

향후 50년 간 CEM 분야의 발전 전략과 연구 방향

- 스탠포드 대학 Levitt 교수의 Peurifoy 수상 논문을 중심으로 -



구본상 서울과학기술대학교 건설공학부 교수

1. 서문

강단에 선지도 어느덧 삼 년째로 접어들었다. 처음에는 수업 준비하기에 급급했지만, 차츰 학교 생활에 적응하면서 연구실도 자리잡고 대학원생들도 생기게 되었다. 해가 거듭될수록 좋은 학생을 선발하는 것이 연구실 발전에 중요하고 동시에 나의 경쟁력이라는 것을 깨닫게 된다. 교수로서 중요한 역할 중 하나는 학생들에게 CEM(Construction Engineering & Management)에 대한 학문을 소개하고 우리 분야의 매력 및 비전을 제시하는 것이다.

그러나, 막상 CEM의 태동 배경, 그리고 기존에 수행된 연구와 미래 방향에 대해서 설명해 주기가 그리 녹록하지만은 않다. 실무나 학계에 있는 사람들은 CEM이 아우르는 분야가 건설경영에서부터 건설IT까지 그 스펙트럼이 넓다는 걸 인지하고 있지만, 건설산업 전반에 대한 견해가 부족한 학생들에게 CEM의 기능 또는 필요성에 대해 명쾌하게 말해 주기 또한 쉽지 않다. 수업 중에 CEM 이 감리냐고 묻는 천진난만한 얼굴들을 보고 있으면 그 만큼 CEM에 대한 이해 및 홍보가 중요하다는 걸 새삼 느끼게 된다.

그런 의미에서 2007년 ASCE에 출판된 미국 스탠포드 대학 레이몬드 레빗¹⁾ (Raymond E. Levitt) 교수의 논문, "CEM Research for the Next 50 Years: Maximizing

Economic, Environmental, and Societal Value of the Built Environment"²⁾이 우리 분야의 좋은 소개 자료가 된다. 본 논문에서는 지난 50년 동안 미국에서 수행된 CEM의 주된 연구를 소개하고 있으며, 이에 대한 평가와 더불어 향후 50년 동안 나아갈 방향을 제시하고 있다.

다만, 영어 원문이면서 생소한 용어의 등장으로 인해 학생들에게는 내용 전달이 다소 어려운 부분이 있으므로, 본 논문을 좀 더 쉽게 요약한다면 새로 입문하는 학생들에게 기초 자료가 될 수 있을 것이라 생각한다. 또한 CEM분야의 향후 비전에 대해서 궁금해하는 학계 또는 실무자들에게도 유용한 자료로 참조가 될 것으로 사료된다.

본 고에서는 원 논문의 작성 순서대로 지난 50년간 CEM 분야에서 수행해 온 주된 연구를 간단히 소개하고, 레빗 교수가 제시하는 향후 발전 방향을 요약해 보았다. 단, 현재까지의 연구보다는 향후 연구방향에 중점을 두고 작성하였다. 마지막으로 국내 CEM 분야에 주는 시사점이 무엇인지를 나름 정리해 보았다. 참고로 레빗 교수는 본인이 대부분의 커리어를 스탠포드 대학에서 보냈기 때문에, 본 대학에서 수행했던 연구를 토대로 논문을 작성했으며, 이에 따라 수행된 연구의 소개가 부분적으로 편중되어 있다는 것에 대한 양해를 구하고 있다. 독자 또한 이 점을 인지해 두고 읽어 주시기 바란다.

1) 스탠포드 대학교 건설환경공학부 교수. Collaboratory for Research on Global Projects(CRGP) 연구소장. Stanford Advanced Project Management 학술이사. 주로 글로벌 건설사업 사업 및 계약 구조 및 형태, 사업주체들간 발생하는 교환 비용(transaction cost) 등, 해외 건설(International Construction) 분야에 관한 연구 수행. 저자는 동 대학원에서 대학원 수업을 수강하였으며, 박사 논문 committee member로 인연을 맺었다.

2) 본 논문은 2006년 레빗 교수가 ASCE의 Peurifoy Award를 수상하고 Construction Research Council(CRC)에서 발표한 내용을 토대로 작성된 것이다. Peurifoy Award는 1986년에 만들어져 CEM 분야의 평생 연구업적을 기리기 위한 것으로 첫 수상자인 Richard Tucker 교수 이래로 레빗 교수가 아홉 번째 수상자이다.

2. 지난 50년간 CEM의 주요 연구 흐름

CEM(Construction Engineering Management)이라는 학문분야는 본격적으로 1950년대 이후 미국의 주요 대학 토목공학과에서 대학원 과정으로 시작되었다. 이차세계대전 및 한국전쟁 이후 귀국한 수백만 명의 전역자 재교육을 위해 미국 주요 공과대학에서는 신규 대학원 과정을 개설하였으며, CEM도 이 시기에 맞물려 새로운 학문 분야로 시작되었다.

그 당시 CEM의 취지를 보면 물리, 화학, 관리과학(management science) 및 컴퓨터 과학(computer science)등 기초과학의 이론을 건설 사업의 설계 및 시공 업무 프로세스 및 조직에 적용하여 이를 정립하고 최적화시키는 데에 목적을 두고 출발하였다.

레빗 교수는 현재까지 약 50년 동안 진행해온 연구를 세 단계로 나눠서 소개하고 있으며, 이를 <표 1>에서와 같이 정리해 보았다. 주된 내용을 보면 첫 기간(1955-1975)에서는 건설 현장 프로세스를 정형화하고 모델링하려는 노력이 시작되었으며 이를 위해 산업공학, 컴퓨터 공학, 확률 통계 및 사회과학 이론들을 적용한 시도가 돋보였다. 둘째 기간(1975-1995)에서는 각종 전문가시스템(Expert System)의 개발을 통해 컴퓨터의 논리기능을 활용하여 자동 설계 및 견적 등을 할 수 있는 연구가 진행되었다. 이와 더불어 사회과학 및 제조이론을 활용하여 건설 리스크 및 린 건설과 같은 분야가 자리잡게 되었다. 마지막 기간(1995-2005)에서는 인터넷을 활용한 협업(Collaboration)에 관한 연구, 나노기술(GPS, RFID, Micro-sensor 등)을 활용한 현장 모니터링 및 장비 운용에 관한 연구, 그리고 3D CAD를 이용한 현장 프로세스의 가상화 및 정보화가 주된 연구 분야로 자리잡았다.

이처럼 지난 50년 간 CEM 분야는 실무와 병행한 다양한 연구를 통해 발전을 거듭해왔으며 이제는 하나의 확고한 학문분야로 자리잡게 되었다. 그러나, 지난 연구를 살펴보면 시공단계에서의 비용 절감이라는 테마에 지나치게 집중된 경향을 보이고 있다. 이러한 연구로 인해 시설물 자본비용(capital cost)을 낮추는데 기여한 것은 사실이지만 전체 건설 라이프사이클과 동떨어진 분석으로 인해 지엽적인 결과가 나오기도 하였다. 예를 들어, 시공단계의 비용은 절감되지만 그 이후 유지관리단계에서는 오히려 비용이 올라갈 수 있는 점에 대해 간과한 면이 없지 않아 있다.

표 1. 지난 50년간 CEM 학문 분야의 주된 연구 흐름

기간	주된 연구 흐름
1955-1975	<ul style="list-style-type: none"> • 시공 현장 프로세스들을 정립하고 모델링하는 노력이 시작 <ul style="list-style-type: none"> - CPM과 PDM(Precedence Diagramming Method) 방식 개발 • 산업공학과에서 활용하는 운영 분석(operation analysis) 기법들을 건설 시공 프로세스에 적용하기 시작 • 확률이론을 건설 입찰 분석에 적용 • 컴퓨터를 활용하여 CPM 계산 및 Monte Carlo Simulation 기법을 건설 장비 및 인력 분석에 활용. • 데이터 베이스 활용한 공학정보 관리 시도를 통해 향후 비즈니스에 데이터베이스를 상용화하는 데에 기여 • 사회과학 이론을 건설사업관리에 적용하기 시작 <ul style="list-style-type: none"> - 안전과 작업자의 동기(motivation)의 관계를 규명하는 다수의 연구 수행
1975-1995	<ul style="list-style-type: none"> • Expert System의 개발: AI 인공지능 등 컴퓨터의 논리기능을 활용한 의사결정 도구의 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고층건물의 디자인 자동화(HIRISE) - CAD로부터 건설 공정계획의 자동 산출 • 최적화 알고리즘(neural networks, genetic algorithm등)의 건설 공정 적용 • 사회과학이론을 건설 리스크 및 프로세스에 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 사회 네트워크와 혁신의 관계 - 확률이론을 사업 리스크에 적용 - 린 생산 방식을 건설사업에 적용(린 건설)
1995-2005	<ul style="list-style-type: none"> • 인터넷을 활용한 프로젝트 협업(Collaboration)에 관한 연구 • 나노 기술을 적용한 현장 관리 및 모니터링에 관한 연구 <ul style="list-style-type: none"> - GPS, RFID, microsensor를 활용한 연구 • 3D CAD, BIM과 관련된 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 4D CAD:건설공정 프로세스의 가상화 - 3D CAD를 활용한 협업 프로세스의 개발

3. 향후 50년간 CEM분야의 비전

앞서 언급한대로 CEM은 꾸준한 발전을 해왔지만 특정 단계에 연구가 편중된 경향 또한 보였다. 이제는 전체 라이프 사이클 단계를 전체론적(holistic)한 관점에서 살펴볼 필요가 있다. 또한 경제적(Economic) 측면뿐 아니라, 환경적(Ecological), 사회적 자본(Social Equity)측면에서 접근해야 한다. 즉, 시설물의 비용 절감과 더불어, 시설물이 환경에 미치는 영향, 그리고 사회간접자본으로써 사회 구성원에게 미치는 효과를 아울러서 분석이 이뤄져야 한다. 레빗 교수는 이 세가지 기준을 “3E triple bottom line” 이라고 일컬으며 다음과 같이 세가지 분야에 대한 연구를 제시하고 있다.

가. 건설 산업 구도의 통합(Integration)에 대한 연구
현재의 건설산업 구도는 업역 간 분리로 인해 지나치게 분

절(fragmented) 되어 있으며, 이 구도로는 글로벌 발주자들을 더 이상 만족시켜 줄 수 없다. 현재 발주자들은 하나의 프로젝트를 수행할 때 수많은 사업주체(설계사, 원도급, 하도급사, 관청 등)들을 개별적으로 관리해야 하는데, 이는 마치 자동차 구입 시 차체, 엔진, 변속기, 에어컨 등을 각각 다른 회사로부터 구매하는 것과 같은 격으로 타 산업에서는 상상할 수 없는 모습이다.

대형 민간 발주자들의 경우 갈수록 시장에서 요구하는 제품을 제때에 출시해야 하는 압박감을 받으며 이에 따라 시설물의 설계 및 시공에 대한 유연성을 요구한다. 예를 들어, 인텔(Intel)과 같은 회사는 시장상황에 맞출 수 있도록 반도체 공장에 들어가는 기계설비의 디자인을 최대한 늦게 결정한다. 그러나, 기존의 분절된 형태로는 이들이 요구하는 기간 내에 공장의 준공이 불가능해 진다. 그렇기에 갈수록 디자인-빌드 방식과 페스트트랙 방식을 요구하지만, 이에 부응해 줄 수 있는 설계사나 시공사는 그리 많지 않다. 이는 종합병원이나 대학과 같은 기관 발주자들에게도 똑같이 해당되는 사항이다.

공공 발주자들의 경우 최근에 국가 재정 압박 완화와 늘어난 기반시설 수요를 위해 민관합동사업(PPP) 방식의 도입을 증가시키고 있으며, 어느 정도 그 목적을 달성하는 데에 성공했다고 본다. PPP는 특수목적회사(SPC)를 설립하여 투자자, 설계 및 시공사가 각각 지분을 투자하여 참여하므로 기존 방식보다는 통합된 양상으로 사업이 진행된다. 그러나, PPP는 제 3세계 국가에서 절실히 요구되나 이 경우 국가 및 정치 리스크가 수반되고, 민간 투자자들은 이런 사업에 대해서는 매우 소극적인 경향을 보이고 있다.

업역 간 분리는 건설산업에서 필요한 혁신(Innovation)의 기회를 또한 더디게 한다. 특히 사업주체 개별 혁신보다는 산업 전반에 걸쳐 일어나는 체제적 혁신(Systemic Innovation)이 중요한데, 현재의 분절된 구조에서는 이런 혁신이 일어나고 지속되기가 매우 힘들다. 그나마 미국처럼 프로젝트마다 설계 및 시공사가 자주 바뀌는 구도보다는 핀란드나 일본처럼 업체들간 지속적인 유대관계를 유지하는 “quasi-firm”에서 체제적 혁신이 이뤄지는 것을 볼 수 있다.³⁾

이처럼 건설 산업의 현 구도는 미래 발주자들의 요구사항

3) John Taylor의 연구에 의하면 지속적인 관계를 유지하는 설계-시공-협력사 그룹이 그러지 못한 그룹보다 체제적 혁신(systemic innovation)을 이루고 이를 수용하는데 더 빠르다고 한다.

에 부응하기 위한 발전을 저해하는 족쇄가 되고 있다. 건설 산업처럼 성숙되고 관례화된 산업에서는 사업주체간 수직적 통합(Integration)과 사업단계간 수평적 통합이 병행되어야 한다. 그리고 이의 실현을 위해서는 현 패러다임을 바꿀 수 있는 체제적 혁신이 이뤄져야 한다. 혁신의 도구는 신기술이나 IT(Product)가 될 수도 있고, 새로운 사업 발주 방식(Process) 또는 진보된 사업 조직 구도(Organization)가 될 수도 있을 것이며, 이처럼 P-P-O 세가지 도구를 모두 동반해야 할지도 모른다. CEM에서 혁신과 기술관리에 관심 있는 연구자들에게는 각 방면에 대한 연구가 절실히 요구되는 시점이다.

나. Globalization과 관련된 연구

뉴욕 타임즈의 편집기자Thomas Friedman은 세계가 점점 평평해진다(“the world is flat”)라고 하지만, 건설산업은 아직도 지역별로 사업 수행 방식과 건설 프로세스에 차이를 보이고 있다. 기업들은 해외 프로젝트 수행 시 겪게 되는 해당국의 문화적(cultural), 관행적(normative) 및 규제적(regulative) 차이로 인해 기관적 교환 비용(institutional transaction cost)이 발생하는 것을 경험할 수 있다. 더불어 하나의 프로젝트에도 다국적 기업들과 일을 하면서 기업간의 의사소통이나 업무 방식의 차이에 따라 파생되는 간접비용도 발생하게 된다. 실제로 설계 능력이나 시공 기술보다도 이러한 교환 비용에 대한 관리 노하우가 사업의 성패를 가르는 사례가 늘어나고 있다.

향후 10년에는 10억 명의 세계 인구가 증가할 것으로 추산되며, 이들을 위한 인프라 프로젝트가 급격히 늘어날 것으로 전망된다. 이런 프로젝트들은 대부분 개발국에서 발주할 것이며, 이에 반해 수주는 선진국이나 개발도상국이 주로 수행할 것으로 보인다.

그러므로 글로벌 프로젝트를 수행할 때 발생하는 기관적 교환 비용을 줄일 수 있는 적합한 사업지배구조(project governance structure)와 사업전략에 대한 연구가 필요하다. 구체적으로는 다음과 같은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

- 민관합동사업(PPP)일 경우 갖가지 계약 유형(BOT/BTL, concession 등) 중 지역 및 사업 형태에 따라 가장 적합한 형태의 매칭(matching)에 관한 연구
- 글로벌 경제 사이클이나 정부 교체등과 같은 리스크를 공공발주자와 민간투자자간에 합리적으로 분산시켜 줄

수 있는 계약 구조 및 구체적 조항에 관한 연구

- 아프리카와 같은 제3세계 국가들에서 사업할 경우 해당 국가의 환경 및 인권과 관련된 보호 조약에 관한 연구
- 글로벌 프로젝트 수행 시 사업주체 및 사업에 영향을 받는 국민들의 역할 범위와 적정 사업 참여 시점에 관한 연구

다. 지속성(Sustainability)와 관련된 연구

친환경 및 지속성에 관한 연구는 2000년 초부터 스탠포드 대학에서 주된 연구 테마로 자리잡았고 CEM 전용 연구소인 CIFE⁴⁾에서도 꾸준한 연구가 진행되고 있다. 그러나, 아직까지는 개발의 측면과 친환경 측면을 균형 있게 평가하고 두 가지 측면을 모두 만족하는 시설을 설계하는 방법이나 절차의 수립이 미흡하며 이 분야와 관련된 전문 인력도 부족한 실정이다.

현재 건설 프로세스에서는 환경적 측면에 대한 고려가 실제 설계가 완료된 시점에서 이원화된 순서로 진행되고 있다. 즉, 사업 구상 단계에서는 투자자 및 사업주체들(자본투자자, 법률가, 설계자 등)이 경제적 측면에 중점을 둔 의사결정을 내리고, 이후에 환경공학자나 환경단체들이 환경에 대한 영향을 평가하는 분절된 순으로 진행이 된다. 설계에 대한 결정이 끝난 시점에서 환경에 관한 사후적 평가는 자연스럽게 두 주체간의 대립구도를 형성하게 된다.

이는 현재 대학 교육 체계에서도 그 모습을 찾을 수 있는데 건축 및 토목공학자들은 대학에서 환경과 관련된 체계적인 교육을 받지 못하고 사회 진출 이후에도 환경공학자와 엄연히 분리된 영역에서 활동을 하게 된다.

이런 현실을 개선하기 위해서는 다음과 같은 연구가 필요할 것으로 본다. 우선, 비용적 측면뿐만 아니라 환경적 측면을 고려한 시설물의 기획 방법 및 평가 지표 등에 대한 연구가 필요할 것이다. 일례로 스탠포드 대학 환경학과 교수인 Gretchen Daily는 숲이나 강의 자연 정화 작용을 최대한 활용하여 식수나 상하수의 오염 물질을 줄일 수 있는 연구를 진행하고 있으며 이에 따라 숲이나 녹지지대의 가치를 자연 자본("natural capita")으로 계량화 하는 방법을 고안해 냈다. 이와 비슷한 맥락으로 CEM분야에서 기반시설을 건설할 때 생기는 개발 혜택과 자연에 미치는 영향(예를 들어, 댐을 건설할 때 생기는 이수효과와 자연 훼손의 정도)를 계량화하

는 방법에 대한 연구가 필요하다.

이와 더불어 시설물을 기획하는 사업초기에 환경적, 사회적 측면을 함께 고려할 수 있는 체계적 방법에 대한 연구가 필요하다. 실제로 세계은행은 기반시설사업을 기획할 때 환경적, 사회적, 인권적 평가를 의무화하고 있으며 요구 기준 미달 시 사업의 진행을 멈추게 하고 있다. 이런 절차를 각 나라의 국책 또는 민간사업에도 적용할 수 있는 방법에 대한 연구가 요구된다.

대학의 건설 관련 교육에서도 이분화 되어 있는 현 구도에서 벗어나 경제적, 환경적 측면을 모두 고려할 수 있는 지속건설공학자(sustainable civil engineer)를 배출해야 하며, 이를 CEM 분야에서 교육하는 것이 적합할 것으로 사료된다.

4. 국내 CEM 산·학계에 주는 시사점

본 논문에서 다뤄진 주된 이슈를 보면 국내 CEM 산·학계에서 근래에 관심을 갖는 분야와 크게 다르지 않은 듯하다. 국내에서도 기존 발주방식의 문제점에 대한 지적과 함께 업역 간 영역을 허물어 더욱 통합된 서비스에 대한 필요성이 자주 거론된다. 주계약자 공동도급제, Integrated Project Delivery(IPD)와 같은 새로운 발주 방식에 대한 시도가 좋은 사례이다. 또한 외국에 비해 이미 상대적으로 quasi firm 형태를 갖춘 국내 건설 산업구조에서 신기술이나 IT도입을 통한 프로세스 혁신이 더 빠르게 진행되는 것이 사실이다.

글로벌 프로젝트를 수행하면서 발생하는 추가 비용과 같은 문제점 역시 국내 건설기업들에게는 새로운 이슈가 아니다. 해외 수주의 양적 증가에도 불구하고 낮은 외화기득률과 저조한 수익성이 늘 문제점으로 지적되고, 신규 국가에 진출할 경우 정보의 부족과 문화적, 관행적 차이로 인해 초기 투자 비용에 부담을 가지고 있다. 중동과 동남아 등 몇 개 나라에 수주가 편중될 수 밖에 없는 이유도 여기서 찾을 수 있게 된다.

지속성에 관한 사안 또한 국내에서 큰 관심을 받고 있다. 국내에서도 LEED나 Green Construction과 같은 인증제도에 대한 적용 방법에 대한 연구가 실질적으로 진행되고 있다. 단, 설계단계에서 모든 설계가 실질적으로 끝난 시점에서 CM/PM 또는 시공사에게 LEED를 요구하는 것은 이치에 안 맞는다는 의견이 지배적이다. 그런 측면에서 레빗 교

4) Center for Integrated Facility Engineering

수가 언급한대로 사업초기단계에 환경 분석을 병행할 수 있는 새로운 절차의 필요성은 국내에서도 절실히 요구되는 부분이다.

이처럼 본 논문에서는 국내에서도 현안으로 보는 주요 이슈들을 거론함과 동시에, CEM분야에 대한 중·장기적인 발전 방향을 제시해 주고 있다. 우선은 CEM분야가 확고한 학문 및 산업분야로 자리잡았다는 점과 이제는 시공단계의 테두리에서 벗어나 전체 건설 프로세스를 연계시킨 관점으로 그 영역을 확장해야 한다는 점이 눈에 띈다. 또한 CEM이 건설산업에서 차지하는 경제적 측면보다는 환경적, 인권적 측면을 강조하면서 이와 관련된 연구를 통해 사회 전반에 기여해야 한다는 면을 부각시키고 있는 점은 긍정적으로 평가할 만하다. 마지막으로 미래 CEM 교육에서는 기술적, 경제적, 환경적 측면을 전문적으로 아울러 평가할 수 있는 지속건설 공학자 (sustainable civil engineer)들을 배출해야 한다는 점은 국내 학계에도 좋은 시사점을 제시해 준다.