

FMEA를 이용한 수소 국제표준 제정의 방법론

구연진 · †강병익 · 임상식 · 조영도

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2018년 4월 26일 접수, 2018년 7월 26일 수정, 2018년 7월 27일 채택)

Methodology for the International Standardization of Hydrogen using FMEA

Yeon-Jin Ku · †Byung-IK Kang · Sang-Sik Yim · Young-Do Jo

Korea Gas Safety Corporation Institute of Gas Safety R&D

(Received April 26, 2018; Revised July 26, 2018; Accepted July 27, 2018)

요약

수소 에너지는 20세기 대표에너지인 석유, 석탄의 대체 에너지로 각광받고 있다. 또한, 수소에너지가 가지고 있는 미세먼지 제로, 풍부한 에너지원 그리고 생태계의 무영향 등의 이점은 다른 신재생 에너지원보다 비교 우위를 점하도록 하고 있다. 하지만, 수소 에너지의 명확하지 못한 제품 개발기준과 사용법은 수소 에너지 관련 제품군의 사고 위험도를 높이고, 수소의 높은 에너지 준위는 사고 발생 시, 큰 사회적 문제를 일으킬 요소를 내재하고 있다. 따라서, 본 연구는 빠른 수소 에너지의 표준화 방안을 제시하여 신제품 개발이 대부분인 수소 에너지 관련 제품의 안전한 시장 정착에 도움을 주고자 한다.

Abstract - Hydrogen energy has been attracting attention as an alternative energy source for petroleum and stoneware. In addition, the benefits of hydrogen energy, such as no dust, abundant energy source and no ecological impact, were to compare favorably with other renewable energy sources. However, unclear product development standards and usage of hydrogen energy increase the risk of accidents in hydrogen energy related product lines. And, the high energy level of hydrogen has implications for large social problems in the event of an accident. Therefore, this study suggests the standardization method of fast hydrogen energy to help secure the safe market of hydrogen energy related products, which are mostly developed new products.

Key words : hydrogen energy, hydrogen energy related product line, international standard, mother standard

I. 서론

19세기 후반과 20세기 전반 그리고 21세기 전반에 걸쳐 우리는 석탄과 석유의 고품질 에너지원에 기대 윤택한 삶을 영위하였다⁽¹⁾. 또한, 화석연료의 매장량을 우려하여 발전한 원자력은 에너지 소비 단가를 낮추는 성과를 이룩하였다. 하지만, 체르노빌 사건에서 시작된 원전사고는 낮은 에너지 소비 단가의 기회비용은 우리 생명임을 알려주었고, 화

석연료의 의존은한 때 봄철 불청객이던 황사가 미세먼지라는 이름으로 탈바꿈하여 연중 우리 호흡기와 피부를 위협하는 원인이 되었다⁽²⁾. 이런 상황에서는 인류는 기존 에너지원들을 대체하기 위한 태양광, 풍력 등 여러 가지 에너지원을 찾게 되었다.

상기 대체 에너지원들 중 수소 에너지는 미세먼지 없는 청정자원, 풍부하고 값싼 에너지원 그리고 생태계 영향이 없는 에너지원으로 그 가치를 인정받고 있다⁽³⁾. 또한, 수소 에너지가 가지는 높은 에너지 준위 그리고 전후관계의 화학적 완벽함은 고품질의 에너지원으로 또 기존의 에너지원들의 대체 에너지원으로 손색이 없다. 하지만, 위에서 서술한

†Corresponding author: byungik@kgs.or.kr
Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

상기 장점에도 불구하고 부족한 기반기술, 수소의 높은 에너지 준위 그리고 국제 표준화 부족은 수소 관련제품들의 사고 위험성을 높이고, 사고 발생 시 경제적, 사회적 문제를 야기 시킬 수 있다⁽⁴⁾. 따라서, 질 높은 에너지원을 안전하게 사용하기 위해서 아래와 같은 수소 에너지의 사용 방안이 필요하다.

1. 높은 수소 관련 기술 확보
2. 상기 확보된 기술들의 신뢰성 확보 및 정리
3. 명확한 국제표준 제시

특히, 최종으로 명시된 국제표준 제시는 수소 관련 제품을 안정적으로 사용하기 위한 확실한 방법이 된다. 이에 본 연구는 수소 관련 제품의 국제표준을 구축하기 위한 최적의 방향을 제시하기 위해 수행되었다.

OECD 주요국 미세먼지 농도

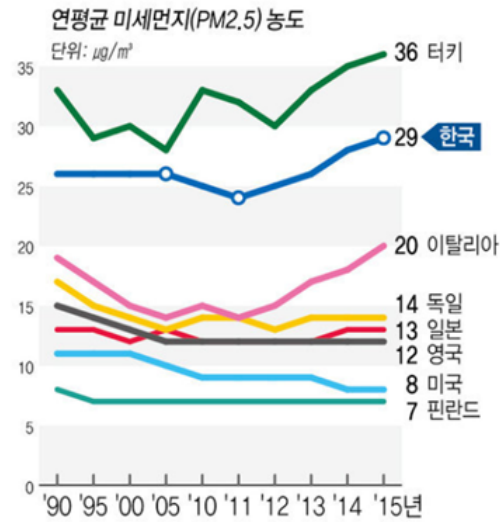


Fig. 1. Fine dust increase trend.

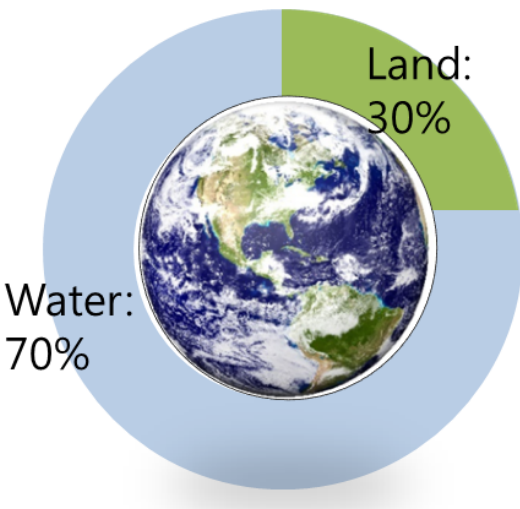


Fig. 2. Water, one of the hydrogen energy sources.



Fig. 3. Ecosystem disturbance of nuclear power generation.

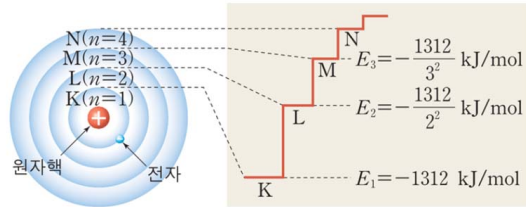


Fig. 4. High energy level of hydrogen energy.



Fig. 5. Examples of accidents of hydrogen energy.

II. 국제표준의 중요성

앞에서 언급한 대로 수소 관련 제품의 안전하고 경제적인 사용을 위해서 국제표준이 구축되어야 한다. 하지만, 수소의 경우 다른 여타 분야의 기술과 달리 제품 적용을 위한 연구가 폭넓지 않고 Mother Standard의 구축이 부족한 실정이다. 일부 외국의 경우 TC58, TC185, TC220 등을 바탕으로 TC197을 구성하여 활동하고 있으나⁵⁾, 아직 수소 분야의 Mother Standard의 위치를 공고하지 못한 상태이다. 따라서, 이 국제규격을 바탕으로 관련 제품의 국제표준을 정립하는 것에는 관련자들의 동의가 어려운 상태이다.

따라서, 표준의 정의(합의에 의해 제정되고 인정된 기관에 의해 승인되며, 주어진 범위 내에서 최적수준의 질서확립을 목적으로 공통적이고 반복적인 사용을 위하여 규칙, 지침 또는 특성을 제공하는 문서)⁶⁾에 따라 수소 관련 제품들의 국제표준이 확립된다면 국제적인 공감대 형성이 가능함으로써 아래와 같은 이점이 발생할 것으로 판단된다. 첫째, 호환성 및 상호 운영성 제고. 이는 다른 기종간에 정보교환 및 처리를 가능하게 하여 경제적인 개발이 가능하도록 할 것이다. 둘째, 관계자들 간의 의사소통. 이는 소비자 및 작업자들의 논리적인 이익 보호의 논리가 될 것이다. 셋째, 경제성 향상. 국제표준을 바탕으로 판매범위가 넓어지므로 대량생산이 가능하고, 기술의 중복투자가 방지되어 관련 비용이 절감될 것이다. 넷째, 무역활성화. 국제표준 제시 전 막연한 불안감을 바탕으로 조성된 수출입 제한 요소를 폐지하여 무역상 장벽을 제거하고 국제교역을 활성화 할 것이다. 다섯째, 시장진출의 도구. 소비자 및 시장의 안전 요구를 반영하여 수소 관련 제품의 시장진출을 용이하게 할 것이다. 여섯째, 소비자 편의성 제공. 관련자들의 합의에 이루어진 국제표준을 반영하므로 검증된 정보를 바탕으로 제품을 이용하는 소비자들의 편의성을 높일 수 있다. 일곱째, 제품 및 서비스 품질 개선. 국제표준에 최소 품질 기준을 정하고 기준에 대한 정량적 평가가 가능하므로 수소 관련 제품의 최소 품질이 보장되고 서비스 성능의 측정 기준을 마련할 수 있다. 여덟째, 공공안전 및 보호. 안전한 제품의 제공이 가능하므로 국가의 안보와 안전을 확보할 수 있고, 국민 삶의 질을 향상할 수 있다.

상기 언급된 장점을 완벽히 그리고 논리적으로 확보하기 위해서는 국제표준 내용의 근거가 명확하고 관련 내용에 대한 권위를 확보해 한다. 이를 위해 기존의 국제표준은 전세계적으로 권위가 높은

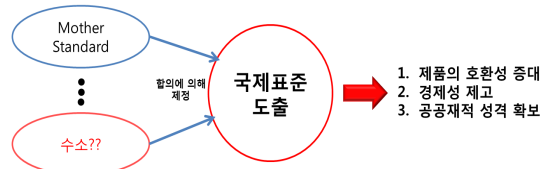


Fig. 6. International standard derivation and effect.

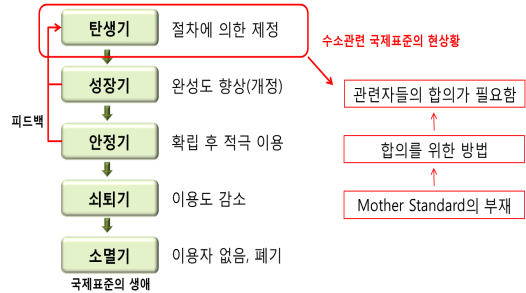


Fig. 7. Current status of hydrogen-related international standard.

Mother standard에 기대어 그 내용을 구성하고 대책안의 근거와 권위를 확보하였다. 하지만, 수소의 경우 Mother standard의 존재가 불명확하고, 기존 기술에 비해 기술축적 시간이 비교적 짧았다. 이에 기존의 방법을 사용하기엔 부적합하다. 더욱이, 수소 관련 국제표준의 현 상황은 국제표준의 생애에서 탄생기에 차지하고 있어 권위 있는 근거가 부족한 수소의 경우 많은 시행착오를 겪을 수 있다. 또한, 계속되는 시행착오는 관련자들의 추후 상호 합의가 필수적인 관련 국제규격의 도출을 더욱 어렵게 할 것이다. 이에 효과적인 수소 관련 제품의 국제표준 구축 방안을 도출하기 위하여 기존 국제표준의 개발과정을 자세히 살펴보고 이를 바탕으로 최적의 도출 방안을 설정할 필요가 있다.

III. 기존 국제표준의 개발과정

기존 국제표준의 경우 제품개발 전에 관련 기술의 대한 방대한 연구와 노하우가 선제적으로 축적되어 있었다. 그리고, 기술발전 역사에 비해 관련 국제표준의 역사는 비교적 짧았다. 따라서, 방대한 연구와 노하우를 바탕으로 Mother standard로 정립되어 2차 결과물과 3차 결과물이 도출되었다. 또한, Mother standard를 바탕으로 관련자들에게 손쉽게 합의 도출과 관련 제품의 안전성을 제공할 수

있었다. 결과적으로 이런 Mother standard의 권위와 신뢰성은 기존 국제표준의 구축에 중심이 되었다.

Mother standard가 기존 국제표준 개발에 핵심 열쇠가 된 이유는 Mother standard가 가지고 있는 그 특징에 있다. Mother standard는 아래와 같은 특징이 있다.

1. 해석적 혹은 실험적으로 구축된 이론의 완성도가 높다. 이는 기술 연구에 많은 시간 투자가 이루어졌음을 의미한다. 하지만, 수소의 경우 다른 기술 연구에 비해서 상대적으로 시간 투자가 많이 부족한 상황이다.
2. 많은 시행착오를 통해 노하우를 확보하여 규격 사용에 대한 신뢰성이 높다. 이 역시 많은 노하우를 확보하기 위해서 많은 전문가들의 경험치와 관련 데이터가 필요하다. 하지만, 수소의 경우 앞으로 노하우를 확보해야하는 상황에 놓여 있다.
3. 대내외적으로 인정된 전문가 인력풀 형성이 안정되어 있고, 이 인력풀에 의해서 Mother Standard가 검증되었다. 이 과정에서 베테랑 연구자들 간의 논리적인 합의가 이루어져 Mother Standard의 완성도를 시대에 따라 높일 수가 있다. 하지만, 수소의 경우 수소에 대해 오래 연구한 안정적인 인력풀 확보가 어렵다.

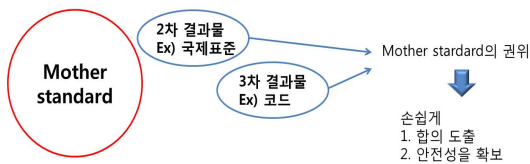


Fig. 8. Important of mother standard.

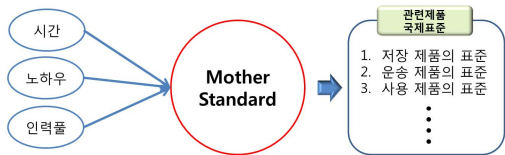


Fig. 9. Mother standard formation and related code.

IV. 수소 국제표준 개발 방향 제시

앞의 Mother standard 특징에서 언급한 듯이 수소는 Mother standard의 형성이 아직 여물지 않은 상태이다. 또한, 수소의 경우 연구실적과 노하우가 제품이 되는 게 현실이다. 따라서, 기존의 Mother standard에 기댄 국제표준 도출이 현실적으로 불가능한 상태이다. 하지만, 경쟁적으로 수소 관련 제품들이 전세계 시장으로 쏟아지고 있는 현실은 상기 상황과 달리 빠른 국제표준 도출을 재촉하고 있는 형국이다.

그렇다면 현 상황에서 기존 국제표준 개발 방법을 따를 수 없는 수소 국제표준 개발 위한 방안을 생각해보면 아래와 같다.

1. Mother standard를 제시하고 이를 이용한 수소 관련 국제표준을 제시한다.
2. 관련 제품의 국제표준에 집중하여 국제표준을 제시한다.

첫 번째 방법의 경우 기존의 개발 프로세스를 그대로 따르는 방법이다. 이 방법에 따르면 논리적인 방대한 데이터를 바탕으로 손쉬운 관련자들의 합의와 국제표준 제시가 가능하지만 Mother standard의 선제 제시를 위한 엄청난 시간소모가 예상된다. 결국 이 시간 소모는 관련제품의 불합리한 사용을 야기시키고 관련제품 시장점유의 장애물이 될 것이다. 하지만, 두 번째 방법의 경우 전단계에



Fig. 10. How to present international standards for hydrogen product.

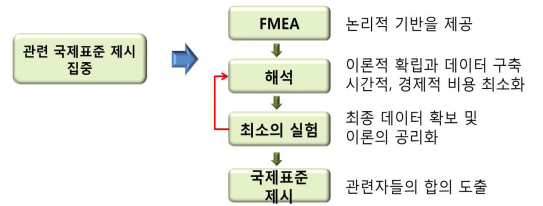


Fig. 11. Development course for international standard.

비해 비교적 빠른 국제표준 제시가 가능하다. 이와 같은 방법은 특히 4차 산업혁명에 따른 빠른 제품 개발 주기에 맞춰 관련 사업군의 헤게모니 또한 국제표준 제시자 혹은 나라에게 안겨 줄 것이다. 그렇지만, 두 번째 방법을 선택하더라도 관련 제품의 성능에 관련된 모든 기준을 제시하는 것과 제시된 국제표준의 시행착오를 줄일 필요가 있다. 본 연구에서는 상기 두 번째 방법에서 우려되는 완벽성과 시행착오 문제를 해결하기 위해서 FMEA와 해석 방법을 제시하고 있다.

산업계에서는 신 제품설계와 그 제품의 사용 시 발생할 수 있는 불량과 사고를 미연에 효과적으로 대처하고, 그에 맞는 개선안을 제시하기 위해 FMEA (Failure Mode Effect Analysis)를 사용하고 있다.⁽⁷⁾ FMEA는 1940년대 개발되어 아폴로 프로그램에 집중적으로 사용되었다. 그 후 아폴로 프로그램이 성공적으로 마무리되어 새롭게 제품개발 시 FMEA의 효용성을 인정받게 되었다. 효용성을 인정 받은 FMEA는 NASA(National Aeronautics and Space Administration)의 아폴로 프로젝트 이후 이직한 엔지니어들을 통해 1960년대부터 타 산업으로 전파되기 시작하였다. 이렇게 타 산업으로 전파된 FMEA는 새로운 제품 개발 시 개발비용을 줄이고 사용 시 안전성을 높여 주었다. 이와 같은 신제품에 대한 접근법은 제품개발과 그 제품의 안전한 사용을 위한 국제표준이 함께 제시되어야 하는 수소 관

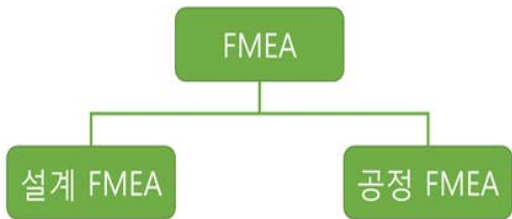


Fig. 12. Types of FMEA.

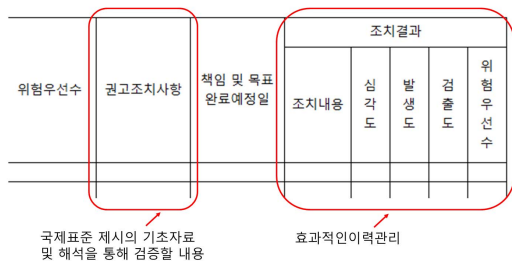


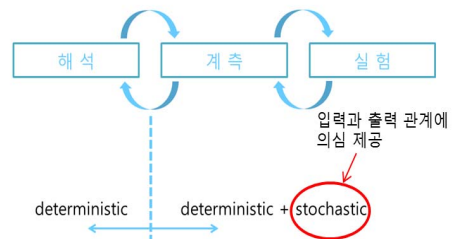
Fig. 13. FMEA Example.

련 품목에 유용하고 논리적인 접근법이 될 것이다.

이는 FMEA의 문서 종류와 작성 내용을 보면 한 번 더 명확히 확인 할 수 있다. FMEA의 종류는 설계 FMEA와 공정 FMEA로 나눈다. 이는 제품의 결함과 사용 중 문제점을 사전에 평가할 수 있으므로 제품 설계와 사용 중 안전성을 확보하기 위해 제시되는 국제표준의 목적에 정확히 부합한다. 또한, 제품을 바라보는 여러 가지 시각의 중요성을 정량화하는 QFD(Quality Function Deployment)⁽⁸⁾작업을 수행함으로써, 관련자들의 최후 합의 도출 시 논리적인 기반을 제공할 수 있다. 이는 국제표준 제시의 기초가 관련자들의 합의임을 생각해 볼 때, FMEA가 국제표준 제시에 논리적인 초기 접근법임을 알 수 있다.

FMEA로 작성된 논리적인 대책안들은 현실적인 제시안들로 바뀌어지기 위한 정량적인 데이터들과 명확한 이론 제시가 필요하다. 대책안들을 현실적인 제시안들로 바꾸기 위한 데이터 확보에는 해석, 계측 그리고 실험의 방법을 사용할 수 있다. 이 중 해석은 주영향 인자만 확인할 수 있고, 나머지 계측과 실험은 주영향 인자와 함께 제품의 산포까지 확인할 수 있다.⁽⁹⁾ 하지만, 명확한 기준을 제시하는

Fig. 14. QFD for logical direction.



The results of the analysis are believed only by the interpreter, and the results of the experiment are believed by all but the experimenter

Fig. 15. Comparison of methods.

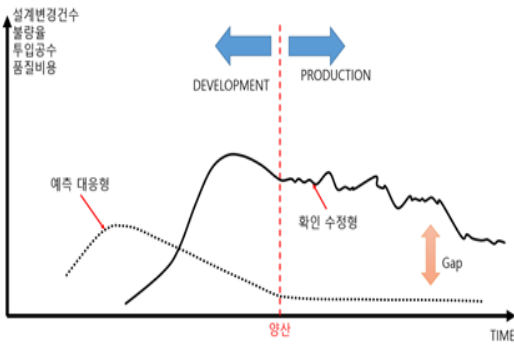


Fig. 16. Advantages of simulation.

국제표준 작업에 입력과 출력 관계에 의심을 제공하는 산포의 영향은 걸림돌이 될 수 있다. 또한, 수많은 케이스를 데이터를 확인하고, 이를 이용한 데이터 정립이 필요한 국제표준 제시를 위해 많은 수의 계측과 실험은 부적합하다. 따라서, FMEA를 이용하여 확인한 논리적인 대책안을 해석으로 수많은 데이터를 확보하는 것이 국제표준 제시에 최적화 된 방법이다. 당연히 수많은 해석을 통해서 데이터를 확보한 국제표준 제시안에 대해서는 최소의 실험을 바탕으로 이를 검증하는 것이 중요하다. 상기 언급한 최소의 실험은 해석을 이용한 수많은 데이터에 기초적인 믿음을 제공할 것이다.

V. 결론

수소 에너지는 석유, 원자력으로 대표되는 에너지 환경을 친환경적으로 바꿀 수 있는 대체 에너지원이다. 따라서, 관련 제품들의 시장 진입이 대량으로 유입이 예상된다. 하지만, 무분별한 제품과 사용은 수소의 높은 에너지 준위 그리고 수소의 낮은 이해 등으로 큰 사회적, 경제적 손실을 유발할 수 있다. 이를 막고 수소 관련 제품의 올바른 제작과 사용 그리고 경제적인 개발을 위해서는 국제표준이 우선되어야 한다.

본 연구는 기존의 국제표준 개발처럼 Mother standard의 후보군이 명확치 않아 국제표준 제시

가 어려운 수소 관련 국제표준의 효과적인 제시 방향을 찾고자 연구되었다. 연구결과 초기 논리적인 방향설정과 대책안 제시를 위해 FMEA방법이 선택되었다. 그리고, 제시된 대책안을 현실적 기준으로 바꾸기 위해 해석을 이용한 데이터 확보가 추천되었다. 최종적으로 최소의 실험을 통한 해석 데이터 검증을 통해 관련자들의 합의를 위한 토대를 마련할 수 있게 하였다. 본 연구를 통해서 Mother standard에 기댈 수 없는 수소 관련 국제표준 제시 작업에 경제적인 방법론을 제시하였다. 본 방법론은 개발과 국제표준이 같이 이루어져야 하는 분야에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Arrighi, G., 1994, *The Long Twentieth Century : Money, Power and the origins of Our Times*, Verso, London.
- [2] Lim, S. J., 2001, *From the source development to the closure process of the German nuclear policy*, Jeonju University, Jeonju.
- [3] Akkerman, Janssen, Rocha and Wijffels, 2002, *Photobiological hydrogen Production: Photochemical Efficiency and Bioreactor Design*, Int. J. of hydrogen Energy, Vol. 29.
- [4] Jo, Y. D., 2012, "Hazard Distance from Hydrogen Accidents", Journal of the Korean Institute of Gas, pp. 15~21.
- [5] ISO TC 197, *Hydrogen Technologies*.
- [6] KS, *KS A ISO/IEC Guide 2*, Korea.
- [7] Robin E., Raymond J., Michael R., 2008, *The Basics of FMEA 2ed*, CRS Press, NewYork.
- [8] Noel, L., Humberto, A., 1998, "A new model of the Conceptual Design Process using QFD/FA/TRIZ", The TRIZ journal, July
- [9] Kang, B. I., Kil, S. H. and Jo, Y. D., 2018, "Research of Durability Assessment Using Service Environment", The Korean Society of Mechanical Engineers, p. 65.