

工学教育の目標についての研究

エーリック・ウォーカー
ベンジャミン・ニード

解説 本文はアメリカ合衆国工業教育学会 (American Society for Engineering Education) の Journal of Engineering Education 57 巻1号 (1966年9月) pp. 13~19 に掲載された論説 “An Interpretation by the Chairman, ASEE Goals Committee—THE GOALS STUDY” の抄訳である。

Goals study (工業教育目標の研究) という一見途方もないほどむずかしい問題を真向からテーマにかかげて ASEE の中に Goals Committee (委員長ペンシルバニア州立大学学長 E.A. Walker 博士) が組織され、工業教育の目標についての調査研究が始められたのは 1963 年のことである。この調査研究に基づき、まず 1965 年に “Goals of Engineering Education” と題する Preliminary Report が出され、ついで 1966 年に本論説が発表された。そして 1968 年1月にこの委員会の Final Report が発表された。この Final Report はすでにわが国においても各方面の大きな注目を集めており、わが国の大学工学教育に大きな示唆を与えるものであろうことは疑いのないところであるが、ここに抄訳する論文もまたこの Final Report に劣らぬほど多くの示唆に富み、さらに 1920 年代から今日にいたるまでのアメリカにおける工業教育のあり方に対する考え方の変遷をわれわれに伝える誠に興味あるものと考えて、ここに土木学会大学土木教育委員会資料としてご紹介する次第である。なお、この抄訳は昨年度の委員会 (委員長 林 泰造教授) においてなされたものであって、その翻訳に当っては当時の委員、堀井健一郎教授および宮原 玄講師の多大のご努力があったことを付記する。

土木学会大学土木教育委員会委員長 奥村 敏恵

アメリカ工業教育学会 (ASEE) が専門発展のための技術者評議会 (Engineers' Council for Professional Development 略称 ECPD) から工業教育の調査および未来に向けてとるべき工学教育の方向について調査検討依頼を受けてから3年になる。この仕事を行なうために、本委員会はアメリカ国内の工学教育に関係しているか、または関心を持っているほとんどすべての人から意見を求めてきた。問題はこれらのすべての意見をどのようによまとめるかということと、それらの意見から未来の工学教育に対するいくつかの有益な指標を引き出すかということである。

本研究の目的

この調査の目標は、ある問題について意見の一致を求めることもなければ、賛否両論の数を数え、単に多数意見を記録にとどめようということでもない。本委員会の仕事は、工学教育の未来における目標を定義すること、すなわち現在から 10~20 年間の工学教育の目標を考慮し、その目標を達成するための計画と実行方法を検討することである。

2 つの基本目標の間の矛盾

工学教育には実際にはまだ解決されていない一つの基本的な問題——1つのジレンマ——が存在している。このジレンマとは何であろうか。それは工学の教育者達が永年にわたって互いに両立しない2つの別個の基本目標を達成しようと試みるために起こっている。いいかえれば、工学の教育者達が同時に二方向に進もうと試みるために起こっているのである。その2つの方向とは、目的を専門的に絞って単一化せんとする方向と、できるだけ間口を広げんとする方向とである。すなわち、一方では、基礎に重点を置き、高水準の技術能力を習得し得る基礎を学生に提供することができる教育プログラムを準備し、また学生に強い意味での専門的な統一性を与えるということが強く願われてきた。しかしそれと同時に工学は多岐にわたるものであることを認識した上で教育者達は数多くの、そしていろいろなレベルの工学の教科目が必要であるとともに、それらを横につなぐ材料や、人文、社会科学的なものも必要であると主張してきた。

Wickenden の研究

W.E. Wickenden が主任研究員であった 1920 年初頭に提出した第 1 次報告書の時代以来、工学教育の歴史はこれら 2 つの目標を両立させ、あるいは、少なくとも、これらの間に実現可能な折衷案をみつけんとすることの努力の連続であった。Wickenden はこの困難に気が付き、これを工学教育における「中心問題」(“central question”)と呼んだ。一般教育、技術教育および専門教育と分けたとき、工学部の分野はどれに入るのであろうか。それは、教養学部の変形で普通の学校とは少し異なる種類のものなのだろうか。あるいは、それは厳密な意味で、たとえば神学部、法学部、医学部のような、専門学部なのであろうか。これらの疑問に対して、彼はつぎのようにべている。「明らかに工学部は中間的なものである。工学部の目的は純粋に専門的な学部の目的よりは範囲が広がっており、かつ不明確である。しかし、教養学部の目的よりはずっと明確であり具体的である」。

工学は他の職業より上位にあると考えていたと思われる Wickenden が、何故工学教育を一般教育と職業教育との間に置くことで満足していたのであろうか、という疑問が起こるかも知れない。それに対する答は、職業としての工学に対する彼の基本的な姿勢の中に見い出せる。学部教育後の追加教育の必要性を説く彼の主張は、彼の報告書の全編を通じて一本の糸のように流れており、また学部教育後に設けた「教育の集成段階」(“an organized stage of education”)と彼が呼んだ具体的な提案——教育者、産業界および専門社会が協同して公式で総合的な教育プログラムを、医学部卒業生に対するインターンと同様な形で工学部卒業生に対して「徳義上義務的なこと」として課すること——の提案のうちに集結されている。明らかに、Wickenden の工学教育の最終目標は、健全な学部教育にいくつかの学部卒業後の教育を加えることによって、技術の基礎的な面について十分のバックグラウンドをもち、自主的研究に自主的方向づけの能力を有し、自分の専門に対する責任を自覚した技術的に能力ある人間、いかにすれば、真の専門技術者を生み出すことにある。

Hammond による 2 つの研究

1940 年代に H.P. Hammond を主宰者とする 2 つの研究が行なわれた。この時代になると、事情は手に負えないものとなってきた。工学教育に必要な学科目の数は増大し、工学の教科目自体がどんどん細分化していくために、工学教育というものが専門を教えるための教育で

はなくなり、何らかの対策が必要となった。このような情勢のもとに、ECPD が 1932 年に設立された。工学においては、専門としてのまとまりが必要であるということではすべての人達の意見が一致していたが、それにもかかわらず、多様性というものが工学教育における支配的な力としてなお残っていた。そして、この力がその後の研究によって促進されることになったのである。

Hammond が行なった 2 つの研究は、いずれも明らかに工学の多様性と融通性の方向に傾いていた。彼の最初の 1940 年の報告書(第 1 次報告書)の概要は、さきに Wickenden が信奉していた専門というものに対する考え方とは全く異なるものであることを指摘した以下の明確な文章で始っている。彼はいう「工学部はいろいろな機能を果たして、広い技術的、行政的、管理的能力をもつ人間を養成せねばならない。したがって工学部は広い多種多様な目標に向かって努力し続けなければならない。工学部は若い者達を専門技術者としてエントリーし、またその実務に向けて教育するという目的を制限してはならない」。Hammond は学部における工学教育を広い一般的な教育であると考え、「高度の工学的問題のあるもの」は大学院の段階に移すべきであると主張した。しかし、彼はそれがすべての方法であるとは考えていなかった。Wickenden と同じように、彼にとっても、工学教育は中間的なものであった。

1944 年に発表された Hammond の第 2 次報告書は、第 1 次報告書の主張を強調した以上には余り新しいことは述べなかった。しかし、この報告書は、すでにつまりすぎている工学部の教科目にさらにつけ加えることを提案した。すなわち、「管理と経営に関係のある学科目」を含ませる必要を強調し「工業材料と消費材料の生産」に関する学科目、および「研究および計画に携わる者のほかに生産に従事する人員の養成」に関する学科目に注目すべきことを主張し、また、「公民的および職業的責任をより積極的に教えること」を主張したのである。

Grinter の研究

L.E. Grinter の方針にしたがって研究が 1952 年に始められたころから、状況としては思い切ったことを行なうための機が熟してきた。工学教育者達は、専門教育と一般的教育の両方の要求を満足させるための努力を結集し、工学部学生に対する取得単位を他の学問を専攻する学部学生の取得単位よりも少なくとも 10~15% 多くすることとした。いまや新しい科学的知識の発達、工学の増大する必要性、および他の学問に対する幅広い知識、および高度の専門的能力を必要とする大型で複雑な工学上の問題に基因して、さらに多くの学科目を付加するこ

とが必要であることは明らかであった。最も重要なことは、研究と開発のすべての分野が、十分に能力を具えた技術者を未だかつてないほど強く求めていたことにあった。明らかに、何らかの処置をしなければならなかった。

Grinter が第1次報告書の中で提案していることは、

Hammond の提案と異なっていない。彼は工学教育において、新しく発展してきている科学的な概念および工学上の方法や原理とのその概念の結び付きを理解することが必要であることに気付いて、単に物理学および化学においてとられた新しいアプローチのみならず、同様に一群の基礎工学を含んだ高度に科学的な内容をもつ工学のプログラムを主張した。

Grinter 報告書に対する反応

Grinter の第1次報告書に対する工学教育者達の反応は、「工学の教科目はその機能上2つの幹に分けるべきでないという一般的制度的反応」であった。専門家はかくあるべしという口先だけの概念が、またもや勝利をさせた。そしてさらに、科学を取り入れることによって工学のプログラムを修正してゆこうとする努力を傾けることで、専門技術者は、創造力のある設計者でもなければならないとする従来の考え方がほとんど忘れられてしまった。

しかし再び、ECPD がずっと以前に「技術者の明瞭な特質——設計に対する能力——」と呼んだものに対する注意が払われ始めた。工学に関する著作物は技術者を科学者と区別し、技術者に革新的なことを推進する者としての伝統的な役割——自然の力と物質を有用な物質とサービスに変換する過程における創造的仕事を行なう役割——を回復させることが必要であることを強調し始めた。そして、この技術者に対する古くて新しい考え方は工学の現業機関においてより強く支持された。アメリカ国民は、一方では基礎研究に力を入れ、他方では自国の経済成長を助けるためにより新しい物質とサービスを求める必要を徐々に感じ始めたので、技術者は創造的な設計者として国民生活における新しい意義を持つこととなった。工学教育者達は自分達の教育プログラムの中に、より多く設計に関するものを含め始め、また、自分の教育している学生達の創造的才能を引き出す努力をし始めた。車輪はフル回転を始めていった。しかし、この回転の中で例のジレンマは新しい勢いを得ていたのである。

その当時の詰め込み過ぎたカリキュラムは、すでに限界に達していた。もし技術者の伝統的な2つの目標のいずれもが絶対的なものであるならば、4年間の学部教育のプログラムは満腹して破裂してしまうことはほとんど確かなことであった。Grinter の報告書は、「新しいカ

リキュラムのための余地をつくる」ために、1つの救済策を提案した。しかしその方策はより基礎的な面に重点を置き、教育の効果を上げ、繰り返しの学科目、すなわち「主として工学の技術または実際に学生に覚えさせる」ための学科目を廃止するという従来の提案の域を出るものではなかった。そこで、より思い切った改善策が必要であった。

現在の Goals Study が直面している問題点

現在の Goals Study に関する研究が始められたとき、われわれが直面していた問題点は決して新しいものではなかった。もしも、この委員会の仕事对未来に対する目標を設定することであれば、この委員会のおもだった仕事は工学教育における2つの大きな力、すなわち「専門家意識」と「多様性」とがおのおの未来の工学教育の進歩の中でどの部分に役割を果たすべきかを決定することであった。

多様性 Goals Study によってひき起こされた数多くの批評や意見を読むとき、われわれには「多様性」は今日の工学教育におけるただ一つの支配的な力であるというわけではないが、工学教育にとって非常に好ましい特質であること、そして今後奨励すべき、またせねばならないものであることが明確になってきた。工学教育者達が好むと好まざるにかかわらず、4年制大学の工学教育プログラムは徐々に教養学科に対する科学・技術的等価物、すなわち一種の教養科学プログラムになってきている。その性格はどんどん一般的なものとなり、多くの素材をカバーすることによってより多様性を増し、また技術に基づいた多種多様の職業に対する準備を与えうための十分な融通性を持つようになってきた。

今日の工学部において与えられている教育のプログラムは、教養学科において与えられている伝統的な教育プログラムよりも、今日の技術に基礎を置く社会における生活の準備のためには、恐らくはより適当なものであろう。技術上の基礎的な原理を理解することによって、この教育プログラムは数多くの、いろいろな種類の仕事のための一つのよき基盤となり、さらに必要な専門家の養成ということもなしうる。このプログラムにおいては、もしある学生が特定の仕事を自分の生涯の仕事としようと計画すれば、その学生は最終学年でその仕事に適応したいくつかのコースを選ぶことが可能である。その学生は特許の講義を採ることもできるし、地方行政、管理、講義、あるいは設計の講義すらとろうと思えばとることができる。しかし、もし彼が通常の教育を続けたいと思えば、学生はたいていの場合、その最終学年で、物理、数学、あるいはときとして経済学の中からいくつかの追

加的な学科科目を選択し、それらを自分のさらに今後の教育に対する構成材料とする。このような種類の多様性と融通性とは、工学教育における真の力であり、この力は未来においても低下してはならない。将来の職業にたずさわる人々は、もっともっと物理学、化学、数学、生物学および社会科学を含む幅広い一般教育を必要とするであろう。彼らにはまた手際良く話し、書く技術が必要となり、また現代の生活における相互に入り組んだ関係を理解するために、人文学についての十分な知識が必要となるであろう。そこでわれわれは、躊躇なしに、またいささかの矛盾も感ずることもなしに「多様性」は将来の工学教育における大きな力であり続けなければならないこと、また現在のカリキュラムの技術系以外の学科科目も工学教育プログラムの一つの重要な部分として残さねばならないということができる。

専門家意識 しかし「専門家意識」(Professionalism)ということについてはどうであろうか。これに対しても要求は年ごとに増してきた。科学的知識が増加し、また有用な目的に対するそれら知識の適用が経済的繁栄に対してますます不可欠のものになってくるにつれて、非常に高い水準の技術的能力に対する必要がますます明らかになってきたのである。

“専門”という言葉の定義

もちろん専門家という言葉の解釈は人によって異なる。多くの者はこの言葉は工学部の学士称号を持つ人々の持つ自動的な属性であると考えている。しかし、また別の者達にとっては、この言葉は階級あるいは何らかの公の尊敬を認識する何らかの形を意味するもののようにも考えられている。また、さらに別の者達にとってはこの言葉は単にその職業分野への登録、あるいは法律上の認可を意味する。Wickenden にとっては、この言葉は一人の人間が医学生生のインターンと同様な実務教育を学習に対して結合した教育プログラムの後においてはじめて望み得るような非常に高い水準の能力のことを意味していた。現在目的に対しては、純粋に実用的な定義は、恐らくは上のものと一致する。ここで、工学の現業の機関におけるリーダー達を例にとるならば、それらの職業的指導者の属性は、簡単に認識することができる。彼らが自分達の職業的地位を獲得できたのは、普通の4年間の大学教育の上に、経験と訓練と技術の修得が積み上げられた結果であるが、それらの経験や訓練は、ある場合には産業界における正式な研修によるものであり、またある場合には自分自身の読書による勉強によるものもある。しかし、今日の多くの場合には、それらは修士または博士の単位につながる正式な大学院教育によるよ

うになってきている。

推定と傾向

1962年に科学および技術におけるアメリカの将来の人的資源の必要性を調べる仕事に当たった大統領の科学諮問委員会は、遅くも1970年までに、アメリカは、工学、数学および物理学における博士号の年間修得者数を1960年の2倍以上にする必要があり、また当然そうなるものと推定した。また、この委員会は同じ期間内に修士号の年間取得者が1960年の1.5倍に増加するものと推定した。今日では、どちらかといえば、この予想は少な目に見積ったもののように思われている。本委員会の第1次報告書において、未来における傾向を探ろうとする努力がなされている。1900年ごろには工学における学部卒業生に対する大学院卒業生の比は約100:1であったが、1930年ごろまでには約20:1になり、1960年には4:1、1964年にはすでに3:1となっている。長期間のこれらの傾向は、今後10年間以内に、この比が2:1に達することを示している。そして、1976年までには2名の学部卒業生のうちの少なくとも1名が修士号を取得し、また12名中1名が博士号を取得するであろうと推定されている。もしもこの傾向が続くものとすれば、約25年間でどの技術者も修士号を持つことになるであろう。

かくして、工学教育者達の願望にもかかわらず、専門家意識の水準が非常に急速に上りつつあることは、今や明白な事実であるように思われる。工学における大学院教育は現代生活の自然な進化過程の一部として、その重要性はとみに増大しつつある。そして、人口の一般的増加、工業の生長、および一般社会における技術水準の向上の三者が相まって、高い技術水準を持った人間をもっともっと数多く求めるようになってきているのである。

今日の要求に応ずる努力

将来を考える工学教育者達は、今日確かにこの要求に応ずる計画をつくりつつある。1965年秋にMassachusetts州のWoods Holeで行なわれた創造工学の国家委員会の最新の報告書の中で、この委員会は、専門内容をより高い水準にまで引き上げる必要がますます生じている感じで、つぎの提案を行なっている。すなわち「今日では工学がもはや大学院以下の水準で十分に教えられるということは疑問がある。すなわちどんな場合でも、工科大学は工学修士および工学博士の修得のための準備に重点を置いた大学院の教育プログラムをつくるべきであろう」。

Cornell大学のEngineering Quarterly 1966年春季

号には、Cornell 大学の工学部の新しいカリキュラムの全部が出ている。それによれば、「Cornell 大学の新しいカリキュラムは技術者が今日必要としている特性に必ずべき諸要素を持っている。すなわち、われわれは学生に理学と基礎工学とを強いバックグラウンドとして身に付けさせ、「中核となるカリキュラム」を通して基本的なことがらの価値を強調する。カリキュラム全体には柔軟性をもたせ、広く工学の関連分野からどの課目でも取り得るようにしている。学生達は、また教養課目と一般教育課目が十分にとれるようにしてある。そして、特に重要なこととしては、この大学では、修士号のレベルまで一続きにした強力な職業教育の途が用意されていることである。このため、Cornell 大学では工学に関する最初の学位称号は(工学士ではなくて)工学修士号(Master of Engineering degree)であり、これは、土木、機械、電気、生産工学、冶金、農業工学等のような古くからある分野においても、また核工学、宇宙工学、物理工学のような比較的新しい分野においてもまたさらにもっと新しい専門分野においても、大学における5年間の学習の後に与えられる。これらの教育計画は、科学と技術が著しく進歩しつつある今日の時代においては、役に立つ技術者を教育するには最低限5年間の大学教育が必要であるという大学側の信念から発してつくられたものである。

他の大学でもこのようなプログラムがつけられ、あるいは現につくられつつある。それらの中で、おそらく最も広汎でかつ詳細に検討されているものは、1965年に発表された California 大学の工学教育マスタープランの中に見られるそれであろう。その中にはつぎのように述べられている。すなわち、「本大学においては、工学における最初の職業的称号として工学修士号を学士の称号と入換えるべきだと考えている。本大学の工学部の工学士号取得者(engineering B.S. recipients)の大多数は工学修士号の学習プログラムに関心をもち、またすぐにそれに進学しうるだけの才能を持っている。大学における5年間の教育の後に初めて工学を修得した者としての認定を与えるという考え方を検討の末、5年目の学習年を大学院とした。そして結論として、この大学には“学部+大学院”という5年制学習プログラムをつくり、この5年制の4/5の学習の段階を終えた者には科学士の認定を与える(訳者注:4年間では工学を修得した者としての認定を与え得ないので工学士という認定はなく、これに代って科学士(B.S.)という資格で認定される)こととした。

3 つの傾向の認識

今日、つぎのような3つの傾向が諸大学においてだん

だんに認められつつある。まず第1は、伝統的な4年制の工学部のカリキュラムは、当然のなりゆきとして、ますます多岐にわたり、また一般的な性格をもった幅広い一般科学のカリキュラムになってきたことを、そしてまたこのような方向に進展し続けるであろうことである。また、第2は今日の技術の内容を考えると、それは大学院において始めて教えられる程度の高い水準の専門的知識を必然としていることである。そして、第3はすべての分野の知識を互いに結ぶ相互関係が増大していることである。

予備報告書に対してよせられた各種の批判

本委員会は、寄せられた意見から非常に多くのものを学んだ。本委員会が学んだことの1つは、「工学教育の目標に関する研究」が、工学教育を1つの型にはめ込もうとしているかのごとき印象を与えるという非常に大きな危険性があることということであった。最終報告書では、本委員会は今日のアメリカにおける工学教育を支えている大きな力の1つは、その多様性であるという自分達の信念を明確にしようと考えている。それぞれの学校の目標を設定し、その学校が理想と考える学生を育て、自分達の目標に合った教育の型をつくり上げるべきである。実際のところ、これが正に ECPD が過去25年間にわたって述べてきたことである。しかし、多くの工科系の学校や工科大学に関しては、指導的な人間の跡を追い、特定の学校で成功を収めたもののカリキュラムであれば、それが自分達の環境に合っていないか、それをそっくり真似ようとする傾向が余りにも強すぎるように思われる。本委員会はこの危険を避け、ECPD が良いと判断した教育計画を提案するということをあえてしなかった。すなわち、本委員会はそれぞれの学校がこの方式は採用しようとか、この方式はしたがわかない方がよいとかいうことを独自の立場で決定するのが良いと考えている。しかし、このようなことは必ずしもすべての学校についていえることではない。確かに名声をはせている学校ならばさらに新しいカリキュラムを試み、それらがうまく行くものであるかどうかをためしてみることはできるであろう。しかし、名声をはせているような大学でない限りは、やるだけの値打ちがあるかどうかわからないようなこの種の実験に、その学校の信用をかけるような危険をおかすことはとうていできないはずである。すなわち、工学教育を始めたばかりの学校であれば、それらは信用のおける指導規準にしたがって学習指導を行なってゆくべきだということも、同様に知っておかなければならないことであろう。

(1968. 12. 2・受付)