米国における工学教育

Eric A. Walker

President, The Pennsylvania State University

Chairman, National Science Board

Vice-President, National Academy of Engineering

古賀逸策訳解

この論文は、1965年6月21日から25日にわたり、Chicagoのイリノイ工科大学で、American Society for Engineering Education (ASEE) の第73年次大会およびこれと結びつけて催された World Congress on Engineering Education の Session I (21日午後) において発表されたものであるが、日本工業教育協会々員にとり興味ある点が少くないので、その邦訳を本誌に掲載することとなったものである。邦訳を本誌に掲載する事については、1965年9月27日附で Mr. John B. Bennett, Editor of Publications, ASEE から訳者宛に了承した旨の書翰が来ている。

内 容 梗 概 米国の工学教育は、歴史的に色々の進展があり、長所も短所もあるが、そのいづれに対しても責任がある。米国では、高等教育は原則として self-regulation (自ら律する) というやり方をとっているが、このやり方は、学校間の協力、規準の一樣化、健全な革新化、などの上に非常に役立った。又 ASEE の援助により、度々検討を重ね、教育計画は、時代と共に変遷する要望に沿って進められて行った。然し practicing engineers (既に実務に携っている技術者) の工学教育に対する影響力にも限りがあった。その上、随分以前から、工学教育は4年間の大学教育でやっていくというやり方をとって来たが、このやり方では、多岐にわたる技術的訓練の上に均衡をとることが出来なくなった。そしてそれは、今日に至るまで、依然として救済出来ないままである。

そこで、若し engineer が、今日益々発展する世の中で、その創造的才能を有効に発揮し、製品を作ったり、企業に従事したりして更に発展を計り、その時代の、社会的、技術的な大きい問題を解くべき役割にあるとするならば、やがては engineer として立つべき人達を養成する工学教育課程においては、基礎科学や、設計ならびに problem-solving (問題に直面した時これをどんな風に解決するか of 修練) などを、どのように位置づけるかについて、再検討しなければならなくなった。そして又従来よりもっと組織的な continuing education (卒業後に及ぶ継続教育) が必要になって来た。ここではこれらの問題について新しい考察を試みたいと考えている。

米国における工学教育は19世紀前半に、一般大衆から起った運動に、その源を発している。そして、その運動の活発な指導者の一人であった Stephen Van Renssaler の言葉をかりれば、その運動は、“生活上の共同の目的のために、科学の応用を振興する”ことをめざすものであった。

19世紀の始め数10年間、米国の engineer 達は、ほとんど独学で勉強した。少数の者はヨーロッパで教育を受けたが、その時代の、簡単な公共事業や、その他の工学的業績は概して経験による技術や、各自の発明による所産であった。時代が進むにつれて、ある種の正式な工学教育の必要性がしだいに明確になってきた。鉄道の出現や、国内工業の発展に、技術が重要な役割をしていることが認識され、若い人達に applied sciences (応用理学) の教育をすることが、次第に関心事となって来た。

そのころ米国には、イギリスにあったような、徒弟制 (pupilage)、見習制 (apprenticeship) による養成の制度はなかった。又すでにフランスやドイツで発達していたような、形式ばった技術教育 (technical education) もなかった。そこで米国では engineer を教育するにはどうすればよいかという問題が、ここに起ったのである。そしてその教育制度は徐々に発展して来たが、そのあるものは、米国の強味 (長所) ともなり、又弱味 (短所) の原因ともなっている。この事は今日でもまだ感ぜられている。

初期の指導者達は、役人でもなければ practicing engineer (実務についている技術者) でもなく、科学者や教育者達であった。そして、間もなく、engineer の養成は、彼等の手によって、伝統的な4年制大学課程の形式に、はめこまれてしまった。この形式化は、米国の工学の発展の上に深い影響を与えている。すなわちこの結果、

この写真は本文中に述べた Congress の Session I の 5 名の講演者と（括弧内は演題）と司会者として、向って左から次の顔振れである。

M. S. Thacker, Member, Indian Planning Commission, New Delhi, India
(Engineering Education in Asia)

R. A. Morgen, Dean of Graduate Studies, Stevens Inst. of Technology,
Hoboken, N. J. (Chairman)

Sir Willis Jackson, Univ. of London, Imperial Coll. of Science and Technology,
London, England (Engineering Education in Europe)

Enrique d'Tigny Lyon, Dean of Engineering, Univ. of Chile, Santiago, Chile
(Engineering Education in Latin America)

E. A. Walker (本稿著者)

Issac Koga (Engineering Education in Japan) (本稿訳者)

工学教育は、直ちに米国の高等教育の主流にはいる事を可能にし、且一つの専門的な分野として認められるようにした。そして、関係外の規程に煩わされることなく、必要が起れば、産業界の技術的要望の変化に即応したやり方に、直ちに変わる事も出来るようになった。しかし、同時に、一面では、広い分野の技術的訓練の上に、不均衡をもたらすことにもなった。即ち専門的に訓練された engineer と、比較的未熟な技能者 (mechanic) との間に、不幸な間隙が出来た。

そこで、19世紀の中頃、多数の“polytechnic institutes”（専門学校）と“schools of practical science”（実業学校）とが設立され、そして、これらの学校で作られた課程は、すぐ当時の大学で設定された課程に同化された。Yale, Harvard, Dartmouth, Brown 等の大学は“applied science”の学部を設け、engineer の養成にあたった。然し最も影響の大きかったのは、Land-Grant 大学の設立による動きであった。

これら大学——その多くは、現在、重要な州立大学となっている——は、1862年の Land-Grant Act（土地無償払下げの法律）により発足した。当時の連邦政府は、資金面では甚だ貧弱であったが、米大陸の約半分位の、定住者のない土地を持っているという、豊かさであったので、この法律により、この国有の土地のかなりな部分を、各州に与え、その売上げ金を、州立大学の設立に使わせた。これら新設大学の第一の目的は、法律の条文にあるように、「色々な仕事や職業の中で、工業に従事する人達に liberal education（高等普通教育、一般教育）および practical education（実際の職業教育）を施す」ことであった。この様にして、当時の言葉を以てすれば、大学に“the mechanic arts”の教育を促進した事は、全米にわたり工学教育を振興する上に、顕著な影響を与えた。

ところで、この新設大学で最初から問題になったのは、理論と実際との間の満足な均衡を保つことであった。世間の期待する所は、新しい工学の学校 (technological school) であるところの Land-Grant 大学は、実際的であると同時に、新しい科学の見識をもって實際面を豊かにすることであった。所が、新しい課程の面倒を見てくれる (supervise) 人達は、たいてい学者 (academicians) 即ち植物学者、化学者、物理学者のような人達であった。従って、それらの人々は、当初、實際面では極めて僅かな課程しか用意する事が出来なかった。

教育の方式に対し、engineer 自身が、専門職としての連帯的な責任をとり、且つこれを左右する様になって来たのは、1870年末頃からであった。この時までには、工業は異常な発展をした結果、engineer にとっては、機械、冶金、鉱山等の広い分野が拓け、又都市が発展して、工学の他の新しい分野も必要になって来た。そこでこの時期に、工学教育は急速に拡張し分岐した。そして指導的教授が執筆した工学関係の文献が出始めるとか、工学教育に実験が多くなるとかいうことで、研究活動は質・量ともに、目にみえて向上して来た。そして教育のやり方は、以前のような、はっきり専門別に独立した性格のものでなくなって来た。

1880年に電気工学の分野が開け、次いで1890年に化学工学が開けるに及んで、工学

教育は、今迄の出来るだけ實際面に重きお置こらとした努力から、大旋回をしてしまい、すべての工学課程を、もっと scientific にしようと云う、はっきりした傾向になった。ある地域では、cooperative program を導入して、工業界の要望に適應するような、工学教育をしようとする努力が行われた。この cooperative program では、学生の時間が、二つの等しい期間に分割され、その一つは大学での教育、他の一つは工場での管理の下に、實際面の経験を身につけるというのである。然しこのやり方は、どうしても、一般的な工学教育の主流には受け入れられなかった。

1893年に、American Society for Engineering Education (ASEE) が出来た。この協会は、最初 Society for the Promotion of Engineering Education と云う名称であった。そして Chicago で World's Fair があった機会に、工学教育者が Chicago で会合を持ったのに端を発して出来たものであるが、その時以来、ASEE は全国的な活動をして、米国の工学教育の発展に、非常に効果的な影響を与えて来た。

1920年代には、ASEE は、国内の大学工学部及び工学の単科大学について、広範な検討をした。その徹底振りは、単に工学教育のみに止らず、実に、米国の高等教育の分野における、全く革命的なものであった。有名な“Wickenden Report”は、その結果出来たものであるが、その内容は、工学教育を、根本的理念をはじめとし、入学の為の要件、学科課程、教授方法、教授陣の基準等の詳細な分析にまで及ぶ所の、工学教育のすべての面に関する調査をした。この委員会は、工学の専門化に伴ない、学科課程が増加する一方であるなどの、この当時の実情に対して、遺憾の意を表している。もっとも、一般的結論としては、その当時の工学関係大学の目的、および実際にやっているやり方には、革命的な修正を要すると云う程の事はないとしている。然し、この報告は幾多の重要な勧告もしている。それは、工業界において高度に訓練された engineer と、未熟な工具との間の間隙が次第に大きくなりつつあるから、engineer のきまり切った仕事 (routine duties) の大部分は、engineering technicians にやらせていいのではないかと云うのである。ここで engineering technicians と云うのは、最終学歴の2ヶ年間で、適当に計画された教育により養成された人達をいう。又この報告では、実務についている engineers に対し、継続教育の方法を講ずると共に、もっとgraduate work (大学院での勉学) の必要性を強調している。この報告では、“工学教育における最も深刻な欠陥は、大学でどれだけ教わったか、とか、又どんな事が省かれたか、などと云うようなことではなく、よくありがちな、折角卒業する迄順序よく教育されて来たその過程が、卒業という時点で、絶ち切られて

しまう事である”と云っている。

Wickenden 委員会の調査に次いで、第2次大戦直前の Jackson Report、大戦直後の Hammond Report がある。これらの調査では、いずれも、工学課程の最初の2ヶ年間の基礎課目の扱い方が、共通化の傾向になりつつあることに賛意を表し、かつ、適切に訓練された technicians の必要性を再び強調している。これら二つの Reports は又、工学を学ぶ学生に、広く人文科学、社会科学の知識を与えることの重要性、又一般に、管理職に就き、一層重い社会的責任がとれるように仕立てる事の重要性を強調している。その結果、工学課程中に、non-technical な課程が沢山増加したのが特に目につく。

とかくするうち、工学課程に、従来より一層一様な規準を設けることが必要だと云うことで、1932年、Engineers' Council for Professional Development (ECPD) が設けられた。これは高等教育においては self-regulation という一般的な米国の慣行に従い、歴史の古い学会から代表を出し、全国の総合および単科大学の工学課程を正式に認定 (accredit) する基準の設定にあたった。そのやり方は、認定を望む大学が、他の大学の工学教育者などからなる、特別のグループにより、定期的な視察を受ける。視察は、教授上のプログラム、およびその実施状況等にわたり、詳細に行われる。かような認定をするようになってから、各大学の基準が、望まれていたように一様化した。が、又一部の人々は、こんなやり方には、つきものの危険性として、健全な試み——特に小さい、或は未だ十分確立していない大学での——を制限することになる事を恐れた。

ECPD の仕事は、もちろん ASEE の検討、特にその要請によって行われた 1955 年の Grinter 委員会の調査に負う所が大きかった。Grinter 委員会は、複雑を加えていく工学の世界で働くにふさわしい、新しいタイプの engineer の必要性を認め、研究活動に従事しようとする engineer に対しては、もっと基礎科学に重点を置く事を、又これと併行して、産業界に進もうとする engineer に対しては、もっと伝統的な型の課程を課する事を勧告している。この報告書の執筆者は、恐らく意図しなかったかも知れないが、この報告の影響で、多くの工学課程では、一般に基礎科学が強調され、工学教育の基礎が巾広いものとなり、又工学部の課程が、既に学生にとっては過重の負担であったのに、その負担がいやが上にも増加する事になった。斯様に、米国の工学教育は、今日迄の歴史を反映して、それ自体特徴もあるが、欠点も生じた。Self-regulation の原則は、疑もなくこの大きな米国の、多くの学校や大学間の協力

を助成し、基準を一樣にすると云う大事な仕事をした。同時に、斯様に外部の支配を受けなかったことは、教科内容や教授法を革新する上のはげみともなり、常に、教育内容を、変遷しつつある工業界の要求に沿う様にして来た。

そして、米国の工学教育は、そのプログラムを、絶えず検討修正しようとする熱意と、徹底した努力との結果、確かに得る所があった。米国の教育者のグループで、医学関係のグループは別として、吾々工学教育者のグループ程、このように行き届いた、度々の自己批判に、力を注いだグループはないと云っていいと思う。

我々が気を配ったことは、学生の技術的能力を向上させるということだけではなく、米国の諸大学の工学部卒業生は、世の中に出て後、一般に、その選択した専門分野で、十分な素養を身につけるだけでなく、その専門職における立派な実務者としての地歩を保ち、又同時に、責任ある市民としての役割を果たすに充分な、広い一般教育 (liberal education) を受けて来た。

しかし、このような長所の中には、それ自体に欠点を内在している。工学教育が、ほとんど工学教育者の仲間だけにまわされているという事実は、practicing engineer が、その後継者を訓練する狭い役割をするだけになる傾向になった。この点を直そうとする過去の努力は、まだ完全に成功したとはいえない。そして、近頃益々複雑化する技術時代の要求と共に、この成り行きは益々痛切に感ぜられている。その上、すでに述べたように、早期に、工学教育を4年制の学部課程として形式化したことは、技術的な教育を受けた人々の間に、不均衡を生ぜしめた。そしてその不均衡をわれわれは未だに修正していない。

さらに、engineer は、できる限り広範囲な教育を受けるべきであるという、われわれの主張は、大学生に益々重荷をおわせる傾向になった。工学課程は益々盛り沢山になってきた。そこで、このような傾向に、ストップをかけ、あるいは逆の方向に持っていくように、真剣に考えるべき時が来たと感ずる人も多くなった。

しかし、おそらく、そもそもの始めから、工学教育者が直面した最も大きな難点は、教室での授業で、いかにして、engineer を scientist から、はっきり区別し、ユニークな創造能力を養い育てるか、又如何にして engineer に、彼の専門職に独特の観念を持たせるかということであった。米国の工学教育はその出発点においては、科学 (science) のまま子であった。又米国の名声をあげたような創造的な発明の多くは、工学教育の主流の外で働いている人達によってなされた。こんなわけで、engineer を教育する先生達は、engineer の最大の関心事であるべき、創造的活動ができるよ

うに学生を仕向けることの出来る、真に満足な方法を発見することもできなかった。その結果、typical な（即ち仲間で、最もよくその特色を表わしている）engineer は科学者の一枚下についたばかりでなく、彼等は、自分達が創造的な仕事に適するようになる最もよい方法は、科学の素養を充分身につける事だと教えられた。そして、最近一般に科学や科学的研究に関心を持つ者は、engineer ならびに、engineer が現代社会で果しているかも知れない貢献に、目を向けない傾向になっている。そこで、吾々の多くは、米国の工学教育は、間違った道へふみ込んで、顛落しつつあるのではないか、又新しい再評価を要求されているのではないか、との疑問を深め始めている。

それやこれやの理由で、ASEE は更にもう一つの広範な調査に着手した。その調査は目下進行中であるが、吾々はこの調査によって、次の 20 年乃至 25 年の間、工学教育の向うべき方向をきめる上の助けになる解答が出るものと期待している。

吾々がこの検討を有望なものとしている一つの点は、吾々の今度の試みが工学教育の目標 (goals of engineering education) を、大学での教育よりも、もっと先の方まで置いて考えていることである。吾々は今日の世の中で、engineer およびその地位に関して、できる限り広く、資料や意見を収集綜合する事に努めている。教育機関（大学）は、もちろんこの仕事に重要な役割を演じている。そして、その中の 150 以上の大学が研究委員会 (study committee) を設け、提起された主な問題点を検討し、又種々の事実や数字的の資料を提供し、意見や勧告等を集めている。先生達がこの仕事に当った時間を人件費に換算すると、恐らく既に 500 万ドルを費して、有効な話し合いをして来ておる。然し、この検討は、教育者だけに限られたものではない。沢山の学会や産業界にも、その様なグループができている。このようにして、吾々は教育者の考えや意見に、実務に当たっている engineer や産業人のそれをも加えるようにしている。

それに加えて、われわれは又、実務に携っている engineer から、又工学的能力を活用している産業界や政府から、日々の要求や、その活動状況に関する実際の情報を収集している。この調査は全国的大規模のもので、広範なアンケートが engineer およびその雇用主に配布され、engineer の教育の種々な面、およびそのレベル、彼等が働く上に実際に要求されている仕事の種類との関係などを知る為の実際資料を集めている。この調査の結果は全国の study group に送り、更に検討と意見とを求めている。

このようにして、目下膨大な量の資料が既に収集され、これが指導的教育者から成

る二つのグループ（その一つは学部教育，他は大学院の教育を扱っている）により，分類分析されている．これ等グループの調査報告は，一年位のうちに出来ることになっている．そこで吾々の目前に迫っている課題は，これ等のグループからの勧告を，有効に用いる事であるが，たとえこの調査が，調査だけに終ったとしても，それは工学教育者達に，現代社会における engineer のあり方を，従来よりもっとよく説明するのに役立つであろう．そして，その結果，米国の工学教育には必ず重大な変化が起るであろうと考えている．

その変化がどんなものであるかは，中々予言できない．もちろんわれわれが直面している多くの問題は，決して新しいものではない．然しこれらの問題を，前記調査に基いて考察すると，もっと効果的な解決の手引 (approach) が得られるであろうと思う．そのような問題の一つは，industry において，専門技術者 (professional engineer) の日々のきまり切った仕事を軽減するため，深刻に要求されている技能者 (engineering technician) の数を増加する何等かの方策を見出すことである．吾々はそのような technician を，大学から送り出す engineer 1 人当たり，少なくとも 4 人生み出さねばならない．然しこの比率に近づける事に着手するまでには，まだまだ道は遠い．その主な難点の一つは，先づ一般社会を理解させて，二年制の学校が，有利な且むくいのある充分な仕事に従事することのできる教育になるという事を納得させることである．それは，伝統的な四年制の学士課程は，“最上位になる”ための必須条件であって，それよりも短かい期間のものは，すべて第 2 級のものであるとする通念 (democratic belief) を打破しなければならない．

もう一つの，長年の問題は，実務についている engineer のための継続教育 (continuing education) である．そして，この問題は，新しい知識や方法が，加速度的にふえるにつれ，ますます重要な問題になって来た．勿論従来も，短期の講習，セミナー，その他色々な時間外の教育を施すことが行われて来た．然し吾々多数の考えでは，従来のこのようなやり方よりも，もっと組織的な導きが必要である．そしてこの問題は，是非とも工学教育者が，産業界と緊密な連絡のもとに行わねばならない事柄である．

然し吾々が直面している最も重要な問題は，恐らく，engineer に独特の仕事，即ち社会が買うであろう商品を造り，求めるであろうサービスをする為に，科学的知識を用いる場合には，engineer につきものの，根本的な問題であろう．今日の世の中では，engineer は，吾々の生活水準を維持し，或は経済発展に資する，新しい仕事

を創りだすための、新しい装置や方式を工夫する事に、気をつける責任を持たなければならぬ。米国では現在毎年20億ドルを費して基本研究を行っているが、それは、この莫大な、頭脳と金との投資が、殆ど自動的に、市場における生産および一般の経済成長に転換されていくと信じての事である。然しながら、若し将来の engineer に、この投資から生れた知識を活用する責任は、彼等にあるのだと云う事を、何とかして認めさせる事が出来なかったら、その結果は、図書館に、沢山の、貴重ではあるが用いられないままの知識が保存されるのと同じことになる。

吾々は学生の天才的なひらめき (spark of genius) を何とかして認知し、且つそれを最大限に、育て伸ばすことを工夫しなければならない。歴史上の偉大な engineer や発明家の多くが、極く限られた初歩の科学的知識だけに基づいて、彼等の偉大な仕事をなしとげたのを見ると、ややもすれば、現在工学課程において、一方基礎科学と、他方設計や problem solving の演習との間のバランスを注意深く検討するといふようなことをすべきではない、と考えたがる。現代の engineer は、彼等の専門職の支えとなっているのは、科学的知識という土台である事には間違いないが、彼等が現代社会で有効な役割を保つためには、その第一の関心事は、社会が要求している物を設計したり、創造したりすることであると云うことを忘れてはならない。

学生が責任感を持つようにするには、どうすればよいかと云う事は、私にも、よくはわからないが、将来この方向に益々努力を払う必要があると思う。その上、吾々は更にいい方法を見つけて、engineer が、現代の大きい社会的技術的 (social-engineering) 問題、即ち通信や、運輸や、土地開拓、大気、水資源等の広大な分野の問題への道を進む率先者となるよう、仕向けなければならない。吾々は、学生の中の革新者や発明家が、その活力を最大限に発揮し得よう機会を与え、又その能力を、現代の複雑な、そして困難ではあるが魅力的な技術的問題に傾注しようとする意欲を、刺激するように雰囲気を作ることに、努力しなければならないと思う。

このような雰囲気にするには、どうすればよいか、と云うより、このようなことが型通りの教育で出来るか、これは私にはわからない。然し吾々はいささか屈伸性のある工学教育を考え、又恐らく、新規な又創意に富んだ概念でやって見る必要があろうと思う。例えば、実際の事例について教育するやり方 (case system)、即ち学生に、ある一つの複雑な問題について、一揃の仕様書を与え、これに対して、学生が健全な実際的な方法を工夫して、これに処するようにさせると云うやり方が、段々用いられるようになるのではあるまいか。或る人達は、このようなことは、産業の分野でやること

であって、正式の教育の中にとり入れるのは、時間つぶしで、基本的な技能を教える時間を失うから、よくないと考えている。然し私には、実際の事例について教育するやり方は、学生がその学んだ科学の理解を、最も生産性のある方法で伸ばし、又発展させるものであるように思われる。そしてこの方法をうまく用いると、彼等が産業界で体得するより、もっと含みが大きいであろうと思う、

この他にも、工学教育の進むべき道に、有益な変化をもたらすに違いない仕事が増進しつつある。過去一年かそこらの間に、新たに出来た Commission on Engineering Education という、教育者の小さいグループから成る独立の委員会が、専門技術家と技術者の教育をする先生達との間の関係を、一層よくする新しい方法について検討している。又工学部の学生を、真の工学的実情に、直接に接触せしめるのと同じように、工学の先生達にも、産業界や政府で実際に行われている仕事を、充分に知って貰うよう計画することも考えられている。

前記 Commission は、この外に、二つの大学が組になって、相互に発展を計るような協力態勢を作り、それによって工学教育を改善すると云う行き方についても検討している。その組の一つの大学は、既に実績を持っている大学、他は、急速に成長する潜在力を持ち、且つ行政面の委託が可能な大学である。この Commission は又、更に次のような、進んだ学部教育をも考えている。その教育というのは、色々な月なみの工学の分野の学問を、飛行機や、自動車や、或は人工衛星の様な、或る要求された最終的な産物の、各部分の仕事に適合し、発展させる事に力を入れるやり方である。又この Commission は、基本的な工学的の観念に重点を置いて、特に準備した課程を、高等学校のレベルに導入する事の可能性にも関心を寄せて調査している。これらの方策は、極めて将来性があると思われる。

工学教育に National Science Foundation (NSF) による援助が寄せられている事は、是非言及して置かねばならない。NSF は、大学その他の特種の研究活動に、度々補助金を出している上に、多年にわたり、米国における理工学方面の教育の向上を直接の目的とした、色々な計画を行ってきた。大学の教授陣の改善を旨とした計画、特種な学部課程および大学院課程の発展を企図した計画、工業専門学校や、その他の2年制の学校の教師の訓練計画等が、NSF の基金により全国にわたって取運ばれている。昨年は NSF は Graduate Traineeship (卒業生訓練) 計画を設け、100 大学が、工学の大学院学生1200名以上を訓練するための補助金を受けた。

要するに、今日の米国における工学教育の一般的な状態は、テンヤワンヤの大騒ぎ

だというべきであろう。しかし、その根底はしっかりしている。そして吾々は、必要性の変化に応じて、それに適応した計画のもとに、力を合わせて努力する、長年の伝統を持っている。吾々は、吾々の色々な問題に対し、奇蹟的な解決策が得られるとは思っていない。然し吾々の究極の目標は立派なもので、これを追究することは、この上なく満足すべきことだと信じている。

(終)