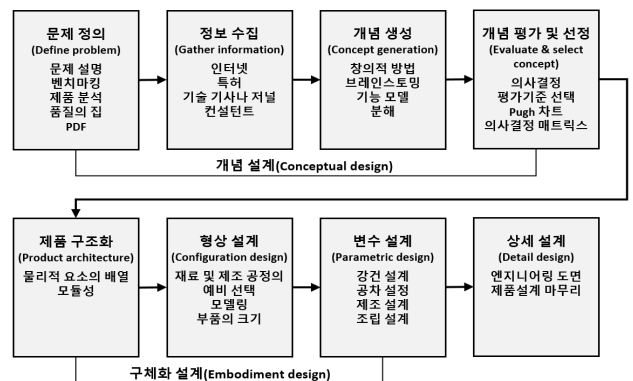


Fig. 3 Engineering design process by G.E. Dieter and L.C. Schmidt

한편 국내에서는 공학설계(engineering design)를 ‘과학 및 공학 지식을 응용해서 고객이 요구하는 기능(function)과 제한 조건(constraints)들을 충족하는 팔릴 수 있는 제품을 개발하는 작업’으로 정의하고, Fig. 4와 같이 설계 절차를 제품기획, 개념설계, 기본설계, 상세설계 등 4개의 단계로 이루어진다고 제안하기도 하였다(김종원, 2008).

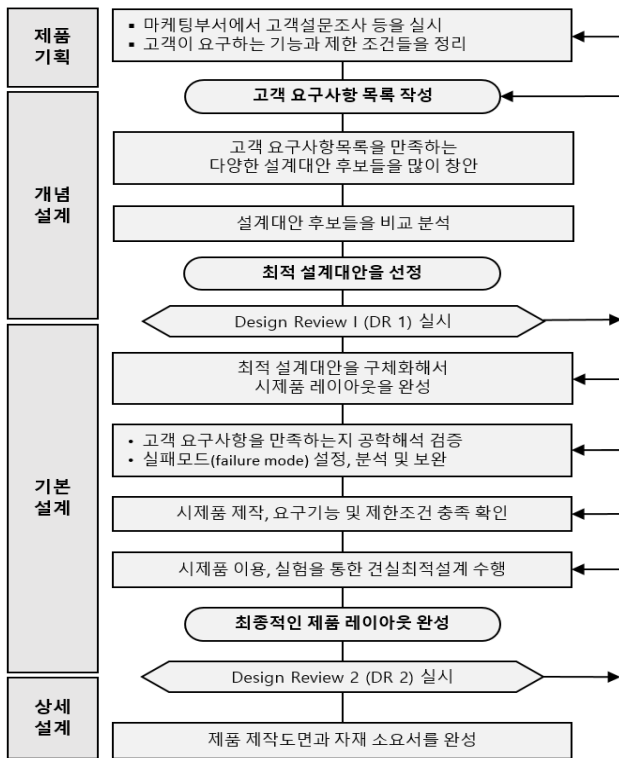


Fig. 4 Engineering design process and their contents

상기와 같이 제기된 다양한 종합설계 절차들을 살펴보면 방법론에 있어서는 다르지만, 공학설계 절차 중에 다음과 같이 공통적으로 수행되는 부분이 있음을 발견할 수 있다.

- 1) 필요성의 확인
- 2) 문제의 정의
- 3) 정보의 수집과 분석
- 4) 기준과 제한 요건 설정
- 5) 대안 검토
- 6) 분석
- 7) 결정
- 8) 상세히 기술

그러나 앞서 제기된 공학설계 방법론들은 산업 현장에서 적용하고 있는 문제해결 방법론과는 약간 괴리감이 있기 때문에 학생들이 종합설계 교육 이후에도 산업현장에서 지속적으로 사용할 수 있는 체계적인 공학설계 방법론을 정립하여 가르칠 필요가 있다고 판단된다.

### III. 6 Sigma 공학설계 방법론

#### 1. 6 Sigma 개념

6 시그마(Sigma,  $\sigma$ )는 1995년 제너럴일렉트릭(GE)의 전 회

장인 Jack Welch에 의해 유명해진 품질경영기법으로, 1986년 Motorola 회사의 엔지니어 Bill Smith에 의해 소개되었다. 6 시그마는 어떻게 하면 품질을 획기적으로 향상시킬 수 있을 것인가를 고민하던 중 통계지식을 활용하자는 착안에 의해 만들어진 품질개선활동으로, 100만개 중 3.4개의 불량률만을 추구한다는 의미에서 나온 말이다.

6 시그마는 세계적으로 인정되는 기업의 경영혁신을 이루는 핵심방법론으로 평가받으며 이미 제조업에서는 보편화되어 Motorola와 GE를 비롯하여, Texas Instruments 등의 해외 우량 기업뿐만 아니라 국내의 현대자동차와 GS글로벌 등에서 6 시그마를 도입하여 품질혁신을 이루는 데 성공하였다. 최근에는 금융·통신·의료·공공부문 등 서비스 분야까지 6 시그마를 확대하여 큰 성과를 이루고 있는 실정이다(노재범 외, 2005).

시그마(Sigma)는 고객 요구 사항 또는 사양과 관련하여 업무 프로세스에 존재하는 변동의 양을 나타내는 통계적 개념으로 사용되고,  $\sigma$  수준은 업무 프로세스의 품질을 나타내는 통계적 측정 단위로 사용된다. 측정된  $\sigma$  수준은 백만 번당 결점 수 (Defect Per Million Opportunity, DPMO)와 관련되어 있어 Table 1에서와 같이  $\sigma$  수준이 증가할수록 결함이 줄어들음을 의미하고 이는 업무 프로세스 비용이 줄어들기 때문에 고객 만족도는 높아짐을 의미한다. 즉, 시그마 수준이 높을수록 고객 요구 사항에 비해 업무 프로세스가 더 잘 수행된다는 것을 의미하고, 6 시그마는 실제 업무상 실현될 수 있는 가장 낮은 수준의 오류로 인정받고 있다. 이처럼 품질관리의 정도를 시그마로 나타내는 이유는 제품과 공정에 따라 달라지는 목표값과 규격 한계값을 통일해 품질수준을 표시하는 단일한 기준으로 편리하기 때문이다. 서로 다른 공정의 품질수준을 비교하는 데에도 유용할 뿐만 아니라 품질개선의 정도도 객관적인 수치로 측정할 수 있다.

Table 1 Defective rate by Sigma level

Sigma level	Good %	Bad %	DPMO
1	30.9%	69.1%	691,462
2	69.1%	30.9%	308,538
3	93.3%	6.7%	66,807
4	99.38%	0.62%	6,210
5	99.977%	0.023%	233
6	99.9997%	0.00034%	3.4

\* DPMO : Defects Per Million Opportunities

#### 2. 6 Sigma 방법론

일반적으로 6 시그마를 달성하기 위해서는 기존 공정 관리 (process management), 기존 프로세스 개선, 그리고 새로운 공정, 제품 및 서비스를 개발 분야에서 매우 뛰어나야 한다. 이

3가지 방법론을 서로 유기적으로 연결되어 상호 작용하면 6 시그마 목표를 달성하는 가장 효과적인 방법이 된다.

진행 중인 공정 관리에는 조직 공정들을 모니터링하고 관리하는 것을 포함한다. 공정 관리는 새로운 개선 및 설계 프로젝트의 원천이며 프로젝트의 해결책을 지원하고 유지 관리하는 시스템이다.

일반적으로 6 시그마를 달성하기 위한 방법론은 Fig. 5에서와 같이 크게 공정개선 방법론(DMAIC)과 설계·개발 방법론(DMADV)으로 구분한다.

DMAIC은 정의(Define), 측정(Measure), 분석(Analyze), 개선(Improve), 관리(Control) 단계의 줄임말로, 기존 공정을 단계적으로 개선하는데 사용되는 개선 공정이다. 조직의 공정들을 개선하면 제품과 서비스가 향상된다. 따라서 기존 제품, 공정 개선, 구조화된 반복적인 공정 개선, 결함 감소에 중점을 두는 제조업 분야에서 주로 사용된다(김종빈, 2005;창원투스강6 시그마연구회, 2003).

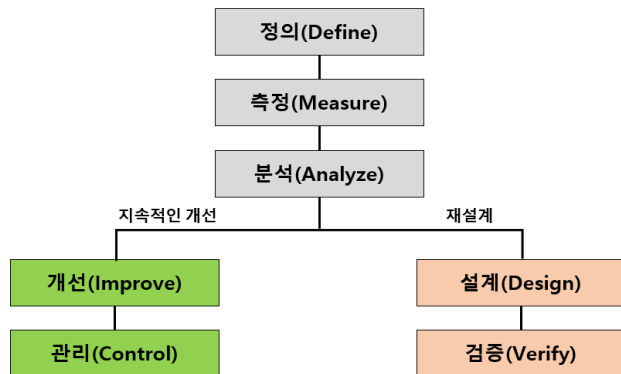


Fig. 5 DMAIC and DMADV methods

한편, DMADV은 정의(Define), 측정(Measure), 분석(Analyze), 설계(Design), 검증(Verify) 단계의 줄임말로, 새로운 공정, 제품 또는 서비스가 필요할 때나 기존 제품에서의 중요한 변경을 요구하여 개선 공정이 부적절할 때 사용되는 설계 공정이다. 즉, 새로운 제품 및 공정의 개발 또는 재설계를 위해 사용하며, 주로 고객의 기대를 능가하는 설계가 필요한 기업의 R&D 부분에서 사용한다.

DMAIC와 DMADV 방법론은 모두 프로세스 관점과 고객 요구사항을 이해하는데 의존한다. DMAIC은 현재 존재하는 것을 개선하기 때문에 DMAIC에서 고객의 소리(Voice Of the Customer, VOC), 즉 고객의 요구와 인식은 대개 공정, 제품 또는 서비스가 핵심 고객 요구사항을 지속적으로 충족시킬 수 없는 이유를 이해하는데 중점을 둔다. 반면, DMADV는 공정, 제품 또는 서비스가 처음부터 여러 고객 요구 사항을 충족시키도록 설계하기 위해 고객의 소리를 얻고 분석하는 작업을 일반

적으로 포함한다.

프로젝트를 DMAIC나 DMADV로 시작하는지 여부와 상관없이 먼저 프로젝트 생성 및 선택은 개선 또는 설계 사이클이 시작되기 전에 중요한 단계이다. 그런 다음 프로젝트를 시작할 때 프로젝트가 DMAIC 또는 DMADV 경로를 따라야 하는지 결정한다. Fig. 6은 프로젝트 시작 시 일반적인 6 시그마 적용 방법을 나타낸 것이다.

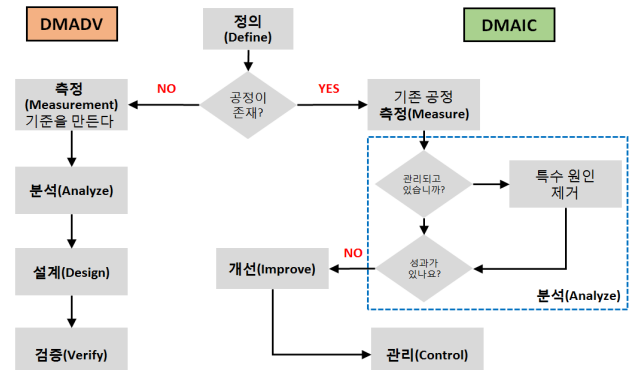


Fig. 6 Application method of 6-sigma at project start

### 3. 공학설계로서의 6 Sigma 방법론

현재 대학에서 이루어지는 공학설계 교육은 앞서 살펴본 것처럼 ABEEK의 기준에 따라 기초설계, 요소설계 및 종합설계로 구분하고 문제정의, 개념 설계, 예비설계, 상세 설계 등의 설계절차로 운영하고 있는 실정이다. 그러나 설계 교육에 있어서 실제 산업현장에서 적용되고 있는 제품 개발공정 등과 일치되는 구체적인 설계방법론이 정립되지 않았고, 그에 맞는 설계 교육을 실시하지 못하고 있다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 현재 기업에서 운영되고 있는 제품개발 프로세스인 6 시그마 방법론을 적용한 공학설계 모델을 제시하고자 한다.

앞서 살펴본 6 시그마 방법론 중 DMAIC와 DMADV 방법론은 각 단계의 일부분이 비슷한 명칭을 가질지라도 단계별 목적과 사용되는 도구들에 있어서 엄연한 차이들이 있다. 그러나 현재 존재하지 않는 제품을 설계하거나 기존 제품을 개선하기 위한 공학설계에서는 DMAIC 대신 DMADV를 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 다음은 공학설계에 적용할 수 있는 DMADV 방법론의 단계별 진행 내용, 사용도구 및 결과물을 고찰한 것이다.

#### 가. 정의(Define) 단계

정의 단계는 프로젝트의 목적 및 범위, 프로젝트 일정, 팀 구

성 계획, 위험요소 파악 등 프로젝트를 진행하는데 있어서 프로젝트를 정의하는 단계이다. 이 단계를 통해 프로젝트 계획서 작성, 이해관계자 분석, 팀 구성 및 역할 배정, 업무 분류체계 작성, 임계 경로 분석 등을 실시한다.

정의 단계에서는 고객 가치 분석 및 경쟁사 분석과 같은 도구를 사용하여 시장을 분석하고, 관리도나 Pareto 차트와 같은 도구를 사용하여 공정 분석을 실시한다. 또한 프로젝트 일정 및 계획서 작성을 위해 작업 분류 체계, PERT 차트, Gantt 차트 등의 도구들이 사용된다.

나. 측정(Measure) 단계

측정 단계는 고객의 요구사항(Voice of Customer, VOC)이 무엇인지 파악하고, VOC를 공학적 설계 변수로 전환하여 궁극적으로 반영하고자 하는 핵심 품질 요소(Critical to Quality, CTQ)를 측정한다. 이 단계에서는 고객을 분석하는 도구로 인터뷰, 초점 그룹, 설문조사 등의 도구가 사용되고, 카노(Kano) 모델, 품질 기능 전개(Quality Function Deployment) 행렬, 핵심요소 위험 매트릭스 등의 도구를 사용하여 핵심 품질 요소를 파악한다.

측정 단계를 거치면서 우선순위가 정해진 핵심품질요소(CTQ)를 도출하고, 필요한 경우 잠재적인 위험 요소를 재평가하여 위험 관리 계획을 업데이트하게 된다.

다. 분석(Analyse) 단계

분석 단계는 일련의 개념, 즉 설계 중인 제품에 대한 아이디어나 해결책들을 생성하고, 그 개념들 중 제한된 예산 및 자원 내에서 핵심품질요소(CTQ)에 가장 잘 맞는 개념을 평가하고 선택하는 단계이다. 이 단계에서는 개념에 대한 아이디어 도출을 위해 브레인스토밍(Brainstorming), 브레인라이팅(Brainwriting), 유추법(Analogies), 가정타파기법(Assumption busting method), 형태분석 상자(Morphological Box) 등의 창의적 도구들을 사용하고, Pugh 매트릭스 도구를 사용하여 설계 개념을 평가하고 선택할 수 있다. 그 결과 분석 단계에서는 다음 단계에서 진행될 설계 개념을 결과물로 얻게 된다.

라. 설계(Design) 단계

설계 단계는 분석단계에서 도출된 개념 설계를 위해 각 상세 설계하는 과정이며, 설계 구성요소를 테스트하고 시제품 제작을 실시하는 단계이다. 이 단계에서는 상세 설계를 실시하면서 QFD 매트릭스, 시뮬레이션, 프로토타이핑, 고장모드 및 영향 분석(Failure Mode and Effects Analysis, FMEA), 오류 모드 및 영향 분석(Error Mode and Effects Analysis, EMEA), 공정 관리 차트 등의 도구들을 주로 사용한다.

설계 단계에서는 설계 요소에 따라 결과물이 다르지만, 일반적으로 제품의 경우에는 상세 설계 도면이나 기술서, 위험성 평가, 시작품 재료명세서, 조립 및 제작 계획, Pilot 수행 등의 결과물을 도출하게 된다.

마. 검증(Verify) 단계

검증 단계는 시제품(prototype)을 테스트하고 최종 설계를 수행한 후 프로젝트를 종료하는 단계이다. 검증 단계에서는 계획 도구, 관리도 및 Pareto 차트 등의 데이터 분석 도구, 공정 관련 차트 및 Flowcharts 등의 표준화 도구들을 주로 사용하며, 최종 시제품, 프로젝트 문서 등의 결과물을 생성하게 된다.

상기와 같이 새로운 공정, 제품 및 서비스를 개발하는 분야에서 사용되고 있는 6 시그마의 DMADV 방법론에 대해 각 단계별로 구체적인 진행 내용, 사용도구 및 결과물에 대해 살펴보았다.

한편, 종합설계프로젝트는 저학년에서 배운 기초 설계 및 요소설계 지식을 토대로 해당 분야의 전공교과목을 수강하여 얻은 지식을 총 망라하여 고학년에서 종합적으로 시스템, 요소, 공정 등을 설계하는 과정이다. 앞서 살펴본 6 시그마의 DMADV 방법론에 기재된 공학설계 절차를 가지고 종합설계프로젝트를 진행해도 큰 무리가 없다고 판단된다. 그러나 공학교육인증원에서는 종합설계를 통하여 팀워크 능력과 의사소통 능력도 배양하도록 요구하고 있기 때문에 주어진 공학설계 절차를 고려하면서 의사소통 능력을 배양할 수 있는 단계를 고려할 필요가 있다. 따라서 본 장에서는 고학년 학생들에게 공학설계 절차를 준수하면서 의사소통 능력을 배양할 수 있도록 DMADV 방법론을 기초로 종합설계프로젝트 진행 절차를 제안하고자한다.

Fig. 7은 전통적인 6 시그마의 DMADV 방법론과 종합설계를 위한 DMADVR 방법론을 나타낸 것이다. 기존의 DMADV 방법론에 보고서(R, Report) 단계를 추가한 것으로, DMADV 방법론은 검증 단계를 끝으로 프로젝트가 종료되지만 DMADVR 방법론은 보고서 단계를 끝으로 프로젝트를 종료된다. Fig. 8은 DMADVR 방법론의 각 단계 과정을, Table 2는 DMADVR 방법론에 대한 각 단계별 추진 내용, 사용 도구 및 결과물을 현실에 맞게 나타낸 것이다.

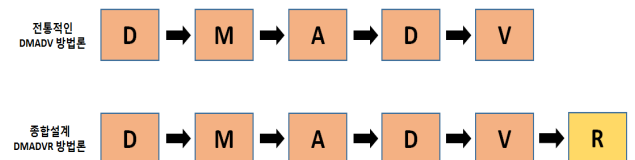


Fig. 7 Conventional DMADV methodology and capstone design DMADVR methodology



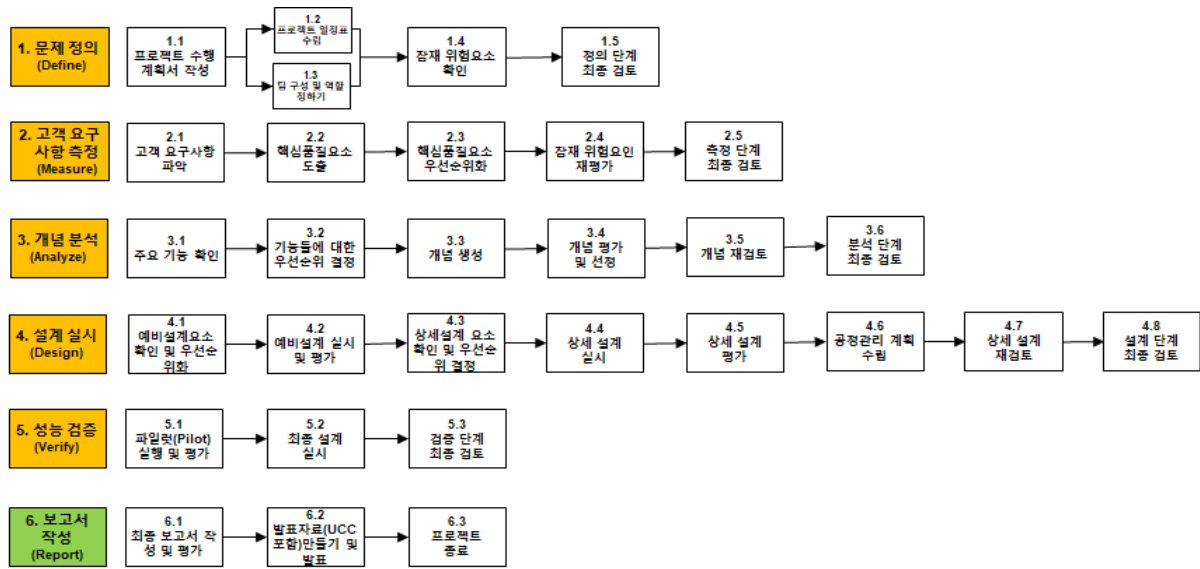


Fig. 8 Process of 6-Sigma methodology in engineering design project

Table 2 Steps, Tools and Results in DMADVR methodology

단계	수행 내용 및 도구	결과물
1. 프로젝트 정의 (Define)	<ul style="list-style-type: none"> <li>프로젝트 계획서 작성</li> <li>이해관계자 분석</li> <li>업무 분류체계 작성</li> <li>입계 경로 분석을 통한 프로젝트 계획표 수립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>팀 명단 및 팀 규칙</li> <li>프로젝트 계획서</li> <li>위험 관리 계획 업데이트</li> <li>정의 단계 점검표</li> </ul>
2. 고객 요구 사항 측정 (Measure)	<ul style="list-style-type: none"> <li>고객 요구사항 (VOC) 수집</li> <li>VOC를 설계 요구사항(CTQs)으로 전환</li> <li>카노(Kano) 모델</li> <li>품질기능전개(QFD) 행렬</li> <li>가장 중요한 CTQ 확인</li> <li>형태학적 행렬 작성</li> <li>일정 점검 및 업데이트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>우선순위가 지정된 CTQ</li> <li>위험 관리 계획 업데이트</li> <li>측정 단계 점검표</li> </ul>
3. 개념 분석 (Analyze)	<ul style="list-style-type: none"> <li>주어진 예산 및 자원 내에서 CTQ를 가장 잘 충족시키는 개념을 생성, 평가 및 선택</li> <li>Brainstorming</li> <li>Pugh 매트릭스</li> <li>기능 분석</li> <li>모델링</li> <li>일정 점검 및 업데이트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>추가 분석 및 설계 개념</li> <li>분석 단계 점검표</li> </ul>
4. 설계 (Design)	<ul style="list-style-type: none"> <li>상세 설계 실시</li> <li>시물레이션</li> <li>Prototyping</li> <li>FMEA/EMEA</li> <li>조립 및 제작 계획</li> <li>시작품 재료명세서</li> <li>일정 점검 및 업데이트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상세 설계도</li> <li>시험 및 승인된 설계</li> <li>파일럿 실시 계획</li> <li>설계 검토 및 승인 완료</li> <li>설계 단계 점검표</li> </ul>
5. 성능 검증 (Verify)	<ul style="list-style-type: none"> <li>제작비용 산출</li> <li>손익계산서</li> <li>테스트 계획 및 결과</li> <li>일정 점검 및 업데이트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>최종 시작품</li> <li>검증 단계 점검표</li> </ul>
6. 보고서 작성 (Report)	<ul style="list-style-type: none"> <li>최종 보고서 작성</li> <li>최종 발표</li> <li>UCC 작성</li> <li>일정 확인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>최종 보고서</li> <li>최종 발표 자료</li> <li>UCC</li> <li>연구노트</li> </ul>

## IV. 사례 연구

### 1. 교과 개요

DMADVR 방법론을 적용한 사례연구는 군산대학교 기계융합시스템공학부 자동차공학전공의 캡스톤디자인 교과목인 종합설계프로젝트를 대상으로 실시되었으며, 2018년에 적용된 종합설계프로젝트 교과목에 대한 사례를 기술하고자 한다.

본 교과목은 자동차공학전공 공학자의 설계 능력에 부합하도록 2018년 한국자동차공학회에서 주최하는 대학생자작자동차 대회에 출품 가능한 자작자동차를 설계, 제작, 시험 및 평가하는 것에 설계 목표를 두고 진행하였다.

### 2. DMADVR 방법 모델 적용

군산대학교 기계융합시스템공학부에서는 캡스톤디자인 교육을 위해 2017학년도 이전까지 학생이 중심이 되어 프로젝트 주제를 선정하는 것으로 진행하였으나, 13년 이상의 캡스톤디자인 교육을 실시하면서 캡스톤디자인 주제의 고갈과 적절한 난이도의 프로젝트 주제를 선정하는데 어려움을 겪었다. 이에 2017학년도부터는 기업체에서 제시하는 현장중심의 프로젝트 주제와 경진대회 참가용 주제를 학생들에게 제시하고, 그 주제를 중심으로 종합설계프로젝트를 진행하였고, 그 과정에서 DMADVR 방법론을 적용하게 되었다.

#### 가. 정의(Define) 단계

1주차 강의에서 2018년 한국자동차공학회에서 제시하는 경진대회 부문을 비롯하여 차량 설계 및 제작에 관한 규정, 그리고 대회 운영 규정 등을 학생들에게 제시하였다. 학생들은 주어진 규정 등을 토대로 대회의 목적 및 범위를 파악하고, 대회 일정에 따라 프로젝트 일정을 수립하였으며, 프로젝트 수행을 위한 팀을 구성하고 팀원들 간에 지켜야할 규칙을 정하였다. 이 과정에서 프로젝트 수행을 위한 VOC를 분석하고, 예산 확보를 위해 프로젝트 수행계획서를 작성하도록 하였다. 그 결과 정의 단계를 통해 프로젝트 선택 및 팀 규범, 팀원 기술수준조사, 프로젝트 수행 계획서들을 결과물로 나타났고, Formula 부문 1팀과 오프로드(off-road) 대회인 Baja 부문 1팀이 각각 결성되었다.

#### 나. 측정(Measure) 단계

측정 단계에서는 지도교수, 예산 지원부서, 대회 관계자 등의 다양한 고객의 요구사항(VOC)이 무엇인지 파악하고 분석하여 공학적 설계 변수로 전환하도록 하였다. 이 과정에서 품질기능

전개 행렬의 하나인 품질의 집(House of Quality) 도구를 사용하여 핵심 품질 요소(Critical to Quality, CTQ)를 도출하였다.

그 결과, Baja 팀의 경우, 선회성능, 제동성능, 너클 내구성을 주요 핵심품질요소로 도출하였고, Formula 팀은 가속성능, 제동성능 등을 핵심품질요소로 도출하여 설계변수로 설정하였다.

#### 다. 분석(Analyse) 단계

측정 단계에서 도출된 핵심품질요소(CTQ)를 분석 단계를 통해 설계 개념들을 구체화하고 생성한 후, 평가를 통해 최종 설계 개념을 선택하였다. 대표적인 예로, 제동성능 설계변수와 관련하여 기존 차량 및 경쟁팀의 차량에 대한 제동성능을 먼저 분석하였고, 제한된 예산 및 자원 내에서 제동성능을 높이기 위한 방법들로 브레이크 캘리퍼(brake caliper)의 사이즈 변경, 차량의 무게 감소, 브레이크 페달의 크기 및 위치 변경, 브레이크 마스터실린더(master cylinder) 크기 변경 등의 설계 개념들을 브레인스토밍 과정을 통해 도출하였다. 그런 다음 Pugh matrix 도구를 이용하여 제작 용이성, 경제성, 성능 향상도, 위험도의 기준을 바탕으로 제동성능 제고를 위한 설계 개념들을 상대적으로 평가하고 우선순위화하였다. 그 결과, 브레이크 페달의 크기 및 위치를 변경하는 설계 개념을 최종 설계 개념으로 결정하였다.

#### 라. 설계(Design) 단계

설계 단계에서는 분석 단계에서 최종 선택된 브레이크 페달의 크기 및 위치 설계 개념을 구체화하고 상세 설계를 실시하였다. 우선, Table 3에서와 같이 자작자동차 대회에서 요구하는 제동거리(40km/h의 속도에서 15m 이내 정지)에 필요한 제동력을 산출하고, 차량의 무게 중심에 따라 전륜과 후륜에 요구되는 제동력을 계산하였으며, 이 제동력을 발생시키기 위한 브레이크 페달에 필요한 힘을 다양한 조건들에서 도출하였다.

먼저 Fig. 9와 같이 CATIA V5의 CAD 프로그램을 이용하여 운전자 및 부품의 설치 위치 등을 고려하여 차량의 무게 중심을 고려하여 차량을 설계하고, 무게중심에 따라 전륜과 후륜에 걸리는 제동 하중을 산출한 후, 주어진 무게 중심 높이를 고려할 경우에 필요한 제동력을 계산하였다. 그런 다음 주어진 구속조건에서 작용할 제동장치 부품들을 선정하고 선정된 부품에서의 최적의 브레이크 페달비를 결정하였다. 마지막으로 설계 페달비 등을 적용하여 설계된 모든 부품들을 적용할 경우의 실제 제동력을 파악하고 이론적으로 요구되는 제동력과 비교하여 최종적으로 설계안을 확정하였으며, 설계도를 기준으로 부품을 가공, 제작 및 조립하여 시제품 차량(Fig. 10)을 완성하였다.

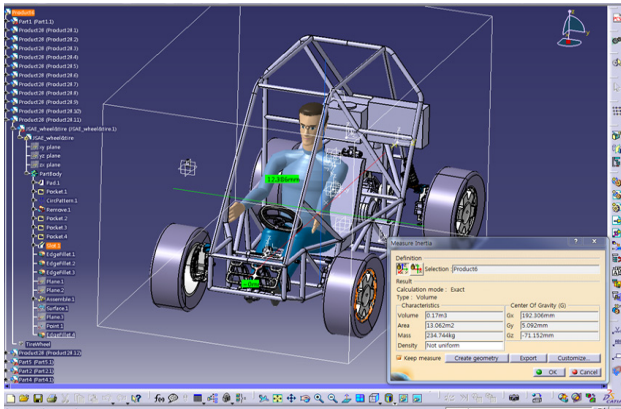


Fig. 9 CATIA design for center of gravity



Fig. 10 Prototype of Baja vehicle

Table 3 Design process in the braking system

① 무게 중심에 따른 제동 하중				
무게중심 높이	정하중(kN)		동하중(kN)	
	전륜	후륜	전륜	후륜
400 mm	1.76	1.18	2.16	0.79
450 mm	1.76	1.18	2.2	0.74
500 mm	1.76	1.18	2.25	0.69



② 제동거리에 따른 필요 제동력(무게중심 높이 : 500mm)				
제동거리	동하중(kN)		필요 제동력 (kN)	
	전륜	후륜	전륜	후륜
15 m	2.25	0.69	1.20	0.37
13 m	2.35	0.59	1.50	0.38
11 m	2.50	0.44	1.99	0.35



③ 제동장치 부품 검토 및 페달 비 선정	
제동장치 부품	치수
타이어유효반경	280 mm
Brake disc pad 직경	65 mm
Brake caliper 실린더 직경	25 mm
Master cylinder 직경	20.64 mm
BEF(제동효율계수)	0.8
Stepping Power	500 N
Ratio of pedal	10/3



④ 선정된 부품을 고려한 실제 제동력과의 비교				
제동거리	이론 제동력 (kN)		실제 제동력 (kN)	
	전륜	후륜	전륜	후륜
15 m	1.20	0.37	1.81	0.85
13 m	1.50	0.38	1.81	0.85
11 m	1.99	0.35	1.81	0.85

마. 검증(Verify) 단계

핵심설계요소를 반영하여 설계된 자작자동차의 시제품 검증은 2018년 대학생자작자동차대회를 통해 이루어졌으며, 크게 검차와 내구 주행시험으로 구분되어 검증이 진행되었다. 검차는 기본적으로 정지된 상태에서 차량의 규정에 맞게 차량이 제작되었는지, 안전에 문제는 없는지, 제동은 잘 되는지 등을 중심으로 이루어졌으며, 제동성과 관련한 검차를 통과하여 내구 주행시험을 실시하였다. 내구 주행시험에서도 잦은 제동 상황에서도 앞 차량과 부딪치지 않고 차량을 운전할 수 있도록 제동성능이 확보됨을 알 수 있었다. Fig. 11은 내구 주행시험을 통해 검증을 실시하고 있는 사진을 나타낸 것이다.



Fig. 11 Verification vehicle at KSAE race

바. 보고서 작성(Report) 단계

검증 단계까지 완료한 팀은 정의 단계에서부터 진행되었던 프로젝트 수행 내용을 연구노트, 최종보고서, UCC, PPT 발표 자료의 형태로 작성하여 제출하도록 하였다. 매주 진행된 프로젝트 내용을 지도교수의 지도하에 연구노트에 기록하도록 하였으며, 최종보고서는 보고서 형식에 맞게 프로젝트의 개요, 목표, 설계내용 및 검증, 결과 및 고찰 등까지의 전반적인 내용을 수록하도록 지도하였다. 또한 학내 캡스톤디자인 경진대



회 및 외부 경진대회에 참가할 수 있도록 UCC와 발표자료를 제작하도록 지도하였으며, 최종 완성된 차량과 함께 제출된 발표자료 등을 가지고 산업체 관계자가 참여하는 전시회 및 결과 발표회를 진행함으로써 캡스톤디자인을 마무리하였다.

### 3. DMADVR 방법론 적용에 따라 고찰

DMADVR 방법론을 종합설계 교육에 적용한 결과 다음과 같이 몇 가지 시사점이 있음을 발견하였다.

첫째, 최종 결과발표회에서 학생들이 프로젝트 결과를 발표할 때 산업체 관계자들이 6-sigma 방법론 적용을 매우 긍정적으로 평가함을 알 수 있었다. 이에 실제 산업현장에서 적용하고 있는 6-sigma 방법론이 ABEEK의 설계기준에 부합하면서 산업현장과 대학 교육의 괴리감을 줄일 수 있는 적합한 설계방법론이라고 판단되었다.

둘째, 수정된 6-Sigma 방법론인 DMADVR 방법론이 ABEEK에서 요구하는 문제정의, 개념 설계, 예비설계, 상세 설계 등이 모두 포함된 설계 절차로 구성되어 있고, 각 절차에 맞는 합리적인 설계도구들을 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 특히 팀워크 활동과 의사소통 능력 제고를 위한 학습성과 측면에서 연구노트, 최종보고서 및 발표자료 등의 작성 및 지도에 관한 보고서 단계를 추가한 것은 매우 의미 있는 과정이라고 볼 수 있다.

셋째, 설계방법론에 대한 교육이 기초설계 교육과정에서부터 진행되는 것이 바람직하다고 판단되었다. 기초설계 교과목에서 6-Sigma 방법론을 교육하지 않은 상태에서 종합설계를 통해 설계방법론을 교육하고 적용함에 따라 설계 관련 용어 등이 친숙하지 못하여 곧바로 각 설계단계를 수행할 때 세부적인 내용들을 반복적으로 지도해야하는 어려움이 있었고, 이 과정에서 시간이 많이 소요되는 측면이 있음을 발견하게 되었다.

상기 내용들을 종합하여 볼 때, 종합설계 교육에서 DMADVR 설계방법론을 적용하는 것은 산업 현장과의 밀접하면서도 공학교육인증에 부합하는 설계 교육임을 판단하게 되었다.

## V. 결 론

최근 많은 대학에서 종합설계 교육에 대한 효과적인 방법론을 개발하고 적용하려는 움직임이 있으나, 산업현장과 밀접한 설계교육방법론이 미비함에 따라 관련하여 적절한 설계방법론

모델에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 종합설계 교육을 위한 방법론으로 6-Sigma 모델을 수정한 DMADVR 설계방법론을 새로운 설계방법 모델로 제안하고 그에 대한 적용 사례를 살펴보았다. 제안된 DMADVR 설계방법론은 문제 정의, 측정, 분석, 설계, 검증 및 보고서 작성 등의 단계로 이루어져 있고, 각 단계별 수행 도구들과 결과물을 창출할 수 있도록 구성되어 있어 공학설계를 효과적으로 수행할 수 있음을 알게 되었다. 특히 제안된 DMADVR 설계방법론은 공학교육인증에서 요구하는 설계 단계 및 절차 등을 포괄하면서도 산업 현장에서 사용하고 있는 제품 개발공정 모델을 반영함으로써 학교 교육과 산업 현장과의 괴리감이 없는 모델임에는 틀림이 없다고 판단된다. 제안된 공학설계 방법론이 실제로 공학설계에 적용되기에 많은 시행착오 등이 필요할 수 있겠지만, 산업현장에서 수용 가능한 효과적인 공학설계 교육으로 정착될 수 있기를 기대해 본다.

## 참고문헌

1. 김종빈(2005). Commercial 6시그마 실천 매뉴얼. 디에스알아이.
2. 김종원(2008). 공학설계-창의적 신제품 개발방법론. 문운당.
3. 노재범·이팔훈·이승훈(2005). 서비스 이노베이션 엔진, 6시그마. 삼성경제연구소.
4. 창원특수강6시그마연구회(2003). 실행하기 쉬운 6시그마 DFSS 기법. 한국능률협회.
5. 한국공학교육인증원. 공학교육인증기준2015. ABEEK-2014-ABE-010
6. 한국공학교육인증원. KEC2015 인증평가 판정가이드.
7. Dieter G.E. & Schmidt L.C.(2007). *Engineering Design*. McGraw-Hill.
8. Dym. C. L. et al.(1994). *Engineering Design*. Wiley.
9. Eggert R.J.(2005). *Engineering Design*. Pearson Education, Inc.



**유경현 (Ryu, Kyunghyun)**

1995년: 전북대학교 기계공학과 졸업

1997년: 동 대학원 기계공학과 석사

2003년: 동 대학원 기계공학과 박사

2015년: 국립군산대학교 교육개발원장

현재: 국립군산대학교 기계융합시스템공학부 교수

관심분야: 공학인증, 공학설계, 학습성과

E-mail: khryu@kunsan.ac.kr