

特別講演

시멘트工業에 있어서의 化學工學的인 問題點

玄 在 天

<東洋세멘트副社長>

오늘 斯界의 원로·선배님들을 모시고 시멘트 심포지움에서 한 말씀 드리게 된 것을 큰 榮光으로 생각합니다. 시멘트 工業의 여러 가지 面 중에서 技術的인 面, 또 그中에서 특히 化學工學的인 面에 對하여 앞으로 한 時間 정도 여러분과 같이 생각해 보기로 하겠습니다. 먼저 시멘트 工程의 特徵되는 點들을 나열해 보면 대개 다음과 같이 된다고 믿습니다.

첫째, 시멘트工程은 하나의 連續工程입니다. 鑛山에서 採石하여 시멘트 밀에서 粉碎, 최종 제품을 만들 때까지 모든 工程이 連續되어서 作動된다는 것입니다. 둘째로 시멘트 工程은 에너지가 많이 必要로 하는 所謂 Energy Intensive Process 中의 하나입니다. 粉碎·燒成에 드는 燃料·動力費가 生產原價의 半이상을 點하는 것을 보면 쉽게 알 수 있습니다. 세째로, 시멘트 工程은 大型 機械를 사용하는 裝置產業입니다. 즉 固定施設投資가 많이 든다는 말입니다. 위의 세 가지 工程上의 特徵 외에 시멘트 產業은 첫째 基幹產業의 하나로 특히 우리나라에 선 經濟開發에 큰 一翼을 담당하고 있고 둘째 다른 衣食住產業과 마찬가지로 國民經濟에 敏感한 산업의 하나이고 세째 우리나라와 같은 中進國에선 急成長 業種중의 하나입니다. 以上과 같은 工程·產業上의 이유때문에 시멘트業에 徒事하는 우리들은 계속되는 시멘트業의 발전을 위해서 앞으로 倍前의 努力を 해야 된다고 믿습니다.

連續工程으로 因한 大量生産이 容易한 反面 한 部分의 故障으로 因하여 全體工程이 서야 되는 缺點이 있기 때문에 시멘트 工場에서는 徹底한 機械點檢과 合理的인 補修계획이 특별한 중요성을 갖습니다. 또한 Energy Intensive Process 이기 때문에 에너지節減으로 因한 Cost Down이 他工業에 比해서 크고 따라서 反應工學·流體力學 및 熱傳達을 바탕으로 한 全工程의 効率化가 恒常 必要합니다. 最近의 Kiln大型化로 因하여 작은 生產性의 向上이 經濟的으로 큰 効果를 가져오고 稼動率의 增加가 거기에 드는 資材費增加보다 큰 意味를 띠게 되었습니다.

化學工學的인 面에서 시멘트工程을 좀 더 具體的으로 考察해 보면 위에서 論及한 點들 이외에 다음과 같은 것들을 發見할 수 있습니다. 1. 진 Kiln 등으로 因하여 工程에 時差 (Time Lag)가 있어 變數測定이나 制禦에 어려움이 많고 2. 變數測定이 高溫의 Kiln 内部 等에서 極히 어렵거나 不確實하고 3. 工程變數들의 相互連繫度가 아주 크고 4. Kiln 내에서의 動力學的인 特性이 아직 잘 把握되어 있지 않고 5. 製品(Clinker)의 品質을 아직 실험실에서

측정하고 實際工程과 직접 연결(On-Line)이 안되어 있다는 点等입니다. 以上과 같은 難點에도 不拘하고 혹은 그 때문에 시멘트工程에 化學工學的 Idea를 適用할 必要性이 있는 것입니다. 여기에 그 예를 몇 가지 들어 보겠습니다.

첫째로 原料配合 과정에서 지금까지는 대개 1次聯立方程式을 풀어서 원하는 組成을 주어진 原石들의 混合比로 얻고 있습니다만, 이것은 시멘트 品質規格上 1次聯立不等式으로서 푸는것이 妥當하고 따라서 線型計劃(Linear Programming)의 方法을 도입해야 됩니다. 또한 原料配合에 費用函數(Cost Function)를 넣어서 非線型計劃(Non-linear Programming)으로發展시켜 푸는것이 더 바람직하고 앞으로 이런 方向으로 研究가 進行되리라고 믿습니다.

둘째로 複雜한 Kiln Control에 關해서 體系的試圖를 해야겠습니다. 지금까지 熟練된 烧成手의 技術에 依存해서 經驗的으로 해 온 것을 化工學的 方法을 써서 于先 動力學的(Dynamic) Model을 세우고, 그리고는 Computer로 Simulation을 하고, 그후에 Control을 包含시켜야 된다고 봅니다.

그러기 위해서는 먼저 Kiln System을 正確히 把握하고— Tubular Reactor (Distributed Parameter) System, Solid-Gas System, Counter-Current System, Heat Transfer Dominant System, etc. — 各變數係數에 對한 Kiln의 Sensitivity를 求한 다음, 最適 Control 構造를 만들어야 됩니다. (Feedback, Feedforward, Adaptive, etc.) 即 다른 化學工程에서 開發・適用되어온 化學工學의 Process Dynamics & Control 理論을 써야 되겠다는 말입니다. 勿論 이렇게 하려면 時間과 努力이 많이 드는것이 사실입니다만, 우리나라 시멘트技術이 自立하고 外國에 우리의 特許를 輸出할 수 있기 위해서는 우리의 研究・開發의 方向은 위와 같이 되어야 된다고 믿읍니다. 위에 적은 Dynamic Model을 좀 쉽게하는 方法 두 가지를 소개하면, 그하나는 統計學的인 것으로 일단 Kiln內의 Dynamics를 모른다고 假定하고(Black-Box로 看做) Inputs과 Outputs의 相關關係를 統計學的으로 求해서 얻은 Stochastic Model을 Dynamic Model 代身 쓰는 것입니다. 日本에서 이런 方式을 시도해 본 결과 Kiln動態를 比較的 잘 나타낸다는 것을 알았습니다. 또 한가지 方法은 아예 Dynamic Model을 무시하고 烧成手들의 경향을 체계적으로 區分해서 Control 構造를 짜는 것입니다. 즉 가장 熟練된 烧成手의 능력을 가진 Robot를 쓰는것과 같은 이론입니다. 이런 方法(Fuzzy Control)도 실제 사람이 하는 것보다 좋은 結果를 얻었음이 밝혀졌습니다. 다시 말해서 Kiln Control은 앞으로 계속 우리 모두가 研究 開發해야 할 큰 과제중의 하나입니다.

세째로 시멘트 각 工程을 工程別로 適正・合理화해야 되겠습니다. 連續工程 全體를 한꺼번에 하는 것은 거의 不可能하지만, 部分 工程別로는 可能하기 때문입니다. 여기 適正合理化(Optimization)에는 例를 들어서 Min-Max 이론 같은것을 쓸 수 있겠습니다. 즉 Kiln의 境遇 燃料를 줄이는 것을 目標로 한다면 于先 变数 즉 Min{연료}라고 쓰고(변수를 Control 해

서 연료를 최소로 한다는 意味), 다시 팔호속의 연료를 最惡의 방해 조건 下에서의 값으로 表現합니다. Min(변수) {방해조건 즉 Max(연료)}, 다시 말해서 제일 나쁜 狀況아래서의 燃料 사용량을 최소로 줄이는 변수 Control을 求해 본다는 것입니다. 이렇게 하는 部分工程別合理化를 Suboptimal Control이라고도 하는데 그 根本 趣旨는 복잡한 全體工程의 完全合理화가 不可能할 때 또는 그것의 初期作業으로서 利用하자는 것입니다.

네째로 시멘트 工程중에 測定이 어렵거나 不確實한 變數·係數들의 값을 얻기 위해서 推定(Estimation)을 하는데 앞으로는 Computer를 써서 Real-Time Estimation을 해야겠습니다. 즉 Non-Sequential에서 Sequential Estimation으로 發展시켜 측정을 계속해서 시간이 갈수록 추정치의 정밀도가 높아지는 Kalman Filter 같은 이론을 쓴다는 말입니다. 왜냐하면 이 Estimation과 앞에서 論述한 Kiln Control과는 不可分의 관계로 普通 둘을 同時에 하는것이 좋습니다.

以上 시멘트工程에 具體的으로 利用될 수 있는 化工學의 Idea를 紹介했습니다만 이 以外에도 Fluidization Theory를 利用한 Precalcer의 性能向上이나 確率이론을 이용한 粉碎率향상 等 그 例가 많습니다.

결국 시멘트 工程에서는 거의 化學工學의 全分野를 必要로 한다고 말할 수 있고, 그 重要度에 따라 적어보면 대개 다음과 같읍니다. 1. Process Dynamics and Control 2. Reaction Engineering 3. Heat Transfer 4. Fluid Mechanics 5. Optimization 6. Stochastic Process Theory 7. Solid Handling 8. Morphology 9. Rheology 10. Cost Analysis, Inventory Control, Production Forecasting, Project Analysis. 以上 끝에적은 것들은 傳統的인 化工分野는 아니지만 工場等地에서 근무하는 엔지니어에게는 必須的인 지식들입니다. 위의 諸分野에 對한 知識을 가지기 위해선 大學에서의 教育도 중요하고 시멘트 業界의 持續的인 關心과 投資가 必要합니다. 그렇게 함으로써 새로운 技術을 確固한 지식의 기반 위에서 開發하고, 外國에 輸出해서 지금까지 수입한다고만 認識되어온 特許의 概念을 고쳐서 우리가 직접 指導하는 입장을 하루빨리 세워야겠습니다. 10年前과 달리 우리나라도 시멘트生産의 量이나 質에 있어 世界先進國대열에 들어서는 此際에 우리 시멘트에 종사하는 사람들은 새로운 信念과 執念 그리고 正確한 知識을 가지고 臨해야 되겠습니다. 다시 말해서 이제는 밖에서 (外國) 우리를 보는 눈이 다르고, 그 期待 또한 크기 때문입니다. 發展하는 祖國經濟에 이바지하고 우리 시멘트業·學門을 이끌고 나갈 여러분들의 전투를 빌면서 오늘 제 말씀은 여기서 마치겠습니다.