

J. D. Bernal 과 시멘트化學

H. F. W. Taylor

〈英國아마진大學 教授〉

辛 孝 根(譯)



J. D. Bernal
(1901 ~ 1971)

本文은 J. D. Bernal and Cement Chemistry 라는 題名下에 1979年 6月 11日 日本國際文化會館 에서 行한 H. F. W Taylor 教授가 特別招請講演 에서의 抄譯이다.

시멘트의 先驅者인 Bernal 의 研究欲과 그의 貢獻은 오늘에 이룬 시멘트의 初點이

된다고 본다.

머 리 말

結晶化學로서의 시멘트化學의 루트를 追求해 가면 J. D. Bernal 에 이른다. 이것은 1952 年 런던 심포지움에 그의 論文이 表現하고 있다. 戰後 英國 大學에서 基礎研究를 委囑하게 되고, 시멘트·콘크리트의 研究에 세가지 프로젝트 중 하나가 J. D. Bernal 의 시멘트의 結晶化學의 研究이다.

Bernal 의 프로젝트는 1948 年에서 1953 年까지 5 年間 런던大學의 버그백 카레지에서 세 사람의 젊은 研究者를 中心으로 이루어져, 크링카 鑛物과 珪酸칼슘 水和物의 結晶化學의 研究에 一大飛躍을 가져왔다. 本稿는 그때의 프로젝트에 參加한 H. F. W. Taylor 가 最近에 講演한 것을

옮긴다.

Bernal 의 프로젝트에서, 約 30 年 經過하였지만 Bernal 과 Taylor 의 만남이 오늘날의 시멘트化學의 한 흐름을 구축했다고 해도 過言이 아니다. 시멘트의 水和機構와 水和物의 構造研究가 急速히 進展하고 있는 가운데 새삼 Bernal 의 시멘트化學에 관한 實驗을 오늘날의 第一人者인 Taylor 에게 말하게 한 것은 더없는 貴重한 機會였다고 생각한다.

Bernal 에 대해서는 演者가 말하는 것처럼 科學과 技術에 關連있는 歷史나 哲學의 著作도 많으며 「科學의 社會的 機能」, 「生命의 起源」, 「科學과 産業」, 「歷史에 있어서의 科學」, 「人間擴張」 등이 있다.

講演者 Taylor 는 1979 年 5 月 中旬에서 1 개 月間 日本學術振興會의 招請으로 시멘트化學, 鑛物學, 結晶學의 分野에서 學術研究交流를 하였었다.

J. D. Bernal 의 시멘트化學에 끼친 貢獻에 대하여 紹介하고자 한다.

本人은 1948 年에서 1953 年까지의 5 年間을 Bernal 밑에서 研究에 從事했습니다. 이 期間은 科學者로서의, 나 自身の 成長이란 點에서도 대단히 重要的 時期였습니다. 또 나의 시멘트化學과의 관한 인연이 되었고, 중요한 것은 오늘에 이르기까지 아주 珍貴하고 有用한 것이었다. Bernal 로부터 研究方法를 배운 것을 말씀드리고자 한다.

Bernal 은 20 世紀 中葉의 오더독스한 科學者

는 결코 아니었습니다. 物理學者이었으며 嚴密이
는 結晶學者였다. 그러나 Bernal 은 物理學을 초
월하여 모든것에 關心을 가졌고, 特히 科學과
技術에 關連있는 歷史나 哲學에까지 이르고 또
政治에도 깊이 파고 들어 갔읍니다. 이 點에 대
해서는 논술하지 않기로 한다.

Bernal의 研究室

Bernal 밑에서 研究를 시작 했을때는 第2次
世界大戰이 끝난 3年 뒤였고 當時 Bernal은 런던大學 버그백카레지의 物理學 教授이고 네개의
研究陣이 있었다. 代表的인 基礎研究陣은 有機分子의 結晶의인 研究와 蛋白質의 結晶構造 解析을
시험하고 있었다. 그러나 그 時代에는 電算機도
없고 그 解析은 극히 困難하며, 低分子의 有機物
에 대해서만 겨우 研究되어 있었다. 그 밖에 電子工學, 電算機의 開發에 關係하고 있었던 시
멘트 研究陣이었다. 全構成員은 Bernal 밑에
서 6~7명의 Ph.D. 를 가진 研究者에 열사람
정도의 大學院生, 이 時期로서는 過多한 人員이
있으며 6名 정도의 技術員과 2~3名の 事務員
이 있었다. 戰禍를 입은 研究室은 낡은 19世紀
建物로 X線裝置가 있는 階段 아래 문은 變壓器
重量으로 닫혀지지 않을 狀態였다.

Bernal 이 말한 내용 중 研究者의 生活에는 3
段階가 있다. 即, 1段階는 어려운 物質的 惡條
件下에서 좋은 研究를 하는것이며, 2段階는 새
로운 研究를 設計하는 것이다. 그리고 3段階는
研究室을 訪問者에게 見學하게 하는 段階가 있다.
多幸하게도 Bernal 밑에서 1段階에 속하는 우
리들은 그때 확실히 좋은 研究를 한것 같다.

基礎研究와 應用研究

앞에서 밝힌 바와 같이 Bernal은 科學과 社
會의 關連性에 對하여 깊은 關心을 가지고 있었
으며 大學은 基礎研究와 應用研究間에 調和를 이
루어야 한다고 생각했고 그때 그와같은 생각은
一般的으로 받아드리지 못했으며 오늘날에는 議
論없이 容認되겠지만 1940年代 英國과 各 大學은 象牙塔에 묻혀 있었고 應用研究에 관심을

두지 않았다.

Bernal에게 많은 것을 배웠지만 그 중의 하
나는 應用的인 研究에 있어 充分한 價値가 있고
一般的으로 基礎研究보다 훨씬 어려운 것을 배웠
다. 基礎研究者는 어떠한 問題가 너무 어려우면
피할 수도 있고, 다른 쉬운 問題를 求할 수도 있
었다. 그러나 應用研究者에게는 그렇지 못하며
部分的이든, 不滿스러운 形態이든 解決策을 찾
지 않으면 안되었다. 버그백大學의 Bernal 밑
에서의 研究는 科學의 應用에 對하여 特히 깊
은 關心을 갖게 했으며 아버지大學에 옮기고 오
늘까지 나는 늘 基礎와 應用的 바란스를 생각하
여 研究하여 왔다.

Bernal 이 建築物質에 關心을 가지게 된 것은
내가 着任하는 1~2年前 이었다. 第2次大戰
前에는 主로 結晶學的인 研究를 하였으며, 그의
연구는 徹頭徹尾 파이오니의이었으며 探究의인
것이었다. 오늘날 우리들이 그의 論文을 소장
하게 調査해 보면 그것은 빈약하게 느낄지 모
르나, 그러나 그의 論文에는 新分野의 最初의 重
要한 實驗이라든가 核心에 파고든 解釋을 여러
가지 가지고 있으며, 理論과 實驗의 兩面에서 새
로운 開拓의 第一步인 것을 알게 되었다.

Bernal의 最大 關心事는 複雜한 生物學的으로
重要한 分子, 이를테면 蛋白質의 結晶構造解
析이며 1934년에는 그 單結晶 X線寫眞을 最初
로 撮影하고 蛋白結晶學的의 出發點이 되었다.

Dorothy Hodgkin과 Max Perutz의 두사람의
노벨賞 受賞者가 生物學上 重要한 高分子研究가
Bernal 研究室에서 發表된 것을 알 수 있다.

시멘트化學과의 만남

Bernal의 建築物質研究에 관하여 말하면 戰
後 곧 建築研究所와 關係있는 政府機關을 통하
여 Bernal은 研究기금을 보조 받았으며, 1948
~1952년까지 5年間 研究 프로젝트가 開始되
었다. 버그백의 Bernal 밑에서 나와 Jim Jeffery
Lise Heller(現在 이스라엘)과 그 밖에 2~3名
이 있었다. 우리들 研究陣과 密接한 研究를 한
建築研究所 연구陣으로는 Frederick Lee(所長),
Parker(副所長), Nurse(뒤에 物資部長), Jones

Bessey 들이다.

나는 버그백에 가기까지 珪酸鹽化學에 대하여 多少間 經驗을 쌓고 있었으며 實은 나의 Ph. D. 는 시멘트化學과는 거의 인연이 없는 核酸物硬化學이며 잉글랜드의 諾진점大學에서 받았다. 그 뒤 런던大學의 벳트포드카레지에서, 모레규라시브(제오라이트)의 開拓者인 大先生 R. M. Barrer 밑에서 2年間 研究에 從事한 것이 珪酸化學과의 最初의 접촉이었다.

當時 시멘트化學을 살펴보면, 오늘날과는 比較 못할만큼 入門者에게는 容易한 時代였다. 最近에 와서 시멘트化學 分野에 종사하신 분들에게 여러 차례 문의 받는 것이지만 多數 文獻中에서 어느 것을 읽으면 좋은가를 자주 질문 받았다. 물론 論文中에는 重要的한 것도 있었지만 別로 重要하지 않은 것도 적지 않았다. 重要的 것과 그렇지 않은 것을 識別하고, 어떤 내용이 研究된 것인가를 찾고, 어떤 問題가 이미 研究되어 그 結果가 맞는가 또는 틀리는가를 判斷하는 것이 入門者에게는 대단히 重要的한 것이라고 생각했다.

시멘트化學 분야에 연구하기 시작한 1948年은 最初에 Bernal로부터 「시멘트化學의 研究를 하시오」라고 들었다. 「그런데 시멘트化學의 어느 方面研究를」라고 反問한즉, 「그렇군 시멘트化學은 자네에게 적합해, 자네는 化學 出身이고 水和를 研究하는 것이 좋겠지요. 그 쪽이 훨씬 化學的이기 때문에 내 研究室에는 Jim Jeffery가 C_3S 의 結晶構造를 解析하고 있고, 建築 研究所의 Midgley夫人은 $S-C_2S$ 의 構造를 研究하고 있으며 이 두사람의 結晶學 研究者가 자네 構造 쪽을 도와 줄 것이니 내 생각으로는 水和分野는 結晶學과 化學을 같이 포함하고 있으므로 水和研究에 착수하기에 적합한 것 같다」.

그래서 나는 文獻을 읽는 것부터 시작했습니다만 當時는 별 다른 時間을 잡지 않았고 생각컨대 오늘날 시멘트化學을 시작하는 사람에게 있어서는 이미 나온 論文의 1/10 정도 읽으면 그렇게 時代에 뒤떨어지지 않을 것이라고 말한것은 읽을 價値가 없는 論文이 많기 때문이다. 水和 研究를 시작할 때 常溫에서의 $CaO-SiO_2-H_2O$ 系와 오토크레브反應의 研究를 취급하였으며 오토크레브反應에 關心을 가진 것은, 앞에 말한바와 같이

Barrer 밑에서 水熱研究의 기초가 있었기 때문이었다.

Bernal의 研究態度

Bernal의 특징의 하나는 그의 幅넓은 研究欲에서 오는 것이다. 한 問題를 可能한 모든 方法으로서 연구하여야 한다고 생각하고 있다. 그가 남긴 말 중에 “Weve got to give it the works”가 있다. 이 意味는 問題 解明에 우리들이 생각하는 모든 方法을 사용하고, 가능한 限 신속 처리해야 한다는 것이다. 많은 方法을 써서 아프로치하는 方法은 가령 어떠한 理由로 實行 못하더라도 역시 오늘날 우리들은 必要하는 것처럼 생각해 한다.

여러분이 아시는 바와 같이 가령 시멘트의 水和같은 複雜한 問題를 化學分析 或은 X線回折 電子顯微鏡分析 등의 한 方法만으로 成功한다고는 期待 못할것이다. 우리들은 지금 말한 方法에 또 다른 手法을 모두 사용하지 않으면 안될 것이다.

1940年代 英國은 적어도 이와같은 생각은 一般的으로 理解되지 않았었고 當代는 專門 熟練者가 되도록 指導를 받았으며, 대단한 障礙 없이 자기의 領域을 넘어가는 사람은 미움받고 싫어하였다. 사실 境界領域을 지나친다는것은 一般的으로 좋아하지 않았다.

珪酸칼슘 水和物을 研究하고 있는 사람은 누구든간에 이 물질을 取扱하는데 있어서 곤란한 것은 좀체로 좋은 結晶을 얻을 수 없다는 것이다. 水熱下의 條件에서는 常溫보다는 좋은 편이지만 그래도 單結晶의 X線의인 研究에는 充分히 큰 結晶을 合成하는 것은 困難하다. 그래서 바나르를 생각하고있지만, 「天然 鑛物을 찾으시오. 自然은 實驗室보다도 結晶을 기르는데에 充分한 時間을 가지고 있다. 合成物의 研究와 天然鑛物研究 양쪽을 합하여 비로소 結果가 있을 것이다」라고 말했다.

Lise Heller와 나는 같은 化學 出身이었으며 Bernal의 物理學研究室에서는 상당한 時間을 鑛物學으로 채웠다. 그 이후 學問 속에 있는 慣習의인 境界를 어느 程度 輕蔑했었고, 그것은 人

爲의인 것으로 생각하게 되었다. 要컨데 Bernal은 여러가지 方法으로 아프로치 할것을 우리들에게 強調했다. 이 敎訓은 나에게 있어서 아주 貴한 것이며 이를 實行에 옮겼다.

Bernal은 逸話가 많은 분이였다. Bernal 이 研究生活에 처음 들어간 무렵이다. Sir William Bragg (X線結晶學의 創始者) 밑에서 研究했다. 1922年度에 Bragg 와의 첫날을 Bernal은 다음과 같이 말했다. 「자네는 變壓器의 라미네션과 電線을 調達하고, 高壓도란스를 스스로 만들었으면 좋겠다. 그것이 되면, 工作室에 가서 X線管球를 스스로 만들고 全部 끝나고 또 오게. 그리고 난 다음에 가능한 것을 자네에게 말 할테니까」

그런데 오늘날 大學院生을 敎育하고 있지만 學生에게 그와 같은 敎育을 實施하면 어떡할까하고 생각하는 일이 있다. 나는 바크백크大學 時代に 工作室에서 實驗器具 製作에 많은 時間을 보냈다. 그러나 時間을 낭비했다고는 결코 생각하지 않는다. 裝置의 設計에 있어서 보다 더 理解하게 되었다. 만약 그와 같은 經驗이 없으면 現在의 學生들처럼 브렉박스를 使用하였을 것이라고 確信한다.

Bernal과 시멘트 化學

1950年頃の Bernal 研究室을 回顧해 본다.

Bernal의 最大 關心事가 시멘트가 아니었다는 것은 이미 밝혔으며 約 10年間 시멘트에 興味를 가지고 그 중 5年間 내가 Bernal 밑에 있었을 때가 가장 關心을 기울인 時代이다. 앞에서 밝힌대로, Bernal은 先驅者였으며 周圍사람들에 刺激을 주고 또한 아이디어를 提供하였다. 우리들이 시멘트를 研究하고 있었던 時代に Bernal과의 接觸은 그만큼 많지 않았으며 그러나 대단히 關心을 가진 때는 하루에 한번, 두번 또는 몇번이나 나에게 찾아 와서는 實行해야 할 새로운 아이디어를 가지고 왔다.

Bernal 밑에서 研究하는 秘決은 그의 아이디어의 어느 것을 받아드리고, 어느 것을 버리는가에 있었다. 누구도 그의 아이디어의 전부를 확인할 수는 없었다. 왜냐하면 時間이 없고 그

위에 몇개의 아이디어에는 天才的인 재치가 있고 大部分은 空想的인 것이고, 또한 그중에는 아무리 보아도 시시한 것이 있었다. 그것은 Bernal 自身이 잘 알고 있었던 것이고, 그는 자기 밑에서 일하는 研究者가 研究者自身の 아이디어를 가지는 것과 같이 Bernal의 아이디어를 살리는 것, 即 채(節)와 같이 받을 것을 期待한 것 같다.

다음에 研究室 雰圍氣다. 그 時代 英國에서는 꽤 形式主義的인 것이 있었다. 가령 나의 大學院時代의 諾진검大學을 보면, 學科主任과 年輩敎官 사이에는 항상 친근하게 지냈지만 主任에게는 Sir를 붙여서 인사를 한 것으로 보아 결코 화목한 사이는 아니었다. 이것은 當時로서는 극히 보통 일이다. 그러나 Bernal의 研究室은 전혀 다른 雰圍氣였다. 모두 퍼스트 베임으로 그것도 敎官, 技術員, 事務員 사이에 平等으로 불리고 있었다. 오늘날의 英國 社會에서는 普通이지만 Bernal은 時代를 先行했다.

Bernal 밑에서 시멘트를 研究한 바크백크陣의 業績과 短點은 무엇이었는가를 여러분에게 質問을 받으리라고 생각되지만, 이는 실로 대단히 어려운 質問이다. 實際問題로서 Bernal의 個人的인 貢獻과 門下生의 것을 區別하는 것은 不可能하며 全體의 일을 통하여 큰 特徵은 結晶學的인 것에 重點을 둔 것이다. 이것은 長點과 短點의 양쪽을 가지고 있었으며 長點이라면 Bernal以前에는 無視되었던 것이 아프로치였고, 많은 貢獻을 했다. 그러나 短點이라면 다른 研究方法에 比較하여 너무나도 結晶學偏重이었다고 본다. 이것은 30年後인 오늘날에도 그릇된 思考고 解釋을 할 것 같은 疑問點이 있다.

無水物研究에서는 Bernal 밑에 있었을 때의 Jeffery의 C_3S 의 結晶構造 解析이 큰 貢獻이었다. 또 建築研究所의 Midgley夫人이 Jeffery와 Bernal의 指導로 $B-C_2S$ 의 構造를 決定한 것을 헤아릴 수 있다. Heller는 水熱關係일을 하고 있었지만, CA 의 構造를 解析했다. 그러나 自己가 納得 못하는 일도 있어서 Ph. D. 以外の 論文에는 發表 안했지만 그 뒤 Bernal의 死後 Jeffery와 Mondal이 C_3A 의 構造를 決定했다. 이와 같이 포틀랜드시멘트와 아루미나 시멘트의

主要한 構成物인 4個의 物質中의 3個의 構造를 決定하고, 또 다른 構造도 분명하게 했다. 이것은 큰 貢獻이라고 말할 수 있다.

水和物에 대해서는 우리들의 研究를 評價하는 것은 容易하지 않았다. 우리들은 시멘트와 C_3S 의 베스트水和의 C-S-H의 X線粉末 回折線을 最初로 받았고, 結晶性和 準結晶質인 珪酸칼슘 水和物의 研究의 基礎를 充分히 가지고 있었다. 그러나 이것이 反對로 베스트 水和物의 非晶質狀 C-S-H가 層狀構造를 가지고 있다는 假說까지 끌어 시멘트의 水和物인 内部構造가 層狀인것처럼 생각하기까지에 이르렀으며 여기에는 當時 英國에서 旺盛히 研究되고 있었던 粘土 鑛物의 結晶構造 研究에서 影響되었다고 생각된다. 이와 같은 생각이 오늘날까지 시멘트 水和物에 대하여 支配的이었으며, 우리들은 그것이 옳다고는 確信하지 못한다.

型을 決定하는 研究를 열심히 추진시키고 있으며 이것은 시멘트水和研究의 世界的인 傾向같이 보인다. 물론 結晶性物質의 研究에는 X線回折이 큰 武器이지만, 非晶質狀 物質에는 이렇다고 할 하나의 決定的인 斷定이 없는 것을 指摘해 둔다.

Bernal은 先驅者였다고 말 하였지만 1951년에는 시멘트의 水和研究에 電子顯微鏡을 最初에 導入하고, 또 그 10年은 앞에서 밝혔지만 結晶學的인 아프로치에는 長點과 同時에 短點도 있다. 그것은 거의 非晶質에 가까운 物質에 대하여 結晶化度を 過大하게 지나치게 評價하는 것이다. 우리들은 C-S-H를 곧 結晶性的 鑛物토바모라이트와 構造의인 類推를 했지만 이것은 옳지 않다. 아버지大學의 나의 研究室에서는 結晶學的인 方法과는 다른 化學的인 方法으로 시리케이트아니온의 뒤에는 走査電顯에서 시멘트의 寫眞을 發表했다.

Bernal의 研究室에 있었던 時代의 시멘트 研究의 頂點은 의심할 것 없이 第三回 시멘트化學의 런던심포지움이었다. Jeffery의 일은 C_3S 에 關한 論文에 集約되어 있고, 水和物에 대해서는 주로 나와 Heller의 것을 Bernal이 報告했다.

그런데 Bernal의 研究活動末期에 가까운 1958

년에는 그의 關心은 液體構造로 돌렸으며 1930年代에 Bernal은 이 方面에 重要的 貢獻을 하였다. 그러나 1958년에는 새로운 아프로치, 即 液體構造는 一般으로 不規則으로 充填된 球의 集合體에 近似하다는 생각에서 出發했다. Bernal은 1963년에 重病에 걸려 이 假說을 충분히 發展못시켰지만 나는 Bernal의 液體研究가 시멘트化學에 重大한 結果를 남게할것이라고 말하고 싶다.

나는 시멘트의 完全水和 페스트의 機械的性質을 2型粒子가 纖維狀이라든가 葉片狀 아니면 거의 等粒狀 以外の 다른 形狀을 하고 있는 등의 베이스에 서서 說明을 찾는 思考方式에 疑心을 더욱 強하게 가지게 되었다. 確實히 Bernal은 시멘트型에 球의 不規則的인 充填의 思考를 通用하려고는 생각하지 않았으나 Bernal의 液體構造의 아이디어는 시멘트의 水和研究에 오늘날 아직 살아 있는 것같이 나는 생각하고 있다.

이 講演에서는 科學者이며 教師로서의 Bernal을 말했다. 그러나 이미 말한 바와 같이 우리들이 常識的으로 생각하는 科學을 Bernal의 活動의 一部分에 지나지 않는다. 그는 적어도 많은 時間을 獻身的으로 科學의 應用에 낭비했고, 政治에도 깊이 파고들어 갔다. 이 點에 關해서는 Bernal과 相通하지 않은 생각을 가지고 있으며 그의 思想은 크게 틀렸다고 믿고 있다. 그러나 Bernal을 否定的인 態도로 이 講演을 끝내고 싶지는 않다.

Bernal이 偉大한 科學者였던 것을 제일 첫째 들고, 둘째는 우리들을 鼓舞해 주신 先生님이었다는 것을 말하고 싶다. Bernal에 힘 입은 바가 대단히 큰 것을 말하고 끝낸다.

