Elliptical Trainer의 실험 분석을 통한 공학교육에 적용되는 귀납법적 추론 분석

Analysis of the Deductive Inference in Engineering Education through the Experiment of Elliptical Trainers

황 운 학*

Un Hak Hwang*

요 약

이 연구의 본론에서 공학 교육에 적용되는 귀납법적 확증(confirmation)과 연역법적 검증(verification)을 다루고 이어서 귀납법 추리의 원리를 모형도를 통해 알아보았다. 그리고 이어서 공학교육에서 널리 쓰이는 확률론적 추론의 도입 배경과 보편적 명제에 대한 확률적 검정(test))을 논의하였고 또한 실험에 대한 귀납법의 인정여부를 가지고 역사적으로 학계에서 끊임없이 논의 되어온 귀납법적 추론에 대한 정당성을 비교 분석하였다.

공학 교육에서 흔히 쓰이는 실험에 대한 철학적 명제를 가지고 실험에 대한 설명으로 선택된 귀납법의 승리와 반전, 그리고 확증에 대해 알아보았다 .이어서 실험에서의 전제, 절차, 및 통제에 대하여 논의 되어졌다. 마지막으로 귀납법적 추론 예제로써 Elliptical Trainer 실험 결과를 가지고 확률론적 추론이 어떻게 가능한지 보여 주었다. 그 결과 82%의 참 확률을 가지고 3개의 추론을 하였는데 이 연구에서는 보통 공학연구와 달리 추론(결론 법칙)에 대한 참 확률을 표기하여 공학에서 주로 적용하는 귀납법적 방법 자체가 확률추론임을 알린다.

Key Words : Deductive Inference, Science and Engineering Philosophy, Engineering Education.

ABSTRACT

For a basic engineering education the confirmation and verification of the deductive Inference was studied and the principle of probability inference was applied. The background of introduction of deductive Inference and its test method was mentioned, and historic arguments on the compatibility of deductive statistical inference was summarized and analyzed. Philosophical arguments on the deductive confirmation for engineering experiments was introduced. Premise, procedure, and control of the experiments are studied. As an example of the deductive probability inference three groups of experimental data were used in order to find successful inferences respectively.

I. 서 론

학문으로써 공학은 논리학적으로 명제(Proposition)를 세운 뒤 논거(Argument)를 제시하면서 결론(Conclusion)에 이르는 과정인데, 이것을 추론(Inference)이라 한다.[1] 추론의 대표적인 방법으로는 연역법, 귀납법, 유비추론, 변증법, 등이 있다. 이 추리 논리는 공학도들이

* 한국기술교육대학교 교양학부(uhhwang@koreatech.ac.kr)
제1저자 (First Author) : 황운학, 교신저자 : 황운학

접수일자 : 2013년 4월 26일
수정일자 : 2013년 5월 24일
확정일자 : 2013년 6월 07일

학문을 할 때 자신의 의견이나 주장을 남들에게 알리는 방법이다. 공학의 기초 학문에서 터득해야 될 많은 지식들은 여러 가지 추론에 근거하여 진행되어진다. 따라서 공학 교육은 이 추론을 기본 논리로 하여 이루어지며 특별히 귀납법을 모태로 하며 이에 대한 논증과 반증이 끊임없이 이루어져 왔다. 먼저 여러 가지 추론에 대한 기본적인 내용을 서론에서 알아본다.

1. 연역법(演繹法, Deductive)

일반적 원리(대전제)를 근거로 구체적, 개별적 문제에 대한 결론을 이끌어낸다. 일반적인 원리를 가지고 구체적이고 특수한 사실을 증명하는 방법이다. 예를 들면,

모든 물체(M)는 지상에서 낙하(P)한다. (대전제) (일반적 원리LAW OF PHYSICS)
야구공(S)은 물체(M)이다. (소전제) 구체적 사실
따라서 야구공(S)은 지상에서 낙하(P)한다. 추 론(구체적 원리)

참고로, 위와 같은 삼단 논법(三段論法, Syllogism)은 가장 대표적인 연역법 추론이다.

이 연역법은 공학도들의 일반물리학의 수업에 적용(99%)되는데 그것은 대전제인 물리학 법칙들을 선배 과학자들이 지난 150여년에 걸쳐 발견했기 때문이다. 즉 만유인력의 법치, 운동량 보존법clr, 에너지 보존법칙, 열역학 법칙, 쿨롱의 법칙, 암페어 법칙, 파라데이 법칙, 오옴의 법칙, 비오-사바르 법칙, 등 각각의 법칙을 대전제로 하여 좀 더 구체적인 사실들을 규명하고, 이들을 공학적 설계의 기본개념으로 활용하는 훈련을 하는 것이 공학도를 위한 일반물리학 수업이다. 하지만, 이와 병행하여, 20여 가지의 물리학 실험을 직접 수행함으로써 귀납적 방법에 의한 물리학 법칙을 스스로 찾음으로써 선배 과학자들의 여정도 동시에 수행한다.

2. 귀납법(歸納法, Induction)

이것은 여러 가지 구체적인 사실에서 공통적으로 나타난 현상을 통해 일반적인 원리(법칙)를 이끌어내는 방법이다. 즉, 구체적, 개별적 사실들을 논거로 하여 일반적 원리를 이끌어 내는 방법인데, 예를 들면,

공기저항을 무시할 때 우박이나, 야구공이나, 사람이나, 파편이나 동일한 가속도로 떨어진다.
그러므로 모든 물체는 낙하 시 가속도가 같다. 추론 (LAW OF PHYSICS)

이 귀납 추론의 가장 주요한 특징은 관찰된 사실로부터 관찰되지 않은 사실을 이끌어낼 수 있다는 점이다. 그렇기 때문에 귀납 추론은 우리의 일상생활은 말할 것 없고 많은 분야에서 아주 유용한 추론법이다. 그 중에서도 특히 과학은 귀납 추론과 가장 밀접한 관련을 맺고 있는 분야이다. 이미 알고 있는 개별적인 사실을 바탕으로 새로운 이론을 발견해야만 하는 과학의 특성상 귀납법의 사용은 필연적인 선택인 것이다. 귀납추론에는 크게 통계적 귀납추론과 인과적 귀납추론이 있다.

귀납법 추리의 약점은 부분적 관찰에서 결론을 끄집어낸 것이므로 이 결론이 절대적 진리가 아닐 수도 있다. 즉 성급한 일반화의 오류에 빠질 수도 있다는 점이고, 강점은 선행자의 일반적 원리를 구체적 사실로 간주하여 후발 연구자가 더 넓은 관찰을 함으로써 더욱 범위가 “확장된” 일반적 원리를 찾을 수 있어(연구의 연속성), 더욱 보편화된 자연 법칙을 찾아내는데 유리하다. 따라서 귀납적 방법의 한계를 극복하기 위해서는 개별적 사실들에 대한 시간적, 공간적 객관성 검증이 필요하며 (실험 필요), 동시에 귀납의 출발점인 기존 경험이 과연 확실한 근거를 가지고 있는가 그리고 반대되는 경험은 존재하지 않는지에 대한 무한 자료 조사가 필요하다. 물리학 및 공학 실험에서는 이 방법에 의거하여 데이터를 수집하여 이를 분석하여 일반적 법칙을 찾는 것이 (아래의 통계적 귀납추리) 목적이지만 사실상 실험데이터(실험값)와 법칙(이론값)의 값을 서로 비교하여 오차를 계산하여 사실상 공학적 응용에 더 무게를 두고 진행된다.

(1).통계적 귀납 추론(Statistical inductive reasoning) 또는, 열거적 귀납 추론

통계적 귀납 추론이란, 어떤 집합의 구성 요소

의 일부를 관찰하여 그것을 바탕으로 해서 그 집합의 구성 요소 전체에 대해서 결론을 내리는 추론이다. 그런데, 그것이 타당성을 지니려면 다음과 같은 두 가지 점에 유의해야 하는데, 첫째는 일반화해도 좋을 만큼 충분한 자료를 수집한 후에 일반화해야 하고 (그렇지 않으면 성급한 일반화의 오류에 빠지기 쉽다.), 둘째는 결론이 편파적인 것이 되지 않도록 대표적인 사례를 선정해야한다 (그렇지 않으면 논증부족의 오류에 빠지기 쉽다).

(2).인과적 귀납 추론(Causal inductive reasoning)

(a) 일치법(一致法) : 공통적으로 일치된 사실을 어떤 결과나 사건의 원인으로 판단하는 방법이다.

변전소 인근에 사는 어린이들은 다른 동네에 사는 어린이들과 모든 것이 비슷하지만 오직 다른 점이 있다면 백혈병 발병 빈도가 높다는 것뿐이다. 따라서 변전소에서 흐르는 전류가 만드는 전자기파가 어린이의 백혈병 원인이라고 추론할 수가 있다.

(b) 차이법(差異法) : 특수한 요인의 투입 여하에 따라 어떤 특별한 결과가 발생하거나 발생하지 않는다면, 그 요인이 바로 이유이라고 판단하는 방법이다.

정지된 전하가 전기장이 분포된 지역과 자기장이 분포된 지역에 놓여 있는데 전기장이 분포된 지역에서만 힘을 받았다. 따라서 정지된 전하가 힘을 느낀다면 주위에 보이지 않는 전기장이 있다는 추론이 가능하다.

(c) 일치 차이 병용법(倂用法) : B의 사건에는 A라는 현상이 나타나며, C의 경우에는 A라는 현상이 나타나지 않을 때, A가 B라는 사건의 원인이라고 판단하는 방법이다.

자석을 금속 구에 가까이 접근하니 서로 끌어당기는 힘이 있었다. 자석을 벽돌에 매우 가까이 접근해도 서로 끄는 힘이 없다. 따라서 자석을 댔을 때 끌어당기는 힘이 있다는 것은 물체가 금속구이기 때문이다라고 결론 내릴 수 있다.

(d) 잉여법(剩餘法) : 복잡한 현상 중에서 이미 그 원인을 알게 된 부분은 제외하고, 나머지 미지의 부분에 대하여 그 인과 관계를 규정하는 방법이다.

낙하하는 물체가 갖는 낙하 할 때 가속도는 지상에서 높이에 반비례하고 끌어당기는 질량, 그리고 만유인력 상수에 따라서 달라진다. 지상에서 높은 곳에서 낙하하는 물체 A는 지표면에서 낙하하는 B물체보다 가속도가 항상 작다.

두 물체를 끌어당기는 질량은 지구로써 동일하고 만유인력 상수는 불변이므로 A와 B의 가속도 차이는 지표면으로부터 떨어진 거리가 차이가 나기 때문이다 (A가 B보다 작다)라는 결론을 내릴 수 있다.

(e) 공변법(共變法) : A라는 현상이 변화함에 따라 B라는 현상도 변화할 때, A를 B의 원인이라고 판단하는 방법이다.

고순도 우라늄(235)은 충격을 가하면 핵분열이 쉽게 일어나고 순식간에 고열 폭풍과 방사는 물질을 배풀하여 파괴력이 크므로 핵폭탄 원료로 쓰인다. 고순도 플로트늄(239)은 충격을 가하면 핵분열이 쉽게 일어나고 순식간에 고열 폭풍과 방사는 물질을 배출한다. 그러므로 플로트늄도 핵폭탄 원료가 될 수 있다.

3. 유비추론 (Analogical reasoning)

두 개의 대상의 속성이 동일하다는 사실을 근거로 그것들의 기타 속성도 동일하리라는 결론을 끌어내는 추론의 방식이다. 귀납추리와 유사하지만 비교 속성이 여러 개인 경우로 단순한 귀납법 보다 더 일반적인 추론이 된다.

미래형 자기부상열차에 극저온 초전도체가 필수적이다.(장) 상온 초전도체는 극저온의 환경을 만들기 위한 액체 수소가 필요없다.(반) 따라서 미래형 자기부상열차 제작을 위해서는 극저온 초전도체 제작은 물론 상온 초전도체 개발이 병행되어야 한다.(합)

이 추론할 때 유의점은

(1) 같은 논증에서 동일한 어구는 동일한 뜻으로 사용되어야 한다.

(2) 증명이 필요한 사항을 증명 없이 진실로 받아들이지 말아야 한다.

(3) 차분한 논리 전개에 따르지 않고 중간 과정을 뛰어넘어 비약시켜선 안 된다.

(4) 논증하는 문제와 무관한 사항을 끌어들여 본래의 문제를 망각해선 절대 안 된다.

4. 변증법

두 개의 대립되는 개념, 즉 正(정)과 反(반)을 기본 원리로 하여 이를 서로 조화시켜서 새로운 개념인 合(합)을 이끌어 내는 방법이다.

전선으로 만든 회로가 있다. 스위치를 내리니 전류가 흐르지 않았다. 전류가 흐르지 않는다는 것은 전선 속에서 전자가 흘러가지 않는다는 것을 의미한다. 이 때 전선 주위에서는 자기장이 검출되지 않았다. 이번에는 스위치를 올리니 전선 주위에 자기장이 검출되었다. 따라서 전자가 움직이면 그 주위에 자기장이 만들어진다는 결론을 내릴 수 있다. (비오-사바르 법칙)

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 Ⅱ장에서는 실험결과에 대해 공학 추론의 핵심인 귀납법적 확증(confirmation)과 연역법적 검증(verification)을 다루고 또한 귀납적 추론의 모순과 이를 극복하여 공학적 추론으로 살아남기 위한 역사적인 노력들을 다룰 것이다. 제 Ⅲ장에서는 수행된 실험결과를 집단적 확률론에 입각하여 추론의 논증과 반증을 알아볼 것이다. 제 Ⅳ장에서는 선택된 실험에 대한 확률론적 추론의 결론이 나와 있다.

II. 본 론

1, 귀납법적 확증(confirmation)과 연역법적 검증(verification)

어떤 전제를 근거로 하여 다른 진술이 참임을 결론짓는 추론방법에는 대표적으로 연역적 추론법과 귀납적 추론법이 있다. 필연적 확실성을 근거로 하는 연역적 추론에서는 대부분의 경우 어떤 한 관찰된 현상을 설명하기 위해 그 현상이 확실성이 있고 참인 한 일반적 법칙에서 연역해 낼 수 있는 경우에 해당하는 것임을 논증한다. 그런데 이러한 보편적 명제에서 특수 개별 명제들을 도출하거나 개별 명제와 어떠한 경험적 자료와의 합치성을 추론해 내는 확실성 있는 추론은 가능하다. 그렇지만 특정 경험적 자료의 내용과 같이 참이 개별 명제에서 보편적 법칙에 대한 추론을 할 수 없다. 즉 이미 알려져 있는 보편적 지식 이외의 새로운 보편적 지식을 이끌어 낼 수 없다. 따라서 경험적 자료를 근거로 보편적 원칙을 찾으려는 과학적 방법의 핵심적인 추론법이 될 수 없다. 이에 J .S .Mill은 연역법은 합치성의 논리 에 그치며 귀납법만이 발견의 논리 요 참의 논리라고 표현하고 있다.[19] 그렇기 때문에 공학은 귀납적 추론을 택한다.

귀납적 추론법이 공학적 논증의 주된 방법 이라면, 어떻게 그러한 귀납적 추론에 의해 보편적 법칙을 도출하는 것이 가능한지를 알아보자. 귀납적 추론이란 확실성이 결여된 채 하나의 진술에서 다른 진술로 추론해 나아가는 것을 말하며, 흔히 참인 낱개의 사실에서 보편적 진술로 추론해 나아가는 것을 말한다. 즉 직접적

으로 관찰된 사실이나 그에 합치하는 진술에서부터 직접적으로 완벽하게 관찰 검증할 수 없는 진술의 참 여부를 추론하는 것이다. 이러한 귀납적 추론의 형식은 선행사건 A1, A2, A3,... An의 충족 여부를 관찰하고 다음에 선행사건에 뒤따라 일어나는 후행사건 B의 발생여부를 관찰하여 그에서 <A1...An이면 B이다>라는 관계성을 찾아내고 이어서 보편적 법칙(A1... An이면 B이다)을 추론하는 것이다. 아래 그림1에 공학 교육에서 적용되는 귀납법 추리의 원리에 대한 모형도가 나타나 있다.

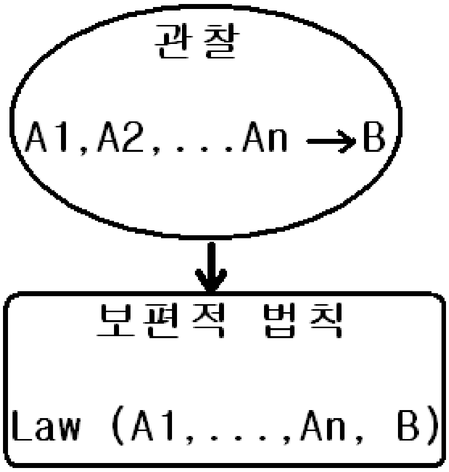

그림1. 공학 교육에서 적용되는 귀납법 추리의 원리에 대한 모형도

Figure 1. Model of the Deductive Inference in Engineering Education.

이러한 귀납적 추론의 한 개 또는 몇 개의 제한된 경험적 사례에서 모든 아직 경험이 안 된 사례에까지 일반화하여 추론하기 때문에 일종의 위험부담을 지니고 있다. 즉 관찰된 경험적 사례에서는 참인 명제, 법칙일지라도 아직 관찰이 안 된 동일 종류의 사례에서는 참이 아닐 가능성이 있다는 것이다. 아무리 사례표집을 많이 하여 사례 A1...An에서 <a이면, b이다> 라는 명제가 참이라는 것을 관찰하였다 해도, 나머지 사례들 A_{n+1}. 이상을 포함한 모든 경우에서 관찰하지 않고 모든 경우에 그 명제가 참인가 아닌가에 대해 절대적인 확실성을 가지고 이야기 할 수 없다. 그런데 모든 경우를 관찰해야 한다는 것은 무한한 시간, 공간, 사례의 경우를 다 관찰해야 한다는 것이고 그러한 완비적 귀납법은 현실적으로 수행 불가능하다. 따라서 어떤 명제를 지지하는 몇 개의 사례들에 근거하여 보편적 법칙을 추론한다는 것은 불확실하며, 오류가 있고 따라서 추론된 보편적 법칙의 참은 오직 확률적인 참에 불과하다는 것이다. 이와 같이 확실성이 결여된 채 사례에 근거하여 한 명제가 참일 가능성을 결정하는 과정을 확인 또는 확증(confirmation)이라 한다.

반면 어떠한 명제가 참이 아님을 보여주는 사례에서 보편적 명제에 대하여 추론하는 경우에는 단 하나의 부정적인 사례에 의해서 보편적 명제가 완벽하게 반증, 부정되어진다. 이와 같이 확실성을 가지고 (따라서 이 경우에는 연역적 추론에 해당한다) 자료에 근거하여 명제가 참임을 결정하는 과정을 검증(verification)이라 하며 부정적인 사례나 부정적인 진술에 의하여 보편적 명제가 참이 아님을 추론하는 것을 반증(falsification)이라고 한다. 이와 같이 한 개의 부정적 사례(진술)에 의해 보편적 명제가 반증은 될 수 있으나 한 개 또는 그 이상의 긍정적 사례(진술)에 의해서는 보편적 명제가 검증(절대적 참임을 밝힘)은 안 되고 확인 또는 확증(확률적 참을 밝힘)만 가능하다는 것이 귀납법의 불균형적 특징이다.

2, 확률론적 추론의 도입과 보편적 명제에 대한 확률적 검정(Test)

귀납법의 치명적인 단점을 보완하기 위해서 유일한 돌파구는 확증을 넓혀가는 것이다. 소수의 반증에 얽매일 필요 없이 더 많은 관찰을 통해 확증을 꾸준히 해가면 소수의 반증들은 저절로 소멸될 것이기 때문이다. 그래서 실험공학이 취할 수 있는 방법의 하나는, 확인주의자들의 입장을 고려하여 확률적 확인론을 택하는 것이다. 이러한 확률적 확인론의 요지는 다음과 같다. 즉 어떤 법칙을 지지하는 증거란, 제한되고 불완전한 증거이기에 그 증거들이 법칙에 대한 절대적 확실성을 부여하는 것이 아니라, 그 법칙이 참일 확률이 높다(more or less highly probable)는 특성을 제시하는데 지나지 않는다.

따라서 그러한 법칙이란 확률적 가설의 성격을 띠게 된다. 그러므로 공학에서의 법칙이 확률적 특성을 띤 보편적 진술임을 인정하고 그러한 확률적 법칙을 도출하는 귀납법의(불완전한) 정당성을 불완전 하지만 그대로 용인하자는 것이다. 일단 이러한 확률적 추론론의 입장을 택하고 난 후의 어떤 보편적 명제의 확률적 검증(test)은 다음과 같은 논지에 의해 진행된다.

즉 확률적 가설인 법칙 L에 의하며, 선행조건 A1...An이 실현되었을 때, 문제의 사건 B가 일어날 가능성은 상당히 높다 는 형태로 명제를 진술하고, 이를 다시 (선행조건 A1...An이 실현되었을 때) 확률적 가설인 법칙 L이 참이라면, 현상 B가 일어날 확률은 P이다 라고 추론된 명제를 진술한다. 이러한 명제가 참인가, 즉 법칙 L가 참인가를 확인하는 방법의 논리는 부정식(Modustollens)이란 간접 추론법에 의해 그 형식이 주어진다. 이 추론법은, If X , then Y 라는 대전제에서, Y가 거짓(falce)이면 따라서 X도 거짓임을 증명하는 연역적 논법이다. 이러한 연역적 추론에서는 Y 가 절대적으로 거짓일 수 있으나, 경험적 자료에 근거한 귀납적 추론에서는 Y 가 거짓임이 드러나는 것이 아니라 Y 가 가능성이 없음이(improbable) 드러나는데 그칠 뿐이다. 따라서 한 명제를 확률적 귀납적 추론에 의해 시험(Test)할 때, 우리는 Y 가 거짓임을 증명하는 사례에 의해서가 아니라 불가능(Improbable) 함을 보여주는(지지하는) 사례에 의해서 추론하게 된다. 그러므로 앞서 진술한 명제에서 <확률적 가설인 법칙 L이 참이고, 그 전제조건 A1...An이 충족되면>을 부정식의 X에, <사건 B가 나타날 확률은 P이다>를 부정식의 Y 에 대치하여, IF 확률적 가설은 법칙 L가 참이고 그 전제조건 A1...An이 충족되면, THEN 사건 B가 발생할 확률은 P이다 라는 부정식의 대전제 명제를 세운다. 그런 후에 <사건 B가 발생하는 확률 P‘ >을 실제관찰을 통하여 점검하여 불가능(Improbable)한 사례가 주어지면 가설인 법칙 L가 거짓임을 추론하게 되는 것이다. 그런데 실제로 우리가 확증하려는 연구가설은 Popper에 의하여[2][3][4][5][6][7][8] 반증(실제로 improbable함을 보이는 것)은 될 수 있으나 입증될 수는 없으므로 우리는 우리의 연구가설 대신에 영가설, 즉 <확률적 가설인 법칙 L가 참이 아니다>를 도입하여 부정식의 대전제 명제를 IF 확률적 가설인 법칙 L가 참이 아니고 조건 A1...An이 충족된다면, THEN 사건 B는 Q의 확률로 일어난다 로 바꾼다. 관찰을 통해 실제 사건 B의 발생확률의 크기 Q′(이를 환원하면 집단 간 평균의 차의 크기)를 관찰하여 이 확률 Q 와 Q′이 같지 않으면, 부정식의 Y 에 해당하는 <사건 B가 Q의 확률로 일어난다>가 불가능(Improbable)한 것으로 추론한다. 따라서 <확률적 가설인 법칙 L이 참이 아니다>도 거짓일 가능성이 큰 것으로 추론하여 폐기하고 이와 모순관계에 있는 대리가설인 연구가설(가설X)을 받아들인다.

III. 실험

1, 공학적 설명에서 귀납법의 승리와 도전

실험이란 공학적 방법의 이상적 형태이다. 따라서 실험의 논리란 공학적 방법 논리의 기초 논리가 그대로 적용된다. 실험의 논리는 공학의 논리를 근거로 설명될 수 있다. 역사적으로 여러 가지 양식에 의해 획득된 지식을 활용하고 타인에게 전수하고 또 다른 지식과 관련되어 축적, 정리하는 과정에서, 획득된 지식이 보편적으로 참인 지식이 아니라는 것이 들어나게 되자 자연현상에 대한 정확한 기술, 참 설명을 줄 수 있는 지식을 획득하고 축적하는 방법이-보편적이고 객관적인 방법들이- 모색되었고 이러한 노력들이 체계화되어 형성된 것이 과학과 공학이며 그 대표적인 방법이 실험방법인 것이다. 즉 공학이란 주체(subject)이며 아는 자(knower)인 인간이 대상(object)인 현실의 여러 현상을 지각하여 이에 대해 추상화한 지식(knowledge) 사이에 다리를 놓아서 지각된 지식내용에 진실성, 타당성, 객관성을 부여시키며 그러한 지식에 의해 여러 현상이 설명되게 하는 체계화된 방법의 틀이라고 할 수 있다. 이와 같이 공학에서는 어떤 현상이 무엇인가, 어떠한가를 기술하는 것과 그것이 왜 그러한가를 설명하는 것이 그 근본 특성이라고 할 수 있다. 그런데 현상이 어떠어떠하다는 것의 기술자체가 그 현상이 왜 그런 지 이유까지 설명해 줄 수 있는 경우도 있지만 대부분의 경우, 기술은

설명을 줄 수 없는, 설명의 한 부분적 단계라고 생각할 수 있다. 그 이유는 설명에서는 부분적 낱개의 기술들이 상호 관련성을 가지고 조합되어 공통적 초점에 수렴함으로서, 단지 무엇이 일어나는가를 이해하는 수준을 넘어서, 왜 일어나는가를 보다 넓은 관점에서 여러 수준의 법칙에 의해 상세하게 이해할 수 있게 하기 때문이다.[21] 따라서 공학의 기본 목적은 현상의 설명에 있다고 볼 수 있겠다. 그렇다면 과연 공학적 설명이란 무엇이며, 자연현상의 무엇을 설명하는 것이며 어떻게 설명하는 것이며 그러한 설명의 타당성은 어떻게 주어지는가?

설명의 개념은 과학 철학자들 간에 다소 다른 정의가 내려지고 있으나 (Hempel, 1966[22]; Taylor, 1970 [23]; Weimer, 1979[24]; Achinstein, 1983[25]; Salmon, 1984[26]), 일반적으로 왜? 라는 물음에 대한 대답이라고 볼 수 있다. 왜 한 현상은 그러한가, 왜 현재의 상태특성을 지니고 있는가, 왜 그러한 것이 일어났을까? 또 이것이 일어날 때 저것은 왜 일어나는가? 등의 물음에 대한 대답이다. 그러한 대답은 항상 현상의 부분과 부분, 그러한 현상과 그러하지 않은 현상, 그러한 현상과 다른 어떤 속성 및 조건들과의 관계성에 대한 대답이 된다. 그리고 그 관계성은 현상의 어떤 하나의 경우에만 적용되는 것이 아니라 동일한 종류의 모든 경우에 적용되는 관계인 것이다. 즉 어떤 일반적 법칙에 의해 지배되는 관계인 것이다. 따라서 설명이란 문제의 사건, 현상을 가능하게 하는 어떤 것과 그 사건, 현상간의 관계성을 밝히는 것이며 그 관계성이 보편적 일반화의 법칙임을 밝히는 것이다. 구체적으로 이 관계을 어떠한 절차와 논리에 의해 밝히는가 그리고 이 관계가 어떠한 관계인가에 대한 기본 입장에 따라 서로 다른 설명의 이론들이 제기되었다. 이 이론들 중에서 과학 및 공학 설명이론의 출발점이 된 것은 Hempel (1964; 1965)의 설명이론이다. Hempel은 <연역-법칙적(Deductive -Nomological) 설명이론>과 <귀납-통계적(Inductive- Statistical) 설명이론>을 제기했다. Hempel은 어떤 현상의 과학적 및 공학적 설명에 있어서 형식적인 구조는 3개의 요소로 구성되어 있다고 본다. 그 첫째는 어떤 특정사건과 현상을 기술하는 진술 B와 둘째로 그 사건에 선행되거나 원인으로서 연결된 사건들과 조건들의 진술인 A1,...,..An , 세째는 <A1...,An의 진술들에서 기술된 사건들이 일어나거나 조건들이 충족될 때마다 다른 사건 B가 반드시 일어 난다>는 내용의 법칙인 보편적 일반화의 진술 L1, ..., Lm 이다. 여기에서 어떤 현상 B와 어떤 조건 A1,...,...An사이에 보편적 일반화 법칙 Lm이 적용되는 관계가 성립된다는 것을 제시하는 것이 바로 설명이 되는 것이다.. 연역적 법칙 설명에서는 법칙 Lm이 확실성을 지닌 연역적 법칙이고 귀납적으로 통계적 설명에서는 법칙 Lm이 확률적 법칙이 된다. 여기서는 설명 항이 주어졌을 때 피설명 항이 필연적으로 발생함을 추론하는 것이 아니라, 결과 사건이 발생할 가능성이 매우 높거나(highly probable) 실제로 거의 확실하다는 것을 보여주는 것이다. 현상과 현상과의 법칙 관계를 이러한 논리에 의하여 설명될 수 있다고 본다면(물론 다른 설명 논리에 의한 설명도 있을 수 있지만), 그러면, 현상과 그러한 현상이 일어나기 위하여 전제되는 조건 사이에 관계는 어떠한 관계이며, 그러한 관계가 존재한다는 것을 추론할 수 있는 방법을 다음과 같이 찾아야 한다.

공학적 설명, 이론, 가설 등은 어떠한 사상에 대한 예언을 할 수 있으며, 만일 그 예언이 맞지 않는다면 그것들은 아무런 쓸모가 없게 된다. 그런데도 어떠한 소수의 관찰된 현상을 근거로 일반화된 이론을 도출하고 예언을 한다는 것은, 경험 자료를 초월하여 미래의 사건 내용에 대해 상정, 기대함을 의미한다. 이것이 바로 불완비적 귀납법이다. 이러한 불완비적 귀납법은 모든 입증자료를 참조한 추론이 아니기에 그 추론의 결론적이지 못한 진술이며 또한 그 추론의 전제에서 필연적으로 그 결론이 뒤따르는 것도 아니다. 그렇다면 이러한 불완비 귀납법의 위험부담을 고려할 때 우리가 공학에서 사용하는 귀납추론의 진실성을 어떻게 정당화 할 수 있는가? 즉 추론이 절대적인 참이 아니라 확률적인 참이라면 보편적 법칙에 대한 우리의 귀납적 추론은 어떻게 정당화될 수 있는가?

여러 주장들은 모두 서로 다른 각도에서 귀납법의 정당성을 부여하려고 노력하고 있다. 우선 Hume의 회의론인데[10], 우리의 귀납적 추론을 정당화 할 아무런 합리적 근거가 없다고 하고

따라서 보편적 지식이란 불가능하다고 주장하였다. 즉 관찰된 사건들 사이의 인과관계성이란 실재하는 관계성이 아니라 그 사건들을 인접시키거나, 접속하여 함께 과거에 반복하여 경험함으로써 생겨난 우리의 사고 습성일 뿐이고 그 필연성이 없는 것이라고 본다. 따라서 관찰된 사건들에 관찰되지 않은 사건들까지 일반화할 논리적 근거가 없고 곧 귀납적 명제는 참, 거짓 여부를 검증할 수 없다는 것이다.

회의론을 극복하려는 이론이 확률론적 확인론인데 그것은 이러한 Hume의 회의론에 대하여, Kant학파는[11] 감각자료를 넘어서 확대하여 적용되며 동시에 선험적으로 참이라고 알려진 종합적 선험적 판단이 있음을 주장하여 Hume이 던진 회의론을 극복하려 했다. 그리고 Poincare[12] 같은 사람들은 소수의 경험적 사실에 의해 잘 입증된 귀납적 결론은 부정적 예가 나타나도 우리가 그것을 반증되게 내버려두지 않을 정도의 확실성 수준에 올려 지게 되며, 바로 이것이 귀납법의 정당화라고 보았다. 또한 Peirce[13], Reichenbach[14] 같은 사람들은 귀납법이란 인간이 사건의 진행을 예언하는 데 적용하는 하나의 정책이므로 이러한 정책이라는 것이 과연 성공적일지 아닐지는 모르지만 그러한 것이 미지의 세계에 대한 상징을 함에 있어서 최선의 방도라는 근거에서 귀납법의 사용이 합법적임을 정당화할 수 있으며, 귀납법은 잘못된 신념이나 이론을 자가 교정하는 특성을 지니고 있기에 종국으로는 참된 귀납적 결론에 도달한다고 주장하였다. 반면, 확인주의자들은 절대적인 보편적 법칙은 없으며, 어떤 보편적 진술이란 확률적 특성을 지니며 따라서 그 진술의 타당성은 그 진술에 합치되는 긍정적 사례들에 의해서 확인될 수 있으며, 긍정적 사례들이 많을수록 그 진술이 참일 가능성(확인 정도)이 증가한다고 보았다. 즉 충분히 많은 그리고 다양한 긍정적 사례들을 축적함으로써 그 진술을 참인 것으로 받아들이는 것이 정당화된다고 보았다. 화해론자이며 적자생존론을 주장한 K. .Popper[15]는 Hume의 입장을 받아들이며 확인주의자의 오류를 지적했다. 개별관찰에서 보편적인 명제의 확인은 불가능하다고 보았으나. 그렇다고 하여 귀납법이 무용하다는 것이 아니고, 어떤 명제가 반증(falsifiable)될 수 있어야 과학적 명제가 되며 반증이 가능하지 않으면 증명될 수 없다고 보았다. 따라서 어떤 현상을 설명할 수 있는 가능한 명제들을 모두 대립시켜 하나 씩 하나 씩 반증을 통해 제거해나감으로써 적자생존을 하도록 하여, 보편적 진리 명제에 도달할 수 있다고 주장하였다.

이상에 열거한 여러 주장들은 모두 서로 다른 각도에서 귀납법의 정당성을 부여하려고 노력하고 있다. 이들 주장은 각각 장점이 있기는 하나 문제점이 없는 것은 아니다. 특히 현대 과학과 공학의 지주가 되었던 확인주의나 이를 무너뜨린 반증주의나 모두가 경험적으로 얻은 자료가 과학과 공학의 Paradigm이나 연구자의 이론에 영향 받지 않고 독립적으로 존재하며, 독립적으로 수집될 수 있다는 것을 전제로 하고 있다. 그러나 비교적 최근의 과학철학에서 Hanson[16], Kuhn[17], Feyerabend[18] 등에 의하여 이러한 전제가 근거 없음이 드러나게 되어, 현재로는 귀납법의 정당화에 대한 논리에 있어서 통일된 지배적인 철학 이론이 없는 상태이다. 따라서 과학철학자가 아니고, 공학적 연구를 수행하는 공학자은 실제 수행되고 있는 공학 활동과 과학철학에서 제시하는 공학적 이론이 꼭 일치하는 것은 아니며, 오히려 과학 철학의 이론이 공학 활동의 실제를 근거로 이루어져야 한다 는 주장에 따라야 할 것이다. 그리하여 실증주의자, 확인론자, 반증론자들이 제시한 논지들 중에서 현재의 실제 공학적 활동에 부합하는 특성만 받아들여 귀납적 추론의 정당화 방법으로 택해야한다고 본다. 그러한 입장에서 정리해 보면, 우리는 귀납적 추론이 기본적으로 보편적인 법칙에 대한 도출의 유일한 방법임을 받아들이되, 단 긍정, 확인하는 경험적 사례에 의하여 한 명제(보편적 법칙)의 참을 검증할 수는 없으므로 Popper의 반증법을 사용하여 간접적으로 검증하는 방법을 생각해야 한다. 아래의 표1에 역사적으로 공학적 추론으로써 귀납법의 인정여부가 나타나 있다.[15]

표1. 공학 교육에서의 귀납법적 추론 비교
(실험에 대한 귀납법의 인정여부).
Table 1. Deductive Inference Comparison in Engineering Education.

주창자	핵심이론	실험에서 귀납법의 인정여부 [참고문헌]
Humb	회의론	귀납법 불인정 [10]
Kant학파	확률론적 확인론	선험적 참 인정, 귀납법인정 [11]
Poincare	반증 극복론	경험론 인정, 귀납법인정 [12]
Peirce, Reichenbach	자가 교정론	귀납법의 인정 [13][14]
Popper	적자 생존론	반증 유용론, 귀납법 인정[15]
Hanson, Kuhn, Feyerabend	실험의 독립성 불인정	귀납법 불인정 [16], [17], [18]

2. 실험에서의 전제, 절차, 및 통제에 대하여

아리스토텔레스는 귀납적 추론방법 보다는 연역적 추론에 의해 명제를 증명하는 방법에, 그리고 또 기계적인 인과율에 의한 설명보다는 분류, 명명에 의한 기술에 더 중점을 두게 되었고 그 결과로 실험보다는 자연관찰법을 주요 방법으로 사용하였다. 이 후 이러한 입장은 중세 말에 이르러 점차 수정되기 시작하였다. 14세기에 Oxford학파는 과학적 방법이란 현실적 검증을 중심으로 한 귀납적 방법이어야 하고 자연에 대한 지식을 얻기 위해서는 실험이 필수 불가결함을 주장하였다. 필연적 법칙성으로서의 인과율에 의하여 자연현상을 설명하는 전통으로 전환하는데 가장 중요한 역할을 한 사람은 갈릴레이였다. 뒤이어 뉴튼은 Galilei의 필연성 , 법칙성 , 인과성 의 개념을 강화하여, 우주현상에는 법칙과 질서가 있고 모든 현상은 명확한 인과의 법칙에 의해 기계적으로 결정되는 것이라는 이른바 기계적 결정론(Mechanistic determinism)을 제창하였다. 그는 모든 물리적 사건은 상당히 단순하고 수학적으로 표현될 수 있는 규칙들의 체계 내에 맞추어 넣음으로써 설명할 수 있다고 보았고 그러한 설명을 제시하는 것이 과학의 과제라고 보았다. 그는 또한 한 걸음 나아가 심적 현상도 기계적 결정론의 지배를 받는다고 보았다. 그 후에 많은 연구가 진행되어 경험론과 인과성 이론을 가다듬어 오늘날 과학과 공학에서 실험 결과를 다루는 전제와 과정은 아래 그림2에 나타나 있다.

물론 실험에서는 몇 개의 기본 절차들이 있고 이 절차들은 먼저 어떤 자연현상에 대한 문제를 제기하는 것에서 부터 시작된다. 이러한 문제에서 선행사건과 후행사건이 <If A, then B> 인 명제 형태로 검증 가능한 가설이 진술된다. 그리고 이 가설의 전제부 진술 A와 결과부 진술 B가 현실의 조건들과 상응되어 독립변인과 종속변인의 형태로 조작, 관찰되며 관찰결과 선행사건에 따른 후행현상이 실제로 일어났는가가 증거자료로서 수집된다. 이 수집된 자료를 분석 해석하여 가설의 참, 거짓여부가 검증되면, 그 결과를 실험에서 관찰하지 않은 일반 사례에까지 일반화한 법칙을 도출하는 것이다. 이러한 모든 절차와 관련된 논리를 알아야 하고 이를 바탕으로 하는, 실험의 가장 중요한 특성인, 통제의 내용과 통제의 문제점들을 알아본다.

실험에서의 통제란 어떤 자연현상의 인과관계를 발견하기 위하여 인위적으로 현상을 발생시키는 것이다. 인위적으로 알려진 조건, 상황들을 조직하되, 가설에서 명시된 특정조건(즉 독립변인) 이외의 조건(기타 변인)이 작용하여 현상이 발생될 가능성을 막는다. 그리하여 특정조건에 의하여 현상이 발생할 가능성을 극대화시키고 기타 조건에 의하여 현상이 발생할 가능성을 최소화 시킨다. 그렇게 함으로써 특정 선행사건(독립변인)과 후행사건(종속변인) 사이의 진정한 인과관계성(the causal relationship) 을 객관적으로 정확하게 추론하도록 보장하는 방법이 통제인 것이다. 이러한 통제의 절차 논리란 근본적으로 J .S . Mill의[19] 차이법이 논리를 그대로 적용한 것이라고 할 수 있다. 이러한 통제가 적절히 이루어지지 않으면, 연구가설의 주요 변인의 영향과 기타 가외 변인의 영향이 조직적으로 복합되어 현상을 발생시켜 confounding효과를 일으킴으로 현상발생에 대한 참 인과관계를 추출해 낼 수 없다. 즉 실험

의 기본 논리인 차이법의 귀납추론이 적용될 수 없는 것이다. 따라서 이러한 차이법에 위배되는 추론, 즉 그릇된 귀납추리를 가져오지 않기 위해서는 연구가설의 주변인의 영향을 최대화하고 기타 변인의 영향을 제거시켜야 한다. 그러나 기타 변인의 영향은 완전히 제거할 수 없는 경우가 많기에 주변인 즉 독립변인의 변화와 함께 체계적으로 변화하는 변인들(가외변인)의 효과는 제거할 수 있으면 제거하고 제거할 수 없으면 최소화한다. 독립변인의 변화와 함께 체계적으로 변화하지는 않으나 현상 발생이나 현상 관찰에 불필요한 영향을 줄 수 있는 변인들(통제변인들)의 영향은 고정화시키거나 무력화시켜 현상 발생의 인과관계 추론에 영향을 주지 못하게 한다. 이러한 통제의 개념들은 Mill의 차이법의 논리에 근거를 둔 것이라 할 수 있다.[19] 실재로 실험에서의 귀납추론을 오도할 오류들과 이들을 통제하는 절차, 테크닉, 이들을 점검하는 법들을 알아야 한다.

3. Elliptical Trainer 실험 결과에 대한 확률론적 추론.

그림 3에 공리체계에 맞는 형식이론을 갖고 주변수들을 측정하는 실험장치가 있다. [20] 이 기구를 이용하여 측정을 통한 확률론적 추론을 하기 위해서 충족되어야 할 조건들을 갖추었는지 알아본다. 즉 그림4 -그림6에서는 다음과 같은 개념이 규정되어 있고 반대로 이론에서는 규정되어 있지 않음이 인정된다.

(1) 사건 또는 측정은 어떤 숫자로 취할 수 있도록 단일명제로 규정되어 있다. 실험 시 속도, 에너지 소비량, 체중감량, 운동거리 등이 그들이다.

(2) 사건이 단일 명제에 의해 규정된다면 표집이란 그러한 명제의 논리적 연결이다. 이러한 연결에서 논리적으로 독립적인 요소들의 수가 표집크기이다. 사건이 숫자라면 표집은 n차원의 공간에서의 한 점이다. 그리고 이점의 위치는 그 점에 상응하는 관찰의 크기값이다. 그림3~5에서 표집 수는 각각 28개이고 2차원 상에서 각각 한 점으로 나타나 있다.

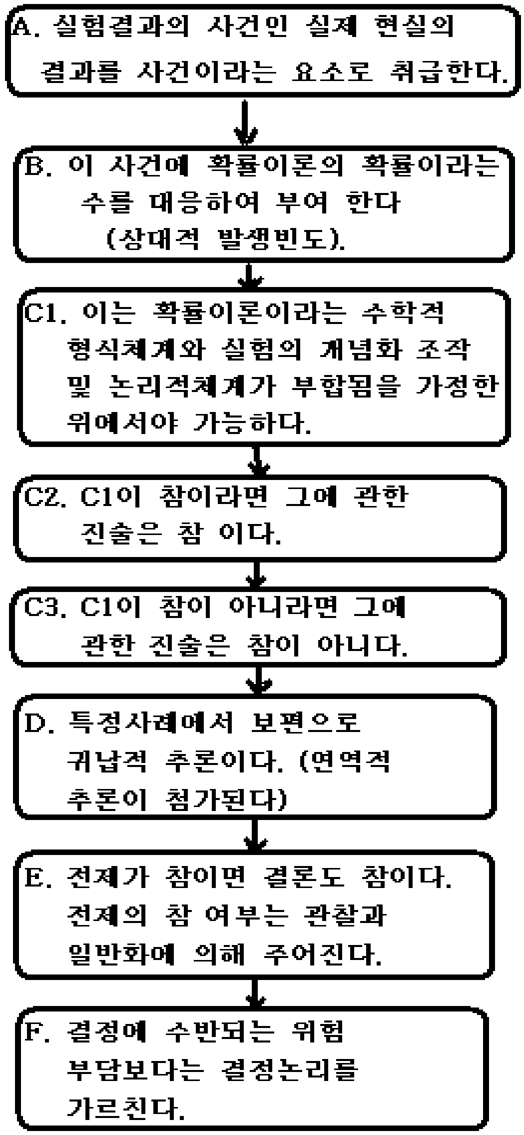

그림2. 공학 교육에서의 귀납법적 추론에 의한 실험 결과의 분석 과정

Figure 2. Process of Experimental Data by Deductive Inference in Engineering Education.

(3) 기초확률법칙이 적용되는데 이것은 어떤 관찰(사건)이 어떤 특정 급간에 떨어질 확률을 진술하는 법칙이다. 이 법칙은 일반적으로 long - run 빈도의 극한값을 확률로 하는 법칙이다. 이 이론에서 사건(관찰)들은 불연속적 값을 취하며 기초 확률은 확률함수에 대한 적분으로 표시된

다.

(4) 이 실험에 대한 모집단은 (c)에서 서술한 기초 확률 법칙을 따르는 모든 사건(관찰)들의 집합이다.

(5) 이 실험에서 개별사건들이 독립적으로 발생하며 사건들의 독립성이 인정된다.

(6) 29개의 실험값들은 동일 모집단에서 추출되었으며 독립적인 요소들로 이루어진 표집이다.

(7) 통계치는 관찰에 대한 수리적 함수로서 규정된다.

(8) 통계 값에 따른 자유도가 규정되어 있다.

이상과 같이 그림 3의 기구를 이용하여 얻은 그림4 - 그림6에 있는 실험은 모집단수가 모두 28개로 확률적 추론을 가능하게 하는 조건을 모두 갖추었으므로 결론이 아래 표2에 있는 것과 같은 귀납법에 의한 확률적 추론(L1, L2, L3)이 각각 가능하다. 이 연구에서는 보통 공학 연구와 달리 추론(결론 법칙)에 대한 참확률을 표기했는데 (82%) 이는 귀납법적 방법 자체가 확률추론임을 확인시키기 위함이고 귀납법 반대론자들에 대한 대응이기도 하다.

표2. 공학 교육에서의 귀납법적 추론 예제 (그림4, 그림5, 그림6 참조).

Table 2. Examples Deductive Inference in Engineering Education.

실험	귀납법에 의한 확률적 추론 (표본집단수 n=28)	참 확률
그림4 (L1)	y=40x+10 [Cal]	23/28 = 82%
그림5 (L2)	$y_{min} < y < y_{max}$ 단, y_{min} =211x+175 [Cal] y_{max} =100x+275 [Cal]	23/28 = 82%
그림6 (L3)	$y_{min} < y < y_{max}$ 단, y_{min} =1.1x-7.3 [kg] y_{max} =0.12x-0.15 [kg]	23/28 = 82%

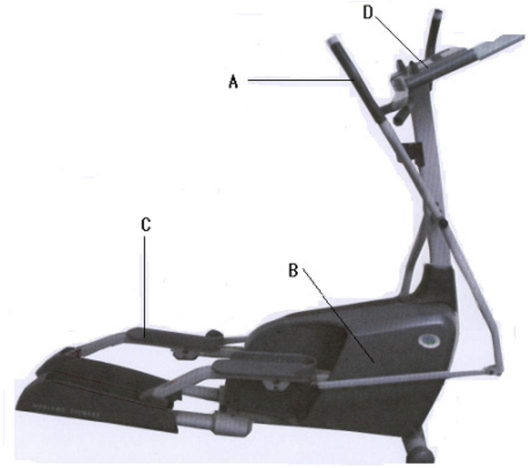

그림 3. 실험에 사용된 ET의 제원. 기호 A는 상체운동용 헨들, B는 중력회전체 박스, C는 수평 운동 전달 장치, D는 전자계기판.

Fig. 3. Elliptical Trainer Used in This Studies: A=Handle, B=Gravitational Rotator, C=Stride Length, D=Instrument Panel.

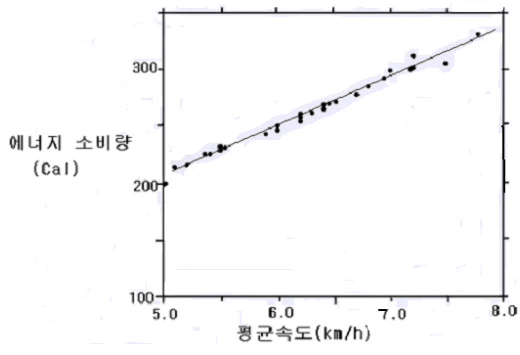

그림4 저항도 15(최대)로써 운동시간 60분을 하는 동안 여러 가지 속도일 때 에너지 소비량 직선 패턴. (표본집단수 n=28)

Fig.4. With maximal resistivity of level 15 Energy exhaustion trend against velocity of ET for one hour exercise each.

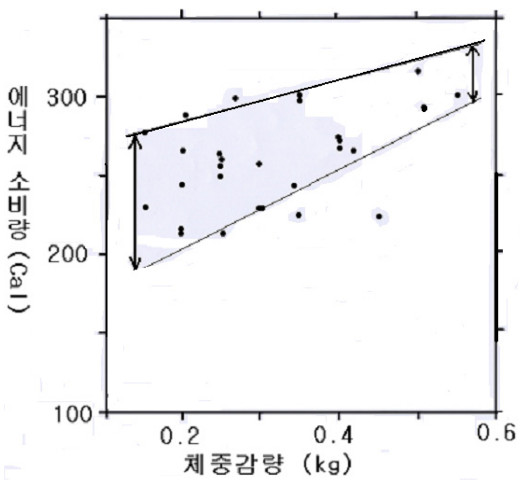

그림5. 체중감량에 따른 에너지 소비량의 최대 및 최소 직선 패턴.분석 (표본집단수 n=28)
Fig.5. The pattern of the maximal and minimal energy exhaustion against weight loss for one hour exercise

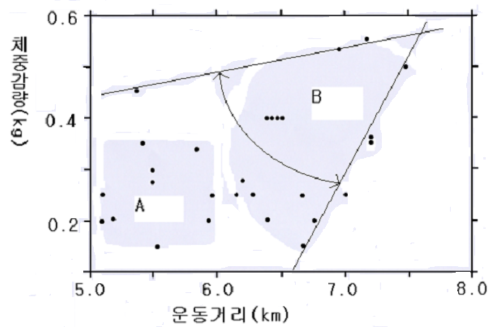

그림6. 운동거리에 따른 체중감량에 대한 최대 및 최소 각도 측정. (표본집단수 n=28)
Fig.6. Angle between maximal and minimal weight loss against the exercise distance for one hour exercise each.

IV. 결 론

Elliptical Trainer를 이용하여 실험으로 얻어진 결과를 가지고 귀납법적 확률추론을 하였는데, 82%의 참 확률을 가지고 Elliptical Trainer의 속도-에너지 소비량 관계는 y=40x+10 [Cal] 으로, 체중감량-에너지 소비량 관계에서는 최대 y_{max} =100x+275 [Cal] 및 최소 y_{min} =211x+175 [Cal] 으로, 그리고 운동거리-체중감량 관계에서는 최대 y_{max} =0.12x-0.15 [kg] 및 최소 y_{min} =1.1x-7.3 [kg] 으로 추론이 가능하였다.

우리가 실험을 하여 어떤 경험적인 자료를 획득하고 그에서 추론을 했다고 했을 때, 이러한 우리의 행위는 많은 기본개념들과 가정들에 대하여 취한 어떤 전제 하에서 행하여진 것이며 따라서 그러한 전제가 없는 완전한 경험적 자료의 획득과 추론이란 찾기 어렵다. 그러한 까닭에 공학 교육을 할 때, 비록 귀납법적으로 행해졌다 하더라도 우리는 실험에서 얻어진 경험적 자료와 그것을 근거로 이루어진 추론에 대하여 겸허한 태도를 지녀야한다. 통제 받지 않은 실험 결과를 가지고 한 추론은 마치 창문을 열고 측정한 실내온도 데이터를 가지고 한 완전히 잘못된 추론이 될 수 있기 때문이다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 한국기술교육대학교의 교수 연구지원 사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] Ronald N. Giere, John Bickle, Robert F. Mauldin Wadsworth, UNDERSTANDING SCIENTIFIC REASONING, 5th ed, Sohwa Pub. pp548, 1985.
[2] Sir Karl Popper, Mohr Siebeck, ,Logik der Forschung), Mohr Siebeck Publication Date: Jan., 2005
[3] Sir Karl Popper, The Open Society and It's Enemies, Harper & Row Publishers, New York, 1962.
[4] Sir Karl Poppe, The Poverty of Historicism, Taylor & Francis Ltd, 2002.
[5] Sir Karl Popper, The Logic of Scientific Discovery, Routledge, 2002.
[6] Sir Karl Popper, Conjecture and Refutations, Routledge, 2002.
[7] Karl R. Popper, Obejective Knowledge: an Evolutionary Ap-proach, Oxford

University Press, 1972.
[8] John Carey, Eccles and Karl R. Popper, The Self and It's Brain, Routledge, 1984.
[9] Ernest Nagel and John Stuart Mill, John Stuart Mill's Philosophy of Scientific Method, Hafner Press, 1950,
[10] David Hume, Treatise Of Human Nature, Digireads.com, pp.344., 2010.
[11] Paul Asmus, Das Ich Und Das Ding an Sich, Kessinger Publishing, LLC, pp.146. 2010.
[12] H. Poincare, Science and Hypothesis, The Walter Scott Publishing Co., LTD, (New York) 1907.
[13] Nicholas Rescher, The Philosophy of Science, University of Notre Dame Press, 1978
[14] Hans Reichenbach, Modern Philosophy of Science: Selected Essays, Routledge & Kegan Paul, 1959.
[15] Sir Karl Raimund Popper, The Open Society and Its Enemies, Princeton Univ Press, 1971.
[16] Norwood Russell Hanson, Patterns of Discovery, Cambridge Univ. Press, 1958.
[17] Thomas S. Kuhn, The Structure of Scientific Revolutions, University of Chicago Press, 2012.
[18] Paul Karl Feyerabend, KILLING TIME, University of Chicago Press, 1996.
[19] Ernest Nagel and John Stuart Mill, Philosophy of Scientific Method, Hefner Library of Classics, 1950.
[20] Un Hak Hwang, Basic Engineering (Physics) Education by PBL Method in Elliptical Trainers, JPEE Vol.2, No.2, 2010.
[21] Georg Henrik von Wright, A treatise on induction and probability, Routledge Kegan Paul, 1951.
[22] Carl Gustav Hempel, The Philosophy of Carl G. Hempel: Studies in Science, Oxford University Press, 2001(NEW).
[23] Charles Taylor, Sources of the Self: The Making of the Modern Identity, Harvard University Press, 1992.
[24] Walter Weimer, Notes On the Methodology of Scientific Research, Lawrence Erlbaum Associates, Pubs. 1979.
[25] Peter Achinstein, NEW Scientific Methods: Conceptual and Historical Problems, Krieger Publishing Company, 1994.
[26] Wesley C. Salmon, NEW The Foundations of Scientific Inference, University of Pittsburgh Press, 1967.

황 운 학 (Un Hak Hwang) 정회원

1981년 2월 : 연세대학교 이학사
1985년 12월 : 미국 미주리대학교 이학석사
1989년 8월 : 미국 미주리대학교 Ph. D.(플라즈마 물리학 전공)
1992년 3월 ~ 현재: 한국기술교육대학교 교수
<관심분야> 플라즈마 물리학, 자유전자레이저, Thin Film Depositions, 핵융합 이론, 과학철학