

# 食品加工施設 自動化的 實質的 課題

全 在 根

〈서울대학교 農科大學 食品工學科〉

식품산업에 자동화 기술도입의 필요성을 새삼 강조하는 것은 식품산업의 발전경향으로 미루어 볼 때 상식에 지나지 않을 것이다. 필자는 이 기회를 통하여 식품산업에 첨단 자동화기술의 도입 및 활용방법에 필요한 실질적인 문제 즉, 식품산업에 자동화 방법을 적용하기 위해서는 무엇을 어떻게 하여야 할 것인가를 간략하게 기술해 보고자 한다.

## 1. 식품산업에서 자동화가 필요한 부분

자동화 기술은 자본의 투자가 요구된다. 아무리 간이자동화 방법을 사용한다 해도 설치작업과 시설의 보완은 기업적 측면에서 커다란 부담이 될 것이다. 따라서 자동화를 성공적으로 실행하기 위해서는 공정 전체를 일괄 해결하려는 지나친 시도는 삼가야 할 것이다. 그 이유는 공정의 자동화를 conveyor belt나 자동포장기와 같은 단순한 기계적 장치의 자동화로 인식되어서는 곤란하기 때문이다.

물론 단순한 자동운반시설등은 노동력을 줄일 수는 있지만 보다 큰 역할을 감당할 공정의 실질적인 자동화를 이룩하는 것과는 거리가 멀다. 이와 같은 단순한 자동화 시설은 우리나라 식품산업에서 손쉽게 이룩할 수 있는

것으로 알고 있으며, 웬만한 식품공장이면 한 두 대의 자동화 장치를 쓰고 있다고 보아야 할 것이다. 실제로 두부제조공정에서도 자동화 생산 line을 운영하고 있는 경우를 볼 수 있다.

그러나 자동화 시설이 때로 어떤 고장에 봉착했을 때는 생산 line에 커다란 지장을 주는 병목 현상을 유발하는 경우가 있기 때문에 자동화를 추진할 때 여러가지를 고려하여야 한다. 또한 모든 공정에 자동화를 시도해서도 곤란하다고 본다.

왜냐하면 자동화는 연속공정(continuous process)에 적합한데 무리하게 회분식공정에 적용할 경우는 이에 알맞는 방식을 미리 강구하지 않으면 많은 실패를 경험하게 된다. 불행히도 식품산업에서 상당히 많은 공정이 회분식공정에 해당된다. 따라서 자동화대상 공정을 잘 선택할 것과 그 공정에 적합한 자동화 방법을 채택하는 것이 대단히 중요하다.

## 2. 자동화 계획의 중요성

최근 자동화 기술은 상당한 발전을 이룩하였다. 특히 digital 제어방면에 커다란 진전이 이루어졌으며 computer산업의 발전은 자동화에 필요한 부품과 장치(hardware)의 값을 상

당히 저렴하게 하는데 크게 기여했다. 그리고 computer기술은 앞으로 식품산업 자동화에 핵심적 역할을 할 것이다. 따라서 자동화를 시도하는 초기단계부터 앞으로 모든 또는 상당히 많은 공정이 computer에 의해서 다루어진다는 것을 염두에 두고 계획하는 것이 좋다.

왜냐하면, 각 공정에서 계측되는 공정변수의 값이 digital화 되어야 하고, 당장은 그렇지 못하다고 해도 앞으로는 결국 digital화 되어 주컴퓨터(host computer)에 연결 되어지기 때문이다. 따라서 각 공정들 사이의 network 구성방법과 공정과 주컴퓨터와의 관계를 고려하여야 하고 어떤 과정을 거쳐서 자동화의 목표를 달성할 것인가를 충분히 검토하여야 할 것이다.

즉 현재 진행중인 공정의 자동화 방식이 앞으로 진행될 전반적인 자동화에 대비하여 앞으로 원만히 system을 구성하는데 지장을 주지 않을지 계획단계에서 검토하는 것이 좋을 것이다.

### 3. Hardware와 Software의 조화

자동화에서 hardware는 물론 공정제어기와 시설을 뜻한다. 여기에는 계측기, 신호전송장치, 자료의 수집 및 저장장치, 자료의 표현기(displayer, printer), 각종 공정을 제어하는 조작단등을 포함하고 있다. 이러한 hardware 중에는 자동화가 아니더라도 필요한 것이 상당히 있다. 예를 들면 계측기, 기록계, 계기판 등이다.

그리고 programable controller(P.C.) 등이 국내에서도 생산되고 있기 때문에 단순한 공정의 제어에 이용할 수 있다. 예를 들면, heater, pump등의 on/off등은 지정해주는 임의 시간에 정확히 작동하게 할 수 있는 편리한 자동화 기기이다.

특히 P.C는 계측단자도 여러개 연결할 수 있고 작동시간을 조절할 수 있는 program loader까지 갖고 있다. 그러나 이들이 우리 식

품산업의 공정을 자동화하는데 전부라고 생각해서는 곤란하다. 그 이유는 P.C제조업자나 F.A담당자는 모든 것이 잘 된다고 하는데 실제로는 그렇지 못하다.

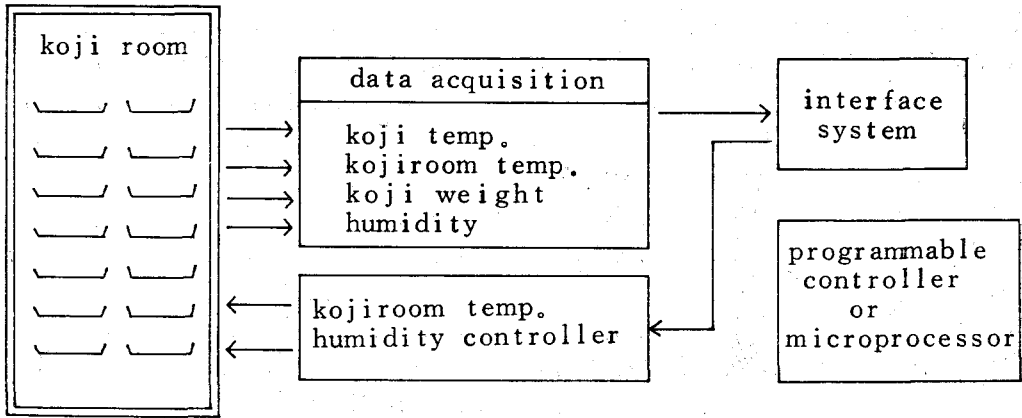
이유는 간단하다. 즉 식품공정을 운영하는 방법인 software를 hardware에 조화시키는 기술이 미숙하기 때문이다. 여기서 software라는 것은 식품제조공정을 의미하며, 보다 정확히는 관여 공정변수가 어떤 algorithm을 따르는가 하는 공정운영 기작이다. 그런데 이 software의 문제를 해결함이 없이 hardware만으로 자동화를 실현하려고 하는데서 실패는 오기 마련이다.

따라서 식품 제조공정에서 자동화의 성공은 공정을 대변할 수 있는 algorithm을 정확히 개발하고 이를 hardware에 이용하도록 하는 것이다. 이는 결국 식품가공전문가의 도움없이 진정한 의미의 자동화란 이루어질 수 없으며, 성급한 자동화의 추진은 커다란 손실을 초래하며, 많은 시행착오에 커다란 대가를 지불하는 결과를 가져다준다.

### 4. Software의 개발방법

공정 자동화에 필요한 software는 관련공정에서 각종 공정변수, 조작조건, 환경 등이 어떻게 제품의 품질, 생산속도에 관여하는가 하는 점이 명확히 규명된 후에야 만들어질 수 있다. 실제로 식품가공 공정의 경우 관련변수가 많고 대부분 반응 기작이 불분명하거나 어떤 관계식으로 표현할 수 없는 경우가 허다하다. 어떤 공정은 이론에 잘 부합되는 경우도 있기는 하지만 실제로 제조환경에서는 그렇지 못한 경우가 상당히 많기 때문에 실험·실적·성적이 곧바로 공장에서 적용하기 위해서는 적절한 scale-up기술이 필요하고 여기에 많은 생산현장의 경험이 반영되어야 한다.

또 한편으로는 공정 개개의 특성을 무시하고 black box의 개념으로 공정변수와 제품과의 관계를 최적화시켜 공정의 관리기준을 설정하는 경우가 있기는 하지만 식품산업의 경우 원



〈그림 1〉 코오지 배양공정의 제어방법

료의 불균일성, 배합비율의 잦은 변동들은 결국 공정의 분석요인을 복잡하게 하고 있다. 공정에 관여하는 모든 변수를 관리하는 공정 관리가 가장 바람직하지만 전술한 바와 같이 이와 같은 것을 생산현장에서 기대하는 것은 너무나도 연구실적 접근방식이 되기 때문에 적어도 공정의 자동화 관점에서 볼 때는 문제를 그대로 내포하고 있다. 왜냐하면 변수가 많을 때도 이를 계측하고 분석, 제어하는 hardware 부담이 엄청나게 커지기 때문이다.

따라서 식품제조 공정의 핵심적인 공정변수가 무엇이며, 이것을 어떻게 단순화하여 공정을 제어하도록 노력하여야 할 것이다. 이럴 경우 목표치와의 오차가 크게 발생하는데 이차는 적절한 control mechanism의 도입으로 조절될 수 있다고 보며 이와 같은 방향으로 자동화 공정을 연구할 경우 자동화의 실현은 어렵지 않게 이룩될 수 있을 것이다.

여기서 간단히 저자의 연구실에서 연구되고 있는 몇개의 자동화공정 중에서 간장제조용 중국배양공정을 보면 다음 그림 1과 같이 관련변수가 많다.

이 공정은 여러개의 변수가 개재하고 있는데 주반응은 보리나 콩에 *Aspergillus*균이 생육하도록 하는 것이다. 따라서 이 배양공정은 균의 생육에 관계되는 변수들을 계측하고 제어는 이를 중심으로 이루어져야 한다. 그러나

균체의 생육상태를 직접 계측하는 현실적인 수단은 없다.

그러나 균의 생육의 진행상태를 간접적으로 계측할 대상은 반드시 존재한다. 즉 직접은 아니지만 간접적으로 그 공정을 대변할 수 있는 대응변수를 찾아낼 수는 있는 것이다. 그 좋은 예가 중국품온의 변화, 균체 호흡량의 변화, 기질감소등을 들 수 있다. 물론 이들 대응변수들 중에서 어떤 것을 채택하여 분석하고 제어대상으로 설정하여야 하는가에는 상당한 연구가 뒤따라야 한다.

본 연구실에서 얻어진 결과를 보면 기질의 감소율과 품온의 변화를 연계시키는 방법을 채택하여 중국배양공정의 제어, algorithm를 확립할 수 있었다. 개략적 내용을 소개하면 우선 발효의 정상적인 진행유무를 확인하면서 품온의 변화와 기질의 감소경향을 반복된 실험을 통해서 계측하고 이들을 중국의 상태와 관련시켜 최적제품이 얻어지는 실질적 실험식을 얻어낸다. process controller에 이 실험식을 program으로 사용할 수 있도록 하는데 특히 공정의 제어가 용이하도록 이들 변수의 계측치로부터 몇개의 peak신호를 발생하도록 한다.

Process controller는 이 신호에 준하여 공정을 관리하는 것이다. 이와 같은 대응변수를 쓰는 방법은 계측시설의 단순화 뿐 아니라 이들

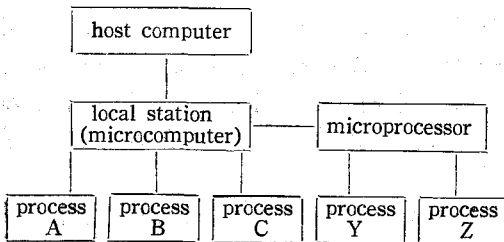
의 유지관리비용을 낮출 수 있고 성공적으로 잠균의 오염 위험성을 경고하게 할 수 있으므로 중국배양의 무인관리에 효과적으로 적용할 수 있을 것이다. 중국배양 환경의 조절은 상술한 대응변수를 사용전 algorithm에 영향을 주기때문에 상호 제어하는 결과가 된다.

즉 배양공정의 자동제어를 단순한 곡자실의 온·습도 조절에 있는 것같이 인식해서는 곤란하며, 이들 환경요인은 주 공정변수를 기준으로 조절 및 제어되어야 진정한 의미의 자동제어가 이룩되는 것이다. 이상은 하나의 배양공정에 국한한 것이지만 건조, 발효 공정등 수많은 공정도 그 공정 특유의 성질을 바탕으로 algorithm을 개발하고 이를 기초로 하여 자동화가 시도되어야 할 것이다.

이렇게 개발된 software는 hardware에 장착될 수 있도록 program화 되어야 하는데 이 과정에서는 operator의 능력, 원료의 변동, 작업환경의 임의변경, 계측자료의 수집빈도의 조절등이 충분히 고려되어야 한다.

## 5. 자동화 체계를 갖추기 위한 각 공정의 구비조건

자동화는 공정과 공정 사이에 잘 구성된 하나의 통신망이라고 볼 수 있다. 만일 digital 컴퓨터를 사용하여 자동화를 이룩한다고 한다면 주 컴퓨터와 각 공정들 간의 신호의 주고 받는 통신체계가 필요하다. 다음 그림 2는 공정간의 통신체계를 간단하게 표시한 것인데 이들 통신은 전화선과 같이 송·수신이 가능하여야 한다.



〈그림 2〉 공정별 계측별 제어 system을 갖춘 후 주 컴퓨터와 연결된 network의 일례

공정 변수들의 계측된 자료들을 computer에 송신하는 bus(통신회로)와 컴퓨터가 각 공정의 제어용 신호를 송출하는 bus가 필요한데 만일 한 공정에서 가공온도, 압력, 습도, 무게 등의 각종 공정변수들의 계측치가 computer로 보내진다고 할 때 bus의 회선수는 엄청나게 많이 소요된다. 이런 경우 통신설비에 소요되는 경비는 엄청날 것이며, computer가 이들 자료처리하는데 소요되는 용량의 부담, 처리 속도의 문제가 발생하게 되어 결국 엄청난 hardware설비 투자와 유지비의 부담이 커지게 된다. 따라서 각 공정에서, 주 computer에 송출된 자료를 될 수록 간단하게 하여야 한다.

그러기 위해서는 각 공정단위로 해당 공정 제어 변수를 자체관리하고 그 주요 결과만을 즉, 전체공정간에 반드시 필요한 정보(공정의 정상가동 여부 신호, 공정의 반응이 어느 정도 진행되고 있다는 정보)만을 computer에 송출하도록 하여야 한다. 이 말은 곡자실의 온도를 일정하게 유지하기 위해서 주 컴퓨터에 온도 sensor를 연결한 것이 아니라 곡자실의 온도계측 시설을 설치하고 heater의 제어를 자체적으로 관리하도록 하는 것이다.

그대신 곡자의 풍온이 정상적인 변화를 벗어날 경향이 보일 경우 alarm신호만을 보내고 곡자의 배양정도를 나타내는 기질을 감소정보만을 일정시간 간격으로 송출하도록 하면 곡자실 관리에는 1~2개 회선의 bus만으로 관리할 수 있도록 한다. 물론 각 공정에서 신호를 가공처리하는 것은 약간의 전문지식이 필요하지만 능히 해결가능한 것 들이다. 그러면 각 공정단위에서 어떻게 신호를 가공하는가 하는 방법을 간단히 소개하기로 한다.

### (1) 공정의 계측

공정을 제어하기 위한 첫번째 과제는 공정의 내용을 정확히 계측하는 것이다. 계측에는 계측용 probe(sensor)가 사용되고 있는데 공업적으로 사용되는 것은 전기적 신호를 계측치로 나타내도록 하여야 한다. 그 좋은 예가 thermocouple, thermister와 같은 온도계이다.

이들 온도계는 각 산업에서 광범위하게 쓰이고 있으며 일반화 되어 있다. 그런데 이들 계측단자들은 반드시 계측기가 있어야 하고 계측기의 한가지 부품으로 sensor가 필요한 것인데 사실은 계측단자가 주체이고 계측기는 계측단자에서 발생하는 신호의 단순한 가공장치라고 이해하는 것이 정확한 표현이라고 볼 수 있다. Thermocouple의 경우를 보면 온도계측값이 수 mV의 전압을 발생한다. 이 정도의 전압은 수십 내지 수백배로 증폭시켜야만 믿을 만한 신호로서의 가치를 갖는다. 따라서 thermocouple에서 발생한 신호는 전압증폭 IC소자인 operational amplifier (Op Amp)을 써서 증폭한다.

예를 들어서 0~100°C의 온도 범위를 계측한다고 하면 0°C에서 Op Amp 출력을 0 Volt 100°C에서 5 Volt출력을 낼 수 있도록 회로를 구성한다. 다음은 계측 신호의 digital화인데 계측된 신호는 analoge 값을 갖게되므로 이를 digital화 시키는 것인데 이것 역시 어려움이 해결 할 수 있다. 주로 8 Bit, 16 Bit ADC IC chip이 사용되고 있다. 이렇게 계측된 값이 증폭되어 digital화 되면 각 공정에서 자료를 처리할 수 있는 기본적인 요건을 갖추었다고 볼 수 있다.

## (2) Microprocessor 또는 Computer와의 접속

공정에서 계측한 자료를 computer(또는 microprocessor), program controller(P.C는 접속장치를 갖추고 있는 것이 있음)에 접속시키기 위해서는 적절한 수단이 필요하다. 이와 같은 접속장치(interface device)는 접속용으로 개발된 IC chip들로 구성할 수 있다. 예를 들면 Z-80 processor에 대해서 8255, PIO chip들이다. 이들 chip들은 자료의 입, 출력(input/output)을 여러가지 방법으로 다양하게 수행할 수 있도록 프로그래밍할 수 있으므로 그 응용범위가 넓다.

식품제조 공정을 제어할 수 있는 것도 이들 IC chip이 없다면 실현이 어려울 것이다. 혼

히 P.C의 입·출력 channel수가 8, 16, 32...와 같이 그 수를 늘릴 수 있는 것도 이 interface chip으로 가능하게 되며 공정과 computer와의 대화 방식의 제어나 각종 display장치, 조직단의 제어신호의 입·출력도 이것에 의존하지 않고는 이루어질 수 없는 것이기 때문에 그 중요성이 대단히 크다.

최근에는 microprocessor 자체에 interface device와 간단한 program을 실릴 수 있는 ROM을 1개의 chip속에 포함된 형태의 것도 있으며 산업적인 것이 많이 활용되고 있다.

## (3) 개별공정 제어

개별공정은 앞서 언급된 계측된 변수들을 분석하여 얻어진 대응변수와 같은 단순화된 공정변수로서 제어한다. 간단한 공정의 경우는 microprocessor로 충분하며 microprocessor는 4 또는 8 Bit의 것으로 해결할 수 있는 경우가 상당히 많다. microprocessor와의 접속을 위해서는 약간의 interface 기법이 필요하며 공정변수를 개재시켜 공정을 제어할 수 있는 program을 작성하는 기술도 필요하다.

8 Bit microprocessor 1개로 제어할 수 있는 공정은 여러개로 확장할 수도 있으나 구태어 그럴 필요가 없을 때도 많다. 왜냐하면 공정들을 연결 구성하는 통신선의 설치 비용보다 microprocessor의 가격이 아주 저렴하기 때문이다. Microprocessor에 의한 개별공정 제어 system은 program을 내장한 ROM을 설치할 수 있으므로 제조공정을 계획된 program에 따라 아주 정확히 작동할 수 있도록 충실히 기능을 제공해 준다. 실제로 microprocessor는 단순한 제어장치로서 기능을 제공해 줄 뿐 아니라 공정전체를 관리하는 주 computer의 요청에 따라 언제나 자료를 송출할 수 있다.

공정 자체가 여러개의 변수를 제어하여야 하고 공정의 제어 algorithm이 여러 변수들로 구성된 수식에 따라 연산 처리된 결과를 제어된다고 할 때는 microprocessor보다 성능이 높은 microcomputer로 대신할 수도 있다. microcomputer는 공정진행 결과의 display나

작업결과를 print해낼 수 있는 기능을 갖고 있기 때문에 상급관리자에게 보고하거나 자료보관에 놀라운 수단을 제공해 준다. 특히 조작이나 program 작성이 용이하다는 잇점이 있으나 microprocessor로 충분한 곳에 구태여 microcomputer를 사용할 필요는 없을 것이다. 단지 network의 local station의 관리기능을 담당하게 하는 것이 나을 것이다.

#### (4) Net work의 구성

각 공정의 제어방법이나 제어장치가 완결되면 공장 자동화의 핵심부분은 해결되었다고 본다. 즉 각 공정을 관련시켜 관리하는 문제는 생산라인의 통상적인 관리방식을 그대로 따른다고 보면 될 것이고 이것은 전화대화로 공장을 관리한다고 보면 된다.

따라서 이 network를 구성하는 작업은 전자분야나 전산분야 전문가의 손에 넘어갈 수 있다고 본다. 이들은 network구성을 상당히 효과적으로 수행할 수 있도록 주 computer의 용량과 정보처리 속도, 통신 회선의 설계에 잘 훈련되어 있고 hardware의 유지 관리를 전담시킬 수 있다. 그렇다해도 network구성에도 식품공장의 생산 line의 환경요소등의 특성을 충분히 고려되어야 하므로 생산관리자의 감독이 필요하다고 본다. 왜냐하면 network를 이루고 있는 bus내의 자료가 주위 환경에 따라 영향받아 자료의 파손과 제어체계가 전부 와해되는 경우가 있기 때문이다.

여기서 또 한가지 지적하여 둘 점은 공장의 자동화라고 해서 완전한 무인공장을 뜻한다고

보면 곤란하다. 그리고 전체 공정을 무리하게 자동화 하려고 시도하는 것은 위험하다는 것이다. 만일 멀리 떨어진 여러개의 공장건물들에 몇개의 공정들이 분산되어 있다면 이들을 무리하게 하나의 network에 포함시킬 필요가 있는가 아니면 중간 station을 설치하여 운영할 것인가를 심사숙고하여야 한다.

## 6. 식품제조공정 자동화 기술 훈련의 필요성

자동화 기술은 단순한 노동력의 절약이라든가 생산성의 향상에 국한되어 혜택을 주는 것은 아니다. 자동화 기술은 아주 핵심적인 공정을 개발하여 새로운 knowhow를 개발하는데 크게 도움을 준다. 식품산업 종사자들이 자체적으로 자동화 기술을 습득한다면 기술개발에 놀라운 결과를 낳게 된다고 확신할 수 있다.

왜냐하면 자동화는 계측기술을 놀랍게 향상시키게 되는데 이 계측기술은 공정을 보다 확실히 분석할 수 있는 수단을 제공하고 공정의 철저한 분석은 자연히 공정개선 방향을 명확히 드러내게 된다. 더우기 자동화 기술은 computer기술의 습득을 자연스럽게 유발하므로 업무처리능력, 사고능력을 향상시켜줄 뿐만 아니라 첨단기술 속에서 작업하고 있다는 뿌듯한 보람을 안겨줌으로 생산성을 현격히 향상시킬 수 있다. 하루속히 우리나라 식품산업 현장마다 자동화 시설들이 활발히 가동될 수 있기를 기대해 본다. ■

세계는 서울로 서울은 세계로