

# 공학교육에서 귀납법 추론을 위한 변수 통제

## Variable Control in Inductive Inference for Engineering Education

황 운 학\*

한국기술교육대학교 교양학부

Un Hak Hwang\*

School of Arts, KOREATECH, Cheonan 330-240, Korea

### [ 요약 ]

이 연구는 귀납법적 확증(confirmation)을 위해서 실행하는 실험이 확률론적 추론임을 밝히고 이의 단점을 보완하기 위해서 적용된 확률적 확언론에 따라서 수행하는 실험에서 통제하는 절차와 방법을 다루었다. 이 통제란 알려진 조건과 상황들을 인위적으로 조작하되 가설에서 명시된 특정조건(즉 독립변수) 이외의 조건(기타 변수)이 작용하여 현상이 발생(종속변수)될 가능성을 막는 것이다. 특정조건에 의하여 현상이 발생할 가능성을 극대화 시키고 기타 조건에 의하여 현상이 발생할 가능성을 최소화시키는 것이다. 그렇게 함으로써 특정 선행사건(독립변수)과 후행사건(종속변수) 사이의 진정한 인과관계성(the causal relationship)을 객관적으로 정확하게 추론하도록 보장하는 방법이 통제인 것이다. 이 연구에서는 변수통제에 대해 좀 더 구체적으로 다루기 위해 대표적인 헬스기구인 Elliptical Trainer (ET)와 Tread Mill (TM)를 이용한 실험에서 변수통제를 가하여 운동속도(독립변수)에 따른 에너지 소비량 변화(종속변수)와 운동속도(독립변수)에 따른 호흡교환율(RER)과 심장 박동율(HR)의 변화(종속변수)를 얻었다. 마지막으로 이 통제를 통해 얻어진 실험결과들을 그래프로 그려 그 결과에 따라 연구의 결론이 다루어졌다.

### [ Abstract ]

The variable control in the inductive inference for the confirmation and verification when the experimental data are collected is studied by applying the principle of probability inference. The control in engineering experiments is to protect any effect by of intervening variable except primary independent variable on the dependent variable. By the special condition the possibility for developing a phenomenon will be maximized; otherwise, by the extraneous condition the possibility for developing a phenomenon will be minimized. By doing so, the control may provide insurance for the causal relationship between the certain prior event (independent variable) and the post-event (the dependent variable). Some experiments by using both elliptical trainer and tread mill under the variable control are performed in order to find the relations between the energy expenditure, the respiratory exchange ratio (RER), and the heart rate (HR) against the exercise speed.

**Key Words:** Deductive Inference, Engineering Education, Science Philosophy, Variable Control

<http://dx.doi.org/10.14702/JPEE.2014.001>



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.

**Received** 21 March 2014; **Revised** 17 April 2014  
**Accepted** 30 April 2014

**\*Corresponding Author**

E-mail: [uhhwang@koreatech.ac.kr](mailto:uhhwang@koreatech.ac.kr)

## 1. 서론

Elliptical Trainer (ET)와 Treadmill (TM) 기구는 주 목적이 에너지 소비량을 늘려 운동효과를 높이거나 정상적인 심장박동 강화 운동이다. 그러나 비록 정상인이라 하더라도 반드시 신체적(심장) 한계를 지켜야 하며 관상동맥 질환이나 불안정 협심증 의심자도 운동을 제한적으로 하여야 한다. 이 기구들은 급성 심근 경색 환자의 경우는 대부분 예후의 판정이나 약물의 효과 평가를 위해 시행되기도 하며 이들 이내에 발생할 급성심근경색증 의심자나 고위험군의 불안정 협심증 의심자에게는 절대적인 금기 운동이다. 운동을 할 때 관리가 필요한 변수들이 많은데 그 중에는 나이, 성별, 콜레스테롤, 흡연력, 당뇨병뿐만 아니라 혈압과 운동시간, 에너지 소비량, 호흡교환율, 단일 혈관질환/다혈관 질환여부 등이 있다.

이 연구에서는 변수에 대한 통제를 함으로써 실험의 확률을 높이는 방법을 찾는 것인데 위의 두 가지 운동기구에서 에너지 소비량, 혈압변화, 및 산소교환율이 운동속도에 따라 각각 어떻게 달라지는지 알아보기 위해서 많은 다른 변수들(나이, 성별, 콜레스테롤, 흡연력, 당뇨병, 혈관질환/다혈관 질환여부, 등)을 왜 통제해야 하는지 그리고 어떻게 통제하는지에 대한 연구를 수행하였다.

공학적 실험에서 적용되는 귀납법 추리의 약점은 부분적 관찰(하나의 변수)에서 결론을 끄집어낸 것이므로 이 결론이 절대적 진리가 아닐 수도 있다는 것이다. 따라서 귀납적 방법의 한계를 극복하기 위해서는 개별적 사실들에 대한 시간적, 공간적 객관성에 대한 무한 변수 조사가 필요하다. 공학 실험은 이 방법에 의거하여 데이터를 수집하여 이를 분석하여 일반적 법칙을 찾는 것이 목적인데 이를 위해 통계적 귀납 추론(Statistical inductive reasoning) 또는, 열거적 귀납법을 적용한다. 통계적 귀납 추론이란, 어떤 집합의 구성 요소의 일부를 관찰하여 그것을 바탕으로 해서 그 집합의 구성 요소 전체에 대해서 결론을 내리는 추론이다. 그런데, 그것이 타당성을 지니려면 일반화해도 좋을 만큼 충분한 자료를 수집한 후에 일반화해야 한다. 이러한 귀납적 추론은 한 개 또는 몇 개의 제한된 변수를 근거로 모든 아직 경험이 안 된 사례까지 일반화하여 추론하기 때문에 일종의 위험부담을 지니고 있다. 즉 관찰된 경험적 사례에서는 참인 명제, 법칙 일지라도 아직 관찰이 안 된 동일 종류의 사례에서는 참이 아닐 가능성이 있다는 것이다. 그러나 핵심적인 공학적 방법은 경험적 자료를 근거로 보편적 원칙을 찾으려는 것이기 때문에 J. S. Mill은 귀납법만이 발견의 논리요 참의 논리라고 표현하고 있다[1]. 그런데 공학이 귀납적 추론을 택한다 하여 모든 경우를 관찰해야 한다는 것은 무한한 시간, 공간 사

례의 경우를 모두 관찰해야 한다는 것인데 그러한 완비적 귀납법은 현실적으로 수행 불가능하다. 즉, 어떤 명제를 지지하는 몇 개의 사례들에 근거하여 보편적 법칙을 추론한다는 것은 불확실하며, 오류가 있고 따라서 추론된 보편적 법칙의 참은 오직 확률적인 참에 불과하다는 것이다. 한 개 또는 수개의 긍정적 사례만 가지고는 보편적 명제가 검증(절대적 참임을 밝힘)이 되지 않으며 확인 또는 확증(확률적 참을 밝힘)만 가능하다는 것이 귀납법의 불균형적 특징이다. 그래서 이 귀납법에 대해 역사적으로 Kant, Poincare, Peirce, Reichenbach, Popper같은 철학자들은 공학적 추론으로써 인정했으나 Humb, Hanson, Kuhn, Feyerabend 같은 철학자들은 귀납법을 인정하지 않았다[2].

귀납법의 치명적인 단점을 보완하기 위해서 유일한 돌파구는 확증을 넓혀가는 것이다. 소수의 반증에 얼마일 필요 없이 더 많은 관찰을 통해 확증을 꾸준히 더해가면 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 증거이기 때문에 그 증거들에게 법칙에 대한 절대적 확실성을 부여하는 것이 아니라, 그 법칙이 참일 확률이 높다(more or less highly probable)는 특성을 제시하는데 지나지 않는다고 믿는다. 이렇게 하게 되면 공학 법칙이란 확률적 가설의 성격을 띠게 된다. 그러므로 공학에서의 법칙이 확률적 특성을 띤 보편적 진술임을 인정하고 그러한 확률적 법칙을 도출하는 귀납법의(불완전한) 정당성에 대해서 불완전 하지만 그대로 용인하자는 것이다. 일단 이러한 확률적 추론의 입장을 택하고 난 후에는 어떤 보편적 명제의 검증(test)은 확률적 검증에 의해 진행된다[3-9]. 이를 위해 실험에서 귀납추론을 오도할 변수들에 대해 인지해야 하며 이 변수들을 통제하는 절차와 그 테크닉, 그리고 이들을 점검하는 방법들을 알 필요가 있다.

변수통제의 목적은 어떤 자연현상의 인과관계를 발견하기 위하여 인위적으로 현상을 발생시키는 것이다. 인위적으로 알려진 조건, 상황들을 조작하되, 가설에서 명시된 특정조건(즉 독립변수) 이외의 조건(기타 변수)이 작용하여 현상이 발생될 가능성을 막는 것이다. 그리하여 특정조건에 의하여 현상이 발생할 가능성을 극대화 시키고 기타 조건에 의하여 현상이 발생할 가능성을 최소화 시킨다. 그렇게 함으로써 특정 선행사건(독립변수)과 후행사건(종속변수) 사이의 진정한 인과관계성(the causal relationship)을 객관적으로 정확하게 추론하도록 보장하는 방법이 통제인 것이다. 이러한 통제의 절차 논리란 근본적으로 J. S. Mill[1]의 차이법의 논리를 그

대로 적용한 것이라고 할 수 있다.

통제의 필요성은 만약 통제가 적절히 이루어지지 않으면, 연구가설의 주요 변수의 영향과 기타 가외 변수의 영향이 조직적으로 복합되어 또 다른 현상을 발생시켜 혼재(confounding) 효과를 일으킴으로 현상발생에 대한 참 인과관계를 추출해 낼 수 없기 때문이다. 즉 실험의 기본 논리인 차이법에 의한 귀납추론을 적용할 수 없기 때문이다. 따라서 이러한 차이법에 위배되는 추론, 즉 그릇된 귀납추리를 가져오지 않기 위해서는 연구가설의 주변수의 영향을 최소화하고 기타 변수의 영향을 제거시켜야 한다. 그러나 기타 변수의 영향은 완전히 제거할 수 없는 경우가 많기에 주변인 즉 독립변수의 변화와 함께 체계적으로 변화하는 변수들(가외변수)의 효과는 제거할 수 있으면 제거하고 제거할 수 없으면 최소화 해야 한다. 독립변수의 변화와 함께 체계적으로 변화하지는 않으나 현상 발생이나 현상 관찰에 불필요한 영향을 줄 수 있는 변수들(통제변수들)의 영향은 고정화시키거나 무력화시켜 현상 발생의 인과관계 추론에 영향을 주지 못하게 해야 한다[1].

제 II장에서는 변수통제에 대해 좀 더 구체적으로 다루어졌고 더불어 대표적인 헬스기구인 Elliptical Trainer (ET)와 Tread Mill (TM)를 이용한 실험에서 변수통제가 어떻게 이루어졌는지 실례로써 다루어졌으며, 가해진 통제에 따라 얻어진 실험결과들을 그래프로 그렸고, 제 III장에서는 연구의 결론이 다루어졌다.

## II. 공학적 실험에서 통제의 방법

공학에서의 통제는 변수에 대한 통제를 말하며 어떤 변수든지 이에 해당될 수 있다. 예를 들면, 실내온도에 미치는 햇빛의 영향에 대한 물음이 있다면 다음과 같은 3가지의 주요 변수를 들 수 있겠다: 실내온도인 종속변수, 독립변수인 햇빛 조사량, 항상 일정하게 유지되어야 하는 (예를 들어 밀폐된 실내 체적 일정하게 유지) 통제변수가 그들이다. 이와 같이 어떤 변수를 상수로 함으로써 공학적으로 독립변수와 종속변수 사이의 인과관계를 증명하는 방식을 통제에 의한 공학실험이라 한다. 보통 독립변수와 종속변수를 실험 그룹이라 하며 방의 체적 변수나 실내 공기 입자 수와 같이 항상성을 유지하는 변수들을 통제 그룹이라 한다[10].

실험통제에 의한 연구방식은 공학이나 자연과학뿐만 아니라 인문학이나 사회과학에서도 오랜 동안 폭 넓게 쓰여온 귀납법적 추론방식이다. 자연과학에서는 상대적으로 미미한 변수를 섭동이론을 적용하여 이론적으로 통제가 가능한 반

면, 인문학이나 사회과학에서는 비교적 영향력이 압도적인 변수와 미미한 변수가 극명하지 않으며 이조차 시간적으로나 공간적으로 항상성을 유지하는데 어려움이 많아 통제의 방법이 훨씬 세분화 되어 있다.

통제는 실험을 할 때 변수를 통제하거나 조작하는 실험의 조건을 의미한다. 여기서 변수는 변화시키거나 고정하는 조건의 형태나 양이다. 여러 상황에 대한 변수들과의 관계를 알기 위해서는 실험에 영향을 미칠 수 있다고 생각되는 여러 변수들 중에서, 한 가지 변수만을 변화시키고 나머지 변수들은 고정하여 상황과의 관계를 알아보게 된다. 더 나아가 같은 방법으로 나머지 변수들의 관계를 조사하면, 어느 것이 실험에 영향을 미치는 변수인지를 분명하게 파악할 수 있다. 이처럼 공정한 검증이 가능하도록 실험을 설계하기 위해서, 실험 및 조사에 영향을 주는 여러 조건을 확인하고, 여러 변수를 일정하게 하거나 조작하는 과정을 통제라고 한다. 통제란 문제 상황의 모든 요소를 고려하고, 특정 요소를 조작하는 동안 다른 요소들은 체계적으로 고정시키는 것이며, 이와 동일하게 나머지 요소들을 조사해 보는 것이다. 그래서 통제 능력은 인지발달의 중요한 지표로 많이 이용되기도 하며 통제의 첫 단계인 구체적 조작기에는 가능한 모든 변인들을 열거하고, 그들 사이에 존재하는 인과관계를 찾을 수 있는 능력을 테스트하며 형식적 조작기에는 선택된 변인들을 종합적으로 생각하고, 그것들이 결과에 미치는 상대적인 기여도에 대하여 논리적으로 접근하며, 정확한 변수를 구할 수 있는 능력을 테스트 한다. 통제 능력은 공학도들이 문제를 설정하거나 인식하는 것과 밀접하게 관련이 있는 중요한 탐구 요소이다. 공학도들은 어떠한 공학적 의문을 탐구가 가능한 문제로 재진술하기 위하여, 문제와 관련된 주요 변수를 찾아내어 문제와 관련이 희박한 변수를 통제하는 과정을 수행한다. 나아가 공학도들은 복잡하고 다양한 변수들로부터 중요한 사실이 무엇인가를 확인하고, 관련 변수의 수를 점점 줄이는 통제 과정을 거친 실험을 통하여 새로운 법칙을 완성한다. 그러므로 공학의 주된 활동은 체계적인 방법으로 하나의 변수를 변화시키는 동시에 다른 모든 변수들은 통제하여 대응되는 변수의 변화를 관찰하고 측정하는 변수통제라고 할 수 있다(그림 1 참조).

많은 공학적 탐구는 무엇이 어떤 일을 일으키는 원인이 되는지 알아보는 것을 근간으로 하고 있다. 즉, 한 독립변수가 다른 종속변수에 끼치는 영향을 찾는 것으로, 정확한 원인을 찾기 위해서는 반드시 실험하고 있는 독립변수를 제외한 다른 모든 독립변수들을 일정하게 유지해야 한다. 어떤 실험 방식을 선택하든지, 한 가지 독립변수를 가지고 실험하고 있는 동안에는 다른 독립변수들은 통제해야 한다. 직관적으로

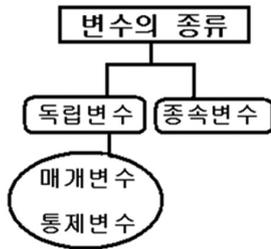


그림 1. 변수의 종류  
**Fig. 1. Hierarchy of Variables.**

탐구에서 변수를 통제해야 한다는 것을 항상 기억해야 한다. 일상적인 상황에서 제기되는 질문에는 많은 변수들이 관련되어 있기 때문에 무엇이 어떤 영향을 주고, 어떤 것은 영향을 주지 않는지 판단하지 않고서는 문제에 관한 증거를 체계적으로 얻기란 거의 불가능하다. 문제와 관련된 적절한 변수들을 설정하고 이를 통제하려는 노력은 문제를 설정하는 것 또는 문제를 인식하는 것과 밀접한 관련이 있다. 탐구가 가능하도록 문제를 재 진술 한다는 의미는 주요 변수들을 찾아내고, 문제와 관련이 희박한 변수를 통제하는 과정을 거친다는 뜻이다. 이러한 과정을 거치면서 가설을 설정하거나 변수를 인식하여 조작 및 통제를 통해 문제를 해결할 수 있는 근거가 되는 증거를 찾을 수 있다. 따라서 가설의 설정 및 인식과 함께 변수통제는 탐구의 시작으로서 중요한 의미를 가진다. 또한 가설은 독립변수와 종속변수의 두 변수들 사이의 관계에 대해 자신이 가진 최상의 추측을 진술한 것이므로, 가설을 검증할 때는 모든 변수들을 찾았다는 확신이 있어야 한다. 한 변수를 제외한 나머지 모든 변수들을 차례로 통제하여야만, 가설이 참임을 밝힐 수 있고 결론을 얻기 위한 정보를 얻을 수 있게 된다. 예를 들어, 물이 경사진 관을 따라서 내려올 때 속력이 빠르게 혹은 느리게 되는데 영향을 끼치는 변수를 알고자 한다고 생각해 보자. 물의 속력에 영향을 줄 수 있는 변수를 분리하기 위해서, 다르게 만들 수 있는 것들(관의 높이, 관 표면, 관의 길이)을 떠올릴 것이다. 이것을 탐구할 때는 다른 모든 변수들을 일정하게 통제하면서 변수들 중 단 한 가지만을 변화시키면서 그 영향을 조사해야 한다. 이런 방법으로 우리는 각각의 변수들이 어떠한 영향을 미치는지 말할 수 있고, 그에 따른 적절한 결론을 얻을 수 있게 된다.

그림 1에서처럼 변수의 유형 파악은 공학적 연구에서 초기에 결정해야 할 중요한 일 중 하나인데 주어진 문제 상황에 답하기 위해 무엇을 가변 변수로 택하고, 무슨 변수를 측정하고, 무슨 변수를 일정하게 해야 할 것인가를 정하는 일

이다. 즉, 무엇을 변화시켜 가면서(독립 변인), 무엇을 측정해야 하며(종속 변수), 그 때 일정하게 유지시켜 줄 것이 무엇인지(통제 변수)를 파악해야 한다. ‘키가 큰 피겨 스케이팅 선수의 회전력은 키 작은 선수보다 더 크다’라는 사실을 알아보는 실험에서 키가 큰 선수들 그룹과 키가 작은 선수 그룹은 서로 비교 대상이 되는 대조군이다. 여기서 키가 클수록 팔 길이가 큰 것은 알고 있는 사실이다. 선수의 회전력을 좌우하는 변수들은 기본적으로 각운동량과 관성모멘트와 유관하므로 선수의 팔 길이(선수의 키), 팔의 두께, 체중, 허벅지 힘 강도, 날씬한 정도, 얼음의 질, 실내온도가 영향을 주는 독립변수들이다. 이 중에서 회전력이 종속변수이고 나머지는 독립변수들인데 얼음의 질과 실내온도는 모두에게 일정하게 유지되므로 통제변수이며 나머지 것들은 모두 매개변수들이다. 여기서 독립변수가 변하면 선수의 회전력 변하는데, 이와 같이 독립변수에 따라서 변하여 나타나는 것을 종속변수라고 한다. 한편 그림 1에서 매개변수(intervening variable)를 혼재(confounding)변수, 잡음(nuisance)변수, 외제(extraneous)변수, 혹은 관련(concomitant)변수라고도 하며 [11] 통계학에서는 공변량(covariate)라고 부르는데 이것은 다시 간섭(interfering)변수와 외제(extraneous)변수로 나뉘어진다. 여기서 간섭변수는 종속변수에 영향을 주는 독립변수 이외의 변수, 즉 간섭을 하는 변수를 말하고 외제변수는 종속변수에 영향을 주는 독립변수 이외의 변수로서 연구자가 통제할 수 없는 변수를 말한다.

마지막으로 공학도들이 변수통제 능력을 습득하는 것은 실험원수를 위해 중요하다. 변수통제 개념은 공학적 직관력이 수반되므로 변수를 통제하는 방법을 명확하게 알고 있어야 한다. 실험 설계를 할 때 이미 변수통제를 이해하고 적용하는 데 어려움을 없을 정도로 인지가 발달되어 있어야 하며, 대개 공학적 문제들이 변수통제의 사항이 복잡하므로 이에 대한 풍부한 경험과 문제에 대한 많은 정보를 확보해야 한다. 공학에 대한 전반적인 교육에서 여러 가지 사회적, 물리적 환경과의 상호 작용이 많이 이루어져야 하며 학습자에게 다양한 경험을 제공되도록 교육이 진행되어야 한다. 훈련에 의해 변수통제 능력을 습득을 하면 이 능력이 전이되며 그 결과 변수통제 능력이 구체적 조작 단계에 상당히 효과가 있다. 이를 위해서는 구체적으로 무엇보다 실험의 목적이 분명해야 한다. 왜냐하면 일반적으로 실험의 목적에는 매개 변수와 종속 변수가 드러나기 때문이다. 또한 실험의 원인과 결과가 되는 변수들을 파악하여 표로 정리하는 습관을 가져야 한다. 매개변수와 종속변수 및 독립변수의 목록을 작성하고, 각 변수 값의 범위를 기록해 두는 습관을 기르면, 새로운 실험 상황에 접했을 때 무엇을 파악해야 하는지 자신이 어

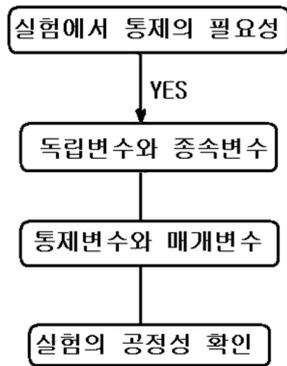


그림 2. 단계별 통제의 방법  
 Fig. 2. Steps of Variable Control.

변 변수를 모르고 있는지를 잘 알 수 있다. 마지막으로 통제를 위해서는 공정한 검사의 개념을 의식하면 변수통제의 필요성을 쉽게 인식할 수 있을 뿐 아니라 자신이 설계한 실험이 변수통제가 되어 있는 실험인지를 공정한 검사의 관점에서 검토할 수 있게 된다. 공정한 검사의 개념은 실험군과 대조군의 상황을 보여주고 실험 조건이 공정한지를 묻는 것이다. 통제된 실험이라고 묻는 것보다 실험 조건이 공정하냐고 물을 때 공학도들이 더 쉽게 이해한다.

통제의 수준을 결정하기 위해 중요한 것은 내용에 대한 인지 수준, 통제 대상 파악, 다차원 인식 정도, 변수통제에 대한 경험 여부, 그리고 변수통제 개념의 수준 등이라고 할 수 있다. 즉 변수통제의 인지수준과 변수통제 능력 수준이 중요하다. 그림 2에 단계별 통제의 방법이 나타나 있다. 제 1단계에서는 공정한 실험에 대한 인식을 통하여 변수통제의 필요성을 확인한다. 변수통제는 형식적 조작 사고로 이루어지는 과제 중의 하나이므로 공정한 시험이나 공정한 운동경기가 어떤 것인지에 대해 평소에 나름대로 경험을 바탕으로 변수통제와 관련시켜 변수통제의 필요성을 판단한다. 제 2단계에서는 주어진 상황에서 주요 변수가 무엇인지 생각하고 구체적으로 어떤 증거를 수집해야 하는지를 파악하는 하는 단계이다. 즉, 영향을 주는 변수와 실험 결과로 나타나는 변수가 어떤 것인지를 구분할 수 있어야 한다. 이 단계에서는 실험에서 두 변수의 인과관계를 확인해야 하며 원인이 되는 변수가 독립변수이며 결과로 나타나는 변수가 종속변수이다. 이 때 변수에 적절한 실험 도구가 결정된다. 제 3단계에서는 주어진 상황에서 주요 변수가 무엇인지 생각하고 여러 변수들 중 동일하게 유지시켜야 할 것과 변화시켜야 할 것을 구분하는 단계이다. 실험의 결과에 영향을 줄 수 있는 변수 중 실험을 통해서 변화시켜 주는 것이 매개 변수이고 나머지 독립변수

들은 모두 일정하게 유지할 것이므로 통제변수이다. 이 단계에서는 중요한 하나의 변수를 분리시켜 얻을 수 있는 효과에 대하여 적절한 실험을 통하여 통제변수와 매개변수를 설정하여 다양한 실험설계를 한다. 5단계에서는 여러 가지 요인이 작용하는 상황에서 중요한 변수를 선택하여 그 변수를 통제할 수 있는 계획을 세우고, 필요한 측정 실험의 범위와 횟수를 결정하는 단계이다. 실험과 관련된 모든 변수들을 종합적으로 고려하여 공정한 실험 설계가 이루어지도록 한다(그림 2 참조).

위 방법에 의해 통제를 수행하는 실험을 대표적인 헬스 기구인 Elliptical Trainer (ET)와 Tread Mill (TM)을 이용하여 수행하였다. 이 때 표 1과 표 2에 있는 것처럼 운동시간(1시간 고정)에 대해 각각 변수통제를 시행하여 운동속도-에너지 소비량과 운동속도-호흡교환율/심장 박동율의 함수관계를 알아 보았다. 표 1과 표 2의 통제에 대한 실험이 각각 그림 3과 그림 4에 그래프로 나와 있고 아래의 III장에는 이것을 분석하여 얻은 결론이 나와 있다. 참고로 독립변수 (운동속도)와 3개의 종속변수 외에 다른 매개변수 (나이, 성별, 콜레스테롤, 흡연력, 당뇨여부, 혈관질환/다혈관 질환여부, 등)을 변수통제하기 위해 건강한 1인 실험을 수행하였으며 매 실험

표 1. TM 운동과 ET 운동 시 운동속도에 따른 에너지 소비량 변화를 알아보는 실험에 적용한 변수통제

Table 1. Variable control in the experiments of energy expenditures against exercise speeds of both TM and ET

변수		대조군		
		ET	TM	
독립변수	매개변수	간섭변수	운동 속도	운동 속도
		외제변수	실내 온도	실내 온도
	통제변수	운동시간 (1시간 고정)		
종속변수		에너지 소비량	에너지 소비량	

표 2. TM 운동과 ET 운동 시 운동속도에 따른 호흡교환율(RER)과 심장박동율(HR) 변화를 알아보기 위한 실험에 적용한 변수통제

Table 2. variable control in the experiments of Respiratory Exchange Ratios (RER) and Heart Rates (HR) against the speeds of both TM and ET

변수		대조군		
		ET	TM	
독립변수	매개변수	간섭변수	운동 속도	운동 속도
		외제변수	실내 온도	실내 온도
	통제변수	운동시간 (1시간 고정)		
종속변수		호흡 교환율(RER)과 심장 박동율(HR)	호흡 교환율(RER)과 심장 박동율(HR)	

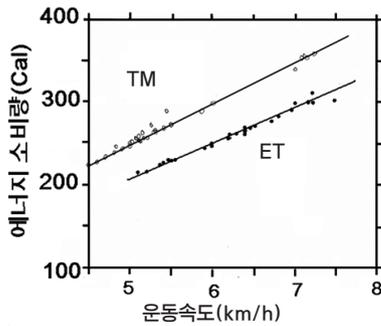


그림 3. 통제 하에서 얻어진 TM 운동과 ET 운동 시 운동속도에 따른 에너지 소비량 변화 비교

Fig. 3. Energy expenditures against exercise speed under the control for both TM and ET.

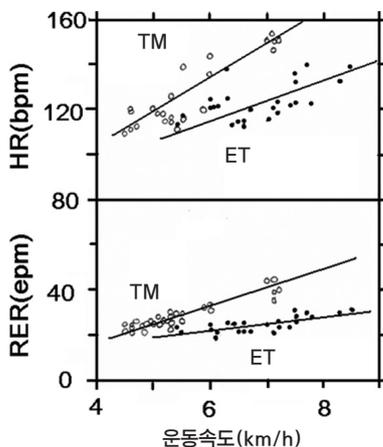


그림 4. 통제 하에서 얻어진 TM 운동과 ET 운동 시 운동속도 에 따른 호흡 교환률(RER)과 심장 박동률 (HR)

Fig. 4. Respiratory Exchange Ratio (RER) and Heart Rate (HR) against the speed under the control for both TM and ET.

때마다 1시간씩 실험을 함으로써 계기에 나오는 실험값들을 적절하고 쉽게 계량화하도록 하여 기계오차를 최대한 줄였다.

표 1에 의한 통제의 실험결과인 그림 3은 TM 운동과 ET 운동 시 운동속도(독립변수)에 따른 에너지 소비량 변화(종속변수)를 그린 그래프이다. 그림 3에 따르면 우선 TM과 ET 모두 저속도 운동에 비해 고속으로의 운동 시 에너지가 점진적으로 늘어나는 것을 볼 수 있다.

또한 표 2에 의한 통제의 실험결과인 그림 4는 TM 운동과 ET 운동 시 운동속도(독립변수)에 따른 호흡교환율(RER)과 심장 박동율(HR)을 종속변수로 하여 그린 그래프이다. 그림 4에 따르면 우선 속도가 증가함에 따라서 RER은 ET 운

동에 비해 TM 운동에서 급하게 증가하는 모습을 보인다. 운동속도는 운동에너지를 나타내고 따라서 근육의 활성화와 밀접한 관계가 있다. 이에 대한 Knutzen [12]의 연구가 있는데 그는 슬개 대퇴 증후군을 가진 운동선수가 ET와 TM을 했을 때 대퇴 사두근 활성화가 어떻게 다른지 비교연구 하였다. 그 연구에서는 의사의 추천을 받아 10명의 남자 슬개 대퇴부 환자와 7명의 여자 슬개 대퇴부 환자를 대상으로 하여 실험을 수행하였다. 이 연구에 따르면 66% HRR (Heart Rate Reserve, 심장박동 보존력)까지 비교할 때 TM과 EL은 근육 활성화 정도에 큰 차이가 있다. ET의 경우 운동 시작하고 바로 대퇴 사두근이 크게 활성화되는 반면 같은 근육에 대해서 TM운동은 처음에는 미약하게 시작되지만 시간이 지남에 따라 활성화도가 급격히 올라간다. 이 같은 결과를 이용하여 슬개 대퇴 증후군(Patellofemoral Pain Syndrome, PFPS)환자를 치료할 수 있다고 결론지었다. 이 논문에서도 역시 ET는 저속의 부드러운 유산소 운동기구로 탁월한 반면 TM은 고속의 강력한 압박운동으로서 좋은 운동기구임을 입증하였다.

### III. 결론

A. TM과 ET 운동에서 생체역학 비교에 따르면 동일한 속도에서 TM운동이 ET 운동보다 약 20%의 에너지가 더 소비된다. 반대로 동일한 칼로리를 소모하기 위해서는 TM보다 ET가 속도가 약 17% 더 빨라야 한다. 부드럽고 핸들의 부축을 받는 ET에 비해 TM은 그만큼 신진대사와 심장박동에 더 강렬하다는 것을 의미한다. 고속으로 갈수록 TM과 ET가 더 차이가 나는 경향이 있다.

B. TM과 ET 운동에서 심폐기능 비교에 따르면 속도가 증가함에 따라서 RER은 ET 운동에 비해 TM 운동에서 급하게 증가하는 모습을 보인다.

### 감사의 글

본 연구는 2013년도 한국기술교육대학교의 교수 교육연구지원 사업으로 수행되었다.

### 참고문헌

[1] E. Nagel and J. S. Mill, *Philosophy of Scientific Method*. New York, NY: Hefner Library of Classics, 1950.

- [2] U. H. Hwang, "Analysis of the deductive inference in engineering education through the experiments of elliptical trainers," *Journal of Practical Engineering Education*, vol. 5, no. 1, pp. 1-13, 2013.
- [3] K. R. Popper and M. Siebeck, *Logik der Forschung*. Tuebingen: Mohr Siebeck Publication, Jan. 2005.
- [4] K. R. Popper, *The Open Society and It's Enemies*. New York, NY: Harper & Row Publishers, 1962.
- [5] K. R. Popper, *The Poverty of Historicism*. New York, NY: Taylor & Francis Ltd., 2002.
- [6] K. R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*. New York, NY: Routledge, 2002.
- [7] K. R. Popper, *Conjecture and Refutations*. New York, NY: Routledge, 2002.
- [8] K. R. Popper, *Objective Knowledge: an Evolutionary Approach*. Oxford: Oxford University Press, 1972.
- [9] J. C. Eccles and K. R. Popper, *The Self and It's Brain*. New York, NY: Routledge, 1984.
- [10] R. N. Giere, J. Bickle, and R. F. Mauldin, *Understanding Scientific Reasoning*, 5th ed. Seoul: Sohwa Publishing, pp. 548, 1985.
- [11] J. W. Best and J. V. Kahn, *Research in Education*, 10th ed. Boston, MA: Pearson Education Inc., 2006.
- [12] K. M. Knutzen, R. Rodriguez, L. Brilla, and L. de Kubber, "Comparison of quadriceps femoris activation during elliptical and treadmill exercise in athletes with patellofemoral pain syndrom," *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 38, no. 5, pp. S498, May 2006.



**황운학 (Un Hak Hwang)\_정회원**

1981년 2월 : 연세대학교 이학사, 1985년 12월 : 미국 미주리대학교 물리학과 석사

1989년 8월 : 미국 미주리대학교 물리학과 박사, 1992년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 교수

<관심분야> 플라즈마 물리학, 자유전자레이저, Thin Film Depositions, 핵융합 이론, 공학기초 물리학