

2. 대정부 건의문

제17차 한·미 나노포럼 대정부 건의문: 차세대 반도체와 반도체 제조 공정의 환경적 영향

대한민국, 서울 더플라자 호텔
2023년 4월4일 채택

21세기는 제4차 산업혁명의 빠른 진보에 따른 학제 간 연구 전략들이 추진되었으며, 특히 나노기술 기반 융합기술 및 광범위한 과학기술 분야에서의 응용이 중점 추진되었다. 새로운 기술 발전을 더욱 촉진시키기 위해, 미국의 국립과학재단(NSF)과 한국의 과학기술정보통신부(MSIT)는 ‘한미 과학기술 공동위원회’의 권고사항(2002년 10월 31일, 한국 서울 개최)에 따라 ‘한미 나노포럼’을 통해 나노기술 관련 정보 교류 및 나노기술 분야 협력을 위한 공동의 기반을 적극 모색해왔다.

한미 나노포럼은 양국 나노기술의 발전에 크게 기여하며, 출범 20여년 만에 상당히 성공적인 포럼으로 자리잡게 되었다. 다양한 과학 연구 분야에서 시너지를 가져올 수 있는 융합의 개념, 최신 동향을 파악하고, 비전을 제시하는 역할을 수행해왔다. 또한 파급효과가 큰 유망 나노기술 분야를 파악하는 등, 한미 양국의 산업계와 연구계간 효과적인 네트워킹을 위한 공동의 장이 되어왔다. 본 포럼을 통해 추진된 다양한 협력 전략들이 바로 이러한 노력을 잘 보여주는 사례이며, 양국 간 첨단 기술 발전을 도모하는데 크게 기여하였다. 한미 나노포럼에 대한 홍보는 카네기멜론대학 웹사이트(<http://www.cmu.edu/nanotechnology-forum/>)를 통해 이루어졌다.

제1차 포럼은 폭넓은 나노기술 연구 분야를 주제로 2003년 10월 14-18일 동안 NSF와 과학기술정보통신부(구 과학기술부)의 주최로 서울에서 개최되었다. 이후, 본 포럼은 지난 20년 동안 매년 한미 양국으로 장소를 번갈아 개최해왔으며, 양측 조직위원들에 의해 선정된 다양한 주제들을 다뤘었다. 제2차 포럼은 나노제조 연구와 나노기술 영역의 전반적인 교육 프로그램 개발에 관한 것이었다. 제3차 포럼은 앞서 개최된 두 포럼에서 다루었던 수동 시스템과 달리 능동 디바이스와 시스템 연구에 중점을 두었다. 제4차 포럼은 지속가능한 에너지에 관한 것으로 에너지 분야 응용을 위한 소재 및 디바이스와 시스템 디자인을 주제로 다루었다. 제5차 포럼에서는 나노바이오기술을 주제로 나노기술의 환경, 건강, 안전과 관련해 헬스케어에서 발생 가능한 심각한 문제점을 극복할 수 있는 새로운 나노바이오소재, 제어 기술 및 통합 시스템의 발전을 중점적으로 다루었다. 제6차 포럼은 나노일렉트로닉스 및 바이오기술과의 융합을 포함한 통합적 응용 연구에 중점을 두었다. 제7차 포럼은 친환경적 나노에너지를 위한 재료 및 시스템을 논의하고, 현재와 미래의 에너지 기술 부문의 과제에 있어 나노기술 융합을 통한 해결책을 제시하였다. 이 포럼은 21세기의 첫 10년(NANO1) 동안 광범위한 과학기술 분야에서의 나노기술 융합의 출현을 기록하는 발전과 피드백 과정을 통해 막을 내렸다. 2011년 지속가능한 나노기술 융합에 관한 제8차 포럼은 다음 10년(NANO2) 전 세계 인구 증가에 따라 직면한 심각한 문제점들을 해결하기 위한 나노기술의 새로운 시작을 알렸다. 미래 지속가

능한 나노기술, 특히 물 재생 및 담수화, 온실가스 포획 및 변환, 그리고 지속가능한 자원을 중점적으로 친환경적 기술을 강조하였다. 제9차 포럼은 나노과학의 기초, 지속가능성, 그리고 차세대 나노기술 제품을 위한 최신 응용 분야와 같이 꼭 해결해야 할 폭넓은 사회적 과제들에 관해 나노과학기술 융합을 통한 응용 방향을 모색하는데 중점을 두었다. 제10차 포럼에서는 차세대 나노기술 제품 및 그 과정을 위한 로드맵을 계획하였다. 제11차 포럼에서는 나노제조, 나노복합소재, 그리고 나노인포매틱스 등에 대한 새로운 패러다임을 제시하였다. 이 포럼에서는 고강도/경량화 스마트 나노복합소재 개발을 위한 혁신적이고 지속가능한 나노제조기술의 개발 및 나노인포매틱스를 통한 나노제조기술의 관리 등을 현안 주제로 다루으로써, 나노기술을 현실화할 수 있는 기회를 제공하였다. 이러한 나노제조기술들을 통해 항공우주, 자동차, 에너지, 환경, 정보, 전력산업 등 현존하는 다양한 산업에서 차세대 고성능 제품 생산 및 새로운 산업 개발에 있어 패러다임의 전환을 이룬다. 제12차 포럼에서는 2D 소재 분야의 나노과학 융합, 수처리 관련 기술 분야의 새로운 패러다임을 위한 로드맵 제시를 중점 의제로 다루었다. 이 과정에서 수자원 관련 주제에 응용할 수 있는 나노기술 및 기능성 나노소재 등 다양한 기술적인 개선 방안에 대한 중점 검토가 이루어졌다. 제13차 포럼에서는 뉴로모픽 컴퓨팅, 지속가능한 수자원 및 에너지를 주제로, 제14차 포럼에서는 나노센서 기반 사물인터넷(IoT)과 뉴로모픽 컴퓨팅을 주제로 나노기술 및 기능성 나노소재 응용을 위한 다양한 기술적인 개선 방안에 대한 검토를 통해 나노과학 융합의 새로운 패러다임을 위한 로드맵 제시를 중점 의제로 다루었다. 제15차 포럼에서는 나노센서 기반 IoT 주제 관련 지속 협력뿐만 아니라, 나노의약 분야의 새로운 패러다임 구상에 중점을 두었으며, 처음으로 국내 최대의 나노기술행사인 '나노코리아 2018'의 위성 세션으로 진행하여, 많은 나노기술 연구자와 일반 대중의 참여를 증진시켰다.

제16차 포럼은 2019년 9월 23&24일 미국 캘리포니아 주 University of California, San Diego에서 개최되었으며, 발표자 38명을 포함한 나노기술 분야의 저명 과학자 및 정책 입안자 60명이 참가했다. 해당 포럼에서는 휴먼인지 및 뇌 연구 관련 나노센서와 단일세포 레벨의 나노의약 분야 발전을 통한 나노기술의 실현에 중점을 두었다.

제17차 포럼은 2023년 4월3-5일, 대한민국 서울 더플라자 호텔에서 개최되었으며, 반도체 및 나노기술 분야의 저명 과학자 및 정책 입안자 61명이 참가했다. 이번 포럼에서는 차세대 반도체와 반도체 제조 공정의 환경적 영향에 대해 중점적인 논의가 이루어졌으며 아래와 같이 3개의 세션으로 진행되었다.

세션 #1: 신생 뉴로모픽 인메모리 컴퓨팅을 위한 첨단 반도체 장비의 개발과 미래 CMOS 노드, 모놀리식 3D(M3D) 통합에 대해 논의했다. 글로벌 에너지 생산 대비 정보통신기술(ICT)의 꾸준한 에너지 수요 상승을 해결하려면 반도체 10년 계획(Decadal Plan for Semiconductors)에서 개발은 필수불가결하다고 기초연설자 Zhirnov박사는 말했다. 오프닝 세션 연사인 김덕기 박사는 '혁신은 한국 정부의 나노기술 투자 전략에 잘 맞으며 창의적이고 도전적인 글로벌 선도 나노과학을 강화한다고 지적했다. 더 나아가 이는 Roco 박사가 20 년 전에 제안했던 NNI의 결과물이다. 나노기술 투자는 신생 과학기술 분야를 가능케 한다. 이 세션에서, 네 명의 한국인과 두 명의 미국인 연구자들이 연구를 공유했다. 전상훈 교수는 고밀도 에너지 효율 인메모리 컴퓨팅에 HfO_2 기반 가역성 싱글 도메인 강유전체 레이어를 사용하는 혁신적인 네거티브-캐패시턴스 플래시 메모리를 제안했다. Towe 교수는 뉴로모픽 컴퓨팅의 과제와 기회에 대해 논했고, 멤리스터와 옵티컬 시냅스의 개발에 대해 논평했고, 뉴로모픽

하드웨어의 세부적인 내용들을 무시할 수 있는 뉴로모픽 컴퓨팅 프레임워크의 개발을 제안했다. 김상범 교수는 아날로그 인메모리 딥러닝을 위해 디바이스-알고리즘 공동 최적화에 관한 자신의 연구를 제시했다. 그의 연구는 최적의 알고리즘과 페어링하여 이상적이지 않은 디바이스 속성을 완화시켰다. Koester 교수는 미래 CMOS 노드에 사용할 2D 소재의 과제와 기회에 대해 설명했고, 전이금속 디칼코제나이드와 스케일드 로직 및 메모리 장치에서의 응용 잠재력에 대해 논했다. 최우영 교수는 MOSFET의 크기 및 전력 절감 과제에 대해 설명했고, 터널 FET와 나노전기기계 장치 같은 극소전력 전자 디바이스를 소개했다. 김상현 교수는 Ge(110)/Si(100) 이중 채널 3D 순차 CFET를 M3D 통합 기술로 설명하면서, 헤테로 에피택시와 저온층 전이로 얇은 Ge(110) 표면 채널 p-FET를 분석했다.

세션 #2: 첨단 패키징과 이중 통합을 주제로 다루며 첨단 패키징의 디자인, 제조, 기술 같은 몇몇 주제들도 함께 논했다. 모든 연설자들은 첨단 패키징이 반도체 장치의 확장을 가능하게 하는 중요한 기술이 될 것이라고 강조했다. 업계는 증가하는 데이터 소비와 계산 수요를 충족하고 모놀리식 다이 스케일링의 무어 법칙 둔화를 극복하기 위해 첨단 패키징 솔루션으로 전환하고 있다. 업계의 연설자들은 첨단 패키징을 투자 및 R&D 개발의 핵심으로 삼을 계획에 대해 상술했다.

Busnaina 교수는 에칭과 화학반응, 진공이 없는 적층 액체 기반 유도 어셈블리 기반 프로세스를 이용해 로직 게이트 등 전자장치를 만들 수 있는 혁신적인 확장식 적층 제조 솔루션을 소개했다. 이는 전자장치 제조에 드는 시간과 비용을 몇십 배 줄여준다. 강사운 박사는 첨단 패키징이 비용과 품질이라는 기존의 트렌드를 벗어나 폼 팩터와 열 성능 및 전기 성능까지 포함해 새로운 가치를 창출할 수 있다고 강조했다. 그는 미래에는 새로운 혁신과 더 많은 통합이 필요할 것이라 강조했다. 김지철 박사는 전통적으로 고성능 컴퓨팅 (HPC) 시장만이 성능 요건과 낮은 비용 민감도 때문에 첨단 패키징을 주도하고 있다고 말했다. 모바일 용도에서, 첨단 패키징은 주로 이득이 미미한 낮은 폼 팩터를 내놓았다. 그러나 트랜지스터 스케일링이 느려질 것이라는 전망이 나오면서 HPC를 뛰어넘는 첨단 패키징의 도입이 현실화되어 수율 개선, 디자인 재사용, 제반 비용 등에 진척이 생기고 있다. 그러나 디자인 리드 타임, 시스템 복잡성, 열 문제 같은 현재 과제들의 개선도 지적되었다. Iyer 교수는 반도체 장치 로드맵과 달리 누락된 패키징 로드맵의 필요성을 강조했다. 그는 현재 패키징 방식의 비효율성에 대해 논하며 패키징 애플리케이션에 온칩과 같은 기능을 사용하여 전력, 면적, 레이턴시, 대역폭을 개선할 수 있는 몇 가지 옵션을 제시했다. 그의 분석에 따르면 첨단 패키징 포장 솔루션에는 2-10 마이크로미터의 상호 연결 피치가 필요할 수 있다고 한다. 강지호 박사는 High Bandwidth Memory(HBM)에 대한 업계의 주목, 그리고 하이브리드 본딩을 활용한 웨이퍼 본딩이 DRAM과 메모리의 용량 및 성능을 개선하는 핵심 기술 인자라고 발표했다. Zhang 박사는 산업 참가자들의 수직적 통합이 진전을 이루는데 중요하다고 했다. 칩릿 기술과 AI 애플리케이션은 첨단 패키징 솔루션의 핵심 요인이 될 것이다. 그러나 마이크론의 김동현 박사는 OSAT와 주요 공장에서 현재의 폐쇄적인 개발로는 진정한 이중 통합이 불가능하다는 우려를 표명하며 공통 표준, 통합, 검증 시스템을 구현하기 위해 더 나은 협업이 필요하다고 강조했다. 전력, 열, 전기, 기계를 비롯한 멀티 칩릿 패키지 시스템 무결성이 매우 중요해질 것이다. 옵티컬 인터커넥트 또한 같은 패키지에 함께 통합되는 길을 가고 있다.

전반적으로 모든 논의에는 첨단 패키징이 스케일링의 핵심 인자라는 몇 가지 공통 주제가 있다. 정밀 피치 통합, 어셈블리, 데이터 통신, 설계 도식 모두가 능동적 연구개발 분야이다. 어

셈블리, 송전, 냉각, 공통 프로토콜이 주요 선결 과제로 주목되고 있다.

세션 #3: 반도체 제조의 환경 영향을 해결하기 위한 다양한 전략과 발전을 강조하며 PFAS(per-fluoroalkyl substance) 복원, 대체 소재, 지속가능 프로세스, 국제 협력 등을 통해 업계의 탄소발자국을 줄이고 지속가능성을 촉진했다. 반도체 생산은 막대한 에너지와 수자원을 필요로 하고, 유해 폐기물을 발생시키며, PFAS와 같은 관련 물질을 사용하는 등 환경에 상당한 영향을 미친다. Diallo 박사는 NSF가 자금을 지원하는 PFAS 복원 작업, 반도체 생산의 환경 영향 및 산업 협력 기회에 대해 논했다. 주요 온실가스인 과불화화합물(PFCs)은 반도체 제조에 사용된다. 채희엽 교수는 유전체 식각 공정에서 PFC를 플루오로에테르와 플루오로알코올로 대체하여 지구 온난화 효과를 70% 이상 감소시키는 방법을 연구했다. Duran 박사는 Intel의 환경 보호 전략에 대해 언급하며 산업의 지속가능성 촉진을 위해 중대 소재와 프로세스에 대한 연구를 강조하며, 플라즈마 처리에 사용되는 고GWP (global warming potentials) 공정 가스를 저GWP가스로 대체하여 배출가스를 줄여야 한다고 하였다. 임정식 박사는 뛰어난 감도와 해상도의 첨단 측정 기술을 도입해 전통적인 모니터링 방식을 대체했다. Handwerker 교수는 과학자와 엔지니어가 지속가능한 소재와 프로세스를 개발할 필요성을 강조하면서 부문의 지속 가능성을 촉진하는 US CHIPS 법안의 역할을 강조했다. Lee는 탄소발자국을 줄이고, 친환경 제조 도구를 지원하며, 에너지 효율적인 프로세스 솔루션을 개발하기 위한 전체론적 접근 방식에 초점을 맞췄다. 조성일 박사는 극저온 식각 기술의 발전을 잠재적 해결책으로 강조하여 RF 전력 요구사항을 줄이고 고 GWP 가스의 필요성을 없앴다. Philipposian 교수는 Chemical Mechanical Planarization(CMP) 프로세스 성능을 향상시키고 폐기물을 줄이며 환경 문제를 해결할 두 가지 새로운 방법으로 Flocko-CMP 및 슬러리 주입 시스템을 소개했다.

반도체 기술에 대한 논의를 더 진전시키기 위해, 제18차 포럼은 2024년 10월 미국 NSF 나노센터에서 개최될 예정이다.

제18차 포럼에서는 휴먼인지 및 뇌 연구와 관련된 센서와 차세대 반도체라는 신생 테마 두 가지를 주제로 다루는 것으로 결정하였다. 제18차 포럼 기간 동안 반도체 분야의 지속이 양국 과학자들의 협력을 더욱 촉진하고 구체적인 협력 주제와 팀을 파악할 수 있게 해줄 것으로 보고 있다. 지난 10년간 뉴로모픽 컴퓨팅(13차, 14차 포럼 주제), 나노센서 기반 사물인터넷(14, 15차 포럼 주제), 나노의학(15차, 16차 포럼 주제)은 한 주제를 두 번의 포럼에서 연속적으로 다룸으로써 큰 협력 성과를 거두었다. 그러나 코로나19 팬데믹으로 인해 이 기조를 이어갈 수 없었고, 휴먼인지와 뇌 연구 관련 센서에 대해 논함으로써 이 성공적인 기조를 이어갈 예정이다.

제17차 포럼 권고사항:

세션 1: 지능형 반도체

차세대 반도체 1 논의 그룹은 한미 연구자들의 공동협력을 발전시킬 방법으로 (1) 나노기술 기초과학에서의 협업, (2) 직접 Principal Investigator(PI) 레벨 교환, (3) 대학원생 교환 프로그램을 제안하고 있다.

나노기술 기초과학에서, 네 가지 소재(2D 소재, 강유전체 RAM 소재, 광자 소재, 비정질 산화

물 반도체)가 파악되었으며, 네 가지 신생 응용 분야(3D 메모리, 인메모리 컴퓨팅, 뉴로모픽 컴퓨팅, 기능적 BEOL) 또한 파악되었다. 각 연구에 관심을 가진 연구자들을 파악하여 가상 워크숍을 열고 협업을 장려할 것을 제안한다.

PI 레벨 교환의 경우, 한미 시설의 제조설비 옵션을 상세하게 공유하고 연구자 연락처 정보를 제공함으로써 협업을 발전시킬 것을 제안한다. 해당 정보를 바탕으로, 한국 NNFC와 미 NNCI에서 프로토타입 제조설비와 특성화에 대한 좋은 기회가 창출될 것이다. 한미 기업들과 연구자만을 위한 SRC 서브프로그램을 만들고 미 NNCI 버전을 한국에 채택할 것, 산업 기업들의 첨단 공정을 이용해 프로토타입을 제작할 기회를 창출할 것을 강력 제안한다.

학생 교환 프로그램의 경우, 여름 기간 동안 대학원생들을 교환하여 상대국에서 프로토타입을 제작하도록 할 것을 제안한다. NSF IRES 프로그램을 이용해 미국 학생들을 한국에 보내고 NRF는 학생 교환을 위한 한국 기금 프로그램을 개발할 것을 제안한다.

세션 2: 첨단 패키징

제안:

1. 한미 패키징 공동연구 플랫폼
 - a. 공동 플랫폼을 수립하고 상태 공유
 - b. 합동팀을 만들어 첨단 패키징의 적층 제조에 협력(DARPA는 해당 분야에서 이미 프로그램을 시작했고 NSF는 아직 시작하지 못 했지만 똑같이 할 수 있다.)
 - c. 첨단 패키징 로드맵을 만들어 기존 로드맵(예: MAPT)을 보완함으로써 연구 콘 텐츠를 증가시킴.
 - d. 이 로드맵을 지원하는 구체적인 프로젝트 파악
2. 학생 후원 제도 확립
3. 주요 패키징 컨퍼런스의 일환으로 패키징 워크숍을 조성해 업계와 학계의 최신 개발 공유

Part 1 집행

1. 한국 PI는 미국 PI에 참여하여 공동 프로젝트를 제안할 예정.
 - a. 패키징을 향상시킬 기초과학 구상
2. 양국 팹 시설에 대한 지원
 - a. 청년 과학자 교환 보조금
3. 로드맵 개발 위원회. 3개년, 5개년, 10개년 로드맵, HIR 로드맵과 MRHIEP, MAPT 등을 활용
4. 대학과 협력해 연구를 지원하는 기업들을 위한 인센티브. 삼성, SK 하이닉스 등 대기업의 업무 연락
5. 공급사슬 문제(벤더로부터 소재 조달)는 기술(칩릿 등)과 새로운 산학 R&D를 통해 해결 가능
6. 삼성, SK 하이닉스, 애플, 인텔, AMD, IBM, 메타 등 산업 구성원들이 주도적으로 나서 인센티브를 제공. 한국에서는 삼성 김지철, SK 하이닉스 강지호, SK 하이닉스 이강욱, KMPES 강사운 등이 리더로 예상되며, 미국 측 리더는 추후 정해질 예정

구체적인 프로젝트 구상들

가능성 있는 프로젝트들에 대해 상세히 논할 워크숍이 필요

예시

1. 프로토타입핑
2. 재래식 제조를 위한 PDK/ADK 개발과 적층 제조
3. 디자인 실시성
4. 전력 공급과 열 관리
5. 패키징용 소재
6. 적층 제조를 비롯한 통합 계획
7. 최종사용자 응용(산업의 지도)

Part 2 집행

1. 학생 교환, 기업이 학생에게 인턴십을 제공.
2. 한국 학생들은 해외 유학에 관심을 보이고 있으므로, 한국 학생들을 미국의 교환 학생 교육에 참가시킴.
3. 한국에서 공부할 미국 학생들을 위한 특별 인센티브. 미국 학생들이 한국으로 오는데 어려움이 있을 수 있으므로 학생들에게 보상을 제공
4. 양국이 각자 5명씩 교환(미국에서 한국으로, 한국에서 미국으로)
5. 연구가 논문과 관련 있음을 입증
6. 박사, 석사, 학사 학생들을 위한 해외유학
7. 타임라인: 3 개월-1년 교육
8. 플래그십 컨퍼런스와 저널에 공동 발표. 특허 없음(구성원들의 조기 정보 공유)

Part 3 집행

1. KSIM, ECTC, KMEMS 같은 컨퍼런스를 활용한 사전 사후 한미 워크숍.
 2. 가상 회의. 양국 학계의 정기적 양자 회의로 아이디어 교환. IP 권리 정의. 관리 방식
- 한국 측 NRF가 관리하고 미국 측 NSF가 이를 관리(NIST와 다른 기관들도 넣을 것. 반도체 제조 자금이 NSF보다 더 많기 때문)

추정 예산

1. 미화 연 천만 달러씩 5년간
2. 미화 50만 달러의 개별 상금
3. 한국 50%, 미국 50% 지분

세션 3: 친환경 반도체 공정

브레이크아웃 팀이 이 분야 포럼 토의에서 나온 핵심 목표 몇 가지를 조율하는 것으로 시작했고, 우리는 한미 협업이 혁신을 앞당길 수 있다고 느꼈다. 조율된 목표는 다음과 같다.

1. 학생들은 준비가 되어 있으니, 지속가능성 분석을 장래 연구에 넣게 한다.
2. 학계 연구자들은 지식이 많으니, 지속가능성을 그들의 연구 프로그램에 넣게 한다.
3. 우려 화학물질의 사용 감축과 대체를 중심으로 한미 합동팀이 함께 해결할 1-2 가지 과제를 정했다.
4. 환경 채점표의 개발과 적용을 통해 이 포럼의 다른 세션에서 나온 프로그램과 활동을 새로

은 지속 가능 제조 프로젝트의 평가 단계에 넣는다는 협력 목표를 설정했다.

이후 해당 팀은 상기 목표를 달성하기 위해 다음과 같이 어떤 활동과 프로그램을 마련할 것인지에 초점을 맞췄다.

1. 반도체 제조 선택 방법의 실제 문제와 환경 영향에 대해 양국 학생과 연구자를 교육하는 단기 과정을 개발, 집행할 프로그램을 한국과 미국이 함께 만든다.
2. 반도체 제조에서 우려 화학물질을 줄이고(특정 결과를 위해 CMP 화학물질을 50% 이상 줄일 것을 제안) 대체하는(식각액 가스와 PFAS 함유 냉각제) 공격적 목표와 기금 프로그램을 마련한다.
3. 신규 프로젝트 시작 시 환경을 고려하도록 프로젝트 진행에 사용할 환경 채점표를 개발, 집행할 공동 프로젝트가 있어야 한다.
4. 지리적, 학문적 다양성을 반영해 전체론적 해결책을 개발할 상호 직능 팀을 공식적으로 설계한다. PI 교환을 통해서도 집행할 수 있겠지만, 각국의 기관에서 여러 지역이 참여하는 분기별 회의를 통해서도 할 수 있다.
5. 또한, 어린 학생들이 반도체 제조의 광대하고 복잡하고 흥미로운 속성을 경험하게 할 팝 투어 방법을 찾아볼 것을 제안한다.