

노벨과학상 수상 연구주제 분석을 통한 미래 유망 기초과학 연구 지원 방안

- I. 연구 배경
- II. 노벨과학상 수상 연구를 통한
우수 연구 주제 분석 및 도출
- III. 우수 연구 주제 형성 과정 탐구
- IV. 연구 활용 방안

노벨과학상 수상 연구주제 분석을 통한 미래 유망 기초과학 연구 지원 방안

- I. 연구 배경
- II. 노벨과학상 수상 연구를 통한
우수 연구 주제 분석 및 도출
- III. 우수 연구 주제 형성 과정 탐구
- IV. 연구 활용 방안

노벨과학상 수상 연구주제 분석을 통한
미래 유망 기초과학 연구 지원 방안

CONTENTS

I. 연구 배경	01
II. 노벨과학상 수상 연구를 통한 우수 연구 주제 분석 및 도출	02
1. 노벨과학상 수상 연구 패턴 분석	02
2. 노벨과학상을 중심으로 한 유망 주제 분석과 예측	06
III. 우수 연구 주제 형성 과정 탐구	21
1. 노벨상 수상자들의 우수 연구 주제 형성 사례 연구	21
2. 우수 연구 주제 형성을 위한 요인	22
IV. 연구 활용 방안	24
1. 유망연구 전망과 그 의미	24
2. 정책적 활용 방안	25

1. 연구 배경



- 지난 50년간 우리나라가 세계 경제력 10위권에 근접하는 경제발전을 이루면서 과학기술은 많은 일조를 하였음. 그 과정에서 과학기술은 경제발전을 위한 주요 수단으로 인식되었으며, 특히 빠른 경제 효과 창출을 위하여 외국 과학기술을 모방하여 단시간 내에 성과를 달성하는 응용·개발연구에 주력하였음.

 - 오늘날에도 과학기술계와 정부정책에 있어 그와같은 기초는 거의 변함이 없는 상황임.
 - 그러나 선진국 진입을 위하여 그 동안 쫓아하는 연구(Catch-up)에서 선도하는 연구(Leading-Edge)로 전환이 필요하고, 이를 위하여 과학기술계와 정부 정책은 선도하는 연구를 육성하기 위한 기초연구에 중점을 두는 방향으로 정책 기초의 전환이 필요함.
- 국가의 기초연구 수준을 가늠하는 주요 척도 중에 하나가 기초과학 수준이고, 기초과학의 우수성을 나타내는 지표로 노벨상 수상을 꼽을 수 있음.

 - 노벨상은 기초과학 연구 발전에 있어 최종 목표가 될 수는 없지만, 노벨상 수상은 전체 과학기술 발전을 위한 견인차의 역할 가능. 따라서 노벨상을 수상한 우수 연구에 초점을 맞춰, 우수 연구가 가능한 조건을 분석·지원하는 방향에서의 정책 접근이 필요함.
- 우수한 연구는 연구방법과 연구결과 이상으로, 그 주제의 우수성에서 연유하는 경우가 많음. 즉, 이미 나온 선행 연구주제를 쫓아하기보다 새로운 주제와 연구 영역을 개척하였는가의 여부가 연구의 우수성을 결정짓는 중요한 기준이라 할 수 있음.
- 본 연구에서는 노벨과학상 수상 연구 성과들을 분석 대상으로 삼아 연구 주제의 특성과 경향을 분석하고, 이 중 대표적인 연구 사례들을 선택하여 각 연구자들이 그 연구주제를 형성해 나간 과정을 검토함. 이를 토대로 단·중기 기초과학 연구 경향과 장기 미래 유망 연구 주제를 발굴하고, 우수 연구 주제 형성을 가이드할 수 있는 제안과 정책 방향을 도출함.

II. 노벨과학상 수상 연구를 통한 우수 연구 주제 분석 및 도출



- ▣ 노벨상 수상 연구들의 주제는 우수한 연구 주제가 무엇인지를 볼 수 있는 창으로 그 가치가 이미 입증된 노벨과학상 연구의 주제들을 조사하고 그 주제의 특징을 분석함.
- 노벨과학상 수상 연구들의 패턴 분석을 통한 우수 연구 주제들의 전반적인 특징 분석
- 올프상, 래스커상, 톰슨 로이터 인용상, 노벨 심포지엄 등 노벨상의 징후적 지시자 분석을 통한 중·단기(10년 이내) 유망 주제 도출
- 권위 있는 저널이나 과학자의 전망을 분석한 장기(10~20년 이후) 유망 주제 도출

1 노벨과학상 수상 연구 패턴 분석

가. 연구 주제 분류 방식

- 다니엘 코쉬랜드(Daniel E. Koshland)는 그의 ‘Cha-Cha-Cha 이론’에서 과학적 탐구는 서로 다른 유형의 문제를 해결하는 연속적인 과정으로 볼 수 있으며, 각 단계에서 발생하는 문제들은 그 유형에 맞는 서로 다른 접근 방식을 요구한다고 주장.¹⁾
- 과학적 발견의 유형을 문제도출과 해결방법의 각각의 창의성 정도에 의하여 임무(Charge), 도전(Challenge), 우연(Chance)의 세 범주로 분류하였는데 분류와 각각의 특징은 <표 1>과 같음.

1) Daniel E. Koshland Jr., "The Cha-Cha-Cha Theory of Scientific Discovery," *Science* 317(2007) pp. 761-762.

〈표 1〉 Cha-Cha-Cha 이론에 따른 과학적 발견의 세 가지 유형

유형	특징	비고
임무	<ul style="list-style-type: none"> • 이미 잘 알려진 어려운 문제, 창의적 해결 • 문제 해결과 관련된 창의적 발견 (뉴턴의 만유인력, 멘델의 유전법칙) 	정상과학 단계
도전	<ul style="list-style-type: none"> • 창의적 문제, 창의적 해결 • 기존의 이론으로 설명되지 않는 현상을 설명할 수 있는 새로운 개념 혹은 이론 발견 (아인슈타인의 상대성이론, 왓슨과 크릭의 이중나선) 	패러다임 전환기
우연	<ul style="list-style-type: none"> • 창의적 문제, 일반적 해결 • 뜻밖의 기회에 이뤄진 우연한 창의적 문제 발견 (플레밍의 페니실린, 파스퇴르의 광학활성) 	정상과학, 패러다임 전환기

- 과학적 탐구는 서로 다른 유형의 문제를 해결하는 여러 단계의 연속적인 과정이며, 각 단계에서 발생하는 문제들은 그 유형에 맞는 서로 다른 접근 방식을 요구하고 있음. 이에 따라 노벨과학상 연구 주제를 분석하기 위해 연구의 상호작용과 발전 과정을 고려하여 연구 주제 유형을 1) 현상발견, 2) 특성연구, 3) 확장응용의 세 단계로 분류하여 분석함.
- 노벨 과학상을 수여하는 물리학, 화학, 생리학 학문 분야에 대하여 국가과학기술표준분류를 중심으로 노벨상이 많이 수상되었던 분야를 묶어 분류함.

나. 노벨과학상 수상 연구의 전반적 특징

- 노벨 과학상은 일생의 연구 성과에 대한 종합평가의 성격이 아니라 **특정 연구에 대한 평가의 성격**을 띠고 있음. 어떤 연구 주제에 상이 주어졌는지를 보고 그 변화의 양상을 분석하는 것은 물리학, 화학, 생리학 분야의 발전상을 확인하는데 도움이 될 뿐 아니라, 앞으로 발전 가능성이 높은 주제들에 대한 시사점을 얻을 수 있음.
- 상호작용과 발전과정을 고려하여 현상발견, 특성연구, 확장응용의 3 단계로 구분하였을 때, 물리학상과 화학상의 수상 주제를 1901~2009년까지 분석한 연구 결과인 〈표 2〉를 보면, 특성연구가 많기는 하지만 어느 단계에서나 주요한 연구가 진행되었음을 알 수 있음.

〈표 2〉 노벨 물리학상과 화학상(1901~2009)의 연구주제 단계 분류

구분	현상발견	특성연구	확장응용
물리학상	29	48	24
화학상	27	42	32

※ J. Olmsted III, "What Chemistry do", J. Chemical Education, 87 (2010) pp.1045-1049. 통계 숫자에서 현상 발견은 Description(물리학상은 Invention포함), 특성연구는 Exploration + Theorising, 확장응용은 Measurement + Apparatus(물리학상), Synthesis(화학상)로 산출함. 연구주제가 2개 단계 이상을 포함하는 경우도 있음.

- J. Olmsted III, "What Chemistry do", J. Chemical Education, 87(2010) pp.1045~1049. 통계숫자에서 현상발견은 Description(물리학상은 Invention 포함), 특성연구는 Exploration+Theorising, 확장응용은 Measurement+Apparatus(물리학상), Synthesis(화학상)로 산출함. 연구주제가 2개 단계이상을 포함하는 경우도 있음.
- 노벨과학상은 수상 학문 분야 내에서 중소 학문분야분류에서 편중되어 수상하는 경향이 있고, 또한 시대에 따라 변화가 있었음.
- 노벨 물리학상의 수상 주제들에 대한 시기별·분야별 특징을 살펴보면,
 - (1901~1925년) 주로 X선, 전자, 방사능, 양자론의 기본 아이디어 등 원자 내부의 구조와 특성과 관련된 주제임.
 - (1925경 이후 2차 세계대전까지) 양자물리학과 핵물리학에 집중되었음. 양자물리학은 파울리, 하이젠베르크, 슈뢰딩거, 디랙 등이 수상하였고, 페르미는 핵물리학의 시대를 열었음.
 - (2차 세계대전 후) 주요한 한 부류는 양자전기동역학(QED) 분야를 형성한 연구자들을 포함하여 기본입자(쿼크)와 원자내부에 작용하는 힘(강력, 약력, 전자기력)에 대한 연구로 집중되었고, 거대한 가속기를 비롯한 최첨단의 거대 과학이 이들의 연구를 가속시킴.
 - (2차 세계대전 후) 다른 주요 부류로, 주로 양자론을 이용하여 물질의 구조 및 상태(액체, 고체, 기체)와 그 변화에 관한 연구를 수행하였고, 초전도체, 초유체를 비롯하여 터널링 효과, 양자 홀 효과, 액정 등의 응집 물리 분야에서 이루어진 연구가 노벨상을 수상함.

- 노벨 화학상 수상 주제들에 대한 시기별·분야별 특징을 보면,
 - 초기에 열화학 및 용액화학 분야, 원소의 발견과 동위원소 및 핵반응 분야 그리고 유기화학 및 생화학물 연구 분야에서 수상자를 배출함.
 - 물리화학과 분석화학분야에서는 초기에 첫 수상자인 반트호프 등을 비롯하여 열역학관련 분야와 원소, 동위원소 및 핵반응 분야에서 다수의 수상자를 배출하였으나, 20세기 후반부에는 화학결합에 관한 분광 및 이론 연구 분야, 화학 반응속도 및 반응동역학 분야, 분리분석 화학 분야에서 수상이 있었음.
 - 유기화학과 생화학분야는 노벨 화학상 초기부터 꾸준히 수상자가 배출되는 분야임. 20세기 전반부에는 처음 발견된 천연 유기물과 그의 합성에서 수상자를 배출하였고, 후반부에도 고분자화학을 포함하여 유기합성분야는 5~10년에 한 번 정도 수상자를 배출하였으며 2000년대에는 3번의 수상이 있었음.
 - 생화학 관련 분야도 꾸준히 수상자가 배출되고 있는데 20세기 전반부에는 호르몬이나 비타민 같은 생리활성물질에 관한 연구에서 수상이 많았던 반면, 후반기에는 단백질과 핵산의 구조분석과 생체 내 반응과정 연구에서 자주 수상자를 배출되고 있고, 80년대 이후에는 다른 분야보다 수상자가 더 자주 배출되는 경향을 보이고 있음.
 - 노벨 화학상 수상자 중에는 화학자가 아닌 경우도 다수 있는데 화학이라는 학문 자체가 자연과학의 타 학문들을 전반적으로 아우르는 면이 있기 때문인 것으로 추정됨. 특히 20세기 전반부에는 러더포드, 퀴리 등 다수의 물리학자들이 화학상을 수상하였고, 후반부에는 페루츠, 생가와 같은 생명과학 관련 연구에 여러 번 상이 돌아갔음.
- 노벨 생리의학상 수상 주제들에 대한 시기별·분야별 특징을 보면,
 - 20세기 전반부에는 특정 분야에 대한 선호가 두드러져서 2/3 이상이 신경생리학(17개)과 세균학(18개)에 집중되었음. 신경생리학은 19세기부터 실험생리학자들의 주된 연구 분야이며 신경계의 구조와 기능을 규명하는 연구가 활발했고, 세균학은 특정 질병과 연관된 병원균의 발견 및 그에 대한 치료법 개발에 더 집중된 연구에 노벨상이 수여됨.
 - 후반부에는 단백질 효소와 핵산의 물리화학적 구조 및 활성을 탐구하는 분야인 생화학 그리고 생화학과 연결되어 새로운 방향으로 나아간 면역학이 노벨상의 집중적인 조명을 받았음.

- 1930~40년대 이후, 많은 물리학자와 화학자가 유전학 분야에 뛰어들었고, 이들은 핵산의 구조와 기능을 규명하는 데 중요한 공헌을 했고, 특히 DNA가 유전정보를 담은 물질임이 밝혀지고 왓슨과 크릭에 의해 DNA의 구조가 규명된 1950년대 중반 이후, DNA와 관련된 연구에서만 무려 26개(화학상도 8개 수상)의 생리의학상이 수여됨.
- 1950년대 이후, 면역학 분야는 세균학에서 벗어나 새로운 방향으로 나아가기 시작하는데 생화학과 DNA와 연결되어 새로운 방향, 즉 인체의 면역계 자체에 관한 연구가 활발하게 진행되기 시작했음. 물론 새로운 병원체의 발견이나 치료법 개발 역시 여전히 노벨 생리의학상의 관심을 받고 있고, 세균학과 면역학은 의학과 관련된 연구라는 노벨 생리의학상의 목적과 가장 직접적으로 연결되는 분야인 만큼 1901년 이후 현재까지 꾸준히 많은 수상자를 배출하고 있음.
- 1990년 이후 세포생리학 분야에서 다수의 노벨 생리의학상 수상자가 배출되었음. 특히, 세포 내 단백질 조절 및 세포의 life cycle에 관한 연구에서만 1990년 이후 여섯 번의 노벨 생리의학상이 배출되었음.

2 노벨과학상을 중심으로 한 유망 주제 분석과 예측

가. 노벨과학상 수상 가능 연구 주제의 지표 : 징후적 지시자

- 그동안 노벨과학상을 수상한 연구자들을 분석한 연구에 따르면 다음과 같은 공통의 특징을 보임.
 - 노벨과학상 수상자의 연구는 매우 높은 피인용률을 보이며, 그것도 꽤 장기간에 걸쳐 인용됨.
 - 노벨과학상은 수상자들이 노벨상을 타기 전에 이미 다른 권위 있는 상들을 수상하여 입증된 성과를 최종적으로 승인해 주는 것과 같은 역할을 한다는 것임. 따라서 노벨상 수상의 징후를 보여주는 ‘징후적 지시자’를 통해 노벨상의 수상 가능성을 예측할 수 있음.²⁾

2) 징후적 지시자에 대한 분석은 다음을 참조하라. 임경순 등, 「노벨과학상 분석 및 접근전략 연구」.

- 대표적인 징후적 지시자로는 울프상(물리, 화학, 의학), 래스커의학연구상(기초 의학, 임상의학, 특별상), 톰슨-로이터사의 인용지수 분석(노벨상 후보자 발표), 노벨 심포지엄을 들 수 있음.

(1) 울프상³⁾과 래스커상⁴⁾

- 울프상(Wolf Prize)은 이스라엘의 울프 재단이 농업, 화학, 수학, 의학, 물리학, 예술 등 6개 분야에 수여하는 상으로 1978년 첫 수상자를 선정했음. 울프상 수상자 중 거의 30%가 노벨상을 수상하였으며 평균적으로 울프상을 수상한 후 5년 후에 노벨상을 수상하였음.
- 래스커상의 정식 명칭은 Lasker Medical Research Award로서 1946년부터 지금까지 매년 의학 분야의 연구에 공헌하거나 공중 보건에 기여한 사람에게 수여하는 상으로 기초의학, 임상의학, 특별상의 3부분으로 나뉘어져 있음. 특히 기초의학부문의 수상자 중에 50%정도가 노벨 생리의학상(간혹 화학상)을 수상하였기에 매우 중요한 노벨상의 징후적 지시자로서 수상자는 평균적으로 5년 후에 노벨상을 수상하였음.

〈표 3〉 울프상과 래스커상 수상자의 노벨과학상 수상 비율

구분	Wolf Prize				Lasker Medical Research Award				전체
	화학	물리학	의학	소계	기초의학	임상의학	특별상	소계	
전체 수상자(명)	39	48	45	132	142	134	11	287	419
노벨상 수상자(명)	10	14	15	39	69	10	1	80	119
노벨상 수상비율(%)	25.6	29.2	33.3	29.5	48.6	7.5	0.9	27.9	28.4
평균 수상격차(년)	4	6.1	4.7	4.9	4.5	8.2	2	4.9	4.9

※ 울프상과 노벨과학상 수상 격차 : 화학상은 3년 이하가 4명(당해년도 3명), 물리학상은 2년 이하가 8명, 의학상은 1명을 제외한 14명이 6년 이내 노벨상을 수상함.

※ 래스커상과 노벨과학상 수상 격차 : 기초과학분야 39명이 수상 3년 내 노벨상 수상(당해 연도 노벨상 수상은 12명), 임상의학 분야는 3년 이하가 4명(차두원, “노벨과학상 수상 현황 및 우리 과학계의 과제”, 2011)

3) 울프상에 대해서는 울프재단 홈페이지를 참조하라. <http://www.wolffund.org.il/main.asp>

4) 래스커상에 대해서는 다음의 페이지를 참조하라. <http://www.laskerfoundation.org/awards/index.htm>

(2) 톰슨-로이터 인용상(Thomson Reuters Citation Laureate)⁵⁾

- 세계 최대의 인용 데이터베이스인 Web of Science를 운영하는 톰슨-로이터사는 자사의 데이터베이스 분석을 통하여 아래의 논문 인용을 주요한 요소로 하여 매년 노벨상 수상 예상자를 발표하고 있는데, 여기에 지명된 학자들이 그 해에는 아니더라도 후에 노벨상을 수상하는 경우가 자주 있음.
 - 과거 20년 넘는 동안 저술한 논문의 총 인용빈도가 상위 0.1% 이내
 - 영향력이 큰 논문(high-impact reports)의 갯수
 - 분야에 영향을 미친 기간
- 연구의 인용 정도와 동료 연구자들로부터의 존경 사이에는 강한 상관관계가 있다는 연구결과가 있고, 이런 동료들의 존경은 곧 노벨상 후보 추천에 영향을 미칠 수 있음. 또 하나 분명한 점은 톰슨-로이터사에서 발표하는 후보 과학자들의 연구는 그 무렵의 유행하는 연구주제를 반영하고 있다는 점임.

(3) 노벨 심포지엄⁶⁾

- 노벨 재단 주최로 열리는 노벨 심포지엄 또한 노벨 위원회가 주목하는 연구 주제들이 무엇인지를 파악할 수 있는 노벨상의 징후적 지시자의 하나라고 할 수 있음. 자연과학 분야의 노벨 심포지엄은 특정 주제를 선정하여 그 분야의 20~40명 내외의 과학자들을 초청하여 몇 개의 세션으로 나누어 그 분야의 연구동향과 현재 진행 중인 연구 그리고 해결해야 할 문제와 앞으로의 전망 등에 대해 발표하고 토론하는 방식으로 진행되고 있음.
- 노벨 심포지엄의 주제는 그 후 수상으로 연결되고 특히 심포지엄에 참가한 학자 중에 노벨상을 수상하는 경우는 매우 흔하게 나타남. 화학상 부문에서 1999년도에서 2011까지 수상자와 노벨 심포지엄 참석의 관계를 살펴보면 다음과 같음.

노벨상 수상 연도	이름	노벨심포지엄 주제 (개최연도-심포지엄 번호)
1999년	Ahmed Zewail	“Femtochemistry and Femtobiology : Ultrafast Reaction Dynamics at Atomic-Scale Resolution” (96-101)

5) 톰슨-로이터 인용상은 다음을 참조하라. <http://ip-science.thomsonreuters.com/nobel/>

6) 노벨심포지엄에 관한 정보는 노벨상 홈페이지를 참조하라. http://www.nobelprize.org/nobel_organizations/nobel_foundation/symposia/

노벨상 수상 연도	이름	노벨심포지엄 주제 (개최연도-심포지엄 번호)
2000년	Alan Heeger Alan MacDiarmid Hideki Shirakawa	“Conjugated polymers and related materials” (91-81)
2001년	Berry Sharpless	“Catalytic Asymmetric Synthesis” (95-97) “Frontier of Molecular Science” (NCS01-2)
2001년	Ryoji Noyori	“Catalytic Asymmetric Synthesis” (95-97)
2002년	Kurt Wuthrich	“Frontier of Molecular Science” (NCS01-2)
2003년	Roderick Mackinnon	“Membrane Protein : Structure, Function and Assembly”(03-126)
2006년	Roger Konberg	“Frontier of Molecular Science” (NCS01-2) “Molecular Mechanism in Biological System” (05-130)
2007년	Gerhard Ertl	“Frontier of Molecular Science” (NCS01-2) “Energy in Cosmos, Molecules and Life” (05-132)
2008년	Roger Tsien	“Molecular Mechanism in Biological System” (05-130)
2009년	Thomas Steitz	“Frontier of Molecular Science” (NCS01-2) “Molecular Mechanism in Biological System” (05-130)
2009년	Venkatraman Ramakrishnan Ada Yonath	“Molecular Mechanism in Biological System” (05-130)

- 1999~2011년 사이의 수상자들에서 보는 바와 같이 '04, '05, '10, '11년 수상자를 제외한 13번 중 9번의 수상이 이미 이전 화학분야 노벨 심포지엄에 참석하였던 학자에서 배출되고 있으며, 심포지엄에 참석한 직후부터 10년 사이에 노벨과학상을 수상하고 있음.

(4) 징후적 지시자의 노벨상 예측과 수상자의 연구경력과정

- 2000~2011년의 노벨과학상 수상과 징후적 지시자의 관계 분석에 의하면, 징후적 지시자의 노벨상 예측 정확도는 거의 90%이다. 화학상은 12번 모두, 물리학과 생리학상은 9번씩 이미 징후적 지시자를 수상한 연구가 수상하였으며, 또한 화학의 경우 다음의 <표 4>에서 확인할 수 있음.
- 그리고 징후적 지시자를 수상하지 못한 노벨상 수상자들도 학술적 저명도가 이미 있었음. 2000년대 노벨 과학상 수상자 중 일본의 연구장비회사 연구원인 다나카 고이치의 화학상 수상이 유일한 예외일 것임.

〈표 4〉 화학 분야 2000년 이후 노벨 물리학상을 예측한 징후적 지시자

수상 연도	수상자	징후적 지시자
2000	Alan J. Heeger	톰슨로이터(1990), 노벨심포지엄(1991)
	Alan G. MacDiarmid	노벨심포지엄(1991)
	Hideki Shirakawa	노벨심포지엄(1991)
2001	William S. Knowles	
	Noyori Ryoji	울프상(2001), 톰슨로이터(1997), 노벨심포지엄(1995)
	K. Barry Sharpless	울프상(2001), 톰슨로이터(1997), 노벨심포지엄(1995)
2002	Kurt Wüthrich	노벨심포지엄(2001)
	John B. Fenn	
	Koichi Tanaka	
2003	Peter Agre	
	Roderick MacKinnon	래스커(1999 기초의학), 노벨심포지엄(2003)
2004	Irwin A. Rose	
	Avram Hershko	울프상(2001 의학), 래스커(2000 기초의학)
	Aaron Ciechanover	래스커(2000 기초의학)
2005	Yves Chauvin	
	Robert H. Grubbs	톰슨로이터(2003)
	Richard R. Schrock	톰슨로이터(1997)
2006	Roger D. Kornberg	노벨심포지엄(2001, 2005, 2006 생물)
2007	Gerhard Ertl	울프상(1998), 노벨심포지엄(2005)
2008	Martin Chalfie	
	Roger Tsien	울프상(2004 의학), 톰슨로이터(2008), 노벨심포지엄(2001 생물, 2005)
	Osamu Shimomura	
2009	Venkatraman Ramakrishnan	노벨심포지엄(2005)
	Thomas A. Steitz	노벨심포지엄(2001, 2005)
	Ada E. Yonath	울프상(2006), 노벨심포지엄(2005)
2010	Richard F. Heck	
	Akira Suzuki	노벨심포지엄(2004 물리)
	Ei-ichi Negishi	
2011	Dan Shechtman	울프상(1998 물리), 톰슨로이터(2008)

- 징후적 지시자로 언급된 수상 연구 후 노벨상 수상까지 소요된 기간은 노벨 물리학상의 경우 1901년부터 1972년도까지 평균 12.3년이며, 수상자 평균 나이는 47.0세이고,⁷⁾ 1901년부터 2000년까지의 기간을 보면 수상 연구부터 수상까지가 15.1년, 수상자 평균 나이는 52.6세로 수상 연구부터 수상까지의 기간은 더 길어지고 수상자 나이는 더 늦어지는 추세를 확인할 수 있음.⁸⁾ 소요기간은 점점 더 증가하는 추세이며, 20세기 전반부에는 10년이었던 것이 점점 증가하여 1990년대는 평균이 25년임.
- 조사분석한 결과를 토대로 하여 노벨상 수상의 경로 시나리오를 구성하면 다음과 같음.
 - 30세 이전에 박사학위를 마치고 독자적 연구를 시작
 - 40세 근처에 노벨상을 수상할만한 연구를 완성
 - 연구결과가 학계의 주목을 받고서 50~55세에 징후적 지시자를 수상
 - 그 분야에 최고의 권위자가 되고서 55~60세 정도에 노벨상을 수상
- 물론 이와 같은 시나리오는 평균적인 수치이기에 예외적인 경우도 있음. 수상 연구와 수상 사이의 기간에서 2010년 물리학상 수상의 그래핀 연구가 연구완성 후에 5년 내에 수상을 하였는데 2000년대 모든 과학상 수상의 거의 유일한 예외라고 할 수 있음.

(5) 징후적 지시자에 의한 우리나라 노벨상 예측

- 우리나라 연구자는 국외 연구활동 국적자와 한국계 외국인을 포함하더라도 징후적 지시자로서 울프상, 래스커상, 톰슨-로이터 인용상을 수상한 학자가 없음.
- 노벨 심포지움에는 2010년 그래핀을 주제로 열린 심포지움에 필립 김(노벨상 수상 가능성 논란이 국내언론으로 보도됨, 2011)을 포함한 2명이 참가한 것이 거의 유일 경우임.
- 따라서 근래에 우리나라 학자(국외 연구활동 국적자와 한국계 외국인 포함하여)가 노벨과학상을 수상할 가능성은 매우 낮은 것으로 예상됨.

7) Harriet Zuckerman, *Scientific elite : Nobel laureates in the United States* (New York : Free Press, 1977)

8) Karazija and Momkauskait, "The Nobel Prize in Physics."

나. 미래 유망 연구 주제 예측 방법

- 미래 유망 연구주제 발굴을 위하여 물리학, 화학, 생리학의 미래 유망 연구주제를 단·중기(10년 이내)와 장기(10년 이후)로 구분하여 전망함.
- 기초과학 연구는 아이디어가 완성되어 학계에 알려져 주목을 받고 우수연구로 인정받는데 상당한 기간이 소요됨. 따라서 지금 많은 학자들이 연구하고 있는 연구 주제는 선구자적인 학자가 이미 시작한 주제로 그 선구자적인 학자가 징후적 지시자를 수상한 연구라고 할 수 있음. 따라서 10년 이내 단·중기 유망 연구 주제는 징후적 지시자에 의하여 예측할 수 있음.
- 징후적 지시자를 수상하였지만 아직 노벨상을 수상하지 않은 주제로서 현재에도 많은 학자들이 지속적으로 연구를 수행하는 연구를 단·중기 유망연구 주제로 선정 하였음. 그 연구 주제로서 징후적 지시자를 수상한 선구적 학자는 그 주제가 노벨상을 수상할 경우 수상 가능성이 가장 큰 학자임.
- 장기 유망과제는 국내외 학술연구기관, 저명학자, 언론기관에서 예측한 각종 결과를 종합하여 공통적으로 유망하다고 예상하는 연구주제를 선정하였음. 10년 이후 수십 년에 걸친 기간을 예측하는 것은 특정한 연구주제를 예측하기보다 연구의 방향을 폭넓게 예상한 것이라고 할 수 있음.

다. 단·중기 전망

- 물리학 부문

① 입자물리학	
연구주제	징후적 지시자 ⁹⁾ 와 수상 학자
• 중성미자의 질량 측정	톰슨로이터(07) & 노벨심포지엄(04-129) Arthur McDonald & Yoji Totsuka
• 끈이론 및 양자크로모역학	톰슨로이터(02) & 노벨심포지엄(03-127) Michael Green & John Schwarz & Edward Witten
• 아원자입자의 비대칭화에 의한 질량생성 연구	울프(04) Francois Englert & Peter Higgs
• Particle physics and Universe	노벨심포지엄(98-110)
• Particle traps and related fundamental physics	노벨심포지엄(94-91)

9) 노벨심포지엄은(개최 연도-심포지엄 번호)를 의미.

② 천체물리학

연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
• 우주 특이점의 필요성과 블랙홀 특성을 보인 일반상대성 이론의 발전을 위한 연구	울프(88) & 톰슨로이터(08) Roger Penrose 울프(88) Stephen Hawking
• 우주팽창 이론	톰슨로이터(06) Alan Guth & Andrei Linde & Paul Steinhardt
• 은하계 형성과 성질에서 암흑 물질 중요성 연구	톰슨로이터(07) Martin Rees
• 은하계의 회전관련 문제	톰슨로이터(08) Vera Rubin
• 우주배경복사에 관한 WMAP 실험	톰슨로이터(10) Charles Bennett & Lyman Page & David Spergel
• Barred Galaxies and Circumnuclear activity	노벨심포지엄(95-98)
• Birth and early evolution of our universe	노벨심포지엄(90-79)

③ 응집물질 물리학

연구주제	징후적지시자와 수상 학자
• 금속 내 전자 운동에 관한 이론연구	울프(85) Conyers Herring & Philippe Nozieres
• 저차원등 특이 구조 응집체 이론연구	울프(90) David Thouless, 울프(02) Bertrand Halperin, 노벨심포지엄(NJC91-1)
• 특이 전하와 스핀정렬 전이금속산화물 합성 및 특성연구	톰슨로이터(02) Yoshinori Tokura
• 질화갈륨 LED	톰슨로이터(02) Shuji Nakamura
• 저차원 탄소나노물질 연구	톰슨로이터(07) Sumio Iijima
• 표면 플라즈몬 포토닉스	톰슨로이터(10) Thomas Ebbesen
• 포토닉 밴드갭 물질의 개발 및 응용	톰슨로이터(11) Sajeev John & John Yablonovitch
• 약화된 자성 반도체의 강자성 연구	톰슨로이터(11) Hideo Ohno

④ 광학/원자분자 물리학

연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
• Aharonov-Bohm effect와 Berry phase같은 양자 위상기하학적 상의 발견과 타 물리 분야에 적용연구	울프(98) & 톰슨로이터(09) Yakir Aharonov & Michael Berry
• 수소메이저, 리드버그원자, 보즈-아인슈타인 응축을 포함한 수소 원자물리 연구	울프(05) Daniel Kleppner
• EDFA(Erbium-doped fiber amplifier) 레이저 개발	톰슨로이터(06) Masataka Nakazawa & David Payne
• 양자컴퓨팅과 양자정보이론	톰슨로이터(09) Juan Cirac & Peter Zoller 노벨심포지엄(09-141)
• 음의 굴절률을 가진 새로운 물질 개발 및 응용	톰슨로이터(09) John Pendry & David Smith
• 벨 부등식 관련 실험과 양자적 얽힘에 관한 연구	울프(10) & 톰슨로이터(11) Alain Aspect & John Clauser & Anton Zeilinger

④ 광학/원자분자 물리학	
연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
<ul style="list-style-type: none"> 초전도 조지프슨 접합(Josephson Junction)과 같은 초전도 큐비트(quantum bit, qubit)에 대한 연구, 양자얽힘 및 decoherence, 양자측정과 에러 수정에 관한 연구 	노벨심포지엄(01, 09)
<ul style="list-style-type: none"> Modern studies of Basic Quantum concepts and phenomena 	노벨심포지엄(97-104)
<ul style="list-style-type: none"> Heavy ion spectroscopy and QED effects in atomic systems 	노벨심포지엄(92-85)

⑤ 통계역학/기타 측정관련연구	
연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
<ul style="list-style-type: none"> 카오스현상의 비선형 시스템 연구 	울프(86) Mitchell Feigenbaum & Albert Libchaber
<ul style="list-style-type: none"> 피코미터수준 정밀도의 Aberration-corrected electron microscopy개발 	울프(11) Maximilian Haider & Harald Rose & Knut Urban
<ul style="list-style-type: none"> Quantum Chaos 	노벨심포지엄(00-116)

○ 화학 부문

① 반응속도 및 반응동역학(실험 물리화학)	
연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
<ul style="list-style-type: none"> 단분자 분광학을 활용하여 실시간 분자 수준 반응 연구 	울프(08) & 노벨심포지엄(NCS01-2/08-138) William Moener 노벨심포지엄(05-131/08-138) Toshio Yanagida & Sunny Xie & Carlos Bustamante
<ul style="list-style-type: none"> 레이저 활용 각종 분자 반응 메커니즘 연구 	울프(05) & 노벨심포지엄(NCS01-2/05-132) Richard Zare
<ul style="list-style-type: none"> 단백질등 생화학물 전자이동 연구 	울프(04) Harry Grey
<ul style="list-style-type: none"> DNA에서 전하이동연구 	툼슨로이터(09) Jacqueline Barton & Bernd Giese
<ul style="list-style-type: none"> Nanoscopy 	노벨심포지엄(08-138/11-149) Stephan Hell

② 화학결합 및 반응 이론연구(이론 물리화학)	
연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
<ul style="list-style-type: none"> 화학반응과정에서 에너지 전이와 동역학적 선택성 연구 	울프(88) & 노벨심포지엄(96-101) Joshua Jortner 울프(88) & 노벨심포지엄(00-117) Raphael Levine 울프(11) Stuart Rice
<ul style="list-style-type: none"> 생화학분자의 분자동역학 시뮬레이션 	툼슨로이터(11) & 노벨심포지엄(96-101/08-138) Martin Kaplus

③ 유기화학

연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
• 천연유기화합물의 합성, 입체화학, 반응 메커니즘 연구	울프(86) Albert Eschenmoser 울프(89) Duilio Arigoni & Alan Battersby 톰슨로이터(02) K.C. Nicolaou 톰슨로이터(06) David Evans & Steven Ley
• 고전적 합성 방법으로 달성하기 힘든 새로운 유기화학반응 개발	울프(94) & 노벨심포지엄(95-97/05-132) Richard Lerner 울프(94) & 노벨심포지엄(95-97/NCS01-2) Peter Schultz 톰슨로이터(07) Dieter Seebach
• 생물학적, 의학적 주요 화합물 합성을 위한 새로운 합성법 개발	울프(95) Gilbert Stork 울프(95) & 톰슨로이터(07) Samuel Danishefsky 톰슨로이터(09) Benjamin List
• 생물유기화학 및 화학생물학	톰슨로이터(06) Stewart Schreiber 톰슨로이터(07) Berry Trost

④ 분석화학

연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
• 주사전기화학 현미경의 개발과 응용	울프(08) & 톰슨로이터(11) Allen Bard
• EPR/NMR의 스핀라벨 기술에 의한 복잡한 화합물의 구조연구	울프(83) Harden McConnell
• DNA microarray의 발명 및 응용	톰슨로이터(10) Patrick Brown

⑤ 무기화학

연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
• 다양한 결합의 금속원자 클러스터에 기초한 전이금속화학 연구	울프(00) Frank Cotton
• 생물무기화학의 선구적 연구	톰슨로이터(10) Stephan Lippard
• 전이유기금속의 합성과 응용	톰슨로이터(06) Tobin Marks

⑥ 생화학

연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
• NMR을 사용한 RNA와 단백질의 구조결정	톰슨로이터(02) Adriaan Box
• 광합성관련 생화학분자의 구조와 반응 연구	울프(06) George Feher
• Systems Biology	노벨심포지엄(09-146) Marc Vidal & Bernhard Palsson
• Chaperonin에 의한 단백질 접힘 연구	노벨심포지엄(NCS01-2/05-132) Arthur Horwich 래스커(11) & 톰슨로이터(09)

⑦ 고분자화학(거대분자), 재료화학(나노화학), 환경화학 등	
연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
• 나노 자기 조립	노벨심포지엄(NCS01-2) & 톰슨로이터(02) Fraser Stoddart 톰슨로이터(02) Seiji Shinkai & George Whiteside 노벨심포지엄(05-132) Julius Rebek
• 나노와이어와 나노물질의 응용	톰슨로이터(08) Charles Lieber
• 나노입자의 생물학적 이미징 응용	노벨심포지엄(08-138) Paul Alivisatos
• 유기 고분자 재료의 합성과 응용 • OLED와 유기 태양전지의 기초이론	울프(11) & 톰슨로이터(08) Krzysztof Matyjaszewski 울프(11) Ching Tang
• 태양전지재료 연구 (다공성 금속-유기 골격체의 합성과 응용)	톰슨로이터(09) & 노벨심포지엄(NJS91-2) Michael Gratzel 톰슨로이터(10) Susumu Kitagawa & Omar Yaghi
• 덴드리머의 합성과 응용	톰슨로이터(11) Jean Frechet & Donald Tomalia & Fritz Vogtle
• 지구상 생명의 근원에 관한 화학	노벨심포지엄(02)
• Cosmic Chemistry와 Molecular Astrophysics	노벨심포지엄(06-133)

○ 생리의학 부문

① 면역학 분야	
연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
• T 면역세포 발견(TH1 & TH2)	톰슨로이터(11) Robert Coffman & Timothy Mosmann
• 흉선 기능 규명 및 포유류에서 T세포와 B세포 발견	톰슨로이터(11) Jacques Miller
• 임상학과 전염병학에 메타 분석(meta-analysis) 적용	톰슨로이터(08) Richard Collins & Richard Peto
• 감마-포지티브 박테리아에 의한 급성 감염	노벨심포지엄(09)
• 결핵 예방과 치료	노벨심포지엄(00)
• HIV 치료법/백신 개발	노벨심포지엄(01)
• 조직 공학 및 재생의학 선구적 연구	톰슨로이터(11) Robert Langer & Joseph Vacanti
• 포유류에서 X-chromosome의 비활성에 관한 연구	울프(97) Mary Lyon

② 유전(자) 조절분야	
수상 연구	징후적 지시자와 수상 학자
• DNA repair & cell destroy 유전자 p53 역할 연구	톰슨로이터(02) Bert Vogelstein
• 암 발생의 돌연변이 효과를 설명하는 Knudson hypothesis 제안	톰슨로이터(02) Alfred Knudson

② 유전(자) 조절분야

수상 연구	징후적 지시자와 수상 학자
• microRNA	래스커(08) & 톰슨로이터(08) Victor Ambros & Gary Ruvkon 래스커(08) & 울프(10,농학) David Baulcombe
• 진핵세포 RNA 중합효소 및 동물세포의 일반적인 전사 기구에 관한 선구적인 연구	래스커(03) Robert Roeder
• Human Genome Project	톰슨로이터(02) Francis Collins & Eric Lander & Craig Venter
• DNA profiling 기술 개발	톰슨로이터(06) Alee Jefferys
• Southern Hybridization과 DNA fingerprinting 방법개발	래스커(05, 임상) Alec Jeffreys & Edwin Southern
• 유전자 발현 조절의 DNA methylation의 역할 연구	울프(08) Howard Cedar & Aharon Razin
• 유전자를 조작하여 쥐의 난자와 배아에 적용하는 연구	울프(02) Ralph Brinster
• 발생과 질병에서 후성유전학적 재프로그래밍	노벨심포지엄(04-128)

③ 세포생리학 분야

연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
• 핵호르몬 수용체의 superfamily의 발견 및 배아발달과정과 다양한 대사과정을 조절하는 통합된 메커니즘의 발견	래스커(04) & 톰슨로이터(06) Pierre Chambon & Ronald Evans & Elwood Jensen
• 세포내 세포막간 신호전달, 특히 inositol triphosphate의 역할 규명	톰슨로이터(02) Michael Berridge
• 세포내 신호전달과 분자수준에서 관련 단백질 연구와 질병치료를 위한 응용연구	울프(05) Alexander Levitzki & Anthony Hunter & Anthony Pawson
• 시스템 생물학	노벨심포지엄(09-146)
• 단백질 접힘, 그리고 관련된 단백질 샤페론(chaperone) 규명	래스커(11) & 톰슨로이터(07) Franz-Ulrich Hartl & Arthur Horwich 톰슨로이터(07) John Ellis
• 막 운반체 이동(vesicle transport)	래스커상(02) & 톰슨로이터(09) James Rothman & Randy Schekman
• 라이소좀 저장병에 관한 생화학적 연구	울프(88) & 래스커(94, 임상) Elizabeth Neufeld
• 질병에서 Cell Cycle과 세포사멸(Apoptosis)	노벨심포지엄(10-144)
• 지방세포(Adipocyte) : multifunctional cell	노벨심포지엄(06-134)

④ 기타분야

연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
• 최초의 줄기세포 추출 실험	래스커(05) & 톰슨로이터(10) James Till

④ 기타분야	
연구주제	징후적 지시자와 수상 학자
• 역분화 만능 줄기세포 연구와 그 응용 연구	래스커(09) & 울프(11) & 톰슨로이터(10) Shinya Yamanaka 울프(89) & 래스커(09) John Gurdon 울프(11) Rudolf Jaenisch
• 포유류 뇌의 신경발생(neurogenesis)	톰슨로이터(07) Fred Gage
• fMRI	톰슨로이터(09) Seiji Ogawa
• 인간정신의 고유한 특징 이해 : 복합적 인지의 신경과학	노벨심포지엄(10-145)
• 유전자, 뇌 그리고 행동	노벨심포지엄(08-137)
• Proto-oncogene Ras의 발견 및 Tumor Suppressor 개념 도입	울프(04) & 톰슨로이터(02) Robert Weinberg
• 암치료를 획기적인 치료제 개발을 위한 연구	울프(10) Axel Ullrich
• 비만연구의 획기적 진전을 가능하게 한 식욕 조절 호르몬 leptin의 발견	래스커(10) & 톰슨로이터(10) Douglas Colman & Jeffrey Friedman
• 골수 백혈병의 획기적 치료제 imatinib(Gleevec)와 dasatinib(Sprycel)개발	톰슨로이터(11) Brian Druker & Nicholas Lydon & Charles Sawyers
• 관상동맥성심장병 치료에 획기적인 LDL-콜레스테롤을 낮추는 치료제 Statin 개발	래스커(08, 임상) Akira Endo
• Affinity chromatography의 개발과 생의학적 응용	울프(87) Pedro Cuatrecasas & Meir Wilcheck
• 패혈증과 쇼크 : 발병과 새로운 치료법	노벨심포지엄(03-124)

라. 장기 전망

- 장기 전망에 최근 교육과학기술부에서 시행한 “기초과학연구 100대 유망 연구 영역 선정”을 위한 기획연구¹⁰⁾에서 물리, 화학, 생명과학/의약학 부문의 주제를 포함하였음.
- 물리학 부문은 2003년 노벨 물리학상 수상자인 진즈부르크(Vitaly L. Ginzburg)가 21세기 물리학의 “Physics minimum 30”으로 제시한 것¹¹⁾, 2004년 노벨 물리학상 수상자인 데이비드 그로스(David J. Gross)가 2005년 1월 CERN에서

10) 백동열 등, 「기초과학연구 100대 미래유망 분야 선정을 위한 기획 연구」(더비앤아이, 2011); 교육과학기술부, 「기초연구 100대 미래유망 분야 선정결과 및 활용방안(안)」(2011) 참조.

11) Vitaly L. Ginzburg, “On Superconductivity and Superfluidity,” *Nobel Lecture* (2003), pp. 96-127.

행한 강연 “Future of Physics”의 내용¹²⁾, 저자 John R. Vocca가 노벨 수상자 40여명을 비롯하여 60여명을 인터뷰하여 저술한 “The world's 20 greatest unsolved problem”¹³⁾에 제안한 주제 중에 물리학에 관련된 9개의 주제를 종합하였음.

○ 미래의 물리학이 나아갈 방향성을 다음과 같이 요약·정리 할 수 있음.

- 입자의 구조, 더 나아가 근본적인 대통일장이론의 유효성 여부
- 우주의 근원과 구조
- 새로운 응집물질의 개발과 그 이론
- 양자역학의 더욱 근본적인 이해와 그의 응용
- 생명체를 포함한 복잡계의 물리학적 이해

○ 화학 부문은 *Scientific American* 2011년 10월호에 나온 “10 Unsolved Mysteries in Chemistry”¹⁴⁾, 2009년 *Nature Chemistry* 창간호에 발표된 “The Future of Chemistry”¹⁵⁾, 2011년 화학의 해를 맞이하여 *Nature* 2011년 1월 6일호에 나온 “What lies ahead”¹⁶⁾의 내용, 그리고 역시 John R. Vocca의 “The world's 20 greatest unsolved problem”에 제안한 주제 중에 화학에 관련된 4개의 주제를 종합하였음. 미래의 화학이 나가야할 방향성을 다음과 같이 요약할 수 있음.

- 분자 수준에서 다양한 화학반응의 이해
- 원하는 성능과 구조의 화합물의 효율적 합성방법
- 에너지의 효율적 생산과 저장, 활용을 위한 화학
- 환경친화적인 화학반응 고안
- 복잡한 생체 화학반응의 근본적 이해를 통하여 의약품 개발

12) 데이비드 그로스의 CERN 강연 동영상과 강연 자료는 다음 사이트에서 볼 수 있다.
[http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=a05302\(2012. 1. 15. 접속\)](http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=a05302(2012. 1. 15. 접속))

13) J. C. Biro, “Seven Fundamental, Unsolved Questions in Molecular Biology,” *Medical Hypotheses* 63(2004), p. 951–962.

14) Philip Ball, “10 Unsolved Mysteries in Chemistry,” *Scientific American* 305:4(2011), pp. 48–53.

15) Ryoji Noyori etc., “The Future of Chemistry,” *Nature Chemistry* 1(2009. 4), pp. 5–15.

16) Paul Wender etc., “What Lies Ahead,” *Nature* 461(2011), pp. 23–25.

○ 생리학 부문은 노벨 생리학상 수상을 주관하는 카롤린스카 연구소의 비로 (J. C. Biro)가 2004년 *Medical Hypotheses*에 발표한 “Seven fundamental, unsolved questions in molecular biology”를 정리하여 포함하였고, 역시 John R. Voocca의 “The world's 20 greatest unsolved problem”에 제안한 주제 중에 생명과학에 관련된 5주제를 정리하였음. 미래의 생리학 부문이 나가야 할 방향성을 다음과 같이 요약할 수 있음.

- 인간의 면역체계의 근본적인 이해와 이를 응용하는 새로운 질병 대응 연구
- 유전자로부터 시작되어 작용하는 각종 생리현상의 분자수준 이해
- 세포내의 복잡한 반응 네트워크의 근본적인 이해
- 인간의 주요 질병의 근본적 원인과 치료법
- 노화의 원인 규명과 장기를 대체하는 연구
- 인식의 과학적 규명 등 뇌 연구
- 생리학 연구에 중요한 진전을 보일 수 있는 연구방법 또는 장비 개발

Ⅲ. 우수 연구 주제 형성 과정 탐구



1 노벨상 수상자들의 우수 연구 주제 형성 사례 연구

- 좋은 주제, 좋은 문제를 선택하는 것은 좋은 연구로 나아가는 첫 걸음임. 1967년 노벨 화학상을 수상한 만프레드 에이겐(Manfred Eigen)은 노벨상 수상자들과 그보다는 좀 더 평범한 연구자들 사이의 가장 중요한 차이를 **좋은 문제를 구별해 내는 능력**에서 찾았음. 노벨상 수상자들은 여러 문제들 중에서 해결 가능한 문제를 선별하여, 거기에 집중함으로써 좋은 성과를 얻을 수 있다는 것임.
- 과학탐구를 다루는 많은 연구들은 문제가 이미 주어졌다고 전제한 뒤, 그 문제를 어떻게 해결했는가에 초점을 두고 해결 방식과 그 방식에 영향을 미친 요인들을 찾는 데 주력해 온 반면, 좋은 문제를 어떻게 형성하는가에 대한 연구는 상대적으로 거의 간과되어 왔음. 한 연구결과로, 노벨 수상자들의 뛰어난 능력의 원천을 수상자들의 좋은 문제를 선별할 줄 아는 특별한 감(feeling)과 선호(preference), 신념(belief) 등을 지니고 있다고 주장했지만, 그것을 초인지(extracognitive)적인 능력으로 평가하면서 더 이상의 분석을 시도하지는 않았음.¹⁷⁾
- 이 연구에서 다음 10명의 노벨수상자들의 자서전이나 회고를 중심으로 그들이 어떻게 연구 주제를 형성해 나갔는지를 검토 분석하여 좋은 연구주제 형성을 위한 요인을 도출함.
 - 베르너 하이젠베르크(Werner Heisenberg, 1901~1976) : 1932년 물리학상
 - 레프 다비도비치 란다우(Lev Davidovich Landau, 1908~1968) : 1962년 물리학상. 2002년 물리학상 수상자 레프 다비도비치 란다우(Lev Davidovich Landau, 1908~1968)를 포함한 문학생들의 란다우학과
 - 스티븐 추(Steven Chu, 1948~) : 1997년 물리학상
 - 앙드레 가임(Andre Geim, 1958~) : 2010년 물리학상
 - 리처드 스몰리(Richard E. Smalley, 1943~2005) : 1996년 화학상

17) Larisa Shavinina, "Explaining High Abilities of Nobel Laureates", *High Ability Studies* 15:2(2004), pp. 243-254.

- 오사무 시모무라(Osamu Shimomura, 1928~) : 2008년 화학상
- 로저 쩌엔(Roger Y. Tsien, 1952~) : 2008년 화학상
- 조지 펄라디(George E. Palade, 1912~2008) : 1974년 생리의학상
- 도네가와 스스무(Tonegawa Susumu, 1939~) : 1987년 생리의학상
- 피터 도허티(Peter C. Doherty, 1940~) : 1996년 생리의학상

2 우수 연구 문제 형성을 위한 요인

○ Big Question과 연결이 중요하다.

- Big Question과의 연결을 통해 문제를 형성해 가는 과정은 양방향적이라고 할 수 있음. 그 한 방향은 Big Question에 있는 문제가 무엇인지를 파악하고 그 문제를 해결할 수 있는 방향을 찾아나가는 것이고, 다른 방향은 연구자가 가진 질문을 Big Question과 연결시켜 나가는 것임. Big Question과의 양방향성 관계를 한 마디로 표현한 것이 바로 하이젠베르크의 말이라 할 수 있는데, 그는 Big Question을 선택하되 문제 자체는 작고 깊어야 한다고 강조했다.

○ 연구 주제 탐색을 위한 ‘적절한’ 수준의 리뷰가 필요하다.

- 스티븐 추가 박사학위를 마치고 처음 벨연구소에 갔을 때 그의 상사는 추에게 당장 연구에 뛰어들 생각을 하지 말고 6개월 동안 도서관에서 연구 문제를 탐색하라고 충고했으며, 추는 이 조언을 충실히 수행하는 과정에서 새로운 분야를 개척하는 연구 주제를 찾음. 앙드레 가임은 선행 연구를 지나치게 많이 볼 경우, 벌써 그 문제에 대해서는 모든 연구가 다 되어 있는 것처럼 여겨져서 오히려 연구 문제 탐색을 방해할 수도 있기 때문에 잘 정리된 3~4편의 논문이면 충분하다고 지적했음.

○ 동료와의 협력을 위한 커뮤니케이션이 중요하다.

- 오늘날 대부분의 과학자들은 연구실 내의 동료들 혹은 다른 연구소의 과학자들과 공동 연구를 수행하고 있음. 따라서 오늘날 과학자에게 요구되는 덕목은 ‘고독한 천재’가 아니라 ‘동료들과 소통’이라고 할 수 있음. 조지 펄라디는 복잡한 아이디어들을 매우 간결하고 쉽게 표현하는 소통 능력을 통해 다른

사람들과의 협력 연구를 효과적으로 이끌어낼 수 있었기에 록펠러 연구실을 세포생리학 연구의 메카로 만들 수 있었고 노벨상 수상의 연구를 할 수 있었음.

○ (주 연구 문제 외에) 2차 탐구 주제를 개발하는 것이 필요하다.

- 앙드레 가임의 사례를 보면, ‘탐험적인 우회’라고 할 수 있는 2차 탐구 주제에서 새로운 현상을 발견한 이후 이 실험이 어떤 Big Question과 연결될 수 있는가에 대해 고민하고, 기존의 연구 및 이론에 대한 리뷰를 통해 이 현상을 좋은 연구 문제로 발전시켜 나갔음. 이런 과정을 거쳐, 그의 전공과 동떨어져 있던 2차 탐구 주제는 그의 새로운 전공 영역이자 주 연구 영역이 되었음.

○ 최신 혹은 타분야의 분석 방법(기구)에 관심을 가지는 것이 중요하다.

- 도네가와 스스무도 당초 잘 모르던 분자생물학의 최신 연구 방법들을 새로이 공부하여 이를 면역학 연구에 도입함으로써 항체 형성의 유전학적 원리를 규명할 수 있었고 이로 인해 1987년 노벨 생리의학상을 받았음. 다른 분야 혹은 최신의 분석 방법(기구)을 섭렵하여 이를 자신의 연구 주제에 적용해보는 것은 문제해결에 도움이 될 뿐만 아니라 새로운 영역을 개척하는 데도 도움이 될 수 있음.

○ 이와 같이 5개의 주요 요인 이외에도 노벨상 수상자들의 연구주제 형성과 연구 과정의 주요 요소에는 다음과 같은 것들을 고려할 수 있을 것임.

- 다양한 경험과 그것들을 활용하는 방안을 생각하라
- 연구 환경에 맞는 연구 주제를 선택하라
- 자연을 심문(審問)하라.
- 과학 이외에도 관심을 가져라
- 자유스럽게 쉬는 시간도 필요하다
- 최초가 중요하다
- 운도 필요하다

IV. 연구 활용 방안



1 유망연구 전망과 그 의미

- 노벨과학상의 최근 추세를 보면 수상을 하게 된 연구를 한 시기와 실제 수상을 하게 된 시기 사이에 평균적으로 15~20년 이상의 시간차를 보이고 있음. 수상자는 노벨상 수상 평균 5년 이전에 징후적 지시자를 수상함. 우리나라 학자(외국 거주학자 포함하여)는 징후적 지시자 풀 안에 없기 때문에 앞으로 10년 정도 내에 노벨 과학상 수상 가능성은 희박하다고 예상할 수 있음.
- 중단기 유망 주제로 선정된 연구들은 현재 한창 진행 중이거나 이미 어느 정도 성과를 이룩한 과제들로, 그 중요성을 이미 과학계에서 인지한 연구들이라 할 수 있음. 이는 이 주제가 이미 저명 학자들에 의해 선점되어 있을 가능성이 높다는 것을 의미하기 때문에, 이와 같은 주제의 경우 응용과 활용 목적이 아닌, 기초적이고 사소한 세부 주제를 연구하는 것은 큰 의미가 없음.
- 중단기 유망 주제 조사에 따르면 5~10년 이내에 노벨과학상 후보로 예상되는 학자 중에는 한국 학자가 거의 포함되어 있지 않음. 따라서 정부의 노벨과학상 수상을 위한 지원은 최소 15~20년, 현실적으로는 그보다 더 먼 미래를 겨냥해야 할 것임.
- 10년 이상의 미래를 내다보는 장기 유망 주제들은 큰 틀에서 중요한 주제들을 제시하고 있으나, 구체적인 문제들과 접근법은 아직 미정인 상태라고 할 수 있음. 따라서 이런 주제들에 대해 창의적이고 도전적인 연구를 할 수 있도록 장려하는 연구 환경 조성 및 연구지원시스템이 확립되어 있어야 함. 특히, 이런 주제들은 실패를 통해 경험을 축적하여 큰 성과를 얻는 경우가 많으므로, 실패 위험성이 높지만 그 보상 또한 큰(high risk, high return) 연구를 장려하고 단기적인 실패를 용인해 주는 연구지원시스템이 마련될 필요성이 있음.
- 노벨과학상 수상자들의 문제 형성 과정을 살펴보면 그들도 다양한 주제를 시도 하는 과정을 통해 우수 연구 주제를 발굴하고 있음을 알 수 있음. 또한 유망 주제를

발굴했다고 할지라도 그 중요성이 인정받기까지는 상당한 시간이 소요되므로, 이런 다양한 시도들을 누적적으로 활용할 수 있도록 도와주는 기초과학분야에 대한 장기적인 지원 시스템이 확립되어야 할임.

2 정책적 활용 방안

- 그 동안 정부의 과학기술지원 방향은 기초연구지원 사업조차도 ‘선택과 집중’이라는 전략 아래 이미 연구 실적이 누적된 학자들을 선정하여 집중 지원하는 방향을 선호해 왔음. 본 연구에 의하면 현재 집중 지원을 받아 온 중견 우수 학자들 중에서도 처음으로 시도하여 그 분야를 개척한 학자가 없기 때문에 노벨상에 근접한 우리나라 학자는 거의 없음. 따라서 우수한 학자가 배출될 수 있는 분위기를 조성하기 위해서는 지금이라도 **소형과제를 다수에게 지원하는 방향으로 전환**하여야 함.
- 이미 개척된 분야에서 당장 우수 학술잡지에 나올 수 있는 논문을 생산하는 추적형 연구보다는, 오히려 연구논문이 당장 우수 잡지에는 실리지는 않고 인용 횟수의 업적이 부족하더라도 새로운 학문을 연구하는, 즉 Cha-Cha-Cha이론에서 임무형이나 도전형의 **창조적 문제 해결에 도전하는 분위기**를 만들어야 할 것임.
- 장기적 소형과제를 수행한 학자 중에 창조적인 문제에 의하여 **새로운 분야를 개척하고 있다는 학계의 평가를 토대로 하여 집중 지원하는 사업과 연계하여 세계적인 학자를 육성**하여야 할 것임.
- 단순히 논문수나 논문인용횟수 등의 지표상 우위에 있는 학자가 인정받는 것이 아니라 창조적인 주제를 연구하여 새로운 학문분야를 개척하는 것을 인정받는 학계의 분위기를 만들려면 **연구과제 심사과정에도 변화**가 있어야 함. 연구업적과 연구계획을 동시에 심사하는 절충적인 방법 외에 완전히 업적만을 가지고 선정하여 지원하는 심사과정을 갖는 사업과 업적은 완전히 배제하고 연구계획에 높은 비중을 두고 심사하는 사업도 일부 만들어 **진정한 모험적 연구사업**이 추진되어야 할 것임.

- 집중 지원을 하는 대형사업을 시행할 때에 선정심사에서는 후보자의 연구 실적의 많고 좋음, 인용수의 많고 적음의 문제가 아니라 새로운 분야를 개척하였는가에 더 초점을 맞출 필요성이 있음. 왜냐하면 새로운 분야를 개척하면 그것에 관심을 갖는 학자들이 아직 적어 연구결과 인용횟수 등의 실적이 많지 않을 것이기에 창의성을 판단하는데 SCI논문의 수나 인용수는 적절한 지표가 아님.
- 진정한 연구 분위기를 만드는데 학계와 정부는 함께 노력해야 함. 연구를 좋아 하는 학자들과 어울려서 자유스럽게 토론하고 아이디어를 공유할 수 있는 분위기 형성이 매우 중요함. 이러한 분위기를 촉진·활성화하기 위한 방안으로 **자발적으로 연구 소모임을 형성할 수 있도록 유도하는 정책이 필요.**
- **신진 인력의 발굴 육성을 위한 환경 조성**이 매우 중요함. 신진 인력이 연구를 시작하는 초기에 연구환경이 만들어지지 않아 가장 왕성하게 연구할 시기에 교육 부문에 집중하면서 시간을 보내거나, 어렵게 신진연구지원사업에 선정된다하더라도 양질의 연구 환경 부족으로 인해 어려움을 겪고 있음을 고려할 때, 이를 타개할 수 있는 근본적인 정책 마련이 시급함.
- 그동안 홍보의 중요성 때문에 우수 학술잡지에 논문발표를 하면 언론에서 집중적으로 보도하는 방식의 홍보 전략을 정부가 주도하였는데, 이는 학자들에게 일종의 잡일을 만들게 할 뿐 아니라 언론에 자주 노출되는 학자가 우수한 학자이며, 마치 우수한 연구결과가 단기간 내에 좋은 연구결과가 나오는 듯 왜곡된 이미지를 학계나 일반인에게 심어주는 문제가 있음. 과학기술은 단기간 내에 무엇인가를 이룰 수 있는 것이 아니라 정말 **좋은 연구결과와 우수한 학자의 육성은 수 십년에 걸쳐서 이루어진다는 것을 알려야 할 것임.**

| 참고문헌 |

- Daniel E. Koshland Jr., "The Cha-Cha-Cha Theory of Scientific Discovery," *Science* 317(2007)
- Harriet Zuckerman, *Scientific elite: Nobel laureates in the United States* (New York : Free Press, 1977)
- J. C. Biro, "Seven Fundamental, Unsolved Questions in Molecular Biology," *Medical Hypotheses* 63(2004), p. 951-962.
- Larisa Shavinina, "Explaining High Abilities of Nobel Laureates," *High Ability Studies* 15:2(2004), pp. 243-254.
- Paul Wender etc., "What Lies Ahea," *Nature* 461(2011), pp. 23-25.
- Philip Ball, "10 Unsolved Mysteries in Chemistry," *Scientific American* 305:4 (2011), pp. 48-53.
- Ryoji Noyori etc., "The Future of Chemistry," *Nature Chemistry* 1(2009, 4), pp. 5-15.
- Vitaly L. Ginzburg, "On Superconductivity and Superfluidity," *Nobel Lecture* (2003), pp. 96-127.
- KISTEP 정책기획실·기술예측단, "미 MIT 선정, 2011년 10대 유망기술"(2011. 5. 23)
- 교육과학기술부, 「기초연구 100대 미래유망분야 선정결과 및 활용방안(안)」(2011)
- 백동열 등, 「기초과학연구 100대 미래유망 분야 선정을 위한 기획 연구」(더비앤아이, 2011)
- 임경순 등, 「노벨과학상 분석 및 접근전략 연구(위탁사업 : 2008-36)」(교육과학기술부, 2008)
- 차두원·이종률·장인호, 「노벨과학상 수상 현황 분석과 우리의 대응 방안(ISSUE PAPER 2010-15)」(KISTEP, 2010)

웹사이트

- <http://www.nobelprize.org>(노벨상 홈페이지)
- <http://ip-science.thomsonreuters.com/nobel/>(톰슨-로이터 인용상)
- <http://www.wolffund.org.il/main.asp>(울프재단 홈페이지)
- <http://www.laskerfoundation.org/awards/index.htm>(래스커재단 홈페이지)
- <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=a05302>(2004년 노벨 물리학상 수상자 데이비드 그로스의 2005년 CERN 강연 자료 "Future of Physics")

저자소개

| 전승준

고려대학교

☎ : 02-3290-3130

e-mail : sijeon@korea.ac.kr

| 조민행

고려대학교

☎ : 02-3290-3133

e-mail : mcho@korea.ac.kr

| 박민아

한국과학기술원(KAIST)

☎ : 042-350-4858

e-mail : bamiya@kaist.ac.kr

| 정성욱

서울대학교

☎ : 010-7724-4137

e-mail : bisesok@gmail.com

본 이슈페이퍼의 내용은
집필진의 견해이며
NRF의 공식적인 의견이 아님

NRF 2012_02호
ISSUE PAPER

노벨과학상 수상 연구주제 분석을 통한
미래 유망 기초과학 연구 지원 방안

| 발행일 | 2012년 3월

| 발행인 | 이승중

| 발행처 | 한국연구재단 : 대전광역시 유성구 가정로 201
TEL : 042-869-6114 / FAX : 042-869-6777
<http://www.nrf.re.kr>

| 편집 | 정책연구실 정책연구팀(042-869-6321)

| 인쇄처 | 미래기획(02-2273-5802~3)

ISSN 2234-0459

