

Paul J. Flory와 고분자과학

- 1. 플로리의 삶과 축합중합이론 형성과정 -

하 창 식

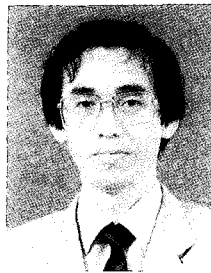
1. 서 론

고분자과학을 다룬 교과서에서 가장 많이 수록되는 학자의 이름은 아마도 Paul J. Flory(이하 플로리)일 것이다. 그만큼 고분자과학의 발전에 있어 넓은 분야에 걸쳐 탁월성을 발휘한 학자도 드물다는 이야기일 것이다. 플로리는 1910년 6월 19일 미국 일리노이주 스티어링(Sterling)에서 목사이자 교육자이던 에즈라(Ezra) 플로리와 학교 교사였던 마르타 버룸보(Martha Brumbaugh) 사이에서 태어났다. Huguenot-German계로서 미국에 이주한 후 6대째 처음으로 대학교육을 받은 부모의 영향으로 인디애나주에 있는 맨체스터 대학(Manchester University)을 다녔다(1931년 졸업). 여기서 화학과 교수였던 칼 W. 홀(Carl W. Holl)의 영향으로 화학에 관심을 가지게 되고, 오하이오 주립대학(OSU)에서 물리화학에 흥미를 느껴, 헤릭 엘 존스톤(Herrick L. Johnston)교수의 지도로 광화학(photochemistry)과 분광학(spectroscopy)에 관한 논문으로 박사학위를 받았다. 그는 1934년 학위취득 후 듀폰사(DuPont Company)의 중앙연구소에서 일했고, 1938년 듀폰을 떠나 신시네티 대학교(University of Cincinnati)에서 연구조교를 지내다, 제2차 세계 대전의 발발로 산업체의 요구가 있자, 스탠더드 석유개발회사(Standard Oil Development Company)의 옛소(Esso)(지금의 엑손(Exxon)) 연구소로 옮겨 3년간(1940-1943) 일하게 된다. 그 후 1943년 굿이어 타이어 고무회사(Goodyear Tire and Rubber Company)의 연구소에서 5년간을 근무하

다 1948년부터 코넬(Cornell) 대학에서 8년간을 근무하게 된다. 1956년부터 피츠버그에 있는 멜론 연구소(Mellon Institute, 현 카네기 멜론대학교 화학과)에서 연구소장일을 맡다가 1961년 스탠포드(Stanford) 대학 화학과에서 교수로 근무하였다. 1975년 은퇴하여, 명예교수로서 재직하면서, IBM에서 연구고문을 맡으며, 연구에 종사하다 1985년 휴양겸 미국화학회에서 발표할 원고를 준비하기 위해 캘리포니아주 몬트레이 근처의 빅 서(Big Sur)로 가던 중 차속에서 심장마비로 급서(急逝)하였다.^{1,2}

디 아보트(D. Abbot)가 펴낸 인명록 “화학자(Chemists)”에서는 플로리에 대해 다음과 같이 요약하고 있다.

폴 존 플로리는 합성 및 천연 고분자에 대한 연구로 1974년도 노벨화학상을 수상한 미국의 고분자 화학자이다. …… 플로리는 고무, 플라스틱, 섬유, 필름 및 단백질과 같은 거대한 분자로 구성된 물질의 조성과 물성에 대한 연구의 선구자였다. 그는 이들 물질들의 화학구조와



하창식

1978 부산대학교 화학공학과 (공학사)
1987 한국과학기술원 화학공학과 (공학박사)
1988~ 미국 신시네티 대학교 재료공
1989 학과 방문연구
1997~ 미국 스탠포드 대학교 화학공
1998 학과 방문연구
1982~ 부산대학교 고분자공학과 교수
현재

Paul J. Flory and Polymer Science(I)-Flory's Life and Evolution of Condensation Polymerization Theory
부산대학교 고분자공학과(Chang-Sik Ha, Department of Polymer Science and Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea)

물리적 성질을 관련짓기 위해 유연한 분자들의 크기와 형상의 이해가 얼마나 중요한가를 보여주었다. 중합기술을 발전시켰을 뿐만 아니라, 그는 고분자의 분석방법들도 고안해 내었다. 이들 물질들의 대부분은 그들 성분 길이를 증가시킬 수가 있는데 플로리는 한 분자사슬이 성장을 멈추기도 하고 다른 분자로 성장할 수도 있다는 사실을 발견하였다. …… 플로리는 그의 후기연구에서, 리가멘트(ligaments), 근육, 및 혈액 배셀(vessels)같은 천연 유기 조직들의 탄성과 합성 및 천연 플라스틱 재료들 사이의 유사점을 발견하고 이에 대한 많은 연구를 하였다.³

플로리의 탁월성은 물론 1974년도에 노벨화학상을 수상함으로써 객관적인 평가를 받았다. 그럼에도 불구하고 부분적으로 그의 생전의 업적이나 사회활동, 노벨상 수상 등에 대한 탁월성을 그의 논문들이나 그가 저술한 저서, 신문이나 잡지 기사 등을 통해 단편적으로 접할 뿐이지, 그의 학문과 사회활동에 대해 체계적으로 고찰한 연구논문은 전무한 실정이다.

본 총설에서는 플로리 교수가 발표한 350여편의 논문을 연대별로 분석하고, 그의 인생을 통해, 한 위대한 고분자 과학자의 걸어온 길을 살펴봄으로써, 그에게 적시적소로 주어진 기회와 그 기회를 통해 드러난 그의 학문적 탁월성을 체계적으로 고찰하고자 한다. 본 총설에서는 그가 이론 술한 학문적 업적 중, 특히 중합이론, 씨이터 조건(theta condition), 및 회전이성질상태(rotational isomeric state; RIS) 이론 확립과정에 국한하여 그의 탁월성과 기회에 대해서 고찰하고자 한다. 먼저 1편에서 플로리 교수의 삶과 축합중합이론 형성 과정에 대해 살펴보고 다음 2편에서 씨이터 조건 및 회전이성질상태(RIS) 이론 확립과정에 대해 살펴보고자 한다. 지면관계상 고무 탄성론과 고분자의 결정화에 관한 그의 연구에 대해서는 다루지 않을 예정이다.

2. 고분자과학사에 있어서의 플로리의 위치

고분자의 개념은 플라스틱과 고무, 각종 접착제, 및 도료 등과 같은 일상용품에서부터 항공우주산업에서 사용되는 각종 구조용품의 기초소재나 전자산업 등에서 응용되는 첨단제품에 이르기까지 광범위하게 사용되고 있는 오늘날에 이르기까지 아직도 일반대중들 사이에서는 그 개념이 생소할 정도로 70년

도 채 안되는 짧은 역사를 가지고 있다. 하물며, 유기화학의 한 분야로서, 고분자화학이 과학사의 한 페이지를 장식하기까지에는 스타우딩거(Staudinger)를 비롯한 수많은 학자들의 학문적 열정과 산업체를 통한 기술혁신의 피나는 노력이 있어 왔다.

특히, 고분자과학이 화학에서 하나의 독립된 분야로 자리매김을 하기 까지에는 스타우딩거의 공헌이 매우 컸다.⁴ 스타우딩거는 저분자화합물의 용액과는 분명히 다른 거동을 보이는 고분자 용액의 연구와 중합(polymerization)이라고 부르는 화학반응의 연구를 통해, 고분자(polymer) 혹은 거대분자(macromolecule)의 개념을 제안하였다. 처음 스타우딩거가 고분자의 존재를 제안했을 때는 화학자들 중에 거의 아무도 그의 말에 귀를 기울이지 않았다. 심지어 당시 노벨상 수상자들이었던 H. 윈랜드(Wienland), A. 윈도우(Windauw), 혹은 P. 캐러(Karrer)같은 대화학자들조차 스타우딩거의 예언자적인 제안을 비웃었을 정도였다.

1920년대 당시에 스타우딩거가 제안한 고분자의 존재에 대해 얼마나 이해가 부족했던가는 역시 고분자과학사에 있어서 거장 중의 한 사람이었던 H. 마크(Mark)의 저서에 나오는 다음과 같은 일화로 잘 알 수 있다.

그들 중의 하나가 스타우딩거에게 농담조로 이렇게 이야기 했다; 만일 당신이 동물원 전문가로 중앙아프리카를 탐험했다고 가정해 봅시다. 당신은 돌아와서 “콩고의 초원과 대평원에서 길이가 80미터이고 키가 20미터인 코끼리를 보았다”고 말하겠지요. 당신이 망원경사진으로 사진을 찍었다 해도 아무도 믿지 않을 겁니다. 그만큼 긴 자를 가지고 머리끝에서 발끝까지 실제 쟀 자료를 제시해야 될 것입니다(그러나, 실제로 스타우딩거는 고분자에 대한 어떤 척도도 가지고 있지 않았다).^{5,6}

마크는 당시 고분자에 대한 스타우딩거의 비판자엔 3그룹이 있었다고 했다. 그가 예언한 고분자를 믿을 수 없다는(incredible) 반응을 보이는 그룹이 있었는데, 고분자가 존재하는 것은 같은데 고분자화학을 독립적으로 고려하지 않아도 유기화학으로 충분히 다룰 수 있기 때문에 고분자의 개념이 불필요하다는(unnecessary) 주장을 하는 사람들이 있었는데, 결정학자들은 저분자화합물의 결정 연구를 통해 고분자의 개념을 결정 크기와 연관시켜 고분자라고 하는 크기의 물질이 존재할 수가 없다

(impossible)고 주장하는 부류의 사람들도 있었다.⁷

여하튼 스타우딩거의 선지자적 노력은 마크나 쿤(Kuhn), 나타(Natta), 캐로더스(Carothers)같은 학자들과 Schulz와 같은 그의 제자들의 노력으로 고분자의 정체는 점점 실체를 드러냄으로서 빛을 보기 시작했고,⁸⁻¹¹ 후학들의 고분자과학에 대한 솔한 업적에 힘입어 드디어 1953년 노벨화학상을 수상함으로써 보상을 받게 된다. 어쩌면, 스타우딩거가 노벨상을 수상함으로써 자신도 언급했듯이 고분자과학이 학문의 중요한 한 분야로서 자리매김을 하게 되었다고 볼 수 있다. 스타우딩거가 그의 저서의 서문에서 끝으로 언급한 그의 노벨상 수상이유에 대한 스웨덴 왕립학회의 수상발표문은 다음과 같다.

스타우딩거 교수님, 30년전 귀하께서는 화학분자가 어떤 크기를 가지게 되고, 이 큰 분자들은 우리세계에 중대한 역할을 담당하게 될 것이라고 예견하였고, 또 그에 대한 타당한 이유를 가지고 있었습니다. 귀하께서는 이른바 “고분자”가 형성될 수 있다고 주장하시고 유기화학자들이 무시했던 개념을 제시하시고, 고통스럽지만 용의주도한 실험적 증거들을 제시하셨습니다. 오랫동안 귀하의 견해가 동료들에 의해 거부당해왔다는 것은 더 이상 비밀이 아니며, 또 충분히 이해가 되는 일입니다. 고분자의 세계에서는 이제 거의 모든 것이 새롭고, 검증되지 않은 것이며, 오랫동안 확립되어 온 개념들은 수정되거나, 새롭게 창조되어지지 않으면 안되게 되었습니다. 고분자 과학의 발전은 더 이상 평화스러운 목가적 풍경같은 그림이 아닙니다. 시간이 지날수록 논쟁은 소멸되고 잠잠해져 갔습니다. 주요한 연구분야에 대해서는 의견일치가 이루어지고, 귀하의 선구자적인 성과는 점차 명확해져 가고 있습니다. 고분자과학 분야에서의 귀하의 업적으로 인해 자연과학과 재료문화에 기여한 귀하의 공로를 기념하여 왕립학회는 올해의 노벨상을 귀하께 수여하기로 했습니다.¹²

그러나, 역사적으로 고분자과학의 발전을 살펴보면, 고분자의 존재를 밝혀내고 거대분자란 이름을 명명하며 노벨상을 수상한 스타우딩거조차도 아직 고분자의 물리화학적 성질을 완전히 이해하지 못한 것을 여러 문헌을 통해 미루어 알 수 있다. 그중 대표적인 것이 스타우딩거는 고분자가 성냥개비같은 딱딱한 물질로만 생각했지 고무와 같은 물렁하고 부드러운 물질일 수도 있음을 간과했음이 마크의 저서에 잘 나와 있다.¹³ 실제로 스타우딩거는 고분자에 대해 설명하는 초청강연이 있을 때면 언제나 10-20

인치나 되는 긴 성냥개비 다발을 들고 다니면서 용액속에서의 고분자는 “딱딱한 막대”같다고 주장했다고 한다.¹⁴

이에 대해 H. 마크는 고분자를 “상당히 형태적으로 유연성을 가진(significant conformational flexibility)” 물질로 해석했다. 이에 대해서 스타우딩거는 늘 고분자과학의 창시자의 또다른 한 사람의 거장인 H. 마크의 연구결과에 대해 언제나 반감을 가졌었는데 이에 대해서는 주목을 끌만한 일화가 마크의 저서에 소개되어 있다.¹⁵ 마크가 자신이 펴낸 저서를 스타우딩거에게 줬을 때 걸장도 뜯지 않고 “미개봉”으로 돌려보내었다고 하고, 또 다른 책을 동봉했을 때 “과학이 아닌 선전물(not science, propaganda)”이라고 써 되돌려 보내었다고 한다. 나중에 H. 마크가 나찌의 위협을 피해 캐나다를 거쳐 미국 브룩클린 뉴욕주립 공과대학(Polytech Institute of New York at Brooklyn)에 정착하여 고분자과학 연구와 고분자과학 교육에 심혈을 기울이고 있을 때 스타우딩거를 초청했다. 그때 스타우딩거는 “이제야 마크가 고분자의 존재를 믿는구나(Now Mark believes in macromolecules.)”라고 했다는 일화를 위저서에서 전하고 있다.¹⁶

스타우딩거는 용액점도 연구로 비회합체(Non-aggregate)의 존재를 증명하고, 고분자의 존재를 예견하였으나 용액점도(미셀 콜로이드; micellar colloid)의 중요성에만 너무 집착한 반면 H. 마크는 고분자 물질의 용액점도 뿐만 아니라 기계적 물성의 중요성을 인식하고 고분자의 성질을 이해하는데 더 큰 노력을 기울였다. 그러나, 스타우딩거나 마크가 밝혀내지 못했던 고분자의 물리화학적인 거의 모든 성질은 플로리라고 하는 한 천재에 의해서 그 베일을 벗게 되었고 그러한 그의 업적은 1974년도 노벨화학상으로 증명이 되었다.

1974년도 노벨화학상 수상식에서 스웨덴 왕립학회(Royal Academy of Sciences, Sweden)가 플로리에게 화학상을 수여하면서 발표한 수상발표문은 다음과 같이 시작하고 있다.

올해의 노벨화학상은 고분자물리화학 발전에 근본적인 기여를 한 공로를 기념하여 폴 플로리에게 수여합니다.¹⁷

표 1은 고분자공학은 물론이고, 화학, 화학공학, 및 재료공학을 전공하는 학부 및 대학원생들을 위한 대표적인 2종의 고분자과학 교과서에 수록된 목차이

표 1. 2종의 대표적인 고분자과학 교과서의 목차일람표.

저자 및 서명	목 차	비 고*
R. H. Boyd & P. J. Phillips "The Science of Polymer Molecules" ¹⁸	1. Polymerization; an overview 2. Molecular weight and molecular weight distribution 3. Molecular weight determination 4. Polymerization; kinetics and mechanism 5. Three dimensional architecture; conformation and stereochemical configuration 6. The statistical behavior of conformally disordered chains 7. The interacting bond model for the average properties of coiling chains 8. Rubber elasticity 9. Solutions	Polymerization Polymerization Polymerization Chain configuration and dependent properties Frictional properties Frictional properties, chain configuration and dependent properties Rubberlike elasticity Thermodynamics of polymer solutions
L. H. Sperling, "Introduction to Physical Polymer Science" ¹⁹	1. Introduction to Polymer Science(Polymer synthesis and structure) 2. Chain structure and configuration 3. Molecular weight and sizes 4. Concentrated solution and phase separation behavior 5. The Amorphous state 6. The crystalline state 7. Polymers in the liquid crystalline state 8. Glass-rubber transition behavior 9. Crosslinked polymers and rubber elasticity 10. Polymer viscoelasticity and rheology 11. Mechanical behavior of polymers 12. Modern Topics	Polymerization Chain configuration and dependent properties Polymerization Thermodynamics of polymer solutions, frictional properties, chain configuration and dependent properties - Crystallization Liquid crystals Miscellaneous papers Rubberlike elasticity Frictional properties - -

* 여기서의 분류는 표 2에서 주어진 Selected Works of Flory의²⁰ 분류주제를 딴 것임.

며 표 2는 필자 나름대로 플로리의 논문을 주제별로, 발표년도와 논문수를 분석한 데이터이다. 이 표를 보면 플로리의 연구업적이 한 분야에 국한된 것이 아니고 고분자과학의 전분야에 걸쳐 이루어진 것임을 알 수 있다.

플로리 교수가 고분자과학의 거의 전분야에 걸쳐 탁월성을 발휘한 배경에는 그의 다양한 경력이 있다. 표 2에 정리하였듯이, 3년간의 옛소에서의 시간 동안(1940-1943) 그는 고분자용액론의 기본 이론을 확립하고 5년간의 굿이어 시절(1943-1948)엔 고분자의 결정화와 희박용액의 마찰성질에 대해 뛰어난 논문들을 발표하였다. 1948-1956년 코넬 시절을 끝내고 1960년까지 피츠버그에 있는 멜론 연구소에서 고분자연구소장(Polymer Research Executive Director)을 맡게 되는데 코넬과 멜론 시절을 통해 고분자 용액점도와 분자 차원(dimension)을 연

구하면서 이른 바 "씨이더 조건"의 이론을 정립하였다. 이 동안 겔화(gellation)와 망상구조(network), 고무탄성론, 비대칭분자의 용액상태에서의 액정의 형성 이론 등에 대한 주옥같은 논문들을 발표하였다. 아마도, 그의 경력에서, 듀퐁이나 굿이어 같은 고무제조회사의 적시적소의 기회가 없었다면 그가 발표한 훌륭한 논문 중엔 고무탄성이나 결정화에 관한 탁월한 이론들은 포함되지 않았을 것은 분명할 정도로 그는 그에게 주어진 기회를 최대한 활용하였음을 잘 알 수 있다.

한편, 플로리의 발표논문을 연대별로 정리하면서 플로리의 단독저자수 비율을 표 2에 정리하여 나타내었다. 이 표에서 보는 바와 같이 그의 단독저자 논문비를 보면, 그의 학문적 업적에서 그의 탁월성을 발견할 수 있다. 인문사회 관련 논문 발표의 관례와는 달리 자연과학 및 응용과학적 연구는 대부분

표 2. Flory의 논문을 발표년도 (1935-1984) 와 논문수로 분석한 데이터.

년도	논문수	단독저자 저자수	단독저자 비율 (%)	비 고	재직기관
1935	1	1	100	photochemistry	OSU
1936	1	1	100	oxidation	//
1937	3	3	100	polymerization에 관한 최초논문 포함	DuPont
1938	0	0	0		//
1939	2	2	100	polymerization	Cincinnati
1940	5	4	80	polymerization	//
1941	4	4	100	polymerization	Esso
				thermodynamics of polymer solutions에 관한 최초논문 포함	
1942	5	5	100	polymerization, thermodynamics of polymer solutions에 관한 2번째 논문 포함	//
1943	4	1	25	frictional properties of dilute polymer solutions, rubberlike elasticity에 관한 최초논문 포함	//
1944	4	3	75	thermodynamics of polymer solutions, rubberlike elasticity	Goodyear
1945	2	2	100	molecular weight, thermodynamics of polymer solutions	//
1946	5	3	60	polymerization, physical properties or vulcanization	//
1947	6	5	83	polymerization, crystallization에 관한 최초논문 포함	//
1948	4	0	0	polymerization, viscosity of rubbers	//
1949	8	4	50	polymerization, rubberlike elasticity, chain configuration and dependent properties에 관한 최초논문 포함	//
1950	8	3	37.5	Frictional properties of polymer solutions, synthesis, crystallization, and miscellaneous papers	Cornell
1951	10	0	0	frictional properties of polymer solutions, crystallization	//
1952	11	1	9	대부분 frictional properties of polymer solutions에 관한 논문, 부분적으로 thermodynamics of polymer solutions, crystallization 논문 포함	//
1953	9	2	22	frictional properties of polymer solutions, thermodynamics of polymer solutions	//
1954	5	0	0	대부분 crystallization에 관한 논문, 부분적으로 frictional properties of polymer solutions 논문 포함	//
1955	3	2	67	crystallization, frictional properties of polymer solutions	//
1956	6	3	50	liquid crystals, crystallization에 관한 최초논문 포함	//
1957	5	1	20	thermodynamics of polymer solutions, rubberlike elasticity, crystallization	//
1958	6	0	0	crystallization, rubberlike elasticity	//
1959	3	0	0	rubberlike elasticity, thermodynamics of polymer solutions	Mellon
1960	3	2	67	rubberlike elasticity	Mellon
1961	6	2	33	crystallization, chain configuration and dependent properties, rubberlike elasticity	//
1962	4	1	25	crystallization, rubberlike elasticity	Stanford
1963	6	1	16.7	crystallization	//
1964	10	2	20	chain configuration and dependent properties, thermodynamics of polymer solutions	//
1965	11	1	9	chain configuration and dependent properties, thermodynamics of polymer solutions	//
1966	13	1	7.7	chain configuration and dependent properties, thermodynamics of polymer solutions	//
1967	13	2	15.4	chain configuration and dependent properties	//
1968	14	0	0	thermodynamics of polymer solutions, chain configurations and dependent properties	//
1969	10	0	0	chain configurations and dependent properties	//

표 2. Flory의 논문을 발표년도 (1935-1984) 와 논문수로 분석한 데이터.

년도	논문수	단독저자 지자수	비율(%)	비 고	재직기관
1970	8	2	25	chain configurations and dependent properties	//
1971	8	1	12.5	chain configurations and dependent properties, thermodynamics of polymer solutions	//
1972	11	2	18	chain configurations and dependent properties, thermodynamics of polymer solutions	//
1973	8	5	62.5	chain configurations and dependent properties	//
1974	11	3	18	chain configurations and dependent properties, frictional properties of dilute polymer solutions	//
1975	6	1	16.7	chain configurations and dependent properties	//
1976	11	2	18	chain configurations and dependent properties	//
1977	10	3	30	chain configurations and dependent properties, thermodynamics of polymer solutions, rubberlike elasticity	//
1978	12	4	33.3	liquid crystals, chain configurations and dependent properties, rubberlike elasticity	Stanford and IBM
1979	6	2	33.3	liquid crystals, rubberlike elasticity	//
1980	6	1	16.7	chain configuration and dependent properties, rubberlike elasticity, liquid crystals	//
1981	6	1	16.7	chain configuration and dependent properties, liquid crystals, (molecular organization in micelles and vesicles)	//
1982	7	3	42.9	chain configuration and dependent properties, rubberlike elasticity, ((disorder and order systems by lattice method)	//
1983	6	0	0	chain configuration and dependent properties, rubberlike elasticity	//
1983	6	0	0	chain configuration and dependent properties, rubberlike elasticity	//
1984	13	2	15.4	liquid crystal, chain configuration and dependent properties, rubberlike elasticity	//

* 비교에 나타낸 주제는 Selected Works of Paul J.Flory에서²⁰ 분류한 주제별로 나타낸 것임.
()에 표시된 주제는 위 분류에서 벗어난 miscellaneous papers 중에서 특이한 논문을 나타낸 것임.

교수의 지도아래 대학원 학생들이 실험을 수행하여 이뤄지기 때문에 스승과 제자가 공동저자로 논문을 발표하는 것이 통상적이다. 따라서, 이러한 논문발표 관례로 볼 때 플로리 교수의 단독저자 비율이 일반적인 관례에 비해 매우 높은 비율을 차지하는 이유에는 여러 가지가 있을 수 있다.

먼저, 그의 학문적 명성에 힘입은 초청강연과 그에 따른 초청 논문 발표는 대개 단독저자로 발표할 수 있다. 그러나, 이 경우도 대부분은 제자가 원고를 준비해주게 되면, 스승과 제자가 함께 공동저자로 발표하는 경우가 많다. 이럴 때에 주로 지도교수 이름은 보통 이름 끝에 오는 저자(the last author)가 되는 것이 통례이며, 자신의 기여도가 가장 클 경우 저자이름의 맨 앞자리 즉 제 1저자(first author)를 차지하게 된다. 이런 점에서 볼 때 플로리 교수의 논문을 분석해 보면, 초청강연에 의한 경우도 대부분, 자신이 직접 자신의 이론을 재조명하여 스스로 논문을 작성했을 것으로 보인다. 그보다 더 중요한

사실은 대부분의 중요한 기념비적인 성과가 뛰어난 제자에 의해서 이뤄진 것보다는 플로리 자신이 먼저 기본 이론을 제시하고, 제자들이 이를 확인하는 논문을 다음으로 발표하는 예들을 적지않게 찾아 볼 수 있다. 이를테면, 플로리-후긴스식이라고 불리는 고분자용액에 대한 탁월한 이론식은 플로리가 단독으로 밝힌 것이며, “씨이터 조건” 역시, 1949년도에 폭스와의 공동논문에서²¹ 씨이터 조건의 개념이 도입되기 4년전인 1945년에 이미 “씨이터 조건”의 바탕 이론이 되는 “배제부피(excluded volume)” 개념을 단독저자로 발표하여 “씨이터 조건”의 기본개념을 탄생시킨 탁월성을 보이고 있다.²² 또한, 그는 “씨이터 조건”에 관련된 최초논문인 Fox와의 공동논문이 발표될 시점에 그 개념을 보완하는 의미에서 “배제부피”에 대해 이론적으로 깊이 고찰한 논문을 단독저자로 발표하는 탁월성을 드러내 보이고 있다.^{23,24} (“씨이터 조건” 이론의 확립과정에 대해서는 2편에 자세히 고찰할 것이다).

한편, 제자와의 공동연구라도 그의 이름이 제1저자가 된 논문은 350편 중 78편을 차지한다. 따라서, 표 2에서 나타낸 바와 같이 플로리가 발표한 많은 논문 가운데 단독저자의 비율이 높고, 제1저자로 발표된 논문의 비율이 높은 것은 플로리 교수 자신이 새로운 이론을 선도적으로 수립했다는 증거로 볼 수 있으며, 그것은 곧 그가 노벨상으로 보상받기에 충분한 천재성과 탁월성을 지녔다는 것을 증명해 주는 것이다.

플로리의 노벨상 수상선정 발표문은 플로리의 탁월성을 높이 평가하여 다음과 같이 적고 있다.

돌이켜보면, 어떤 사람이 중요한 과학적 발견을 이루었을 때 그 내용을 보면 놀랄 정도로 단순하다는 것을 많이 느끼게 된다. 그러나, 실상 그것은 새롭고도 그 당시 알려지지 않았던 연구분야에서 뛰어난 통찰을 나타내는 것이다. 바로 이런 점이, 비단 플로리 온도의 발견 뿐만 아니라 기타 중요한 그의 다른 연구 분야에 이르기까지 플로리 교수의 과학적 발견에 대한 대단한 특징인 것이다.¹⁷

미국화학회의 공식기관지인 주간 *Chem. & Eng. Sci.* 1985년 12월 23일자에서는 같은 해 9월 급서한 그를 기념하는 기획 기사를 쓰면서 그가 고분자과학자들 뿐만 아니라 일반 대중들에게 남긴 큰 족적을 칭송하면서, 다음과 같이 시작하였다.

거대한 참나무가 쓰러지면, 사람들은 그 나이테를 보고 수세기의 년륜을 비로소 인식하게 된다. 마찬가지로, 위대한 과학자가 운명을 달리하면, 사람들은 그가 그의 동료들이나 일반 대중들에게 끼친 영향의 나이테를 조사함으로써 그가 남긴 업적과 그의 영향력을 가늠할 수 있게 된다.²⁵

고분자과학에서 플로리 교수의 업적이 얼마나 큰가는 모라웨츠(Morawetz)의 저서에도 잘 나와 있다.

고분자과학이 성숙기에 접어들었을 때, 플로리는 고분자과학의 거의 모든 분야에서 지대한 공헌을 하였다.²⁶

결론적으로 스타우딩거가 저분자화합물의 세계에서 고분자의 존재에 대해 확신을 갖고 유기화학에서 고분자를 하나의 학문으로 정립시키는데 공헌을 했다면, 플로리는 존재만이 확실했던 고분자의 정체를 일목요연하게 그려내는 이미지 제조자(image-maker)

의 역할을 했다고 볼 수 있다. 플로리는 고분자과학의 개척자(a pioneer in a polymer chemistry)로서,²⁷ 지금도 많은 고분자과학자들은 자신들의 연구결과가 플로리의 연구결과와 일치하는지 또는 플로리의 업적 위에 또다른 업적을 쌓는 바탕을 만들어 나가기 위해 플로리의 연구결과를 지속적으로 인용하고 있다.

플로리는 그의 다양한 경력을 바탕으로, 고분자과학의 거의 전분야에 걸쳐 고분자의 물리화학적 성질들을 체계화하는데 큰 역할을 한 위대한 과학자였다. 노벨상 선정위원회에서는 다음과 같은 수상연설로 그에게 노벨상을 수여하고 있다.

플로리 교수가 과학자로서 활동하고 있는 동안, 고분자화학은 반경험적인 관찰로부터 고도로 발달된 과학으로 변화되어 왔습니다. 대학과 대기업연구소를 중심으로 많은 연구자들에 의해 이러한 혁명적인 발전이 이뤄져 왔습니다. 이 가운데 플로리 교수는 전 분야에 걸쳐 가장 뛰어난 연구자였으며, 이는 그가 과학자로서도 독특한 위치에 있음을 입증해주는 증거입니다. 플로리 교수님, 본인은 귀하의 고분자화학분야에 끼친 지대한 공헌의 근본적인 중요성을 간략히 소개하려고 노력했습니다.....왕립 학회를 대신하여 진심으로 축하드리며 국왕께서 드리는 상을 받으십시오.¹⁷

이상에서, 플로리가 고분자과학사에서 차지하는 위치를 살펴보았다. 이제, 다음 장에서, 이와 같은 플로리의 수많은 기념비적인 연구성과 중에서 대표적인 업적 몇 가지를 선택하여, 이에 대해 자세히 고찰해보으로써 그의 위대했던 생애에 갖는 탁월성과 그에게 주어진 기회를 어떻게 잘 활용하였는가를 살펴보고자 한다. 특히, 그의 학문적 성과에 대해서는 그가 발표한 논문을 연보별로 살펴봄으로써 고분자과학의 이정표를 세운 이론에 대한 역사적 발자취를 규명하고자 한다.

3. 축합중합 연구의 전개과정

플로리 교수가 고분자과학의 뼈대를 튼튼히 세우고, 숭한 혁명적인 새로운 이론들을 발표한 업적으로 1974년도 노벨화학상을 받기까지 그의 인생과 학문적 성과배후에는 그와 W. H. 캐로더스(Carothers)의 만남이라고 하는 적시적소에 드러난 기회가

있었다. 그는 오하이오 주립대학(OSU)에서 박사학위를 취득하고 델라웨어의 윌밍턴(Wilmington)에 있는 듀폰의 연구원으로 취업하면서 캐로더스를 만났다. 나일론과 네오프렌(neoprene)의 발명으로 유명한 캐로더스와 함께 일하면서, 그는 축합중합반응의 동역학, 고분자의 분자량분포 등에 대한 새로운 이론들을 발표한 것이다.

광화학과 분광학으로 박사학위를 받은 그가 듀폰에 있으면서 고분자과학 연구에 발을 디디 발표한 최초의 논문은, 축합중합물의 분자량분포에 관한 것이다.²⁸

플로리는 축합중합물의 분자량분포에 대한 연구를 시작으로 표 3에서 보는 바와 같이 듀폰에 있는 짧은 시간 동안의 연구경험을 바탕으로 신시네티, 옛소와 굿이어 시절을 통해 많은 논문은 아니지만, 탁월한 논문들을 발표하였다. 듀폰 시절을 끝낸 후 그의 관심은 통계열역학을 이용한 고무탄성론과 고분자 용액이론 등으로 옮겨 갔지만, 표 3에 수록되어 있는 특히 듀폰에서의 3편의 논문들은 캐로더스를 비롯하여, 당시 고분자과학의 발아기(發芽期)의 대학자들인 스타우딩거나 마크 등이 해결하지 못했던 문제들을 해결해 준 탁월한 논문들이었다. 플로리가 듀폰에 입사하기 전에는 고분자과학에 대해 전혀 알지 못했던 것을 생각하면, 플로리의 본질적인 탁월성을 잘 보여주는 예들이라 하겠다. 또한, 듀폰에서 캐로더스를 만난 “기회”를 적시적소에 활용하여 그는 고분자과학 연구에 자신의 인생을 바치게 된 것이다.

1930년 당시엔, 스타우딩거가 제안한 고분자의 개념이 유기화학자들 사이에 완전히 받아들여지는 분위기가 아직 무르익지 않았을 때였다. 또한, 당시 H. 마크가 나찌의 위협을 피해 베를린-달렘(Berlin-Dahlem)에 있던 I. G. 파벤(Farben)사를 떠나 막 비엔나 대학으로 옮겨와 축합반응에 대해 연구하고 있었을 때였다.^{30,31}

고분자과학 성장사의 초기에 있어 또다른 거장의 한 사람은 H. 마크인데, 마크 역시 고분자가 아닌 저분자 화합물의 일종인 펜타페닐에틸(pentaphenylethyl)의 합성에 관한 연구로 1921년 박사학위를 받았다. 그는 1922-1926년 4년간 베를린-달렘에 있던 I. G. 파벤사에서 X-선 결정학에 대한 논문을 발표하는데 셀룰로오스를 다루면서 처음으로 고분자에 대한 인식을 새롭게 하게 된다.³² 그는 이 시기에 섬유에 관한 강도에 관한 논문을 발표하면서도 고분자에 대한 뚜렷한 확신없이 막연히 고분자의 존재와 고분자량

과 섬유강도에 관한 연구논문을 발표하는데 나중에 플로리가 발표한 논문을 통해 분자량의 개념을 정확하게 이해할 수 있었음을 그의 책에서 밝히고 있다.

축합중합에 관한 고전적인 연구들이 수행되고 있는 와중에 플로리는 반응속도식을 확립함으로써 폴리에스터와 나일론 합성의 중요한 길을 닦았다. 동시에 그는 이러한 물질들의 분자량분포에 대한 뛰어난 공식을 제시하였다.³³

이에 대해 마크는, 그의 저서에서 고분자과학에서 중합도(D.P.) 개념이 도입된 것은 독일의 G.V.슐츠(Schulz)와 함께 플로리의 공헌이었음을 소개하였다.

이러한 실험이 수행되는 동안 중합도 개념은 독일의 G. V. 슐츠와 플로리에 의해 확립되었다.³⁴

플로리의 탁월한 천재성은 캐로더스에 의해 꽃필 수 있었다. 만일 플로리가 OSU를 졸업하고 다른 분야에 취업하였다면, 또한 듀폰에 취업했다 하더라도 캐로더스와 함께 일하지 않았더라면, 고분자과학에 있어서 그토록 큰 발자취를 남기지 못했을 것이다.³⁵

또한, 마크는 자신에게도 I. G. 파벤사에서 이런 기회가 있었음을 이야기하면서 산업체연구소에서 기초 연구를 자유로이 허용하는 분위기가 학자의 탁월성을 발휘하는데 중요한 몫을 담당하는 것을 파벤사의 회장의 경영방침을 예를 들어 이렇게 강조하고 있다.

I. G. 파벤사의 회장인 칼 보쉬는 한때 이렇게 언급한 바 있다; 우리는 그들에게 학생들을 더 잘 교육시키도록 돈을 대준다. 그렇게 하면, 우리는 잘 훈련된 학생들을 고용할 수 있고, 그렇게 되면 우리는 경영적 측면에서 그들과 함께 더 많은 돈을 벌 수 있다.…… 이 말은 산업체가 대학에 대해 지원하는데 본보기로 삼아야 할 격려이자 교훈이다.…… (듀폰에서의 당시의)첨단 실험기법은 성공의 가장 중요한 요인이었다.³⁶

플로리 자신도 나중에 옛소와 굿이어에서의 이런 산업체연구소에서의 자유로운 연구분위기가 자신에게 기초연구를 계속할 수 있도록 하는데 큰 도움이 되었다고 이야기한 바 있다.

이 중요한 두 기업체 연구소에서의 연구분위기는 기업체가 허용할 수 있는 한도에 이르기까지 자유로운 것이어

표 3. 대표적 중합반응 논문.²⁹

발표년도	연구자	논문제목	논문접수 일자	재직기관
1936	PJF	Molecular Size Distribution in Linear Condensation Polymers(Flory 의 고분자과학에 관한 최초논문)	1936.3.24	DuPont
1937	PJF	The Mechanism of Vinyl Polymerizations	1936.10.26	DuPont
1937	PJF	The Kinetics of Condensation Polymerization: The Reaction of Ethylene Glycol with Succinic Acid	1937.10.15	DuPont
1939	PJF	Kinetics of Polyesterification: A Study of the Effects of Molecular Weight and Viscosity on Reaction Rate	1939.9.30	Cincinnati
1939	PJF	Intramolecular Reaction Between Neighboring Substituents of Vinyl Polymers	1939.3.22	Cincinnati
1940	PJF	Kinetics of the Degradation of Polyesters by Alcohols	1940.5.30	Cincinnati
1940	PJF	A Comparison of Esterification and Ester Interchange Kinetics	1940.5.31	Cincinnati
1940	PJF	Molecular Size Distribution in Ethylene Oxide Polymers	1940.3.18	Cincinnati
1941	PJF	Molecular Size Distribution in Three Dimensional Polymers: I. Ge- lation	1941.6.18	Esso
1941	PJF	Molecular Size Distribution in Three Dimensional Polymers: II. Trifunctional Branching Units	1941.6.18	Esso
1941	PJF	Molecular Size Distribution in Three Dimensional Polymers: III, Tetrafunctional Branching Units	1941.6.18	Esso
1942	PJF	Statistics of Intramolecular Aldol Condensations in Unsaturated Ketone Polymers	1941.10.17	Esso
1942	PJF	Constitution of Three-Dimensional Polymers and the Theory of Gelation(이 논문을 1941년 6월 19-21일 Cornell대학에서 개최된 제8 회 Colloid Symposium에서 발표함-2편 theta condion의 확립과정에서 상세히 기술할 것임)	1941.7.14	Esso
1942	PJF	Random Reorganization of Molecular Weight Distribution in Lin- ear Condensation Polymers	1942.6.5	Esso
1946	PJF	Fundamental Principles of Condensation Polymerization	1946.1.16	Goodyear
1947	PJF	Chain Structure of Vinyl and Diene Polymers in Relation to Polymerization Mechanism	1946.11.13	Goodyear
1947	PJF	Molecular Size Distribution in Three Dimensional Polymers; V, Post-Gelation Relationships	1946.9.6	Goodyear
1947	PJF	Effects of Cross-linking and Branching on the Molecular Constitu- tion of Diene Polymers	1947.2.24	Goodyear
1950	PJF	Statistical Mechanics of Reversible Reactions of Neighboring Pairs of Substituents in Linear Polymers	1950.5.10	Cornell
1950	M. J. Rhoad, PJF	The Synthesis of Polymeric Ethers	1949.11.1	Cornell
1974	PJF	Introductory Lecture(General Discussion on Gels and Gelling Pro- cesses)	1974.3.6	Stanford

* 이 표에서 PJF는 Paul J. Flory를 의미함(이하 본 논문에 사용된 표에 주어진 Paul J. Flory는 모두 PJF로 표기하였음).²⁹

서, 기초과학을 자유롭게 연구할 수 있었고, 논문출판도 자유로이 허용하여, 그렇지 않았으면 당시의 어려운 상황에서 불가능했을 만큼, 성공적인 과학자로서의 경력을 쌓는데 큰 도움이 되었다.³⁷

우리나라의 산업체연구소도 당시 듀폰과 같은 이러한 구속되지 않는 자유로운 연구분위기와 산업체 연구소라도 기초연구를 권장하는 분위기를 타산지석으로 삼아야 할 것이다. 당시 24세의 플로리는 캐롤더스에 의해 듀폰에 채용되면서 고분자과학 연구에

발을 디디기 시작했고, 그의 탁월성은 불붙기 시작한 것이다. 플로리가 듀퐁에 처음 입사했을 때, 그는 고분자에 대해서는 거의 무지였다. 광화학으로 박사 학위를 받은 그가 다른 사람들의 부러움을 사면서 취업이 되었을 때만 해도 고분자가 무엇인지 몰랐지만, 캐로더스에 의해 고분자에 대해 관심을 갖고 연구하기 시작했던 것이다.

플로리는 이 때를 회고하면서 자신의 입으로 다음과 같이 이야기했다.

어느 땐가 스티렌을 중류하라는 명령을 받았는데, 이때 (캐로더스는) 중합이 될지 모르니 주의하라는 경고를 나에게 주었다. 이때 나는 “중합”이라는 단어가 무엇을 뜻하는지 몰랐고, 막연히 피해야 되는 어떤 것인 줄로만 알고 있었다. 그 당시 내가 고분자에 대해 알고 있는 것이 라곤 고작 그 정도였다.³⁸

또한, 그는 다음과 같이 쓴 적이 있다.

내가 중합이나 고분자물질의 연구에 관심을 가지게 된 것은 그와의 만남을 통해서였다. 고분자가 명백한 과학적 연구대상이라는 그의 확신은 전염병처럼 퍼져나갔다. 당시는 시기적으로 아주 절묘했는데 왜냐하면 고분자가 공유결합으로 연결된 거대분자라는 가정이 스타우딩거에 의해 제안된 불과 수년후에 캐로더스에 의해 확립이 되었기 때문이다.³⁷

당시 캐로더스가 이끌던 듀퐁의 연구는 세계적인 주목을 받고 있었다. 이때의 듀퐁의 분위기에 대해 $C_4H_7^+$ 카보카티온 연구로 저명한 유기화학자인 J. 로버츠는 그의 자선적인 저서에서(1944년 10월 박사학위 구두발표가 끝난 후 직장을 구할 때 H. W. 라인하트(Reinhart)와 인터뷰를 했지만 취직이 되지 않았다) 당시의 듀퐁에 대해 기초연구 결과가 상업화로 연결되는데 대한 놀라운 표본이라고 경의를 표하면서 이렇게 평가하고 있다.

미국의 고무 연구계는 훌륭했지만 그중에서도 듀퐁사(E. I. duPont de Nemours and Company)는 화학연구 분야에서 산업체연구소 중에서는 으뜸이었고, 나일론과 네오프렌 개발은 기초연구가 어떻게 상품화로까지 이어지는가에 대한 빛나는 예이다.³⁹

마크 또한, 그의 저서에서, 1930년대에 듀퐁에선

W. H. 캐로더스가 폴리에스터와 나일론의 축합중합(condensation polymerization) 연구를 많이 하고 있었다고 지적하면서 캐로더스가 이끄는 듀퐁 연구 그룹의 고분자과학사에서 차지하는 높은 위치를 다음과 같이 평가하고 있다.

어떤 다른 단일 관찰이나 측정에 비해 의심할 여지없이 (월링턴 소재 듀퐁연구소에서 시작된) 캐로더스와 그 동료들에 의한 빛나는 연구결과는 고분자의 개념을 확립하는데 지대한 돌파구(ultimate breakthrough)를 만들었다.⁴⁰

H. 마크는 또한, H. 스타우딩거의 저서 서문(Forward)에서

그의 짧은 인생에서 십년간의 활동적인 기간 동안 캐로더스는 극도로 유용한 새로운 고분자의 목록을 만드는 데 기여하여 세상을 풍요롭게 하였으며 이는 그와 그 동료들의 명성을 학계 뿐만 아니라 산업계에 이르기까지 빛나게 하였고, 나아가, 수백만의 인류에게 편리함과 기쁨, 그리고 안전함을 제공해 주었다.⁴

라고 캐로더스가 고분자과학의 발전에 끼친 영향을 평가하고 있다. 플로리가 나중에 노벨상 수상에 이르기까지 학문적 성과를 이룬 것은 그 자신의 탁월한 수학적 능력이외에 캐로더스의 기초연구에 대한 격려, 고분자에의 입문 등이 큰 역할을 하였다는 것을 입증할 수 있다. 즉, 플로리에게 듀퐁과 캐로더스와의 만남은 그에게 탁월성을 발휘할 수 있는 기회를 제공했음을 다시 한 번 더 알 수 있다.

플로리는 이상에서 언급한 바와 같은 연구분위기를 가진 캐로더스 연구팀에서 고분자에 대해 공부하면서 당시 그 팀에서 숙제로 안고 있었던 축합중합에서의 분자량분포 문제를 해결하였던 것이다. 실제 당시 캐로더스 자신이 연구하고 개발한 분야이면서도 설명할 수 없었던 축합중합속도와 분자량관계를 20대의 젊은 플로리가 해결해낸 것을 높이 사고, 그의 학회발표시 플로리가 한 일을 인용하곤 하였다. 이에 대해 H. 모라웨츠(Morawetz)는 그의 저서에서 다음과 같이 밝히고 있다.

1934년, 플로리는 캐로더스가 이끄는 듀퐁사에 입사하였는데, 이 기회로 24살의 플로리를 고분자과학 발전에 그의 전 생애를 바치도록 한 것은 아마도 캐로더스가 기록한 주요업적 중의 하나로 기록될 것이다. 1935년에 이미

고분자과학에 관한 패러데이학회(Faraday Society)에서 캐로더스는 고분자를 구성하는 작용기에 관련된 반응속도가 사슬길이의 무관하다는 가정하에 축합중합에서 분자량 분포를 유도한 플로리의 연구결과를 소개한 바 있다.⁴¹

그의 최초의 논문은 1936년 3월 24일 미국화학회지(*J. Amer. Chem. Soc.*)에 접수된 논문인데,²⁸ 각주에 보면 이 연구의 일부를 W. H. 캐로더스가 1935년 9월에 있는 패러데이 학회 심포지움에서 발표하고 그 내용은 *Trans. Faraday Soc.*, **32**, 29 (1936)에 보고되어 있음을 알 수 있다. 축합중합에 관한 그의 초기이론의 역사적 가치에 대해 H. 모라웨츠는 다음과 같이 평하고 있다.

당시 축합중합에 관련된 연구결과들이 발표되면서도 연구자들은 그 정체를 몰랐으나, 이전의 연구결과들은 모두 플로리에 의해 완성이 되었다.⁴¹

1938년 플로리가 듀퐁을 떠나 2년간 신시네티 대학교로 자리를 옮기게 된 결정적인 이유도 캐로더스의 갑작스런 자살(1937년)이 가져다 준 충격 때문이었다. 이에 대해 플로리 교수는 1982년 미국화학회의 주선으로 녹화한 C. 오버버그(Overberger) (당시 미시간(Michigan) 대학 연구부총장)와의 대답에서 자신의 입으로 캐로더스의 죽음에 얼마나 충격을 받았으며, 캐로더스가 자신의 생애에 얼마나 큰 영향을 미쳤는가를 다음과 같이 증언하고 있다.

(그의 죽음은) 내 생애 가장 심각한 충격을 준 사건의 하나이다. 그것은 나의 희망을 송두리째 빼앗는 것이었고 그가 운명을 달리했을 때 나는 그가 얼마나 내 인생에 큰 영향을 주었고 나의 방패가 되어주었는지를 깨닫게 되었다⁴²

또 하나, 플로리에게 중요한 학문적 전환점은 그의 코넬대학행이라고 생각한다. 대학과 산업체에서의 연구는 상호보완적으로 이루어지지만, 학술적 연구에 대한 자유로운 연구는 일반적으로 대학에서가 훨씬 유리하다. 플로리는 8년간(1948 - 1956) 코넬대학에 재직했었는데 전해질용액 연구로 유명한 P. 디바이(Debye)의 초청으로 옛소와 굿이어에서의 8년간의 산업체 생활을 마감하고 코넬대학으로 옮기게 된다. 플로리의 코넬대학행은 그에게 산업체연구소에서의 연구경험을 바탕으로 더 깊은 기초연구를

수행하는 새로운 기회를 제공하여 노벨화학상 수상에 이르는 “씨이터 조건”, 즉 우리가 “플로리 조건(Flory condition)”이라고 부르는 탁월한 연구성과를 내게되는 것이다.

디바이가 플로리를 코넬로 초빙했을 때, 플로리가 코넬로 옮기기 전에 디바이와 인연을 맺었는지, 아니면 1936년도 노벨화학상을 받을 정도로 콜로이드 화학과 쌍극자 모멘트(dipole moment), 분자구조 등에서 이미 명성을 날리던 디바이의 연구활동 중에 그의 발표논문 조사를 통해서 플로리의 지명도에 의해서인지는 확실치 않다. 하지만, 1942년 발표된 논문, “3차원 고분자의 조성 및 겔화 이론(Constitution of Three-Dimensional Polymers and the Theory of Gelation)”⁴³ 각주에서 이 논문을 1941년 6월 19-21일 코넬대학에서 개최된 제8회 콜로이드 심포지움에서 발표하였다고 되어있는데, 이때 옛소에서 코넬대학으로 학회차 왔을 때 논문발표장에서 그를 만났을 것으로 추정된다. 오버버그와의 대답에선 디바이의 영향에 대해서는 이야기가 있었지만, 어떤 인연으로 만났는지에 대해서는 언급이 없다.⁴² 플로리는 1949년, 그의 임용(Tenure) 강의의 일환으로 코넬대학에서 비상근 베이커 강좌(Non-resident Baker lecture)를 갖게 된다. 플로리의 탁월성을 잘 보여주는 첫 번째 저서, “고분자화학의 원리(Principles of Polymer Chemistry)”⁴⁴ 그 베이커 강좌 자료를 바탕으로 쓴 것이다.

15년 동안(1934-1948) 듀퐁, 옛소(지금의 엑손(Exxon)), 및 굿이어와 같은 기업연구소에 있으면서 발표한 축합중합의 동력학이나 고무탄성 등에 관한 플로리의 탁월한 이론을 높이 산 디바이의 초청이라는 기회가 없었다면 그 책은 세상에 나오지 않았을 것이다. 물론 다른 장소, 다른 시간에 그와 같은 유형의 저서가 나왔을 수도 있었으리라 생각할 수도 있지만, 현재 우리가 보는 그 책은 디바이의 초청으로 인한 그 강연으로 말미암은 것으로, 적시적소에 출판되었다고 확신한다.

이 책의 탁월성에 대해 H. 모라웨츠는 그의 저서에서 다음과 같이 평가하고 있다.

고분자에 대한 관심이 고조되자 이 분야에 대한 많은 책들이 출판되었지만 어느 것도 1953년 출판된 플로리의 <고분자화학의 원리>의 영향력보다 큰 것은 없었다. 수십년의 세월 동안 많은 진전이 있어왔지만 이 책은 여전히 고분자과학에 대한 전반적인 내용을 다룬 가장 권위있

는 저서로 평가되고 있다.⁴⁵

또한, 미국화학회의 공식 주간지인 *Chem. & Eng. News*에서는 플로리의 제자 중의 한 사람이었던 만델케른(Mandelkern)의 입을 빌어 이 책을 고분자과학의 “성경”으로 평가하고 있다.

플로리의 2권의 저서는 지대한 영향을 끼쳤다. 그 중에서도 1953년 발간된 <고분자화학의 원리>는 여전히 이 분야의 “성경”으로 벌써 12판째를 거듭하고 있다.⁴⁶

이 기사에는, 플로리 자신도 이 책에 대해 매우 긍지를 느끼고 있었다고 보고하고 있다. 플로리는 그 책에 대해 1977년에 “내가 가장 고맙게 여겨야 할 업적(perhaps my most gratifying achievement)”이라고 평한 바 있다고 했다.⁴⁶

4. 결 론

이상에서 플로리의 주요 학문적 성과와 인생역정에서 드러난 탁월성과 기회에 대해 고찰하였다. 플로리는 그의 학문적 탁월성으로 1974년도 노벨화학상을 수상하였다. 이번 총설에서 그의 삶과 종합이론의 형성 과정에 대하여 과학사적으로 살펴보았다. 듀폰에서 캐로더스의 만남이라는 기회로서, 고분자 과학 연구를 시작하여 탁월한 종합이론을 세웠고, 자신의 다양한 산업체 연구소 경력과 대학에서의 연구를 통해 탁월성을 마음껏 보여주었음을 잘 엿볼 수 있다. 이 글이 고분자과학을 공부하는 대학원생들에게 고분자과학의 역사에 대해 이해를 돕고, 고분자 과학에 있어서 플로리 교수의 업적이 탄생한 배경에 대해 설명함으로써 학문의 길에 갓 들어선 대학원생들에게 미래의 제2, 제3의 플로리 교수가 되고자 할 때 필요한 조건 등에 대해 한 번 깊은 생각을 할 수 있는 기회가 되었으면 하는게 필자의 바램이다.

다음 호에는 플로리의 씨이터 조건과 회전이성질 상태 이론의 형성 과정에 대해 살펴보고자 한다.

감사의 글: 본 연구는 1997년도 서암학술장학재단 교수해외연구 지원으로 스탠포드 대학교 방문연구 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. L. Mandelkern, E. Mark, V. W. Suter, and D. Yoon, “Selected Works of Paul J. Flory”, p. 1, Stanford University Press, Stanford, 1985 (Adapted from the Autobiographical Note, Les Prix Nobel en 1974).
2. *Chem. Eng. News*, 1985. 9. 16, “Paul J. Flory, Nobel Laureate, dead at 75,” p. 7, American Chemical Society, Washington, D.C., 1985.
3. D. Abbott, ed. “The Biographical Dictionary of Scientists-Chemists”, p. 47, Blond Educational, London, 1983.
4. H. Staudinger의 학문과 업적은 H. Staudinger, “From Organic Chemistry to Macromolecules-A scientific autobiography based on my original papers, (English translation), Wiley-Interscience, New York, 1970.에 잘 나와 있다; 또한, H. Morawetz, “Polymers-The Origins and Growth of a Science”, p. 86, John Wiley & Sons, New York, 1985.
5. H. F. Mark, “From Small Organic Molecules to Large- A Century of Progress”, in “Profiles, Pathways and Dreams”, ed. by J. I. Seeman, p. 78, American Chemical Society, Washington, D.C., 1990; H. Mark는 새로운 이론엔 항상 거부감이 있기 마련이라고 언급하였다(“This is the example of a nice spectrum of opposition to a new theory”).
6. H. F. Mark, *ibid*, p. 78 (1990).
7. H. Mark, *ibid*, p. 77 (1990).
8. H. Staudinger, “From Organic Chemistry to Macromolecules-A scientific autobiography based on my original papers”, (English translation), p. 77, Wiley-Interscience, New York, 1970.
9. S. Carra, F. Parisi, I. Pasquon, P. Pino, and G. Natta, “Present Significance of His Scientific Contribution”, p. 3, Editrice de Chimica Srl., Milano, Italy 1982.
10. H. Morawetz, “Polymers-The Origins and Growth of a Science”, xiii-xvi, p. 86, John Wiley & Sons, New York, 1985.
11. U. W. Gedde, “Polymer Physics”, p. 15, Chapman & Hall, London, 1995.
12. Nobel prize in Chemistry, 1953 Address of Prof. A. Fredga, a member of the Nobel Committee for Chemistry, at the Nobel celebration on December 10, 1953, Stockholm, in H. Staudinger, *ibid*, p. 7 (1970), 혹은 Les Prix Nobel en 1953, Stockholm, p. 27, 1954.
13. H. Mark, *ibid*, p. 55 (1990).
14. H. Mark, *ibid*, p. 81 (1990); Staudinger가 가지고 다니던 이 성냥개비 다발들은 오늘날 독일 뮌헨에 있는 독일 박물관(Deutsches Museum in Munchen)에 가면 볼 수 있다고 한다. 이 문헌에선 다음과 같은 일화를 전해 주고 있다; 1935년 Cambridge에서 개최된 Faraday Society meeting에서 Staudinger가 이 성냥개비 다발들을 들고 강연을 하면서, 고분자 용액점도가 높은

- 것은 이러한 막대모양의 고분자 성질에 기인하며, (성냥개비 다발들을 부수면서) 고분자가 이렇게 분해(degraded)되면 강도가 감소하고, 따라서 용액점도가 급격히 감소한다고 설명하고 강연이 끝날 즈음에 좌장을 맡았던 E. K. Rideal 교수에게, “Prof. Rideal, what I just said-isn't it clear?”라고 물었다. 그러자, Rideal 교수는 그 부러진 성냥개비를 바라보면서 조용하게 다음과 같이 대답하였다. “Yes, I think it is perfectly clear, but wrong.” 물론 그 뒤 어떤 질의응답도 계속되지 못 했음은 물론이다. 1935년 당시 화학자들에게 얼마나 고분자의 존재를 이해시키기가 어려웠던지 잘 보여주는 대목이라고 하겠다.
15. H. Mark, *ibid*, p. xxiv (in Editor's Note) (1990); 또한, H. Morawetz, *ibid*, p. 97도 참조할 것 (1985).
 16. H. Mark, *ibid*, p. 122 (1990).
 17. Nobel prize in Chemistry, 1974 Address of Prof. S. Claesson, a member of the Royal Academy of Sciences, Sweden, at the Nobel celebration on December 11, 1974, Stockholm, eds. by T. Frangsmyr, and S. Forsen, “Nobel Lectures Chemistry 1971-1980”, p. 149, World Scientific, Singapore, 1993, 혹은 Les Prix Nobel en 1974, Stockholm, 1974.
 18. R. H. Boyd and P. J., Phillips, “The Science of Polymer Molecules”, contents, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
 19. L. H. Sperling, “Introduction to Physical Polymer Science”, 2nd ed. contents. Wiley-Interscience, New York, 1992.
 20. L. Mandelkern, et al., *ibid*, vol. I. contents (1985).
 21. T. G. Fox, Jr. and P. J. Flory, *J. Phys. Colloid Chem.*, **53**, 197 (1949).
 22. P. J. Flory, *J. Chem. Phys.*, **13**, 453 (1949).
 23. P. J. Flory, *J. Chem. Phys.*, **17**, 303 (1949).
 24. “Theta condition”과 “excluded volume”에 대한 관계는 P. J. Flory, “Statistical Mechanics of Chain Molecules”, p. 32, John Wiley & Sons, New York, 1969. (original edition); Reprinted edition with corrections by P. J. Flory, and additional remarks(Hanser/Gardner Publ. Cincinnati, 1988, 또는 H. Morawetz, “Polymer Solution”, 2nd ed., p. 133, John Wiley & Sons, New York, 1975에 잘 요약되어 있다.
 25. R. J. Seltzer, “Paul Flory: a Giant Who Excelled in Many Roles”, *Chem. Eng. & News*, Dec., **23**, 27 (1985).
 26. H. Morawetz, *ibid*, introduction, p. xiv (1985).
 27. *Chem. Eng. & News*, Sept. **16**, 7 (1985).
 28. P. J. Flory, *J. Amer. Chem. Soc.*, **58**, 1877 (1936).
 29. 이 논문들은 모두 L. Mandelkern, et al., *ibid*, vol. I (1985)에 수록되어 있으며 논문의 출처는 목록에 있는 Flory의 발표 논문 목록을 참조할 것.
 30. H. Staudinger, *ibid*, p. 91 (1970); H. Mark, *ibid*, p. 67 (1990).
 31. 그 뿐만 아니라, Staudinger가 고분자과학을 창시한 업적으로 노벨상을 수상한 1950년대에 이르기까지만 해도 고분자과학은 학계에서 조차도 사시(斜視)적으로 취급되었다. 이를테면, H. Mark가 나치 독일을 떠나 Canada에서 일하다가, 미국 MIT대학 교수직 여부를 문의했을 때, 당시 MIT화학과 교수였던 Swain교수에게서 받은 서신을 보면, 어느정도인가를 알 수 있다 (……마크는 그가 M.I.T.에 지원서를 내었을 때 C. Gardner Swain교수로 받은 편지를 보여주었는데 거기에는 다음과 같이 써어져 있었다; “우리 M.I.T 대학은 유기, 무기 및 물리화학의 전통적인 학문을 존중합니다. 고분자과학을 전공하신다면, Polytechnic Institute of Brooklyn에 지원서를 내어 보십시오) H. Mark는 Polytech Institute of Brooklyn에 자리를 얻어 고분자과학의 전도사로서 평생동안 열심히 일하게 된다.; H. Mark, *ibid*, p. xxii (1990)를 참조할 것.
 32. H. Mark, *ibid*, p. 17 (1990).
 33. H. Mark, *ibid*, p. 70 (1990).
 34. H. Mark, *ibid*, p. 81 (1990).
 35. 이때 듀폰에서 Carothers가 고분자과학사에 있어 큰 업적을 남길 수 있었던 데는 Carothers의 탁월성 이외에도 기업연구소이면서도 연구원들에게 자신이 선택한 기초연구과제를 자유롭게 연구할 수 있도록 한 분위기도 큰 몫을 했다고 판단된다. H. Morawetz는 당시 듀폰의 분위기를 이렇게 전하고 있다; in 1928 Carothers was hired by the duPont Company and encouraged to work on problems of his own selection.; H. Morawetz, *ibid*, p. 116 (1985)를 참조할 것.
 36. H. Mark, *ibid*, p. 36 (1990).
 37. P. J. Flory, “Autobiographical Note”, eds. by L. Mandelkern, E. Mark, V. W. Suter, and D. Yoon, *ibid*, p. 1 (1985) (Adapted from the Autobiographical Note, Les Prix Nobel en 1974).
 38. R. J. Seltzer, *ibid*, p. 28 (1985).
 39. J. D. Roberts, “The Right Place at the Right Time”, in “Profiles, Pathways, and Dreams”, p. 38, American ed. by J. I. Seeman, p. 38, American Chemical Society, Washington, D.C., 1990.
 40. H. Mark, *ibid*, p. 80 (1985).
 41. H. Morawetz, *ibid*, p. 116 (1985).
 42. Videtape interview, “Reflections by Two Eminent Chemists, Drs. H. Mark and P. J. Flory”, 1982. Copyright by the American Chemical Society; H. Morawetz, *ibid*, p. 120에도 언급됨 (1985).
 43. P. J. Flory, *J. Phys. Chem.* **46**, 1, 132 (1942).
 44. P. J. Flory, “Principles of “Polymer Chemistry”, Cornell University Press, Itaca, 1953.
 45. H. Morawetz, *ibid*, p.xv (introduction) (1985).
 46. R. J. Seltzer, *ibid*, p. 29 (1985).