

## 멀티미디어 조업자 교육 시스템을 이용한 사고 예방

김진경 · 장병무 · 문 일  
연세대학교 화학공학과

화학공장은 열 없이는 돌아갈 수 없으며 가열로는 공장운전에 있어서 열의 중요한 원천이 된다. 대부분의 공정에 설치되어 있으며, 원유정제공정, 감압증류공정, 탈황공정, 그리고 접촉개질공정 등에서 가열로는 열을 공급하는 주요한 장치이다. 본 연구는 멀티미디어 기술 및 화학 공정 지식을 이용하여 가열로 운전 기술 교육을 위한 새로운 훈련 시스템을 개발한 것이다. 이 시스템을 실제 공정에 사용한 결과, 조업자를 교육시키는데 유용하며 특히 운전시 발생할 수 있는 사고를 예방함에 있어 큰 효과가 있음이 증명되었다.

### 1. 서론

화재, 폭발, 독극물 유출 등의 안전 사고를 방지하기 위해서 조업자 교육은 매우 중요하다. 그림 1은 산업 안전 관리 공단에서 조사한 1988년부터 1994년까지 우리 나라에서 발생한 화학 공장 사고의 원인별 분석 자료이다. 이 자료에서 주목할 점은 조업자의 직접적인 실수에 의한 사고가 전체의 18%로 가장 큰 비율을 차지하고 있다는 것과 훈련을 통해서 감소시킬 수 있는 사고의 비율은 전체의 40% 이상이라는 사실이다.

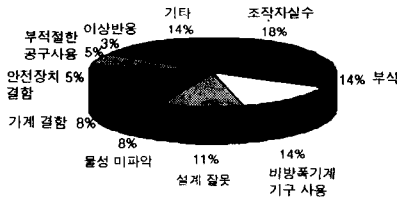


그림 1. 국내 화학 공장 안전 사고의 원인별 분석

공장의 자동화율이 높아짐에 따라 효율의 향상, 조작 작업의 간편화 등 공장 운영면에서 여러 가지 장점이 부각되고 있으며, 이에 따라 조업자에 의한 직접 운전보다는 제어를 통한 간접 운전으로 바뀌는 경향이 두드러지고 있다. 한편 제어를 통한 간접 운전은 조업자와 실제 공정간의 거리감을 형성하여 조업

자의 공정에 대한 이해를 저하시키며 결국 조업자의 위기 상황 대처 능력을 퇴화시킨다는 맹점을 가지고 있다. 공장의 자동화율이 증가될 수록 생산성 향상과 안전성 확보라는 측면에서 조업자의 공정과 제어 시스템에 대한 체계적이고 효율적인 교육이 절실히 필요하다.

최근 들어서 단순히 경제적, 인명적 이유에서 벗어나 가속화되는 경쟁 속에서 살아 남기 위해서는 장치라는 공장의 하드웨어적인 부분에 대한 운전 효율 향상, 최적화 등만으로는 부족하며 공장을 구성하는 사람이 더 중요하다는 주장이 증가하고 있다. 과거의 조업자 교육이 직접적인 피해 방지나 인명 손실을 줄이는 소극적인 원인에서 비롯되었다면, 현재는 전체 생산 이윤의 증대, 좀더 효율적이고 안전한 운영, 타사와의 경쟁력을 높이는 인적 자원으로써의 조업자의 중요성을 강조하는 적극적인 원인으로 변모하고 있다.

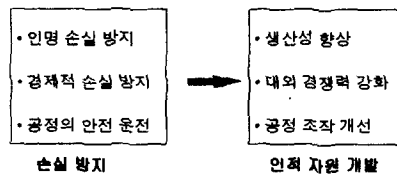


그림 2. 조업자 교육의 인식 변화

현재 조업자의 교육은 방법상 인간의 감각을 충분히 발휘하지 못한 채 수행되고 있다. 책과 연필만의 강의나 일회성에 그치기 쉬운 교육은 지양하고 인간의 모든 감각을 활용하는 방법론이 도입되어야 한다. 다시 말해서 조업자에게 직접적이고 실제적인 감각을 부여하기 위해서 인간의 감각을 최대한 활용하는 기술로 정의되는 가상 현실의 세계에서 현장감과 실제감이 있는 교육이 강력히 요청되는 시기라는 것이다. 가상 현실을 구축하기 위해서는 인간의 모든 감각을 최대한 이용하도록 멀티미디어를 사용해야 한다. 가장 핵심적인 것은 공정의 시각화로써 3차원 동영상 보여 주거나 연속 변수 이외에 공정의 스타트업/셴다운과 관련된 이산 변수를 처리할 수 있어야 한다. 또한 공정에 대한 해설을 소리로 들려준다면 미디어를 통한 교육의 효과는 배가된다. 본 교육 시스템에서는 가열로의 3차원 그래픽을 중심으로 연료와 공기의 공급비에 따른 불꽃 길이를 동화상으로 보여준다. 불꽃 길이에 따른 연소의 분석을 통하여 열효율을 시각적으로 터득할 수 있고, 일반적 구조에 대하여 평면이 아닌 3차원 그래픽으로 공급 계통, 연소 계통, 열전달 계통 등을 상세하게 교육할 수 있다.

## 2. 본론

### 2.1. 가열로 교육 시스템 - yFES

#### 2.1.1. 가열로 시스템

공장을 경제적으로 조업하는 것은 효율적인 열에너지의 이용 여하에 달려 있다. 에너지의 이용은 연료의 효과적 연소뿐만 아니라 연소에 의해서 생성되는 열의 효과적 전달을 포함한다. 예를 들어 원유의 증류, 원료의 반응 및 탈황 등의 대부분의 공정은 에너지를 다루는 조작을 필요로 한다. 조업자는 열의 이용을 극대화시키고 열의 손실을 최소화하는 데에서 중요한 역할을 한다.

가열로는 다수의 공정에 에너지를 공급하는 주요한 장치이다. 이는 연료와 산소의 반응을 통하여 에너지를 발생시킨다. 조업자는 공급 시스템, 연소 시스템, 열전달 시스템 및 열회수 시스템 등으로 세분되는 일반적 구조와 불꽃의 길이로 부터 열효과를 인식해야 한다.

공급 시스템은 연료 공급과 공기 공급 등의 두 개의 주된 설비로 구성된다. 연료의 연소는 버너(burner)에서 실행된다. 연소는 벽과 밀봉(ceiling)에 접해 있는 연료는 공기와 직접 연소하나 액체연료는 우선 기화된 후에 공기와 연소한다. 완전 연소를 하기 위해서는 과량의 공기가 공급되어야만 한다.

가열로 내의 하부의 관들은 복사열파장에 노출되어 있다. 가열로 하부의 버너로부터 생성된 고온의 연소 가스는 찬 공기보다 가볍기 때문에 대류에 의하여 상승한다. 대류부의 관은 상승하는 고온의 공기에 의하여 가열된다. 관의 외부 온도가 복사 및 대류 열에 의해서 증가하므로 관의 내부와 외부의 온도 차이가 생기게 되며, 이로써 전도에 의한 열전달이 발생한다.

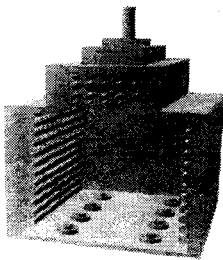


그림 3. 가열로를 간략화 한 그림

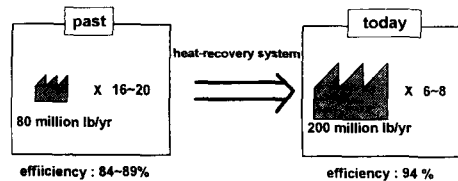


그림 4. 가열로 시스템의 확대

그림 4에 보여진 바와 같이 과거에는 16에서 20개의 가열로가 연간 3천만 파운드의 에틸렌 생산을 위하여 세워졌으나 오늘날에는 같은 용량의 에틸렌 공

장이 연간 2억 파운드의 생산을 위하여 단지 6 내지 8개의 가열로만 필요로 한다. 이는 가열로가 대형화되었고, 더 복잡해졌으며, 효율이 더 좋아졌음을 의미한다. 그러나 연소의 제어가 더 어려워졌으며, 시스템의 안전을 유지하기 위하여 더 많은 노력이 필요하게 되었다. 이에 따라서 조업자들은 가열로를 좀 더 자세히 이해할 필요가 생겼다.

가열로 폭발의 과반수 이상이 시동절차에서 발생한다. 불완전 연소에서 비롯된 공기와 연료의 축적된 혼합물에 대한 조업자들의 간과가 폭발의 주요한 원인이다. 조업자의 실책을 줄이기 위하여 모든 노력이 기울여져야 한다. 조업자의 실수에 대한 대항 수단이 바로 효과적인 교육 시스템의 개발에 있는 것이다.

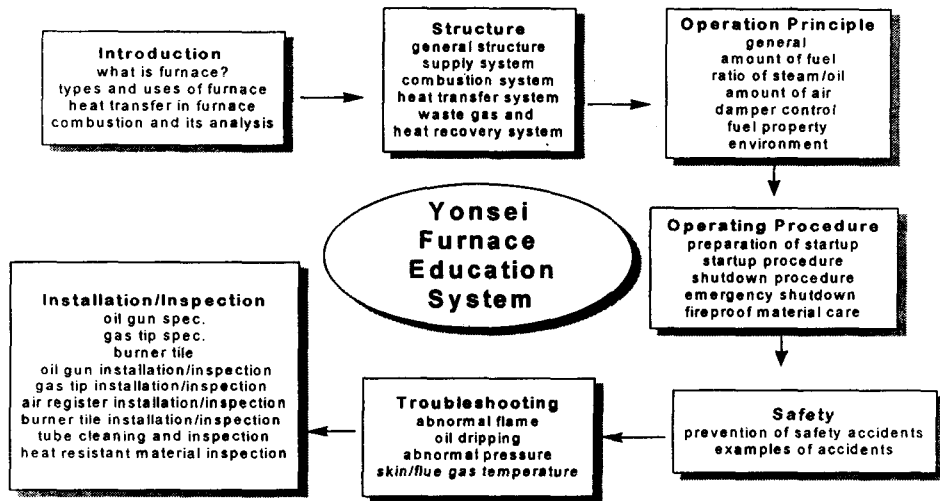


그림 5. yFES의 총괄 구조

## 2.2 yFES에 대한 개관

yFES(yonsei Furnace Education System)는 조업자들이 가열로에 대한 완전한 지식을 갖도록 하기 위하여 개발되었다. yFES를 통하여 불꽃의 길이를 봄으로써 열적 효과를 시각적으로 이해하게 되고 공급 시스템, 열전달 시스템, 연소 시스템 및 많은 다른 시스템들을 자세히 설명하는 3차원 그래픽을 통하여 일반적인 가열로의 구조에 대한 자세한 정보를 미숙련 조업자들이 경험하게 된다.

yFES의 총괄 구조가 그림 5에 나타나 있다. yFES는 개요, 구조, 운전 조절 및 영향, 운전 지침, 안전, 운전 조정, 설치 및 검사의 7장의 장(chapter)으로 이루어진다.

미숙련 조업자들을 위하여 제 1장과 제 2장에서는 정의, 형태, 용도, 열전달 이론, 연소 분석 및 가열로의 세부 구조가 묘사되어 있다. 무엇보다도 가열로에 대한 기본적 지식을 이해하는 것이 중요하다. 그러면 조작 원리를 습득할 수 있다. 버너 관리 시스템은 시동 절차를 감독하고 공정 조건을 측정 및 감지하는 필수적 기능을 한다. 다음 장에서는 설명 음향과 더불어 스타트업/셧다운 절차를 시각적으로 보여준다. 조업자는 이 장을 배운 후에 가열로 시스템을 운전하는 것에 대하여 자신감을 갖게 될 것이다. 안전 및 문제해결에서는 위급 상황에 대하여 다룬다. 마침내 조업자들은 가열로를 어떻게 검사하는지를 배우게 된다. 그림 5는 yFES의 목차를 보여준다.

yFES는 정제 공정에 적용되며 조업자들이 가열로 시스템을 다룰 때의 두려움을 없애고 공장을 운전하는 것에 대한 자신감을 갖도록 도와준다. 이것은 훌륭한 교육적 효과를 보이고 정제 공정에 있어서 안전성 및 생산성을 향상시킨다.

### 2.3. yFES에서의 훈련단계

yFES를 이용하는 훈련 절차는 개요 부분(session), 조업 부문, 안전과 문제 해결 부문 및 검사 부문을 포함한다. 그림 5에서와 같이 한 부문은 한 개 혹은 두 개의 장(chapter)을 갖는다. 초보자는 가열로를 이해하기 위하여 개요 부문에서 시작하며 두 번째 부문에서 정상 운전을 배우게 된다. 세 번째 및 마지막 부문에서는 문제해결 및 검사의 추가적 기능을 습득하게 된다.

#### 2.3.1. 개요부문(Introduction Session)

이 부문은 개요 및 그림 5와 같은 전체 가열로 묘사를 설명하고 일반적 구조 및 세부적 구조의 그림을 보여주는 구조 장(structure chapter)을 포함한다. 이 부문은 이론적인 물리-화학적 배경과 다양한 예들을 설명한다. 이것은 예에 대한 설명을 통하여 조업자들이 하부 장치들의 인과관계를 이해하도록 돕는다. 결과적으로 yFES는 다양한 3차원 그림, 쉬운 설명 및 정보적 묘사를 통하여 초보자들이 가열로를 이해하기 쉽도록 한다. 그림 6은 개요 부문의 한 예를 보여준다.

#### 2.3.2. 조업 부문(Operation Session)

조업자들은 운전 원리와 조업 절차 등이 포함된 이 부문에서 정상 운전 절차와 그들이 해야 할 일을 습득하게 된다. 또한 시동(startup)과 정지(shutdown)를 하는 방법과 비상 정지(emergency shutdown) 시에 대처하는 능력을 기르게

된다. 대부분의 가열로 사고가 시동/정지 절차에서 발생하므로 조업자들은 이 부문에 주의를 기울여야 한다. yFES를 이용하여 조업 절차를 연습함으로써 초보자들은 실제 가열로를 조작할 때의 두려움을 극복할 수 있으며, 이러한 자신감은 사고를 줄인다.

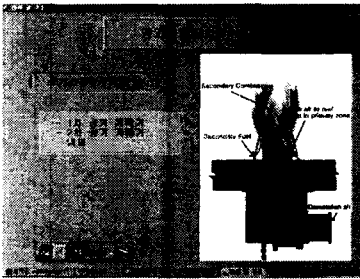


그림 6. 개요부문 - 공기 조절 장치

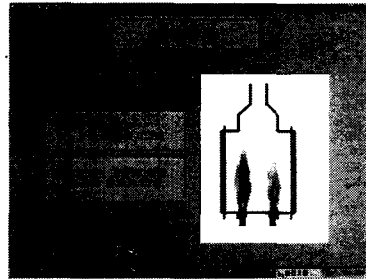


그림 7. 조업 부문 - 연료의 양에 따른 불꽃의 길이

### 2.3.3. 안전 및 문제해결 부문(Safety and Troubleshooting Session)

이 단계에서 조업자는 비정상상태를 다루는 절차를 연습하게 된다. 조업자는 최적의 연소 상태를 유지하기 위하여 방심하지 말고 지시에 따라야 한다.

불꽃 밸브, 오일 펌프 및 버너 등의 손상으로 인한 유독 화학물질의 유출, 화재 및 폭발 등의 사고의 다양한 시나리오가 설명되며 이들의 원인과 결과가 장 묘사되어 있다.

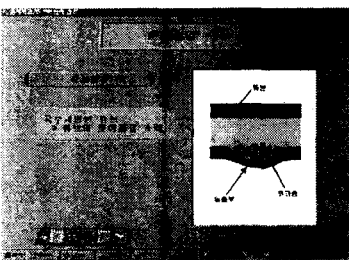


그림 8. 안전 및 문제해결 부문 - 관 오염

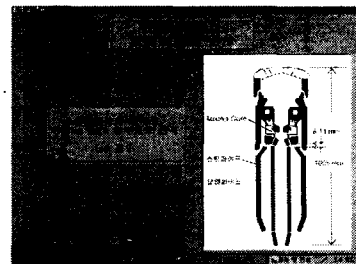


그림 9. 설치/검사 부문 - 버너

### 2.3.4. 설치/검사 부문(Installation/Inspection Session)

설치/검사 부문을 마지막으로 가열로 교육이 끝을 맺는다. 이 부문은 조업자에게 오일건(oil gun), 가스팁(gas tip), 버너타일(burner tile) 및 관 청소 등을

교육함으로써 숙련된 조업자로 성장시킨다.

#### 2.4. yFES의 개발

yFES는 7 개의 장(chapter)과 그림, 음향 및 설명문(text)으로 구성된 대략 200개 구현하기 위하여 O/S 로 윈도우95를 탑재한 IBM 호환 기종을 주요 하드웨어 구성으로 하였다. 컴퓨터 O/S와 프로그래밍 언어의 선택은 프로그램의 주요 목적이 멀티미디어의 쉬우면서도 최상의 이용에 있으므로 O/S로서 윈도우95를, 윈도우 환경 하에서의 영상의 시각화를 위하여 비주얼 베이직을 선택하였다.

모든 장면은 주 장면, 음향, 진행 및 묘사 모듈 등과 조화를 이루며 각 기능을 수행한다. 그림 10은 101 페이지에 대한 알고리즘을 나타낸다. 각 페이지는 영상과 음향 장치의 작동 및 설명문의 위치 선정으로 시작한다. 만약 사용자가 다음 페이지(next page), 전 페이지(back page), 처음 페이지(home page) 또는 되감기(reload) 등의 버튼을 누르지 않는다면 각 페이지는 3차원 영상을 보여준다. 시간 제어기(timer controller)가 사용자 화면을 자동적으로 보여주기 위하여 사용되었으며 제어 성질(control property)은 시간을 절약하기 위하여 조절되었다. 한 페이지를 보여준 후 다음 페이지가 자동적으로 보여진다.

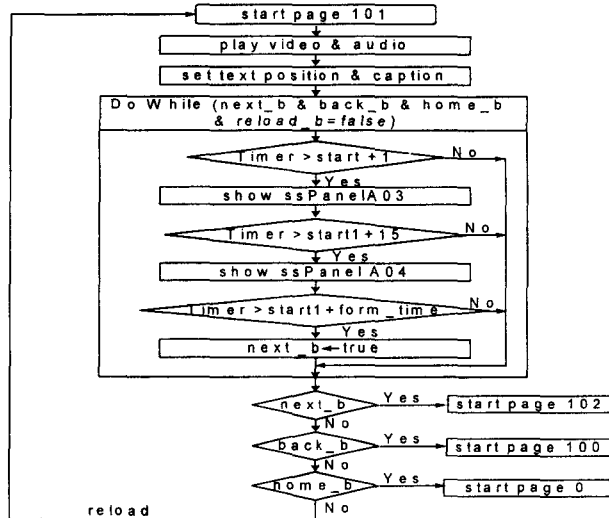


그림 10. 101페이지를 나타내는 알고리즘

### 3. 결론

멀티미디어 기술을 이용한 훈련 시스템은 원자력 발전소 운전, 항공기 운전 및 전기 시스템의 운전 등 다양한 분야에 적용되어왔다. 우리는 화학 공정 운전자를 위한 가열로 교육 시스템(yFES)을 개발하였다.

멀티미디어를 이용한 조업자훈련은 기존의 강의나 비디오를 이용한 것보다 훨씬 우수하다. 가장 현실에 근거한 yFES는 동영상과 음향을 받아들임으로써 인간의 시각과 청각을 사용하도록 한다. 이 방법은 조업자의 조업 절차 및 자연 현상에 대한 이해를 증진시키는데 있어서 매우 효과적이다.

yFES은 공정 지식과 멀티미디어 기술을 필요로 한다. yFES를 사용하는 주된 목적이 지침서(manual)를 사용하지 않고 조업자를 효과적으로 교육시키는 것이기 때문에 우리는 서적, 운전 지침서 및 조업자 등으로부터 공정 지식을 수집하였다. 이러한 지식들은 가열로 시스템에 대한 개요, 구조, 운전 원리, 운전 절차, 안전, 문제해결 및 설치/검사 등을 포함한다. 이들은 비주얼 베이직(Visual Basic), 애니메이션 프로(animation Pro), 포토샵(photoshop)등 다양한 소프트웨어를 이용하여 그림, 음향 설명문 등으로 구현되었다.

교육 시스템 개발은 공정에 대한 깊은 이해를 필요로 하므로 화공 엔지니어들의 역할이 매우 중요하다. yFES는 실제 공정에 적용되고 있으며, 이미 가열로 운전자들을 교육시키는데 있어서 효율적이고 생산적임이 증명되었다.

공정의 운전은 곧 공정의 교육과 직결된다. 공정에 대한 철저한 교육이 없이 공정에서 무사고를 바란다는 것은 불가능한 일이며, 올바른 공정 교육만이 운전자의 실수로 인한 가열로 사고를 줄일 수 있는 첩경이 된다. 본 연구는 가열로 공정에 적용함으로써 가열로 조업의 안전성 향상에 크게 이바지하였다.

#### 4. 참고문헌

- [1] Coleman, M.J., Industry, school, government cooperate in model training for operators, Tappi J., vol77, 113-115, 1994
- [2] White, J.R., The operator is the process manager, Control Eng., 67-70, Jan.1993
- [3] Seonyong Park, Development and application of basic structures and algorithms for operator training system in chemical processes, MS Thesis, Yonsei Univ., Seoul, Korea, 1995
- [4] C.D. Thomas and G.I.W. Schoenmaker, Implement proper furnace safety interlocks, Chem. Eng. Prog., July 1996
- [5] S.I.Cho(1997) : A development of distributed operator training system, M.S. thesis at Yonsei Univ.
- [6] Coleman, M. J., Tappi Journal, 77, 113(1994)
- [7] H.R.Greenberg and J.J.Cramer, "Risk Assessment and Risk Management for the Chemical Process Industry", Van Nostrand Reinhold, 1991