

國際土質 및 基礎工學會 제9차 아시아地域 學術會議 參加報告(Ⅱ)

洪 性 完*

I. 學術會議 進行要約

1. 머릿말
2. 제9차 아시아 지역회의(9ARC) 개요
3. 발표개요

가) 국제학회 회장사

나) 진풍기교수 기념강연

이 강연은 말레이시아의 故 진풍기교수(Tan Sri Datuk Professor Chin Fung Kee)를 기념하여 신설된 강연으로서 Ooi Teik Aun 박사와 Ir. Chiam Tee Chiong 씨가 배석한 가운데 Ting Wen Hui 박사가 진풍기교수를 소개하였다. 텡 박사는 진교수가 위대하고 겸손한 분이었으며 전 생애를 학문의 발전에 헌신하였고 많은 사람들의 스승이었으며 그들에게 도움을 주었다고 했다. 그는 싱가포르의 Raffles College를 졸업한 후 北아일랜드의 Belfast University에 女王장학금(Queen's Scholarship)을 받고 진학하여 벨파스트 工學協會賞(Belfast Association of Engineers Prize)을 받고 졸업한 후 모교에서 조교수(assistant lecturer)로 재직하면서 교량연구에 종사하였다. 벨파스트大學에서 박사(DSc)학위를 받고 1954년 귀국하여 灌溉업무에 종사하다가 1956년 말라야大學(University of Malaya) 부교수(lecturer)로 부임하여 1973년 정년퇴임까지 공과대학장, 총장서리 등을 역임하였고 1974년에 명예교수가

되었다. 1973-1974년에는 동남아시아토질공학회회장, 1981-1985년에는 국제토질 및 기초공학회 아시아지역 부회장을 역임하였다. 영연방 공학위원회(Commonwealth Engineers Council)에 비영국인으로서 최초로 선임되었으며 영국토목학회(ICE)에 fellow로 선임된 최초의 아시아인이었고 Penang대교, 브라질의 리오교(the Rio Bridge)등 많은 공사에 기여하여 서훈을 받은 바 있다. 1980년에 Panglima Setia Mahkota라는 서훈을 받아 영국의 작위(lordship)에 해당하는 Tan Sri라는 칭호를 받았고 1985년에는 Darjah Yang Mulia Pangkuan Negeri를 받아 Datuk이란 칭호를 받았다. 싱가포르대학, 그라스고대학(the University of Glasgow), 및 벨파스트대학에서 명예박사학위를 받았으며 地盤工學외에도 사진, 수리학 및 구조공학에 조예가 깊었다. 이어 미망인 Puan Sri Mrs. Chin Fung Kee 여사에게 기념패가 증정되었다.

제 1회 진풍기기념강연은 대만의 모(Za Chieh Moh)박사가 하게 되었는데 그는 前아시아 공과대학교수로서 아시아공과대학의 지반공학과 과정과 동남아시아지반공학회의 창설을 주도한 분으로 현재는 MAA(Moh and Associates)라는 설계·용역·감리회사의 사장이며 이 회사는 타이페이에 본사가 있고 싱가포르, 홍콩, 쿠아라룸푸르에 지사를 두고 있다. 강연제목은 “지하 대중교통수단 건설시 지반공학적 고려

* 정회원, 한국건설기술연구원, 지반연구실장

사항(Geotechnical Considerations for Underground Mass Rapid Transit Systems)”으로서 대만의 타이페이 地下鐵(TRTS: Taipei Rapid Transit Systems)의 경우를 예로 들어 지반공학적 고려사항을 아래와 같이 설명하였다.

- 타이페이 지하철(TRTS)은 6개 노선에 총 84.7km 연장으로 77개 역이 계획되어 있는데 그 중 절반정도는 地上으로, 나머지 절반정도는 地下로 계획되었으며 37개소의 지하역은 보통 연장 200 내지 300m로 地表下 15내지 28m 심도에 위치한다. 지하구간은 개착구간과 터널구간으로 나뉘며 터널은 직경 5.6m의 쌍터널로 건설되고 1987년에 상세설계가 시작되어 1988년 7월에 착공된 후 1998년에 공용개시될 예정이다.

- 타이페이시청에 지하철국(DORTS: the Department of Rapid Transit Systems)이 1987년에 설치되었고 DORTS는 모(MAA)社를 독립된 지반공학특별감리회사(GESC: Geotechnical Engineering Specialty Consultant)로 선정하여 지반공학분야설계를 전반적으로 검토하고 시공중의 지반공학관련사항에 대하여 자문을 하도록 하였다.

- 타이페이는 퇴적분지에 위치하고 있어 실트질점토(CL/ML)와 실트질모래(SM)가 교호하는 6개의 지층이 40내지 70m 두께로 분포하고 그 아래 자갈층이 존재한다.

- 과거에는 표준관입시험(SPT)의 결과를 점착력과 내부마찰각(c, ϕ)으로 환산하여 해석에 사용하였으나 지하철과 같은 대규모공사에는 점성토의 경우 SHANSEP(Stress History and Normalized Soil Engineering Properties, Ladd and Foott: 1974)이론을, 사질토의 경우는 상태지수(State Parameter, Been and Jeffries: 1985)의 방법을 채택해야 할 것으로 생각한다.

- 현장시험성과의 활용을 위해 현장원위치 시험(CPT, Pressuremeter, field vane, borehole permeability)등을 시행하여야 하며 시험결과와 설계정수와의 관련성을 정확히 검증하

기 위해서는 보정토조(calibration chamber) 시험이나 대규모 현장계측·시험자료가 필요하다.

- 타이페이 중심부는 지하수사용으로 1970년대 중반까지 지하수위가 43m 정도 낮아졌고 이에 따라 2m 정도의 지반침하가 일어났으나 지하수 사용규제로 지하수위가 회복세에 있으며 지하수위회복은 1) 사질토에서 액상화가능성을 증대시키고, 2) 터널공사에 지장을 주며, 3) 인장말뚝의 저항력을 감소시킬 가능성이 있다.

- 타이페이 地下鐵과 관련된 지질재해(geological hazards)는 1) 자연 및 인공 지하 지장물, 2) 지반 액상화 및 3) 지반과 지하수속에 존재하는 메탄가스로서 이에 대한 적절한 대책이 필요하다.

- 개착시의 다이아후렘벽체 설계시 과거에는 $c-\phi$ 값으로 지반강도를 정의한 후 1) 지반과 구조물사이의 마찰력, 2) 배면 수압의 분포, 3) 지반의 강성증가에 관하여 경험에 따른 가정을 한 후 컴퓨터해석을 해왔으나 힘모멘트에 상은 항상 부정확했다. 따라서 보다 근본적인 접근방법의 개발이 필요하며 지반의 알밀계수(C_v), 현장배수경로의 길이, 굴착저면이 노출되는 기간등의 정확한 추정치 필요하여 현장계측으로 간극수압변화와 지반/구조물사이의 마찰을 실측할 계획이다.

- 터널의 시공은 토압균형설드(EPBM: Earth Pressure Balance Machine)와 슬러리설드를 사용할 수 있겠으나 슬러리설드는 지반의 소성이 클 경우 흙덩어리가 슬러리관을 막는 경우가 있으므로 한계소성정도를 파악할 필요가 있다.

- 현장계측은 지하수/간극수압, 변위, 침하, 하중/응력 등을 측정하게 되는데 특별감리자는 1) 설계·시공단계에서 각 관계기관간의 업무절차조정, 2) 계측기기 선정지침제시, 3) 현장계측 시방서의 작성, 4) 계측자료의 작성, 전달, 보고, 보관 및 분석계획을 담당하였다. 계측성과는 경고한계(alert level)와 조치한계(action level)로 나누어 계측결과가 경고한계

를 넘으면 현장기술자는 계측결과를 정밀 검토·분석하여 계측주기를 단축하고 필요한 조치 계획을 수립하며 계측결과가 조치한계를 넘으면 시공방법의 변경, 주변건물의 보강등 조치를 취할 수 있도록 계획하였다. 3천만항목 이상의 방대한 계측자료를 수집, 분석, 전달하기 위한 데이터·베이스체계를 구축하여 종합자료저장센터(IDSC: Integrated Data Storage Center)와 현장사이를 연계시켰다.

- 결론적으로 지하건설에는 지반조건과 지반거동에 관한 단순화된 가정이 필연적으로 포함되며 예상되는 모든 상황에 대하여 설계하는 것은 불가능하므로 발주자, 설계자, 감리자, 시공자 모두는 假定과 다른 현장조건에 대처하고 어떤 문제도 공동으로 해결할 태세를 갖추어야 한다.

다) 제 1주제 강연

제 1주제 강연은 도쿄대학의 다쓰오카(F. Tatsuoka)교수가 “현장시험 및 실험실 시험으로부터 구하는 흙/암반 지반의 변형특성”이라는 제목으로 하였다. 그는 흙과 암반의 변형계수결정이 지반의 변형해석과 구조물의 변위에 측에 중요하다고 전제하고 아래와 같이 언급하였다.

- 변형계수결정을 위한 실험실 또는 현장시험에서 결과에 영향을 주는 많은 요소들 중 1) 지반의 비균질성(heterogeneity), 2) 시료의 교란(sample disturbance), 3) 조직적 오차(systematic error) 또는 시료단부오차(BE: bedding error), 및 4) 변형도 수준(strain level) 또는 전단응력수준(shear stress level)이 특히 문제가 된다.

- 端部誤差(BE)는 변형계수를 과소평가하게 하므로 이에 대한 대책으로 삼축압축시험에서 10^{-5} 이하의 작은 축방향 변형도를 시료중앙부에서 LDT(Local Deformation Transducer)로 정확히 측정하는 방법이 있다.

- 광범위한 종류의 흙과 암석은 그 변형률

(strain rate)이 극히 작지 않은한 10^{-5} 이하의 변형도(strain) 범위에서 응력-변형도관계가 재하방법(정적, 동적, 현장탄성과탐사 등)에 무관하게 선형탄성적이다.

- 비교적 큰 변형도에서의 변형특성평가에는 최대전단변형계수, G_{max} 이외의 다른 계수가 도입되어야 할 필요가 있다.

- 광범위한 지반재료(점토, 모래, 풍화암, 연암 등)중 하나로 여러종류의 실험실 시험이나 현장시험을 할 때 변형계수의 값이 여러가지로 다양하게 얻어지는 것은 변형도수준(strain level)의 차이 때문이다.

- 응력-변형도의 비선형관계에 많이 쓰이는 쌍곡선관계식(hyperbolic equation)은 여러 변형, 수정형 공식이 제안되어 있으나 각각 제약이 있으며 변형도에 따라 결정되는 두 개의 종속변수를 사용하는 방법이 유망한 것으로 보인다.

- 지반변형계수의 합리적 추정방법으로 제안하고자 하는 과정은 1) 현장전단탄성과속도를 측정하여 전단변형계수를 구하고, 2) 공내 재하시험(pressuremeter test) 또는 평판재하시험(plate loading test)의 처녀재하곡선(virgin loading curve)과 재하/재재하(unload/reload) 곡선에서 각각 변형도와 전단변형계수를 구한 후 3) 가능한한 불교란상태의 시료를 채취하여 상기 2)항의 현장시험과 설계에 필요한 변형도범위에서 단순재하(monotonic loading) 전단시험이나 週期재하(cyclic loading) 전단시험을 실시하고 변형도-변형계수관계를 얻은 다음, 4) 이를 수치해석에 사용한 후 계산된 변형도가 처음 가정한 변형도에 가깝게 될 때까지 계산을 반복하자는 것이다.

라) 제 2주제 강연

파키스탄의 아가(A. Agha)씨가 “문제성 토질과 그 공학적 거동”이란 주제의 강연을 하였는데 토질 중에서 일반적인 공학적 특성을 벗어나 시공중 또는 시공후에 이상한 문제를 일으키는 토질을 特異土質(unusual soils) 또는

問題性 土質(problematic soils)로 정의하고 전단변위를 일으킨 점토(sheared clays)와 액상화가능토(liquefiable soils)를 주로 설명하였다.

- 剛性粘土(stiff clay)는 層理(bedding), 節理(joints), 斷層帶(shear zones) 등의 형태로 많은 不連續面을 갖고 있다. 이러한 흙에서의 문제는 粘土體(clay mass)의 전단강도결정 특히 잔류전단강도(residual shear strength)의 결정이므로 이의 특징, 다른 토질정수와의 관계 등을 소개하고 파키스탄의 망글라담(Mangla Dam) 및 카라박담(Kalabagh Dam)에서의 사례를 소개한다.

- 액상화가능 토질의 분포, 확인, 실험, 공학적 특성과 이에 대한 안정 처리방법으로 심층동적다짐(Deep Dynamic Compaction), 진동다짐(Vibro Compaction), 진동치환(Vibro Replacement), 다짐말뚝(Compaction piles), 주입공법(Grouting), 자갈배수말뚝(Gravel Drains) 공법들을 소개한다.

- 기타 특이토로서 붕괴성 토질(collapsible soils), 離散性(dispersive soils), 및 열대성 잔류토(tropical residual soils)의 분포, 확인, 특성, 공학적 문제점 및 안정대책을 소개한다.

마) 제3주제 강연

“흙-구조물 상호작용과 기초”라는 주제로 말레이시아의 텡(W.H. Ting)박사는 확대기초와 옹벽을, 찬(S.F. Chan)박사는 말뚝기초에 관하여 강연하였다. 말뚝기초의 변위/하중과 변위곡선으로부터 최대하중 능력의 결정법, 말뚝인발 시험결과로부터 부마찰력 결정법, 지반의 수직변위와 수평변위의 상관관계, 말뚝의 응력과 해석(stress-wave analysis)기법의 문제점과 전망, 무리말뚝(pile group)의 침하, 횡방향하중을 받는 말뚝의 해석, 말뚝의 동적재하 시험방법 등을 소개하였다.

바) 제4주제 강연

“성토, 굴착 및 매설구조물”이란 주제로 강

연한 이스라엘의 코모닉(A. Komornik)교수는 논문의 사전배포도 없었고 시청각자료도 거의 활용하지 않았으며 목소리가 작아 거의 알아들을 수 없는 상태여서 매우 따분한 강연이 되었다. 그는 이집트와 레바논에서 이미 기원전 4,000년경에 貯水목적으로 제방을 건설했다고 서두를 꺼낸 후 스콧(R.F. Scott)교수의 “대부분의 구조물은 붕괴이전에 그 기능을 상실하면 불안정하며 파괴(failure) 되었다고 본다”는 實用性중심의 파괴에 대한 定義를 소개하고 제4분과에 제출된 16편의 논문들은 모두 실무위주(practice-oriented)의 논문들이었다고한 후 강연을 마쳤다. 토론에서는 말레이시아의 토(C.T. Toh)박사가 말레이시아의 도로공단(the Malaysian Highway Authority)이 무아평野(Muar Plain)의 남북고속도로(North-South Expressway) 현장에서 실시한 시험시공에 대한 지금까지의 성과를 간략히 소개하여 흥미로웠다. 여기서는 연약지반 성토를 9개 구간으로 나누어 9개의 연약지반 처리공법을 적용하고 그 효과를 상호비교하는 중이다. 또한 일본 토요대학(Toyo University)의 아까기(T. Akagi)교수가 간사이국제공항 인공섬의 대규모 침하를 소개했다. 면적 511 ha(4,400m×1,250m)의 인공섬은 수심 18m의 지역에 건설되는데 16m 내지 20m의 연약한 冲積粘土아래에 400m 두께의 洪積粘土가 있는 地盤이며 여기에 33m 두께의 성토를 하도록 되어있다. 1987년 1월에 착공하여 인공섬매립은 91년 12월말 완공목표인데 91년 10월까지 9.5m의 침하가 발생하였으며 1994년의 공항개통후 침하가 계속되어 최종침하량은 11m 내지 13m에 이를 것으로 추정되고 있다.

사)제5주제 강연

인도공과대학(Indian Institute of Technology)의 유드빌(Yudhbir)교수는 환경제어 분야에의 지반공학의 적용이란 강연을 하면서 환경지반공학의 태동과 연혁, 관련 국제학술회의와 발전상황을 소개한 후 주로 산업폐기물,

특히 석탄비회(flyash)의 건설재료활용과 지반 재해, 특히 지하수 추출로 발생하는 地盤沈降(ground subsidence)을 아래와 같이 概觀하였다.

- 화력발전소에서 석탄을 연소할 때 발생하는 석탄비회는 시멘트 첨가재료 또는 시멘트 대체재료로서 콘크리트에 이용되어 왔으나 이는 생산량의 30%미만에 불과하므로 대규모 성토나 매립에의 활용을 추구해야 한다.

- 석탄비회의 건설재료 활용가능성은 매우 큰데 그 이유는 압축성, 전단저항, 투수성, 압밀속도 등이 현재 건설재료로 사용되는 사질토(특히 화강풍화토)와 유사하며 단위중량이 작고 시간에 따라 경화하는 포조란特性(pozzolanic properties)이 있기 때문이다.

- 석탄비회의 강열감량(loss on ignition) 또는 탄소함량(carbon content), 자유석회함량(free lime content)은 각각 최대건조밀도 또는 최적함수비, 그리고 경화(hardening)정도에 영향을 미친다.

- 석탄비회는 석탄의 종류 및 처리, 연소, 수집, 저장의 과정에 따라 그 특성의 변화가 크므로 폐기물 재활용의 차원에서 화력발전소의 설계는 한 종류의 비회보다는 두 종류의 비회가 생성되도록 하는 공정이 바람직하다.

- 지하수 추출(groundwater extraction)에 따라 유발되는 지반침강은 미국 캘리포니아주의 샌·호아퀸(San Joaquin)계곡, 텍사스주의 휴스턴(Houston), 이탈리아의 베니스(Venice), 일본의 도쿄(Tokyo) 등에서 1940년대와 1950년대에 이들 도시의 도시화, 산업화과정과 결부되어 심각한 문제를 일으켰으나 1980년대에 들어서서는 상수도 보급률의 증가와 지하수 사용규제에 따라 더 이상 침강이 진행되고 있지 않다. 그러나 아시아지역 개발도상국의 방콕, 하노이 등 도시에서는 계속 문제가 되고 있다.

- 이에 대한 대책중 지반공학적 경험과 지식에 속하는 것으로 1) 중국의 상하이(Shanghai)에서 시도한 지하수 재충전(recharge)방법, 2) 인공위성에 의한 위치결정법(GPS:

Global Positioning System)을 이용한 지반침강 측정법, 3) 지반침하 예측을 위한 지하수 수치모형기법, 특히 준(quasi) 삼차원 모형의 해석기법에 발전가능성이 있다.

한편 제5주제에 토론자로 참석한 당 학회의 김상규회장은 “한국 산사태의 특징”이란 주제로 발표하였는데 한국의 산사태는 土石流(debris flow)의 형태로 규모는 작지만(길이 80m 이하, 폭 20m 이하, 깊이 2m 이하) 여름철의 호우, 태풍과 관련하여 자주 일어나는 것이 특징(1980년 보은군 3,645회, 1987년 서천군 2,663회)이며 풍화토와 풍화암의 경계를 따라 일어난다고 했다. 또한 降雨는 표면유출수가 세굴 또는 침식을 조장하며 침투수는 간극수압을 높여 사면불안정을 유발시킨다고 하였다.

아) 제6주제 강연

일본 교토대학의 까몬(M. Kamon)교수가 지반개량기법이란 주제로 강연하였다.

- 연약지반은 분명히 정의된 공학적 또는 기술적 용어가 아니며 구조물의 형태, 규모, 하중, 중요성과 시공방법 및 과정에 따라 달리 정의할 수 있다.

- 지반개량은 방법에 따라 보강기법(reinforcement), 지하수위저하(dewatering), 고화(solidification), 및 조밀화(densification) 등을 통한 지반개량기법(soil improvement method), 및 치환기법(replacement method)으로 구분할 수 있고 또 목적에 따라 기계적 문제(mechanical problems)의 개량, 수문적 문제(hydrological problems)의 개량 및 환경·위생문제(environmental and sanitary problems)의 개선으로 구분할 수도 있다.

- 지반개량시에는 모든 개량기법의 기본원리를 충분히 이해해야 하며 지반 및 구조물조건외에 현장, 경제 및 환경조건도 충분히 조사해야 한다.

- 지반개량의 설계에는 그 지역에서 손 쉽게 구할 수 있는 재료의 활용을 고려하여야 한다.

- 지반개량의 시공중에는 적절한 현장계측

과 거동관측계를 통하여 지반개량효과를 평가, 확인해야 한다.

자) 초칭강연 1

일본 도쿄대학의 이시하라(K. Ishihara)교수가 “週期(Cyclic)하중을 받는 모래의 거동특성과 지진후(post-seismic) 안정해석”이라는 주제의 강연을 하였다.

- 지반이 지진시의 지진동을 받으면 액상화(liquefaction) 또는 주기하중에 의한 軟化(softening)를 일으킬 수 있고 지진동이 끝난 후 상당한 횡방향변위 또는 流動(flow)을 일으킬 수 있다. 유동이 발생할지의 여부를 판단하기 위해서는 관성력을 무시하고 중력유발전단응력(gravity-induced shear stress)과 가동강도(mobilized strength)를 비교해야 하는데 이를 지진 후 안정해석(post-seismic stability analysis)이라 부르며 이 해석에 사용하는 강도를 잔여강도(residual strength), 또는 定常狀態強度(steady-state strength)라 부른다.

- 모래지반의 파괴가 지진동이 끝난 후 발생했다면 이는 定常狀態變形(steady-state deformation)으로 구분하고 지진후 안정해석에서 逆算으로 구한 전단응력과 모래의 잔여강도는 같다고 볼 수 있다. 그러나 모래지반의 파괴가 지진동중에 발생했다면 이 때의 변형은 정상상태라고 볼 수 없고 따라서 지진후 안정해석에서 역산으로 구한 전단응력이 잔여강도보다 작다고 보아야 한다.

- 현장에서 지진피해를 조사할 때 지반변형이 지진중 또는 지진후 발생했는지의 여부를 판단하는 기준은 대략 전단변형도(횡방향변형의 파괴면까지의 심도에 대한 비) 30%를 기준으로 할 수 있다.

- 지진후 변형의 발생여부는 1) 횡방향 변위를 일으키는 지반의 규모와 2) 모래의 변형특성에 달렸는데 같은 형태의 지반을 생각할 때 파괴면의 심도가 깊은 쪽이 얇은 쪽보다 지진후 변형발생 가능성이 높다.

- 週期전단응력(cyclic shear stress)을 가한

후 단순하중(monotonic loading)을 가한 모래 시료의 큰 변형도에서의 거동은 단순하중만을 가했을 때의 거동과 근본적으로 같다.

- 구속응력이 200kPa이내의 경우, 정상상태의 간극비와 구속응력은 일정한 관계가 있으며 이로부터 정상상태의 내부마찰각을 구할 수 있다.

- 1990년 7월16일 필리핀의 루존(Luzon)섬 중심부에 진도 7.8의 지진이 발생하여 다구판(Dagupan)시의 퇴적층에 액상화현상이 발생하였고 2층 내지 10층 건물은 1m 이상의 침하를 일으켰으며 판탈(Pantal)강의 제방에 2m 내지 8m의 횡방향변위가 발생하였다. 이들 현장을 앞서 말한 원칙에 따라 분석하여 잔여전단강도를 추산할 수 있었다.

- 최근 일본에서는 大型 振動테이블(shaking table)로 模型사질토地盤에 큰 횡방향변위를 유발시켜 流動形(flow-type)변형을 이해하려는 연구가 있었다. 土木研究所와 오꾸무라社에서 시행한 실험실 시험들은 진동테이블의 진동이 멈추자마자 횡방향변위도 멈추었으며 逆計算한 전단응력의 크기가 실제 지진시 계산된 값의 1/10정도여서 定常상태에 도달하지 못한 것으로 판단되었다. 이것은 실험실시료는 밀도는 조절가능하나 遠心模型試驗機(centrifuge)를 사용하지 않는한 구속응력은 조절 불가능하기 때문이다.

따라서 제프리스(Jeffries, 1985)의 狀態指數(state parameter, 주어진 구속응력상태에서 정상상태의 간극비와 현재 간극비와의 차이)를 이용하여 현장조건을 제대로 모사하는 실험실시료의 간극비(현장간극비보다 항상 커야 함)를 구할 수 있다.

차) 초칭강연 2

홍콩정청 CESD(Civil Engineering Services Department)의 브랜드(E.W. Brand)박사가 지반공학에서의 파괴(Failures in Geotechnical Engineering)라는 주제로 강연하였다. 그는 강연을 간단히 하겠다고 전제한 후 G.F.

Sower교수의 실패 또는 파괴에는 인간적 요인(human factor)의 영향이 크다는 말을 인용하고 이러한 실패 또는 파괴의 33%는 無知(ignorance)가 원인이며, 40%는 不注意와 怠慢(carelessness and negligence)이며 나머지 27%가 現在의 知識水準을 超越하는 條件(conditions beyond the prevailing knowledge)때문에 일어난다고 하였다. 그는 파괴시의 손상 정도, 복구비용, 人命에의 영향과 함께 파괴에 대한 一般大衆의 認識(public perception)을 고려하여 파괴위험의 허용한계(acceptable risk of failures)를 규정해야 할 것이라고 하였다. 파괴에 대한 지식을 증가시키기 위해 인위적으로 파괴를 유발시키는 대규모 시험시공의 중요성을 강조하고 충분한 계측설비와 각종 실험이 수반된 시험시공의 예로서 MIT 시험성토(1967~1969)와 말레이시아의 무아(Muar Plains)시험성토를 들었다. 특히 무아시험성토에서는 그가 지금까지 본 最上의 資料를 얻을 수 있었다고 언급하였다. 이 시험성토는 말레이시아 고속도로 公園이 20m 정도의 연약점토 지반위 90m×80m 면적에 2.5m 정도 성토를 하고 각종 계측기기를 설치한 후 연약점토에 관한 세계적 권위자 수명에게 관계자료를 제공하면서 아래 사항을 예측하도록 요청하였다.

- 1) 계속 성토할 경우, 파괴가 발생하는 성토고
- 2) 파괴에 이를 때까지의 침하량, 횡방향변위, 盛土外側의 지반용기, 과잉간극수압의 분포,
- 3) 예상파괴면. 이러한 예측에 관한 논문을 받아 1989년 11월 쿠아라룸푸르에서 이들을 초청하여 국제심포지엄을 개최하였으며 이 자리에서 盛土를 계속하여 파괴에 이르도록 하였다. 이 시험성토에 관한 자료는 두권의 논문집과 디스켓에 수록되어 있으며 오는 3월 21일의 당학회 춘계학술발표회에 초청강연을 하는 S. F. Chan박사가 이들을 당 학회에 기증할 예정으로 있다.

카) 초청강연 3

싱가폴 대학의 리(Seng-Lip Lee)교수가 지하구조물시공시의 주입(grouting)에 대하여

강연하였다.

- 최근 동남아지역의 경제호황이 건설붐으로 이어져 도시내 고층건물이 증가하고 있으나 점토지반의 굴착은 지반변위를 일으켜 주변건물, 도로, 인근 지하시설물에 손상을 주고 시공을 지연시킬 수 있다.

- 싱가포르에 7층 건물기초를 개착할 때 널말뚝에 50mm의 횡방향변위가 예상되었고 문화재로 지정된 100년된 건물에 20mm 내지 30mm의 침하가 예측되었다. 이를 감소시키기 위해 직경 1.6m, 중심간격 1.4m의 젯·그라우팅(jet grouting)을 시행하여 굴착저면 아래에 2m 두께의 板狀固結土를 형성시켰으며 널말뚝의 횡방향 변위를 최대 28mm로 줄일 수 있었다.

- 연약점토지반을 통과하는 직경 6m의 샵터널에 18m 떨어져 개착을 할 때 해석결과는 1m 두께의 다이아프램벽체에 최대 109mm의 횡방향변위가 일어나 터널에 55mm의 변위를 일으킬 것으로 예측되었다. 따라서 개착부 저면 아래에 2m 두께로 2단의 젯·그라우팅 고결토를 판상으로 형성시킴으로서 벽체의 최대변위는 30mm, 터널의 변위는 15mm이내로 제한할 수 있을 것으로 판단되었다.

- 방쪽에서는 대구경말뚝(bored pile, 직경 1.5m, 길이 55m 정도)이 자주 사용되는데 시공시 케이싱을 설치하고 케이싱 内部는 벤토나이트液으로 충전시켜 오거(auger)로 굴착하는데 말뚝저면에 교란토가 형성되어 지지력이 작은 문제가 있다. 이를 개선하기 위해 말뚝기저에 60 kg/cm²의 압력으로 시멘트를 주입시켰으며 주입시킨 말뚝과 주입하지 않은 말뚝의 재하시험결과를 비교한 결과 극한 지지력이 추가공비 10%이내의 증가로 25% 내지 30% 증가함을 알 수 있었다.

4. 맺는 말

이상으로 9ARC의 진행과정을 소개하였다. 모(Moh) 박사의 발표에서는 이들이 시공중에 있는 타이페이地下鐵을 제대로 하고 있다고 느꼈고 이시하라(Ishihara) 교수와 다쓰오카(Tatsuoka) 교수의 발표에서는 일본의 지반공

학자가 동남아시아와 중남미의 지반공학현상을 조사, 검토, 연구하는 단계에 까지 이르렀으며 그들 연구진의 양적, 질적 깊이를 실감하였다.

베트남과 방글라데쉬와 같이 우리와 같은 시기에 국제학회에 가입한 나라들의 지반공학수준이 우리에게 못지 않은 것을 알고 충격을 느꼈고 홍콩의 브랜드(Brand)박사나 대만의 오우(Ou) 박사같은 인재를 정부가 발탁함으로써 이들 나라의 지반공학수준이 얼마나 획기적인 발전을 할 수 있었는가 생각해 보았다.

필자로서는 동남아시아의 지반공학수준을 발견하고 눈을 뜨게 되고 실속없이 허세만 많은 우리의 현실을 반성하는 계기가 되었다.

II. 現場見學

III. 동반자 프로그램

IV. 아시아공과대학(AIT) 방문기

1. 머릿말

학술회의 일정이 끝난 후 12월 14일 아시아工科大學(AIT: Asian Institute of Technology)에 가서 하룻밤을 묵고 15일 귀국하였다.

Phaholythin 고속도로 연변의 AIT에 정오 경 도착하여 AIT센터에 여장을 풀고 오후 한 시경 일행은 학생식당으로 향했다. 한국정부가 기증했다는 학생회관(Korea House)을 지나 식당에 도착하니 안 덕현씨가 기다리고 있어 모두 함께 타이음식으로 점심을 들었다. 김상규 회장께서는 20년전 이 식당에서 음식을 드실 때마다 그 독특한 냄새때문에 무척 고생을 했다고 회고하셨다.

2. AIT현황

AIT는 태국의 방콕에 소재하는 독립된 국제

대학원과정의 공과대학으로서 1959년에 동남아조약기구대학원(SEATO Graduate School of Engineering)으로 설립되어 1967년에는 태국정부의 특별법에 설립근거가 명시되었다. 이 대학의 정책은 아시아, 호주 및 북미로부터의 40명 정도로 구성된 이사회(the Board of Trustees)가 결정하며 표 1의 10개 학과에서 박사(Doctor)와 석사(Master)학위를 수여하고 표 2의 부설 센터나 특별과정에서 단기과정을 수료할 때 수료증(Certificate)이 수여된다.

표 1. AIT의 학과

약어	학 과 명
AFE	농업·식품공학 (Agricultural and Food Engineering)
C S	전산과학(Computer Science)
E T	에너지 기술(Energy Technology)
E E	환경공학(Environmental Engineering)
GTE	지반 및 교통공학 (Geotechnical and Transportation Engineering)
HSD	인간주거 개발 (Human Settlement Development)
IEM	산업공학 및 관리 (Industrial Engineering and Management)
SEC	구조공학 및 시공 (Structural Engineering and Construction)
WRE	수자원 공학 (Water Resources Engineering)
SOM	경영대학(School of Management)

표 2. AIT 부설센터와 특별단기 과정

약어	센터와 과정명
ADPC	아시아재해대책센터 (Asian Disaster Preparedness Center)
CEC	계속교육센터 (Continuing Education Center)
LRDC	도서 및 지역자료 센터 (Library and Regional Documentation Center)
RCC	지역 컴퓨터센터 (Regional Computer Center)

RRDC	지역 연구개발센터 (Regional Research and Development Center)
ALWDP	농지 및 농업용수개발과정 (Agricultural Land and Water Development Program)
INRDM	종합 자연자원개발 및 관리과정 (Interdisciplinary Natural Resources Development and Management Program)

원래 토목공학의 교과과정에 치중하여 오다가 점차 산업공학, 컴퓨터공학과 경영학의 과정이 추가되어 아시아지역에서의 산업발달과정을 반영하고 있다. 현재 약 25개국으로 부터의 800여명 학생이 공부하고 있으며 1961년에 제1회 졸업생을 낸 이후 1991년 8월까지 5,493명이 졸업하였다. 1989년에는 “아시아지역을 위한 새 세대의 기술자와 관리자를 양성하고 학문적 탁월과 지역적 동지애의 분위기를 조성한 공로”를 인정받아 막사이사이賞(Ramon Magsaysay Award)의 국제이해(International Understanding) 부문을 수상하였다.

또한 이 학교에는 표 3에 보인 네개의 특별정보센터가 부설되어 있다.

표 3. AIT 부설 특별정보센터

약어	정보센터명
ERIC	지역에너지 자원정보센터 (Regional Energy Resources Information Center)
AGE	아시아 지반공학정보센터 (Asian Information Center for Geotechnical Engineering)
ENSIC	환경·위생정보센터 (Environmental and Sanitation Information Center)
IFIC	국제 철·시멘트 정보센터 (International Ferrocement Information Center)

이 중 아시아地盤工學정보센터(AGE)는 1973년에 설립되어 지반 및 교통공학과(GTE)와 도서 및 지역자료센터(LRDC)가 공동으로 운영하는데 會費와 서비스료수입외에 태국과 이탈리아정부의 재정지원을 받고 있다. 첫째 개발도상국의 토목기술자들에게 필요한 지반공학 정보자료를 염가로 제공하고, 둘째 아시아지역 국가의 지반공학분야 활동에 대한 정보 제공을 목표로 토질역학, 암반역학, 기초공학, 토목지질, 지진공학 및 기타 관련사항의 정보를 취급한다. 년 4회 뉴스레타(AGE News)를 발간하고 년 6회 새로운 논문초록집(AGE Current Awareness Service)을 발간하며 기타 논문초록, 참고자료(AGE Refdex, AGE Reference Service)에 대한 마이크로 필립이나 복사 서비스를 제공하고 있다. 데이터·베이스(AGE Data Base)에 42,000건의 논문초록을 입력시켜 놓고 매년 약 3,000건씩 증가시키고 있다.

3. AIT시설

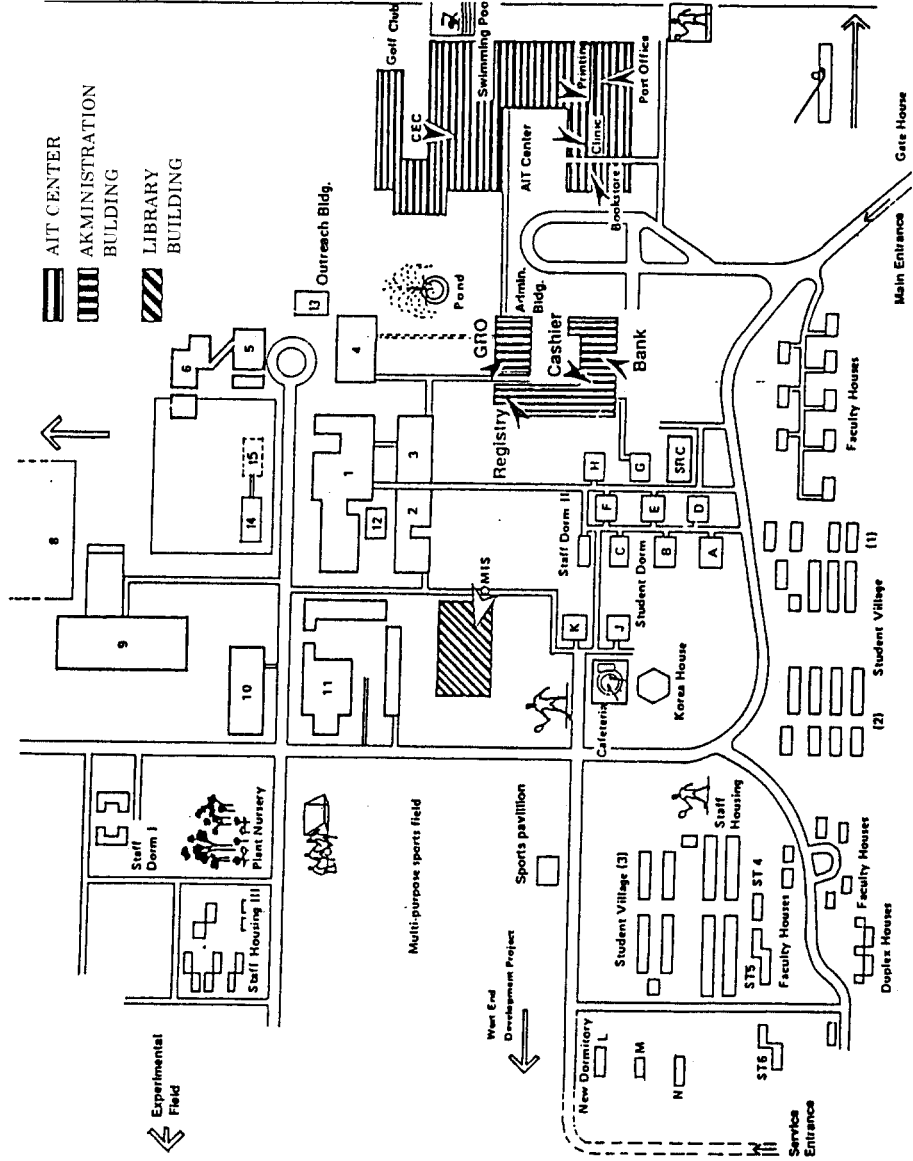
AIT캠퍼스의 배치는 그림 1과 같다.

입구와 AIT센터사이에 골프장이 있고 동쪽에는 교수, 학생들의 숙소와 기숙사가 배치되었으며 남쪽에 운동장이 있다. AIT센터에는 강당, 식당, 회의장과 호텔설비가 되어있고 한 쪽엔 수영장과 계속교육센터(CEC)가, 다른 쪽엔 책방, 진료소, 인쇄소와 우체국이 있다.

점심식사후에는 캠퍼스중앙에 있는 도서관으로 갔다. 일본정부의 기증으로 지어진 이 건물에는 약 14만권의 도서, 기술보고서, 학위논문집, 학술발표회논문집들과 800여종의 기술잡지가 소장되어 있는데 학위논문書架와 地圖室(map section)이 따로 있는 것에 호감이 갔다.

도서관밖에는 물탱크 등 鐵시멘트(ferrocement)제품들이 전시되어 있었다. 鐵시멘트란 最大粗骨材의 크기를 제한하고 鐵筋대신 와이어·메쉬(wire mesh)를 사용하는 콘크리트로 얇은 既成콘크리트(precast concrete) 제품의 생산에 주로 사용된다.

1. Academic Bldg, North
2. Academic Bldg, South
3. Academic Bldg, East
4. Regional Computer Center
5. ET Bldg, I
6. ET Bldg, II
7. Energy Park
8. Environmental Research Station
9. Regional Experimental Center
10. ARE Bldg
11. Physical Plant
12. Ambient Laboratory
13. Outreach Bldg
14. Telecommunications Bldg
15. Proposed Computer Science Bldg



DETAILS

- AIT CENTER**
 Ground floor : Auditorium, Restaurant,
 Hotel Reception, CEC Offices,
 Presidential Lounge,
 Snack Bar, Shuttle Service
Arcade : Medical Clinic, Bookstore,
 Post Office, Printing Office, Shops
Second Floor : Conference Rooms,
 Hotel Rooms, Suites, Bar
ADMINISTRATION BLDG.
 Ground floor : Telephone Operator /
 Telex, Administrative Services, GRO,
 Personnel, Registry/ Admission,
 Purchasing, ASDU, Finance, Bank,
 RRDC, Development/ Alumni Office,
 Second floor : Board Room,
 Secretary to the Board of Trustees,
 Executive Offices, Conference Room,
 Video Room
LIBRARY BLDG.
 Ground floor : Library and LRDC
 Offices
 Second floor : LRDC Offices, LC,
 OMIS, ACPC

그림 1. AIT 캠퍼스 배치도



그림 2. AIT 도서관의 지도실

각 학과의 연구실과 실험실이 있는 곳은 南棟과 北棟, 2층구조의 2개 學事部건물인데 그림 3과 같이 배치되어있다.

南棟 1층의 환경공학과 실험실을 거쳐 北棟 1층의 토질실험실을 둘러 보았다.

2층에는 교수님들의 연구실과 강의실이 있어 지반공학강의가 이루어지는 강의실을 들어가 보았다.

지반 및 교통공학과(GTE)는 토질공학(Soil Engineering), 토목지질 및 지구물리(Engineering Geology and Geophysics), 그리고 교통(Transportation) 전공으로 나뉘어지며 그

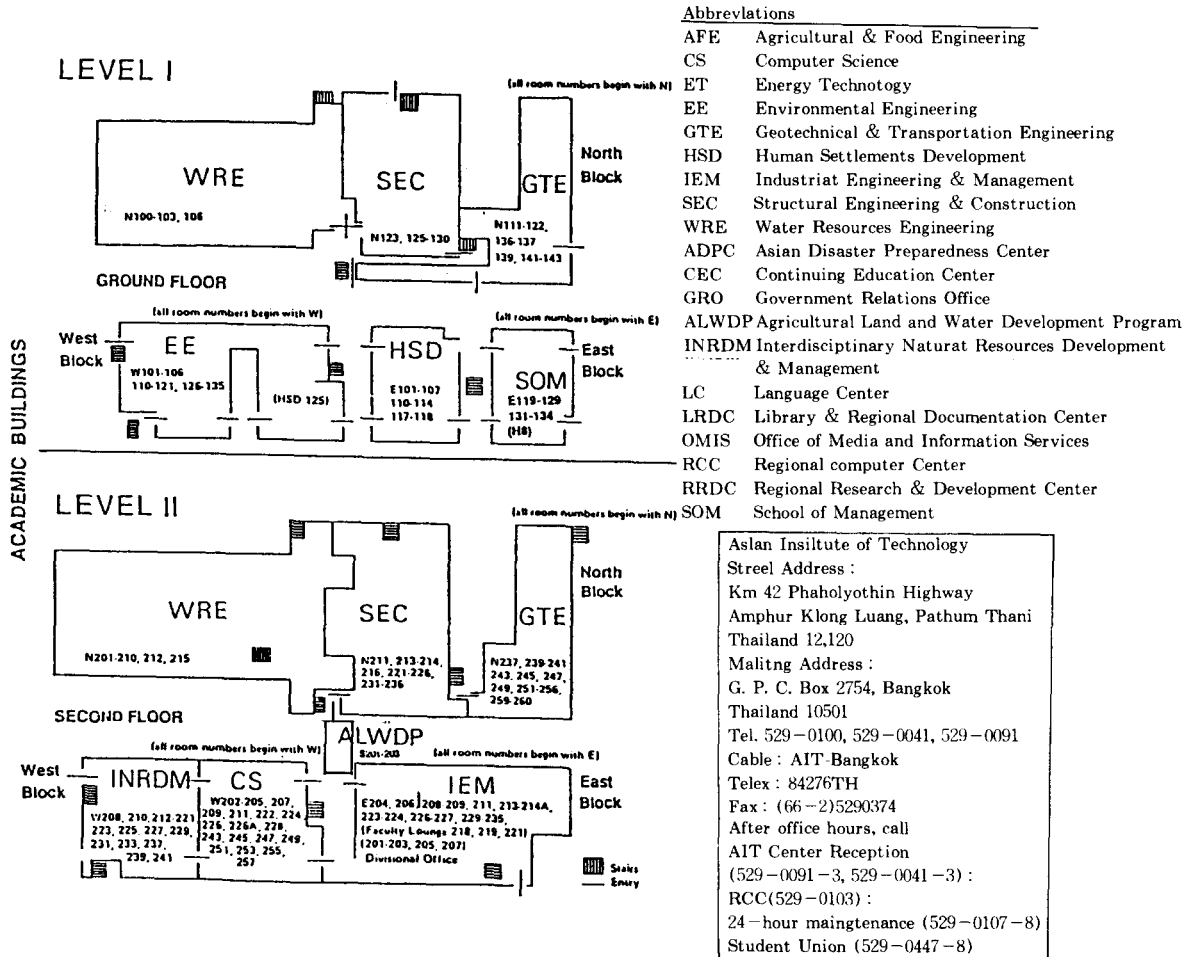


그림 3. AIT 학사부 건물배치도



그림 4. 환경공학 실험실



그림 5. 지반공학 강의실에 앉은 교수님들

간 500명 이상의 졸업생을 배출하였다. 4개월간 계속되는 학기를 5개 학기 마쳐야 하는 석사(Master) 과정은 매년 9월에 시작하여 3개 학기동안 교과과정을 수료한 후 나머지 2개 학기에 논문을 작성하거나 추가 수업을 선택하게 된다. 박사(Doctor)과정은 3년이며 산업체 또는 정부의 경력을 가진 자가 특정 분야의 훈련을 받을 때 수여하는 디플롬과정(Diploma Program)이 있다. 지반공학분야에는 현재 5명의 교수진이 있는데 토요일 오후이고 또 국제 행사를 주관한 직후여서 조용했으나 혼조(Yusuke Honjo)교수만 연구실을 지키고 있었다.

학사부건물 옆에는 최근 태국정부의 기증으로 완공된 電算科學棟(AIT Computer Science Division Building)이 있었는데 전산기의 主機種은 IBM 3083과 3031이나 그 이외의 PC 등은 노르웨이와 日本이 대량 기증하여, 아시아각국의 학생들이 이곳에서 공부한 후 귀국했을 때 이들 機種을 選好할 여지를 남겨 놓았다.

질은 녹음과 잔디가 푸르른 교정을 걸어 AIT센터로 돌아왔다.

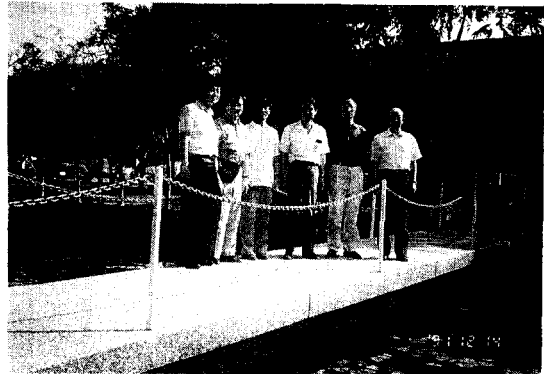


그림 6. AIT 교정에서,오른쪽에서부터 박병기, 정형식, 김상규 교수님 김승렬 박사, 이양희 상무, 필자

4. 맺는 말

저녁은 김상규회장께서 AIT의 한인 학생들과 그 가족을 초청하여 AIT센터의 식당에서 하였다. AIT의 한인학생 현황은 표 4와 같은데 공무원들이 많음을 알 수 있다.

표 4. AIT의 한국학생명단

과정	성명	학파	소속	출신교	비고
박사	김승렬	GTE	-	한양대, AIT	91.12.14졸업
	권태호	HSD	-	성균관대	
	안덕현	AFE	농림수산부	육사, AIT	
석사	김형섭	EE	환경부	육사	
	김창동	GTE	-	연세대	
	이양호	AFE	농림수산부	영남대	학생회장
	엄정섭	INRDM	환경부	전남대	학생회총무
	김용환	HSD	경제기획원	서울대	
	이충호	SOM	상공부	육사	
	이영호	EE	-	영남대	

여러 얘기를 나누고 못 다한 얘기는 방에 올라와 계속하였다. 김승렬박사부인께서는 김상규회장님이 좋아하시는 빠빠야를 보내셨고 환경부에서 오신 엄정섭씨는 전혀 예상치도 않았던 모교의 박병기교수님을 만나 지나간 고생을 얘기하며 반가워 하였다. 학부에서 문과를 다녔다고 입학허가가 나오지 않는 것을 계속 편지를 내어 그 열의가 가상하니 시험적으로 입학허가를 해 보자는 한 교수의 제안 때문에 방콕에 와서 일년간 불철주야 노력한 끝에 이제는 모든 교수가 탐내는 모범학생이 되었다한다. 숙소의 부족 때문에 곤란을 받은 일, 경제적인 고생등 집떠나 낯선 땅에서 귀에 선 말로 공부하기가 어찌 쉽겠는가. 하지만 모두들 열심히 하시는 것이 정말 고마웠다.

12월 15일 아침, 일찍 혼자서 교내를 산책하였다. 연못엔 분수대가 가운데 자리잡고 수련이 가득했으며 연못에 연결된水路엔 수 많은 잉어들이 시원한 아침공기를 마시려는 듯水面에 하얗게 나와 있었다. 한국정부가 좀 더 이 학교에 관심을 기울여 더 많은 공무원들과 학생들을 파견한다면 좋은 환경에서 공부할 수 있음은 물론, 구미에서의 유학보다는 소외감을 덜 느낄 수 있고 아시아각국에 친구를 갖게 되는 이득이 있겠다고 생각해 본다. 큰 나무들 사이로 시원하게 펼쳐진 잔디, 아침의 정적을 깨고 “또 오세요”하듯이 노래하는 이튿모를 새소리를 뒤로 하고 AIT캠퍼스에 총총히 작별을 하였다.