그래핀 노벨상의 주역들

DOI: 10.3938/PhiT.19.059

홍 병 희

Nobel Heroes of Graphene

Byung Hee HONG

2010 Nobel Prize in physics has been awarded to “discovery of graphene” for its infinite potential applications utilizing the outstanding electrical, thermal, mechanical, optical, and chemical properties of graphene. Unfortunately, Prof. Philip Kim (Columbia Univ) who measured the half-integer quantum Hall effect for the first time together with Andre Geim and Konstantin Novosolev failed to get the prize. In this article, the personal backgrounds of the Nobel laureates and Prof. Kim will be introduced first, and then we will discuss the lessons from 2010 Nobel Prize in physics and what Korea needs to do to get the first Nobel Prize in science.

필자가 그래핀을 처음 접한 것은 포스텍에서 학위를 마치고 미국 컬럼비아대학교 물리학과 김필립 교수 연구실에서 박사후 연수과정을 보내던 2004년이였다. 당시 김필립 교수는 흑연에서부터 그래핀을 분리해 내는 방법을 수년간 연구하고 있었는데 원자힘현미경(AFM)에 쓰이는 탐침 끝에 흑연 결정을 붙인 후 마이크로미터 조작에 의해 그래핀 한 층을 떼어내는 매우 복잡한 실험이였다. 흑연 층수를 10층 내외로 줄이는 데는 성공을 했지만 단층인 그래핀을 얻어내지는 못하고 있었다. 그러던 어느날 간단한 스카치테이프를 이용해 그래핀을 분리한 사이언스지 논문을 보고 모든 연구진들이 낙담했던 기억이 있다.^[1] 이후 그 간단한 스카치테이프 방법에 세계 과학계에 얼마나 큰 파급효과를 가져왔는지는 올해 노벨물리학상이 그래핀에 주어진 사실만으로도 충분히 짐작할 수 있을 것이다. 그래핀이 노벨상을 타기까지의 학문적 의

미와 미래응용에 대해서는 이후의 두 글에서 자세히 소개될 것이므로 이 글을 통해서는 그래핀을 노벨상의 주역인 Andre Geim, Konstantin Novosolev 두 교수, 그리고 최근 이슈가 되었던 Walter de Heer 교수가 노벨상위원회에 보낸 공개서신, 그리고 김필립 교수님의 노벨상이 과연 가능했었는지에 대해 되짚어 보고자 한다.

Andre Geim

Fig. 1. Andre Geim (1958~).
(Photo: U. Montan)

Geim 교수는 동계올림픽 개최지로 유명한 러시아의 소치(Sochi)에서 1958년 태어났지만 네덜란드 국적을 소유하고 지금은 영국 맨체스터대에 소속되어 있는 다소 복잡한 과거(?)를 가진 인물이다. 그의 부모는 독일 국적의 러시아 엔지니어였고 먼 외가가 유대계이다. 스스로는 유대인이라 하지는 않지만 유대인과 비슷한 그의 이름 때문에 Geim은 어린 시절 상당한 고충

을 겪었다고 한다. 그는 Moscow Engineering Physics Institute를 두 번이나 낙방한 끝에 Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT)에 마침내 합격하게 된다. MIPT에서 공부하는 동안 중도에 포기한 학생들이 많았고 심지어는 정신분열이나 자살에까지 이른 경우도 적지 않았다고 하니 Geim 교수의 강인함과 성실성은 러시아의 특별한 학부교육 시스템에 기인한 것이었다고 볼 수도 있다. 이후 Russian Academy of Sciences (RAS)에서 박사학위를 받은 Geim은 수년간 러시아에서 연구원 생활을 했으나 여러 정치적인 이유로 연구에 집중할 수 없게 되자 러시아를 떠날 결심을 하게 된다. 이후 네덜란드의 Nijmegen University에 자리를 잡고 초전도 현상에 대한 연구를 시작하게 된다. 이때

저자약력

홍병희 교수는 포항공과대학교 화학과 (물리화학) 이학박사(2002)로서, 미 컬럼비아대학교 물리학과 Post-Doc.(2004-2007)을 거쳐 현재 성균관대학교 화학과 및 나노과학기술원 조교수(2007-현재)로 재직 중이다.
(byunghee@skku.edu)

REFERENCES

- [1] K. S. Novosolev *et al.*, Science **306**, 666 (2004).

Fig. 2. A frog levitated by strong magnetic field. Geim was awarded Ig Nobel Prize thanks to this unique experiment.

Novosolev가 박사과정으로 입학하게 되면서 두 사람의 본격적인 파트너십이 시작됐다.

그는 사실 그래핀 연구 이전에 개구리를 자기장에서 부상시키는 실험, 도마뱀의 발바닥을 본뜬 Gecko tape의 창시자로 이미 유명세를 타고 있었다. 그의 기발한 연구 성과에 대한 공로(?)로 Geim은 2000년 괴짜 노벨상으로 알려진 “Ig Nobel Prize”를 수상하였고 정확히 10년 만에 노벨상마저 거머쥔으로써 두 괴짜-진짜 노벨상을 모두 수상한 첫 인물이 되었다.

Konstantin Novoselov

Fig. 3. Konstantin Novoselov (1974~). (Photo: U. Montan)

Novosolev도 Geim과 같은 MIPT 학부 출신으로 네덜란드 Nijmegen 대학교에 입학하면서 Geim과 사제지간이 되었고 이후 영국 맨체스터대까지 함께 와서 그래핀 연구를 주도함으로써 마침내 2010년 노벨 물리학상의 주인공이 되었다. 그는 스카치테이프를 이용하여 흑연으로부터 그래핀 한 층을 세계 최초로 분리해 낸 주인공으로 유명한데 사실 같은 연구실에서 이전에 같은

방법을 시도한 중국 학생이 있었다고 한다. 필자가 직접 실험을 해 본 경험으로는 현미경으로 분리된 그래핀을 찾으려면 한 시간이 넘게 걸리는 경우도 있고 보통은 원자 한 층이 눈

으로 보인다는 것을 예상하지 못하기 때문에 대부분 그냥 쉽게 포기하고 말았을 것이다. 노벨상 수상 후에 많은 사람들이 같은 방법을 이미 수십 년 전부터 시도했었고 자신들이 노벨상을 받았을 수도 있었을 것이라는 우스갯소리를 자주 듣는다. 사실 HOPG(highly oriented pyrolytic graphite)나 mica 같은 층상 물질을 스카치테이프로 떼어내는 것은 초전도나 표면을 연구하는 사람들에게는 일상과 같은 일이다. 그렇다면 그 사람들과 Novosolev의 차이는 무엇이었을까? 바로 기존의 사고에 묶이지 않는 엉뚱함, 도전정신, 그리고 끈기일 것이다. 그래핀 분리 성공 이후의 그의 논문들을 보면 물리학적 통찰력 또한 매우 뛰어난 과학자라는 것을 알 수 있다. 물론 운이 좋았을 수도 있다. 그러나, 준비되지 않은 사람에게는 행운도 따르지 않는 법이다. 러시아의 철저하면서도 창의적인 학부 교육과 유럽 대학의 열린 시스템 또한 그리 화려하지 않은 경력을 지녔던 두 과학자가 노벨상을 수상하는 데 큰 역할을 했다고 볼 수 있다. 마치 신데렐라 이야기와도 같았던 Geim과 Novosolev의 노벨상 스토리를 보면서 우리가 배워야 할 점이 무엇인가에 대해서는 글 말미에 다시 논하고자 한다.

Philip Kim

Fig. 4. Philip Kim (1967~).

김필립(金必立, 43) 교수는 언뜻 이름을 보면 교포가 아닌가 싶지만 한국에서 태어나고 서울대학교 물리학과에서 학사 및 석사(지도교수: 김정구)를 마친 후 미국으로 유학한 토종 한국인이다. 나노튜브 및 나노선 분야의 대가이며 노벨상 후보로도 자주 언급되는 하버드 대학교

Charles Lieber 교수 지도하에 1999년 박사학위를 받고 UC Berkeley에서 Miller Fellow로 포스트닥을 한 후 컬럼비아대 물리학과에 2002년 부임하였다.

개인적으로 포스트닥 지도교수이기도 하지만 같은 한국인으로서 김필립 교수가 노벨상을 수상하지 못한 것에 대한 아쉬움은 표현할 길이 없을 정도로 크다. 노벨상 시즌이 되면 한국 과학자 중 수상 가능성이 있는 분들이 언론에 오르내리지만 한국 역사상 김필립 교수처럼 노벨과학상에 가까웠던 경우는 분명 없었고 앞으로도 당분간은 없을 것이다. Geim 또한 김필립 교수의 공동 수상 가능성을 자주 언급했을 정도로 김필립 교수의 그래핀 연구분야에서의 업적은 매우 뛰어나다. 비록 그래핀의 분리는 한발 늦었지만 그래핀이 반정수

Fig. 5. Profs. Kim and Geim giving invited talks in Nobel Symposium on Graphene and Quantum Matters in Stockholm, Sweden. Nobel committee members were seated in front.

양자홀효과(half-integer quantum Hall effect)를 보인다는 것을 Geim 교수 팀과 거의 동시에 발견하여 Nature지에 연달아 보고한 논문은 지난 5년 동안 2천 회가 넘게 인용되었을 정도로 큰 반향을 불러 일으켰다.^[2] 또한 그래핀 나노리본의 밴드갭이 너비에 따라 변하는 특성과^[3] 물리학적 난제 중 하나였던 Klein Paradox 등을 실험적으로 규명하였을 뿐 아니라^[4] 그래핀의 분수양자홀효과(fractional quantum Hall effect)^[5] 측정에도 성공함으로써 Geim, Novosolev와 함께 노벨 물리학상에 가장 가까운 것으로 평가받고 있었다. 실제로 올해 노벨 물리학상 설명자료에 보면 김필립 교수도 공동수상자가 아닌가 착각을 일으킬 정도로 위에서 언급한 업적들이 상세히 기술되어 있다. 김필립 교수가 다른 노벨상 후보자들과 함께 지난 5월 스웨덴에서 열렸던 노벨심포지엄에서 그 동안의 연구업적을 발표하였을 때 노벨상위원들이 김필립 교수의 업적에 대해 매우 깊은 인상을 받았던 것이 분명하다. 필자도 그래핀 응용분야에 대한 발표 부탁을 받고 함께 참석하였는데 당시 많은 참석자들이 김필립 교수를 2~3번째 후보자로 예측했었고, 만약 2010년 노벨 물리학상이 세 사람에게만 주어졌다면 그 안에 김필립 교수가 포함되었을 확률은 매우 크다.

2010년 노벨 물리학상은 공정했는가?

또 하나 아쉬운 것은 이번 노벨상이 “그래핀의 물리현상”에 주어졌던 것이 아니라 “그래핀의 분리”에 가장 큰 초점이 맞추어졌다는 것이다. 전자의 경우라면 김필립 교수는 반드시 포함되어야 하는 것이고 후자라면 아쉽지만 전혀 무리한 결정은 아니라고 볼 수 있다. 하지만 “그래핀의 발견” 혹은 “분리

라는 측면을 고려하면 오히려 노벨화학상이 가까울 수 있고 실제 몇몇 매체는 Geim과 Novosolev의 노벨화학상 수상을 점치기도 했었다. 오랜 검증과정을 거쳐 실제 우리생활에 큰 파급효과를 미쳤던 연구가 노벨상을 수상했던 최근 경향을 보면 이번 그래핀 분야 노벨상 수상이 너무 빨랐던 것이 아니냐는 지적 또한 일리는 있다. 바로 이러한 점들이 올해 노벨 물리학상 수상이 공정했는가 하는 불씨를 지피는 결과를 초래했다. 이 문제를 공개서한을 통해 처음 공식적으로 지적했던 Walter de Heer 교수는 사실 자신이 그래핀을 Geim보다 먼저 발견했음을 공공연히 주장하던 사람 중 하나이다. 결국 노벨상위원회에 공개서한을 보낸 이유도 자신이 노벨상을 수상하지 못한 것에 대한 불만을 토로하는 것에 불과하다. 이러한 문제를 보도한 Nature News의 지적 내용도 노벨상 자체의 공정정보보다는 노벨상 수상배경에 대한 문서자료 작성에 오류가 많다는 것이지 수상 자체가 잘못 되었다는 것이 아니다.^[6] de Heer 교수의 주장 자체도 억지스러운 부분이 많다. 그는 그래핀의 분리를 처음 보고한 2004년 Geim과 Novosolev 논문에 단층 그래핀이 없다고 주장하지만 논문 그림을 자세히 살펴보면 분명 “monolayer graphene”에 대한 AFM 이미지가 나오고 대부분의 그래핀 연구자들이 이를 인정하고 있다.^[1] 다만 앞서 언급한 것처럼 “그래핀 물리현상”에 대해 노벨상이 주어졌다면 김필립 교수가 포함되었어야 한다는 Paul McEuen 교수(코넬대, 김필립 교수의 포스트닥 지도 교수)의 주장과 이에 대해 Geim 교수가 “얼마든지 김필립 교수와 노벨상을 나눌 수 있다”라고 인터뷰한 내용을 보면 김필립 교수의 수상가능성에 대한 공감대가 넓게 형성되어 있었던 것을 알 수 있다. Geim 교수는 최근 이메일을 통해 “한국의 응용 연구가 자신의 노벨상 수상을 앞당기는 데 큰 역할을 했다”며 고마움을 표시하면서 필자가 2009년 Nature지에 보고한 ‘대면적 그래핀의 합성법’에^[7] 대한 논문이 김필립 교수 연구실을 떠나기 전 출판되었다면 노벨상 결과가 달라졌을 것이라는 의미심장한 이야기를 하였다. 그만큼 이번 그래핀 분야 노벨상 수상에 한국과학자들의 역할이 컸다는 것이지만 한국인이 더 이상 노벨상의 조연이 아닌 주연이 되었다면 얼마나 좋았을까 하는 아쉬움은 지울 수 없다.

REFERENCES

- [2] Y. Zhang, Y.-W. Tan, H. L. Stormer and P. Kim, Nature **438**, 201 (2005).
- [3] M. Y. Han, B. Oezylmaz, Y. Zhang and P. Kim, Phys. Rev. Lett. **98**, 206805 (2007).
- [4] A. F. Young and P. Kim, Nature Physics **5**, 222 (2009).
- [5] Kirill I. Bolotin, Fereshte Ghahari, Michael D. Shulman, Horst L. Stormer and Philip Kim, Nature **462**, 196 (2009).
- [6] E. S. Reich, Nature **468**, 486 (2010).
- [7] K. S. Kim *et al.*, Nature **457**, 706 (2009).

노벨상을 향하여

우리는 이번 경험을 통하여 어떻게 하면 한국인 최초 노벨 과학상 수상에 한 걸음 더 다가갈 것인지에 대한 교훈을 얻어야 한다. 무엇이 가장 중요한 것일까? 김필립 교수가 몸담고 있는 미국 컬럼비아 대학교의 경우를 보자. 컬럼비아대 역대 전체 노벨상 수상자는 70여 명이고 그중 30명이 물리학과에서 배출되었다. 그러나 막상 방문해보면 어떻게 이런 시설에서 노벨상이 이렇게 많이 나왔을까 의아할 정도로 연구 환경은 그다지 뛰어나지 않다. 하지만 시간이 지나면서 결국 이 사람들의 저력은 창의적인 아이디어와 그 연구를 뒷받침하는 시스템에서 나온다는 것을 깨닫게 된다. 김필립 교수의 경우 워낙 새로운 분야를 하다 보니 쉽게 논문을 쓸 만한 결과를 얻을 수 없었고, 부임 후 거의 3년 동안 논문이 없다시피 했다. 하지만 임용 후 다년간 이상 안정적인 연구지원을 보장하는 미국 대학의 시스템이 있었기에 지속적인 연구가 가능했고, 마침내 획기적인 결과를 얻을 수 있었다. 우리나라와 비교해 보면 일단 가장 활발하게 연구 활동을 해야 할 임용 직후에 연구비를 지원받는 것이 가장 힘들고, 오히려 오랜 경력을 가진 연구자일수록 큰 규모의 연구비가 주어지는 경우가 많다. 소위 start-up이라고 하는 연구창작지원금의 규모가 외국에 비해 턱없이 부족할 뿐 아니라 연구과제 선정시 경제/산업적 파급효과까지 고려해야 하는 경우가 많기 때문에 연구자들은 단기간에 파급효과와 성과물을 기대하기 어려운 기초연구를 기피하게 된다. 경제/산업적 파급효과까지 예측할 수 있는 연구라면 이미 노벨상과는 거리가 멀다고 할 수 있다. 결과물, 성과를 바라지 않고 참신한 아이디어를 가진 과학자를 과감히 장기간 지원할 수 있는 제도가 마련되어야 한다.

가장 중요한 것은 저변의 확대이다. 선수층이 두꺼운 남미나 유럽에서 훌륭한 축구선수가 나오듯이 기초연구에 종사하는 인력의 풀을 안정적으로 확보하는 것이 가장 중요하다. 이런 의미에서 국제과학비즈니스 벨트 등의 구축을 통해 이공계 인력의 안정적인 기반을 마련하는 것이 필수적이다. 국내의 실험장비나 시설 등의 연구 인프라는 이미 세계적인 수준 이상이다. 이제 필요한 것은 기초과학 연구자들이 자긍심을 가질 수 있도록 처우를 획기적으로 개선하고 연구비에 대한 걱정 없이 창의적인 연구를 장기간 수행할 수 있도록 시스템을 바꾸는 것이다. 도덕적으로 문제만 없다면 향후 가시적인 성과나 결과물을 요구하지 않는 획기적인 연구지원 프로그램의 도입도 필요하다. 일본은 이미 30 - 40년 전에 국가적으로 시스템을 획기적으로 바꾸어 노벨상이 가능한 기초과학분야 연구를 전폭 지원해 왔고 그 열매를 지금 거두고 있는 것이다. 다음은 창의성을 가진 인재를 키우기 위한 교육 시스템

으로의 전환이다. 지금과 같은 입시위주의 과학교육 시스템으로는 앞으로 한국인의 노벨상 수상은 영원히 불가능할 지도 모른다. 틀을 깨는 교육, 학습보다는 경험 위주의 교육, 창의성에 가장 큰 보상을 주는 교육으로의 전환이 절실하다.

마지막은 조기에 노벨과학상을 수상하기 위한 선택과 집중 전략의 수립이다. 최근에는 Novosolev처럼 30 - 40대에 노벨상을 수상하는 경우가 증가하고 있고 이는 고도로 정보화된 글로벌 네트워크의 힘이 과학계에도 영향을 끼치고 있기 때문이다. 전 세계 구석구석 정보가 거의 실시간으로 교류되면서 그만큼 경쟁도 더 치열해졌을 뿐 아니라, 과거 보통 해를 넘기던 논문 출판 기간도 모든 것이 온라인화되면서 2~3개월 이내로 짧아졌다. 그래핀 분야만 보더라도 탄소나노튜브가 지난 20년간 이루었던 성과들을 단 6년 만에 모두 따라잡고 노벨상까지 거머쥐게 되었는데 이는 IT 인프라를 통한 국제 연구자들의 논문 교류가 그만큼 활발해졌기 때문이라는 분석도 있다. 이러한 이유로 세계적 수준의 연구가 가능한 경력을 쌓기까지의 기간이 단축되고 있기 때문에 노벨상 수상자의 연령도 낮아지는 것이다. 때문에 어떠한 연구자가 세계적인 주목을 받고 있는가를 파악하고 그 분야를 선택적으로 집중 지원하는 전략도 중요하다. 또한, 선진국들이 영향력 있는 학회지를 발행하면서 세계적인 연구의 흐름을 선도해 나가는 것을 볼 때 국내의 학회 활동을 더욱 활성화하고 국내에서 발간하는 학술저널의 세계화와 국제학회 개최를 적극 지원하는 것도 필요하다.

맺음말

언제부터인가 노벨과학상 수상이 국가적인 염원이 되었고, 다른 나라와는 달리 너무 유난을 떠는 것이 아니냐하는 시각도 있다. 하지만 국가적으로 첫 노벨과학상 수상자를 빠른 시간 안에 배출하는 것은 한국 과학계의 자존심을 회복하고 한국 과학도들에게 자신감과 꿈을 심어준다는 의미에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 대기업 중심의 응용 및 실용화 연구에서는 이미 세계 최고의 수준에 달했지만 기초 연구에서의 한국은 아직 변방국으로의 인식을 벗어나지 못하고 있다. 이러한 한국 과학계에 대한 국제적 편견을 깨뜨리는 의미에서도 한국인의 노벨 과학상 수상은 꼭 필요하다. 다만 이는 노벨상 수상 자체 뿐 아니라 노벨상 수준의 연구가 가능한 토양의 구축까지 포함한 것이어야 한다. 한국인의 장점인 두뇌의 우수성과 근면함, 성실함에 창의성까지 더해진다면 한국인의 과학분야에서의 잠재력은 그야말로 무한할 것이다. 이러한 잠재력이 꽃피울 수 있도록 정부가 더욱 과감하게 지속적으로 기초연구를 지원하고 젊은 과학자들의 끊임없는 도전을 불러일으킬 때 비로소 노벨과학상 수상의 염원은 우리에게 현실로 다가올 것이다.