

# Risk Monitoring System

June 20, 2000

**(주) 에 이 드**

<http://www.AIDcorp.com>

**김 기 수**

**kskim@aidcorp.com**

# Contents

- **Introduction**
- **Multivariate Statistical Methods**
- **Principal Component Analysis (PCA)**
- **Partial Least Square (PLS)**
- **Development of Risk Monitoring System**
- **Case Study**
- **Summary**

## □ 연구 배경

- 대형재해에 따른 위험성에 대한 관심 고조
- 정부 규제 및 산업체의 요구 증가
- 화학공장의 대형화 및 복잡성
- DCS 및 PIS의 보급 확대 및 관련 Application을 활용한 공장 자동화의 급속한 발전
- IT(Integration Technology)의 대두

## □ 연구의 필요성

- Off Line QRA에 치중
- 주요 기술의 해외 의존도 심각
- 고가의 S/W & H/W
- 대형 Plant에서는 대량의 Data 양산으로 각각의 거동 예측이 어려움
- Data 거동의 다양화로 예측 난해
- Reference DB (Historian DB)의 활용 부재

## □ 연구 대상

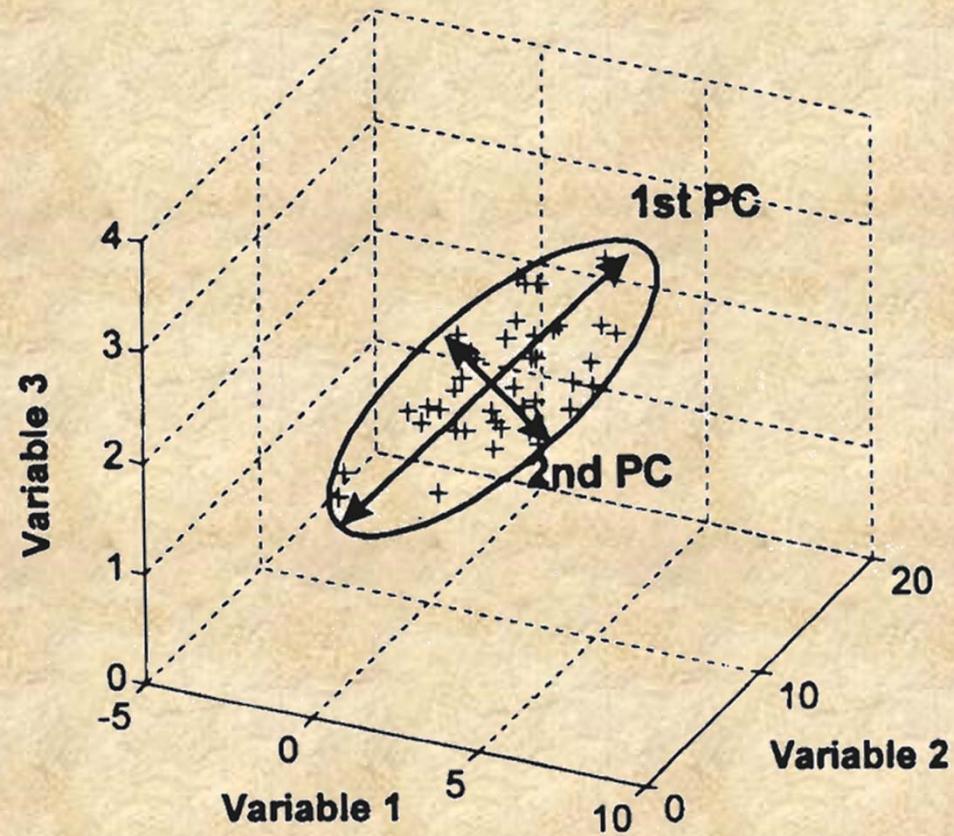
- Real-Time Historian DB Interface 연구
- Data를 이용한 Model 구축을 위한 다변량 통계기법 연구
- 다변량 통계기법을 이용한 이상진단기술과 위험성 평가 기술과의 연계 기법 연구
- **Risk Monitoring System** 구축

## □ 다변량 통계기법

- 수식적인 접근방법
- 지식기반 접근방법
  - Expert System
  - Neural Network
- 통계적 방법
  - SPC (Statistical Process Control)
  - PCA (Principal Component Analysis)
  - PLS (Partial Least Square)

# PCA

## ➤ PCA 의 기학적 이해



## □ PCA 의 수학적 이해

- Calculate mean, variance, covariance(s) of the Original data(**X**)
- Calculate the covariance matrix(**S**) which consist of variance and covariance
- Calculate eigenvalues of **S**
- Calculate eigenvector(**U**) from eigenvalues

$$Z = U' [X - \bar{X}]$$

- PC:

## □ Choosing the Number of PC

### ➤ Scree

- Graphical method.
- Eigenvalue가 sorting PC (가 )  
Eigenvalue ( )
- Slope가

## □ Choosing the Number of PC

### ➤ Average Root

- Eigenvalue pc

k	1	2	3	4
$\lambda_k$	7.08	5.17	3.12	2.46
k	5	6	7	8
$\lambda_k$	1.91	1.37	1.06	0.997

## □ Choosing the Number of PC

### ➤ Cross-Validation

- 매번 PC가 하나씩 추가될 때마다 Residual(E)이 Random Error 라고 판단 될 때까지 PC의 수

$$X = T_a P_a^T + E \quad (E: \text{residual})$$

$$E = X - T_a P_a^T$$

$$SSQ = \| E \| = \sqrt{\sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K (e_{n,k})^2}$$

## □ Fault Detection

### ➤ Q-Statistic :

$$Q_i = \bar{e}_i \bar{e}_i^T$$

- A measure of how well the  $i$ -th sample conforms to the PCA model.
- The distance of the projection of the sample onto the  $k$ -dimensional space of the PCA model
- This situation usually indicates a departure from the correlations represented by the PCA model, such as a sensor fault or a change in a nonlinear process, and suggests that the PCA model no longer adequately represents the process

## □ Fault Detection

### ➤ Hotelling's $T^2$ Statistic :

$$T^2 = (x - \tau)^T S^{-1} (x - \tau)$$

$S$ : covariance matrix

$\tau$  : target value

$$T^2_{p, n, \alpha} = \frac{p(n-1)}{n-p} F_{p, n-p, \alpha}$$

$p$ :

$n$ : observation

:

$F$ : f-distribution

- $T^2$  value

## □ Fault Detection

### ➤ Contribution Plot

- $T^2$  statistic 가 individual score

- Calculate the contribution of variable  $j$  to score  $y_{i,k}$ :

$$cont_{i,j,k} = y_{i,k} p_{j,k} (x_{i,j} - \bar{x}_j)$$

- Set  $cont_{i,j,k}$  to zero if it is negative
- Calculate the total contribution of variable  $j$ :

$$CONT_{i,j} = \sum_{k=1}^K (cont_{i,j,k})$$

## □ Partial Least Squares

- Input Variable(X)에 포함되어있는 정보를 이용하여 Output Variable(Y)에서의 변화를 예측, 모니터, 감지
- PCA에 이론적 바탕을 두고 X와 Y의 관계 형성

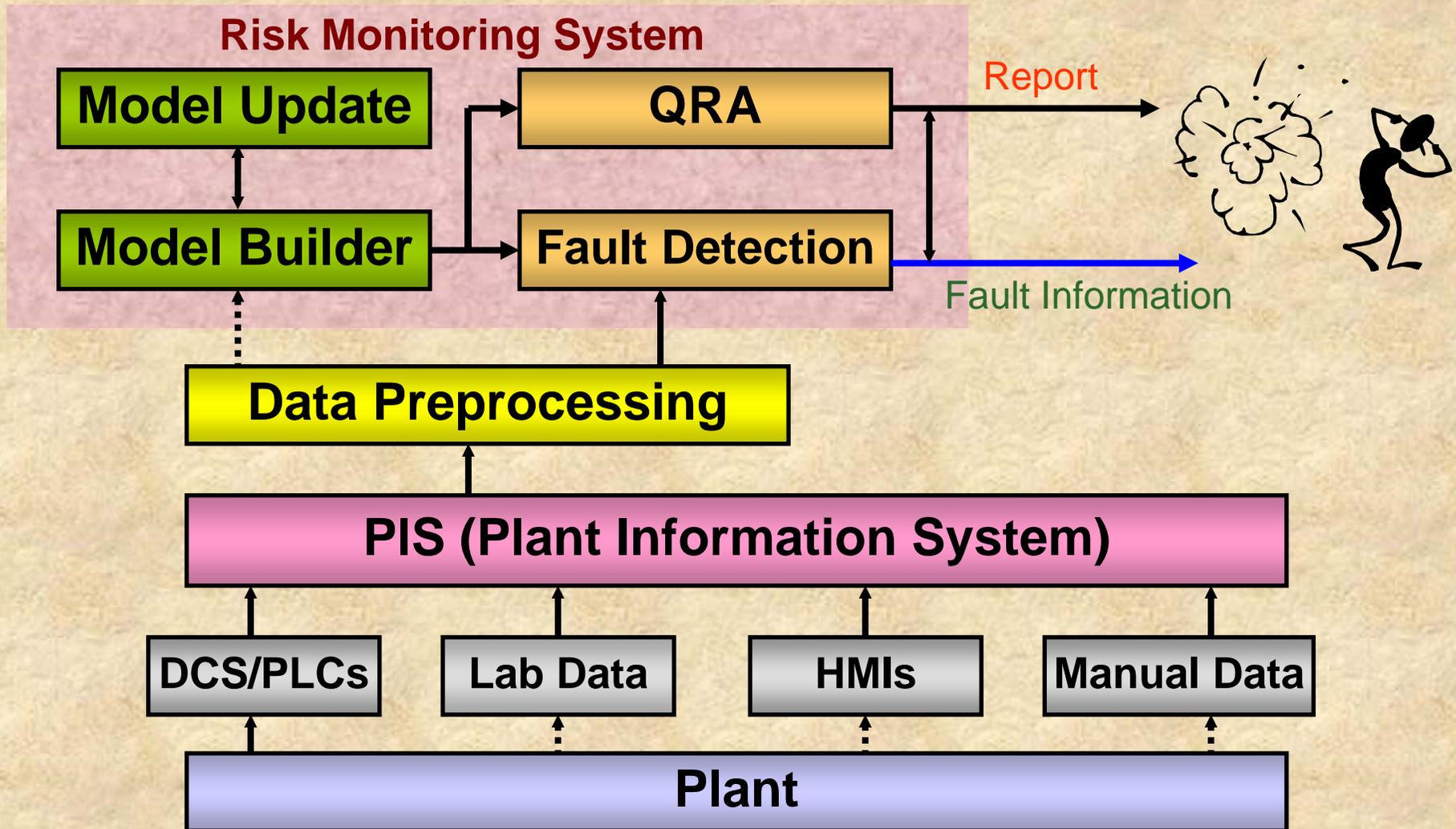
$$\mathbf{X} = \mathbf{TP}^T + \mathbf{E}$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{UC}^T + \mathbf{F}$$

- Use a NIPALS algorithm

# Development of Risk Monitoring System

## Overall Architecture of System



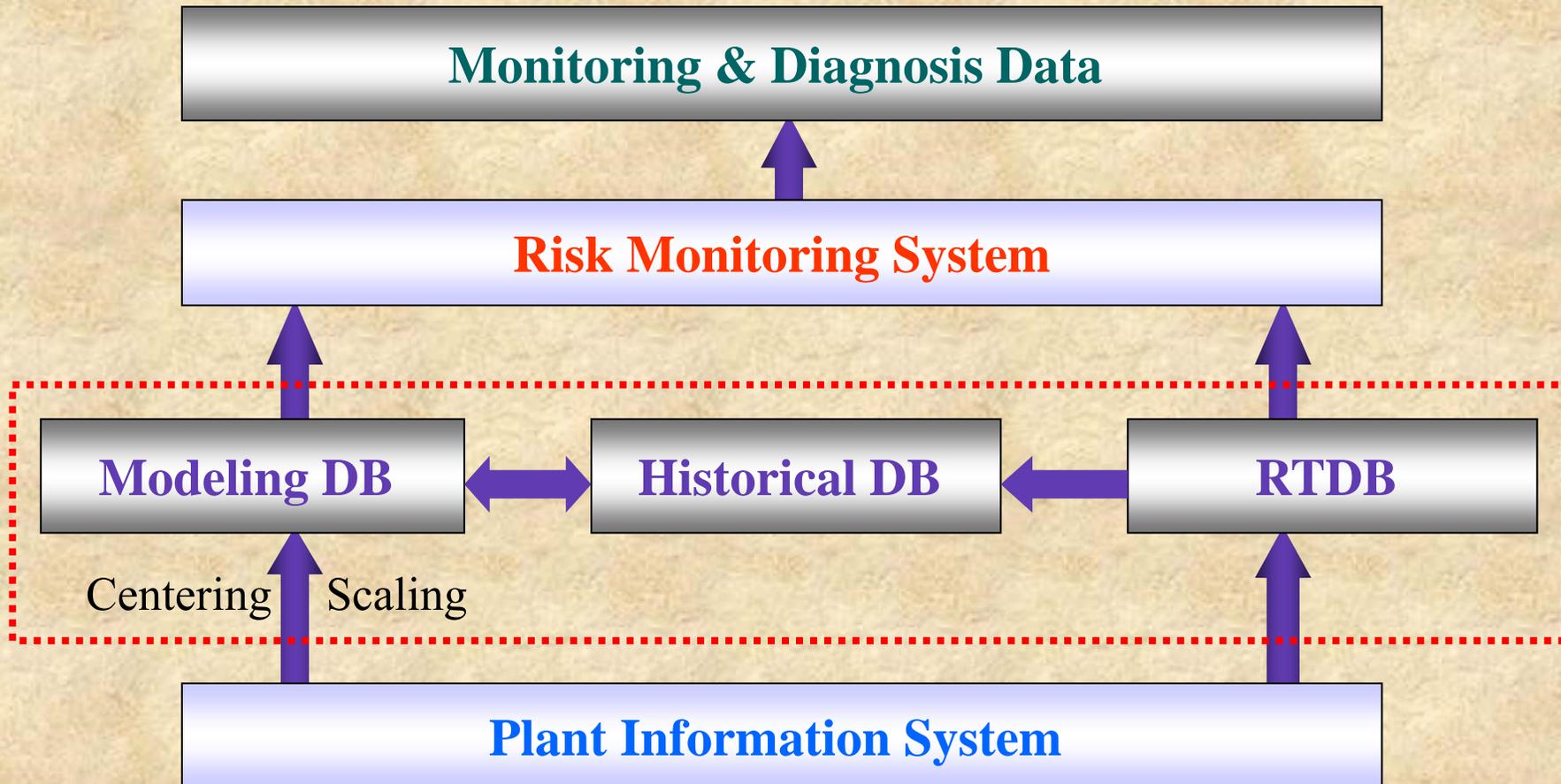
## □ Plant Information System (PIS) Module

- DCS 또는 PLC로부터 양산되는 방대한 Data를 가공 처리, 보존 및 실시간 제공
- 공정 데이터에 대한 이력정보(Historical Data) 압축보관 및 검색, 실시간 분석 기능 제공
- Online Data 및 Manual Input Data 활용
- Data의 재현성 및 일관성
- DCS, PLC와 Application과의 연동 가능

OSI(美)사의 PI<sup>TM</sup> Systems 사용

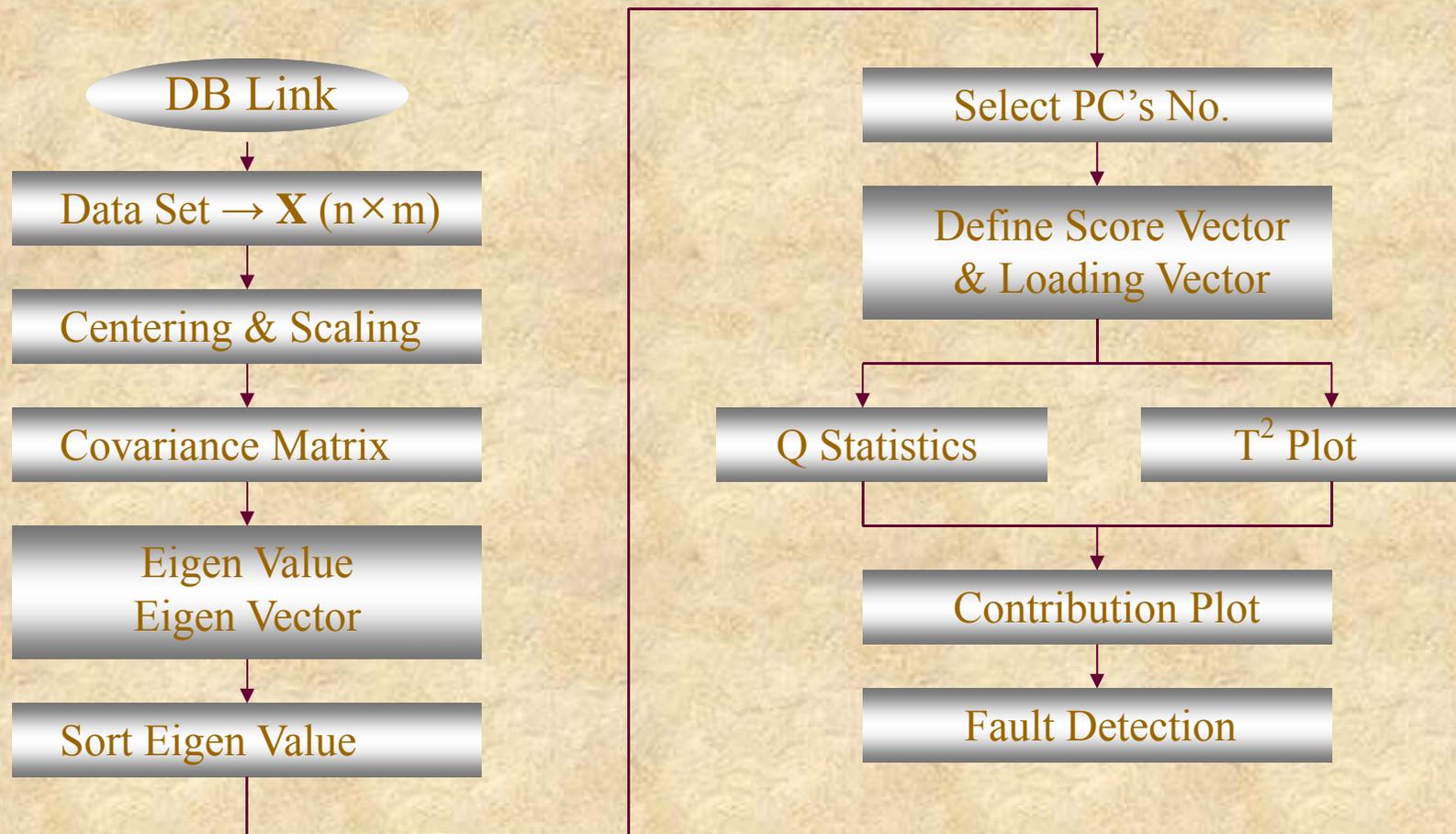
# Development of Risk Monitoring System

## □ Data Preprocessing



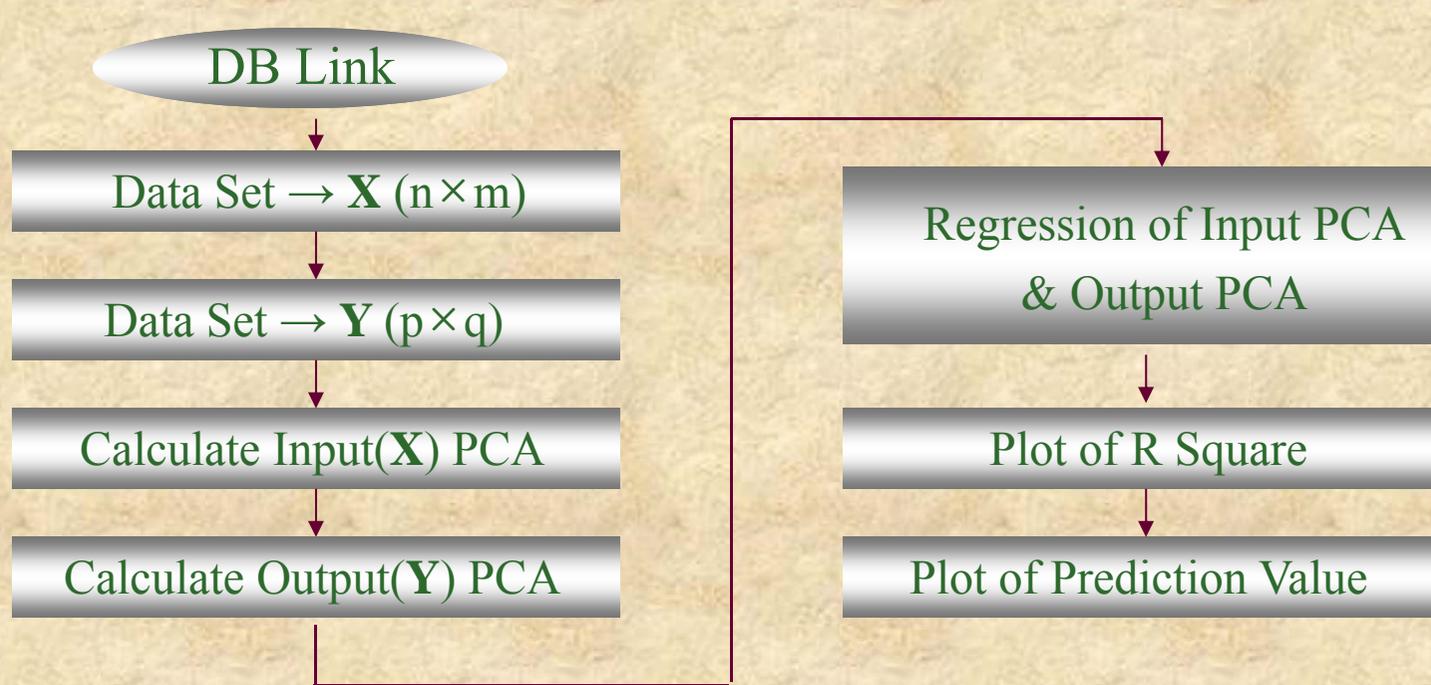
# Development of Risk Monitoring System

## □ Flowchart of Risk Monitoring System (PCA)



# Development of Risk Monitoring System

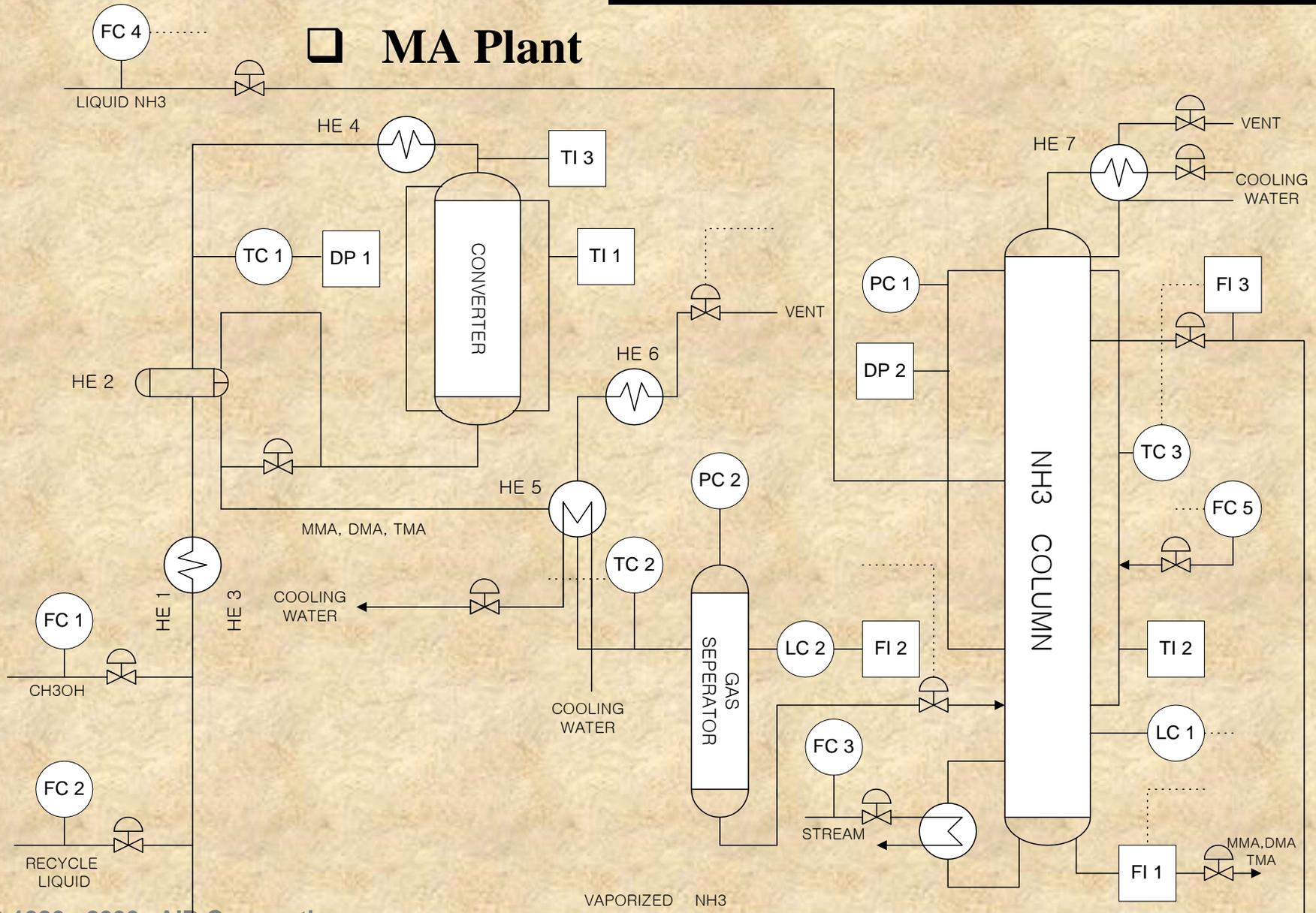
## □ Flowchart of Risk Monitoring System (PLS)



## □ System 구현에 사용된 Tools

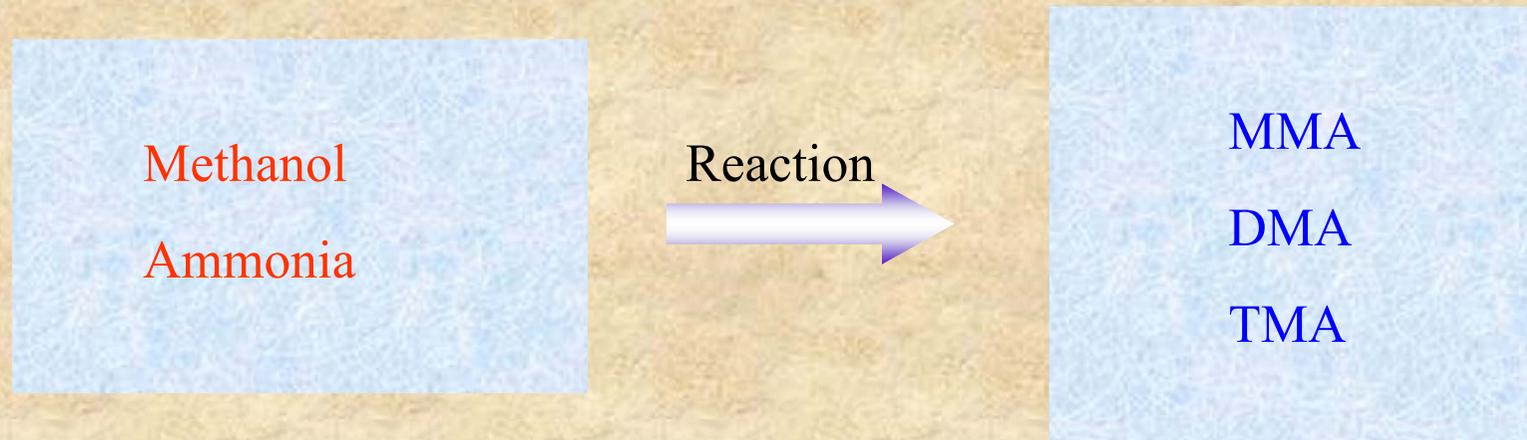
- Visual Basic (Version 7.0) - Microsoft
- NAG Library (Mark 18) - NAG
- First Impression (Version 5.0) - Visual Components
- Formula One (Version 5.0) - Visual Components

# Case Study



# Case Study

## □ MA Process Description



- 유기화합물의 합성중간체
- 의약품, 농약, 살충제의 중간원료
- 온도 300 ~ 350
- 압력 15 ~ 30 bar

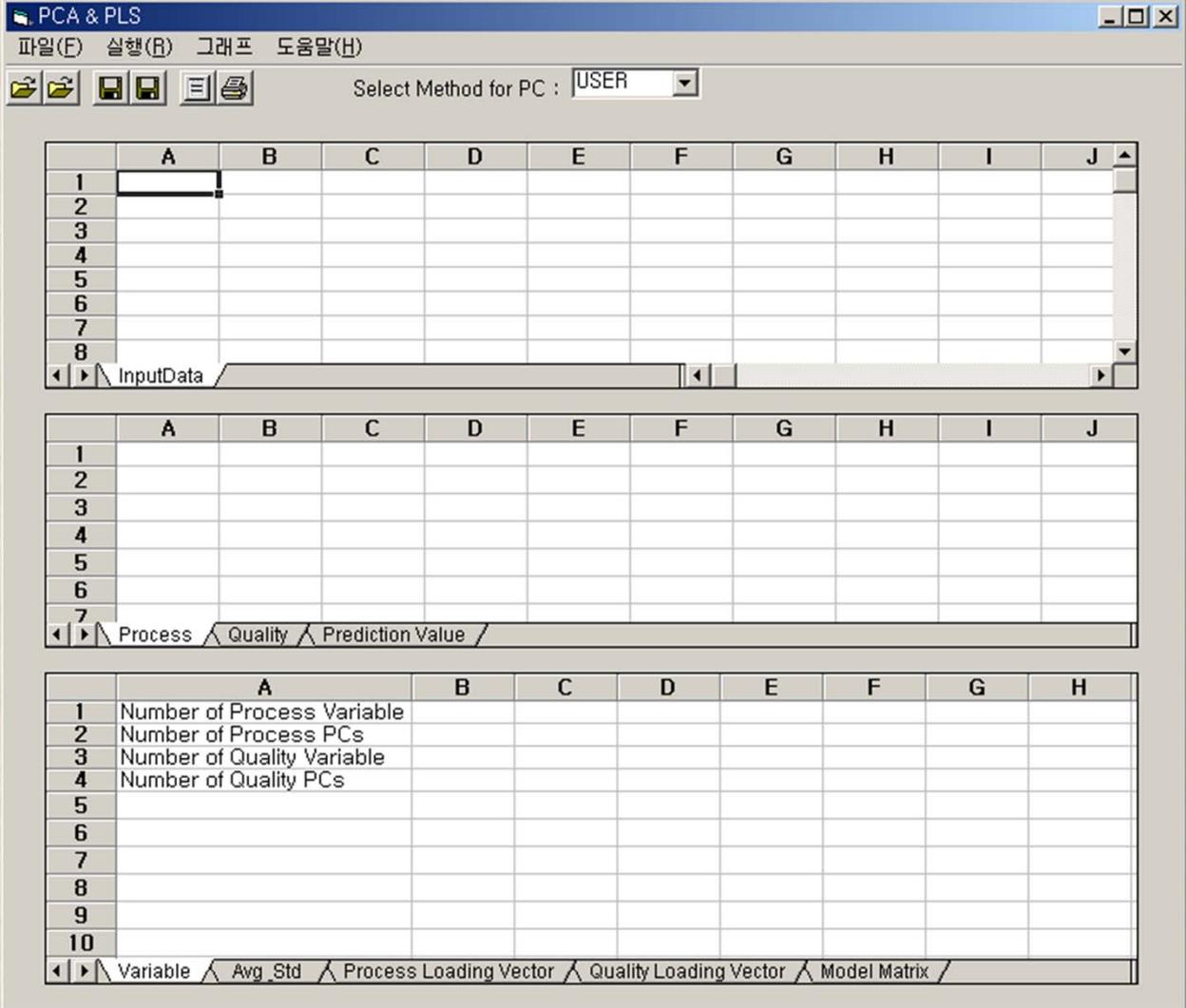
# Case Study

## □ MA Process Data

No	Description	No	Description
1	Vaporized NH3 Flow Rate	11	Temperature 5 of Converter
2	Level of Gas Separator	12	Reaction Temperature of Converter
3	CH3OH Feed to Converter	13	Reaction Temperature of Converter (Set Point)
4	Recycle Liquid Flow Rate	14	Del P of NH3 Column
5	Pressure of Gas Separator	15	Bottom Flow Rate in NH3 Column
6	Temperature 1 of Converter	16	Steam Flow Rate at Heat Exchanger 8
7	Temperature 2 of Converter	17	Water Feed to NH3 Column
8	Temperature 3 of Converter	18	NH3 Feed to NH3 Column
9	Temperature 4 of Converter	19	Pressure of NH3 Column
10	Temperature 5 of Converter	20	Level of NH3 Column

# Case Study

## □ 초기 화면



The screenshot shows the 'PCA & PLS' software interface. The window title is 'PCA & PLS'. The menu bar includes '파일(F)', '실행(R)', '그래프', and '도움말(H)'. The toolbar contains icons for file operations and a dropdown menu for 'Select Method for PC' set to 'USER'. The interface displays three data tables:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

InputData

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

Process / Quality / Prediction Value

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Number of Process Variable							
2	Number of Process PCs							
3	Number of Quality Variable							
4	Number of Quality PCs							
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Variable / Avg\_Std / Process Loading Vector / Quality Loading Vector / Model Matrix

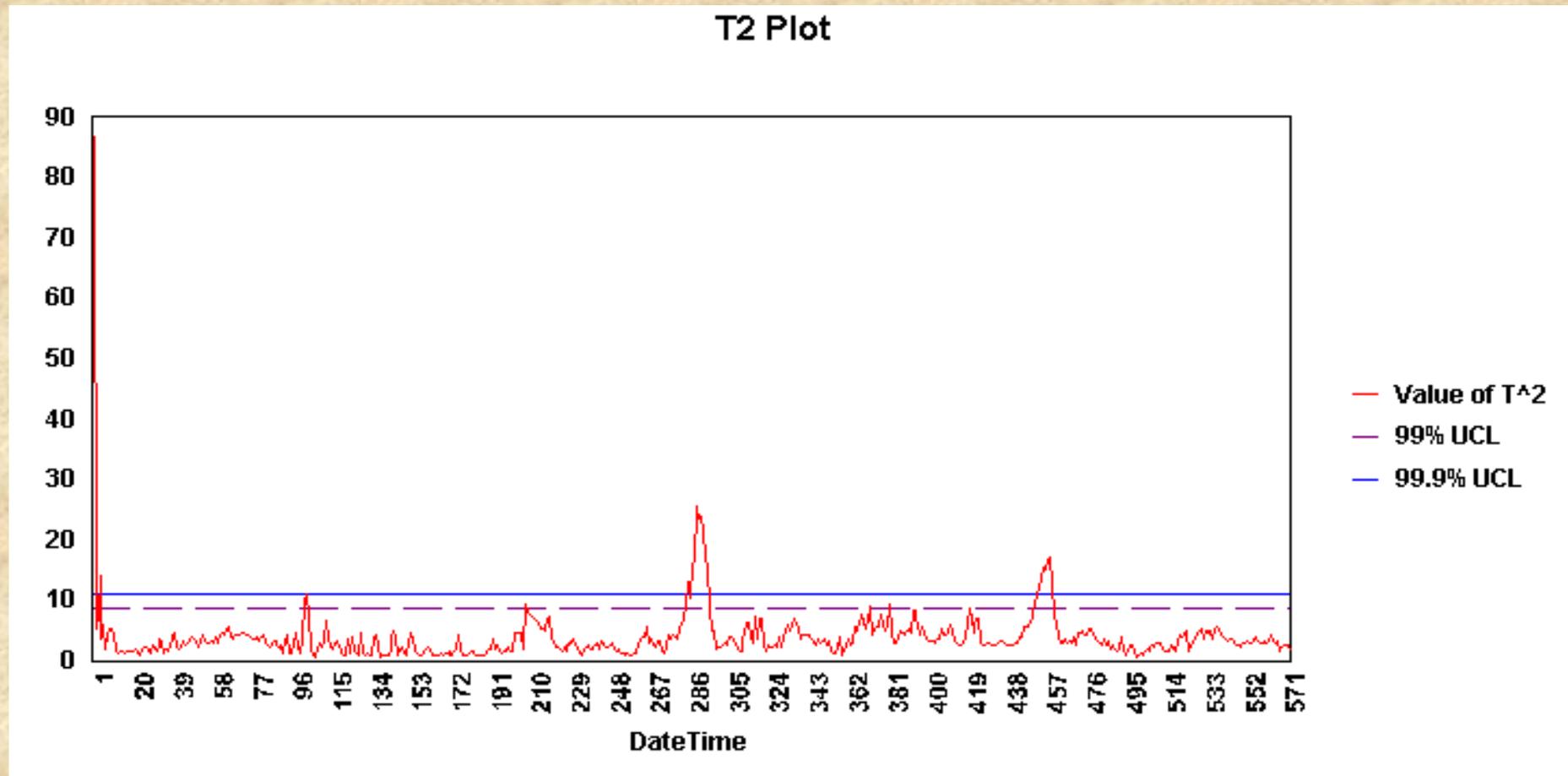
# Case Study

## □ Input PCA 결과

No. of PC	EigenValues	Percentage variation	Average Value	Standard Deviation
1	6.41	60.66	5898.42	234.79
2	2.92	27.68	15979.77	659.32
3	0.90	8.55	3771.87	153.61
4	0.09	0.84	7414.05	307.67

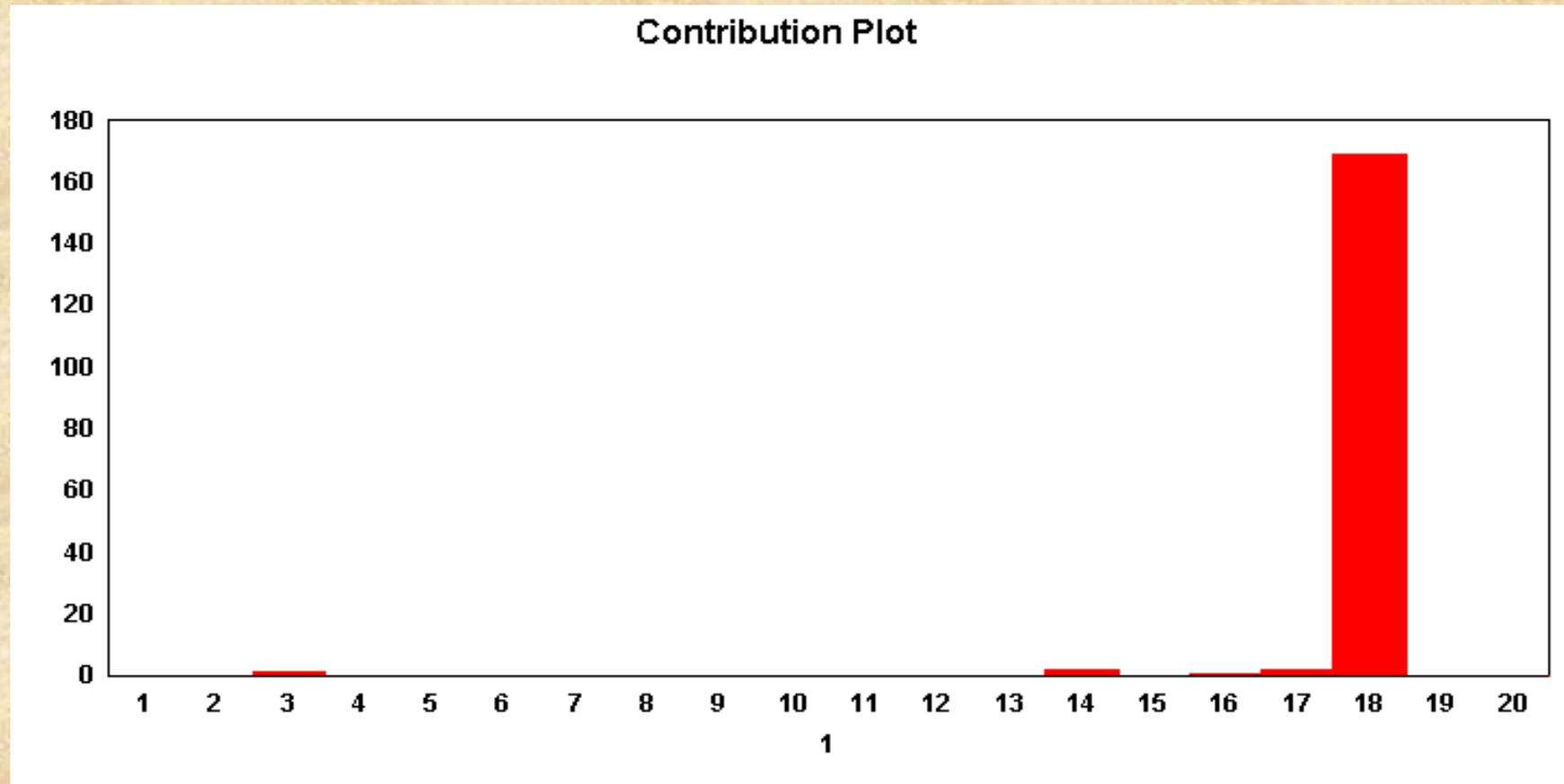
# Case Study

## □ T<sup>2</sup> Plot (Input PCA)



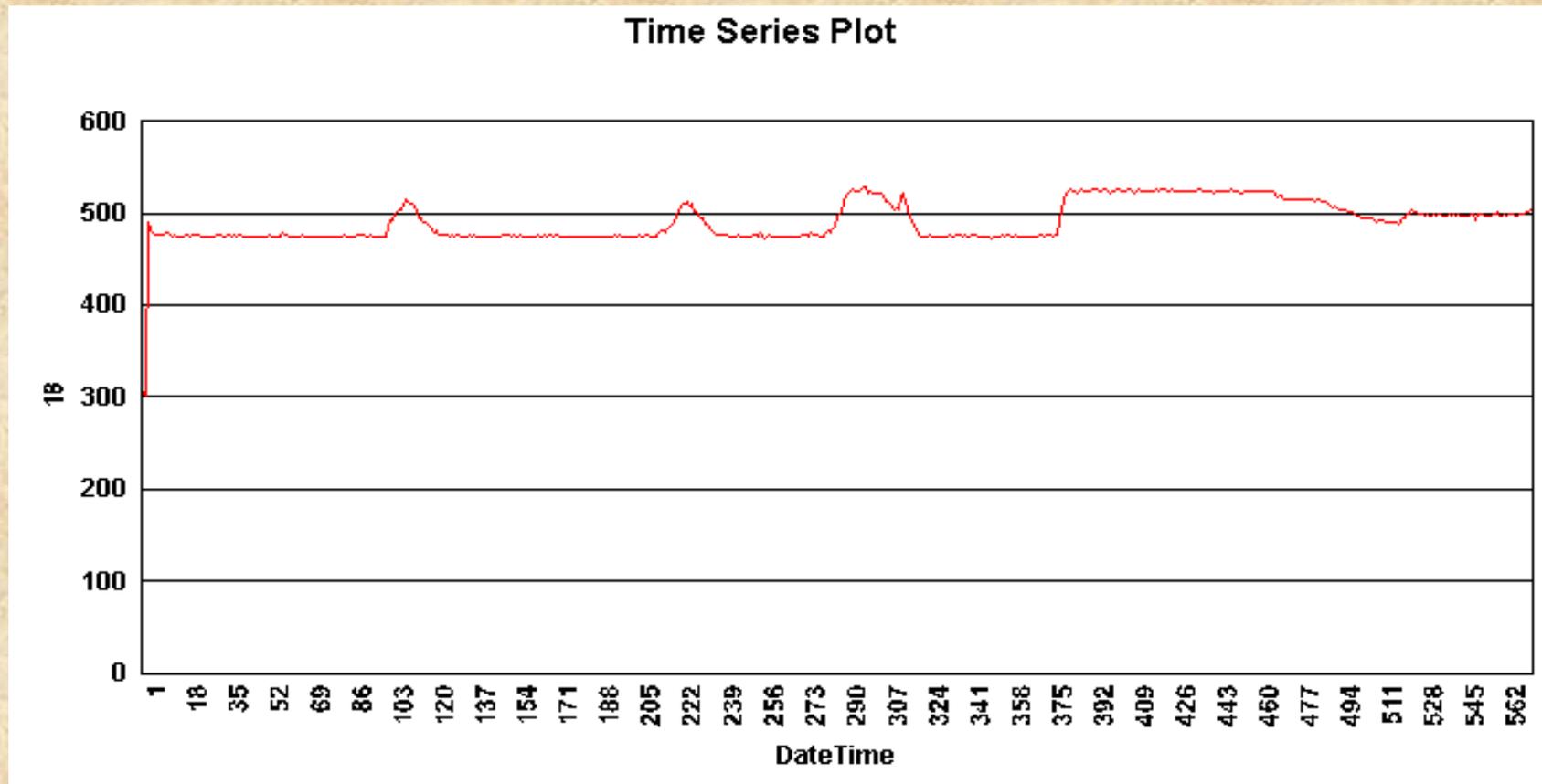
# Case Study

## ❑ Contribution Plot (Input PCA)



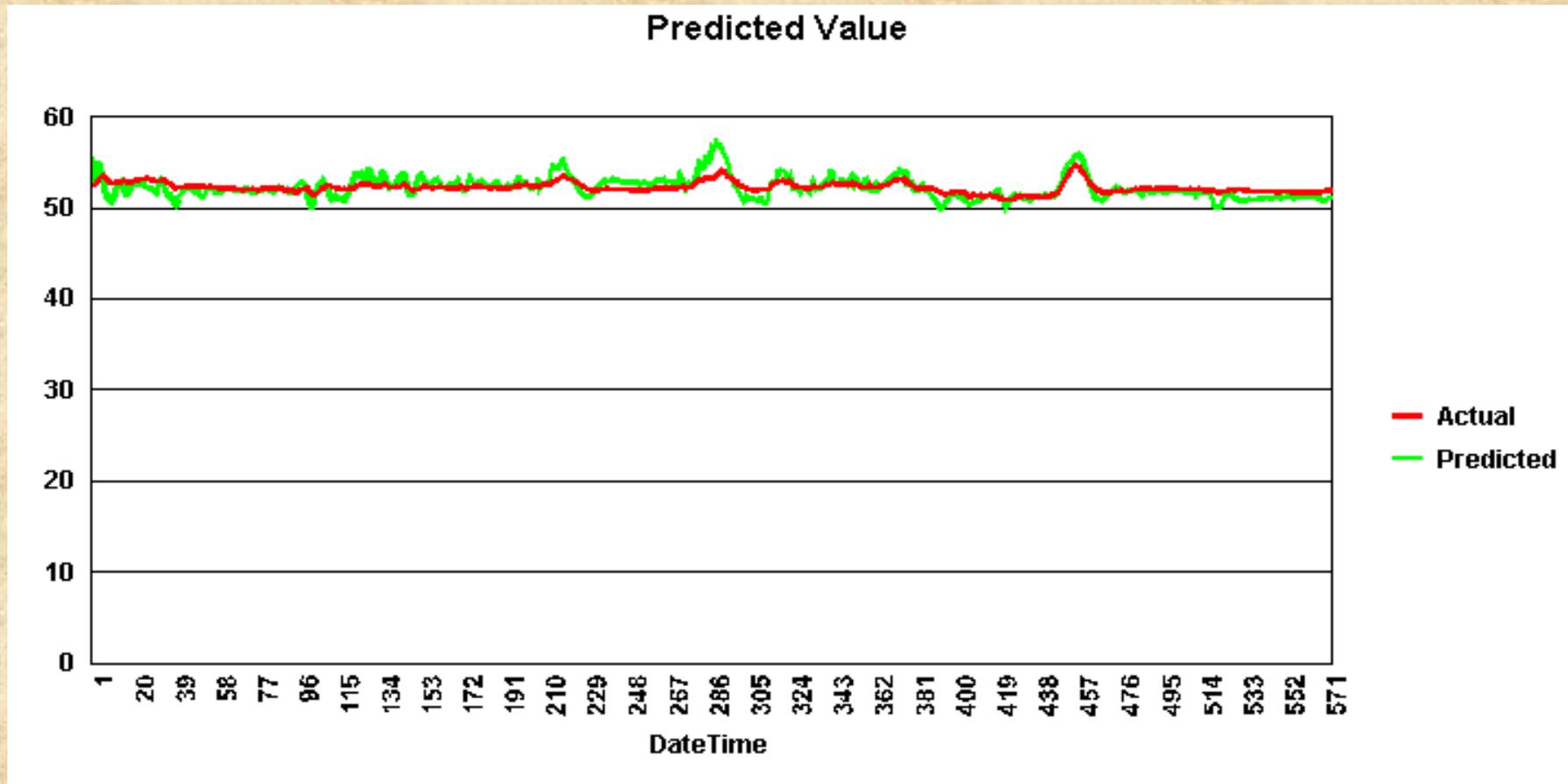
# Case Study

## □ Time Series Plot (Input PCA)



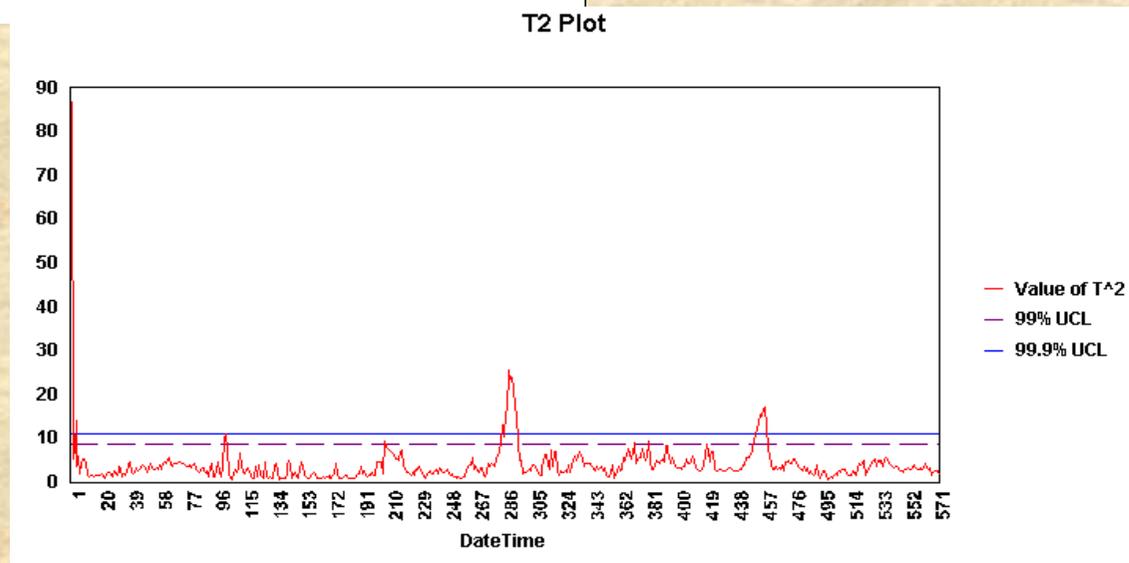
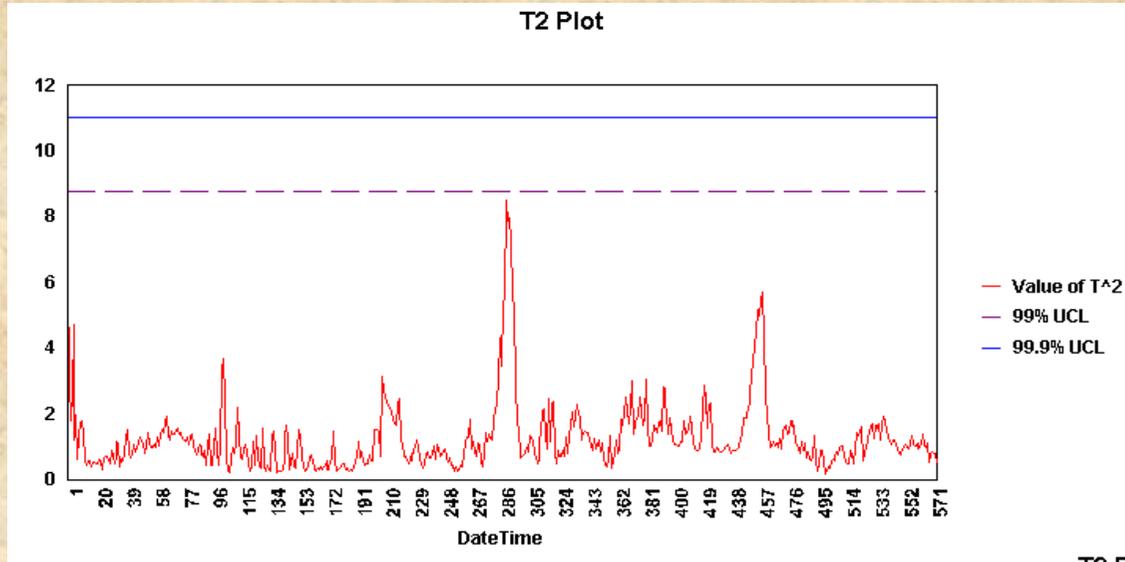
# Case Study

## □ PLS 결과 화면 (Predicted Value)



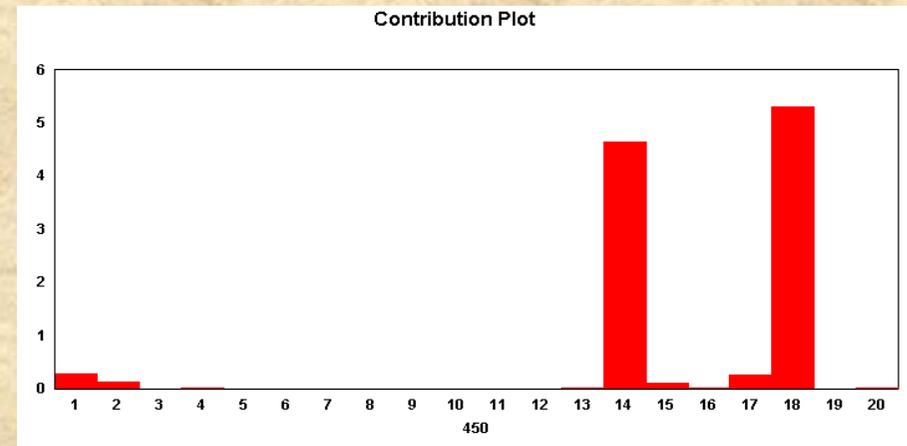
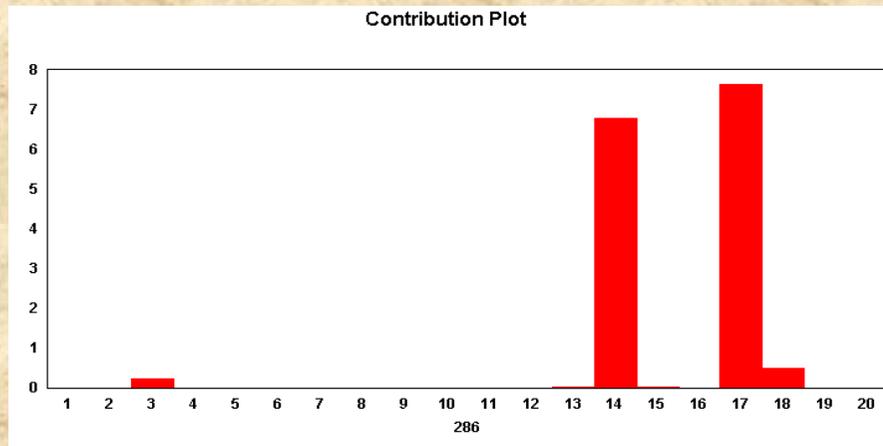
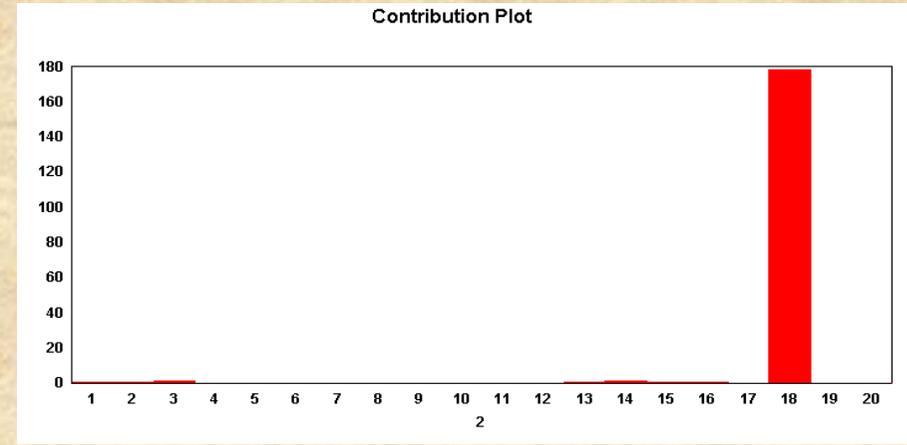
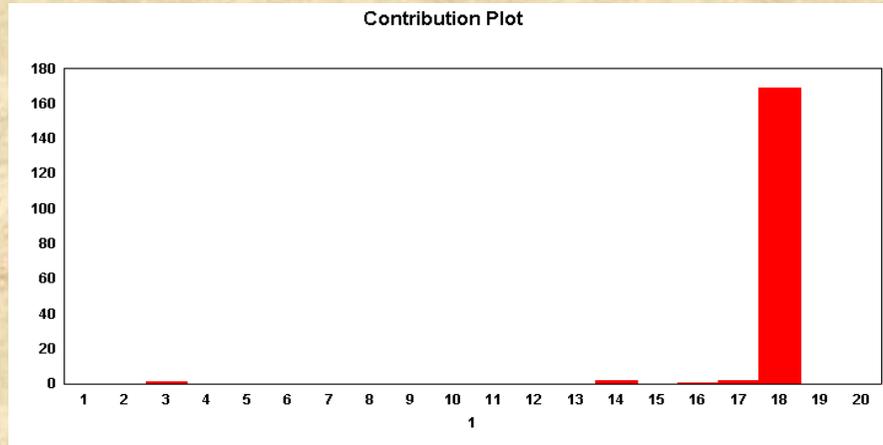
# Case Study

## Normal vs. Abnormal



# Case Study

## ❑ Contribution Plot (Input PCA)



# Case Study

## □ Quantitative Risk Assessment

암모니아 피드의 유량에 대하여 정량적 위험성 평가를 수행

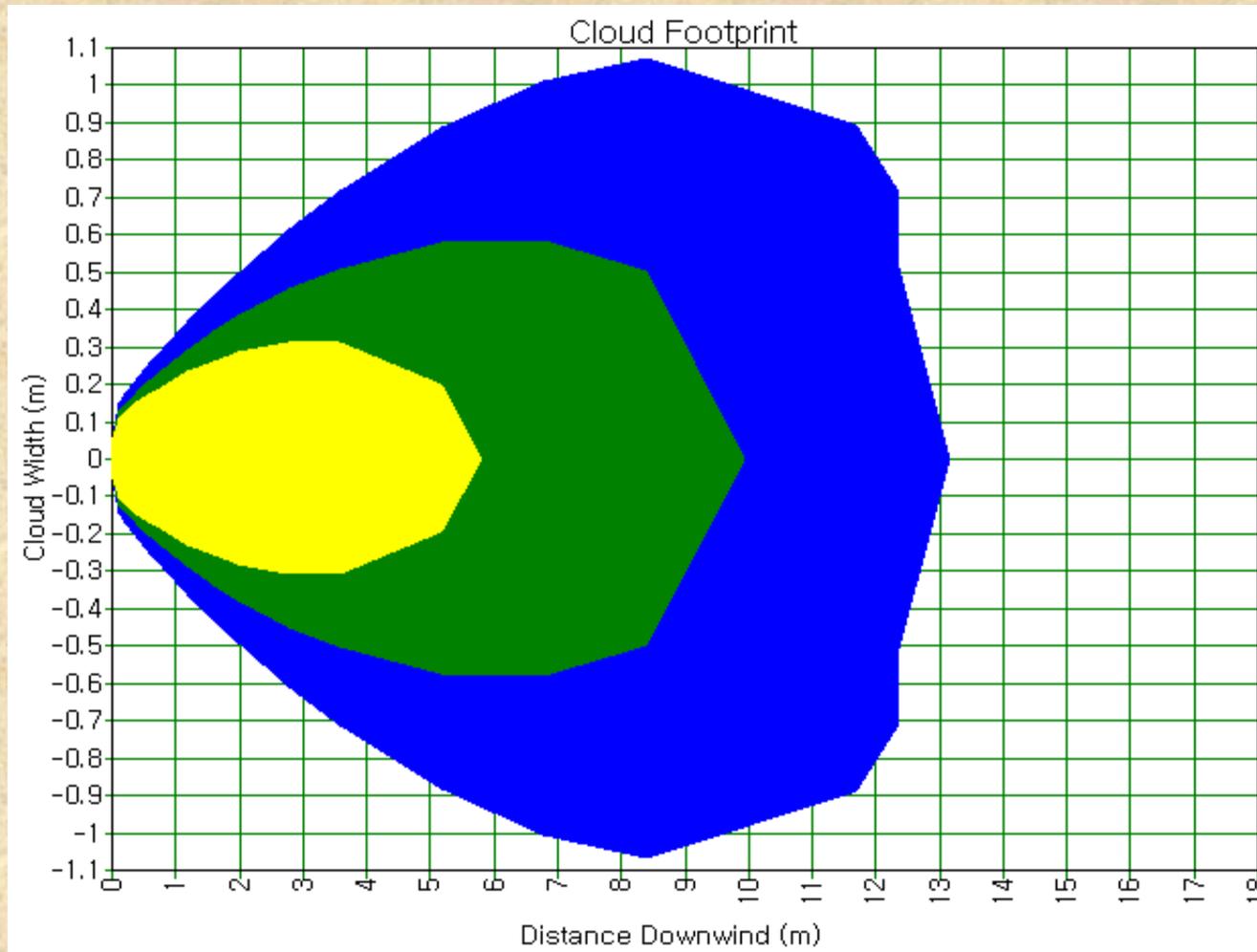
- ✓ 시나리오 : 암모니아 피드 라인에서 암모니아가 누출
- ✓ 암모니아 피드라인의 온도 : **20**
- ✓ 암모니아 피드라인의 압력 : **20 bar**
- ✓ 암모니아 누출 총량 : **400 kg**

이상의 조건에서 계산하였을 때 암모니아의 1/2 LFL 값인 **8,000 ppm**이 미치는 거리를 세가지 기후조건에 따라 산정하였음.

풍속(m/sec) 및 기후등급	1/2 LFL 영향 거리 (m)
1.5 / F	13.3
1.5 / D	14.4
5 / D	26.0

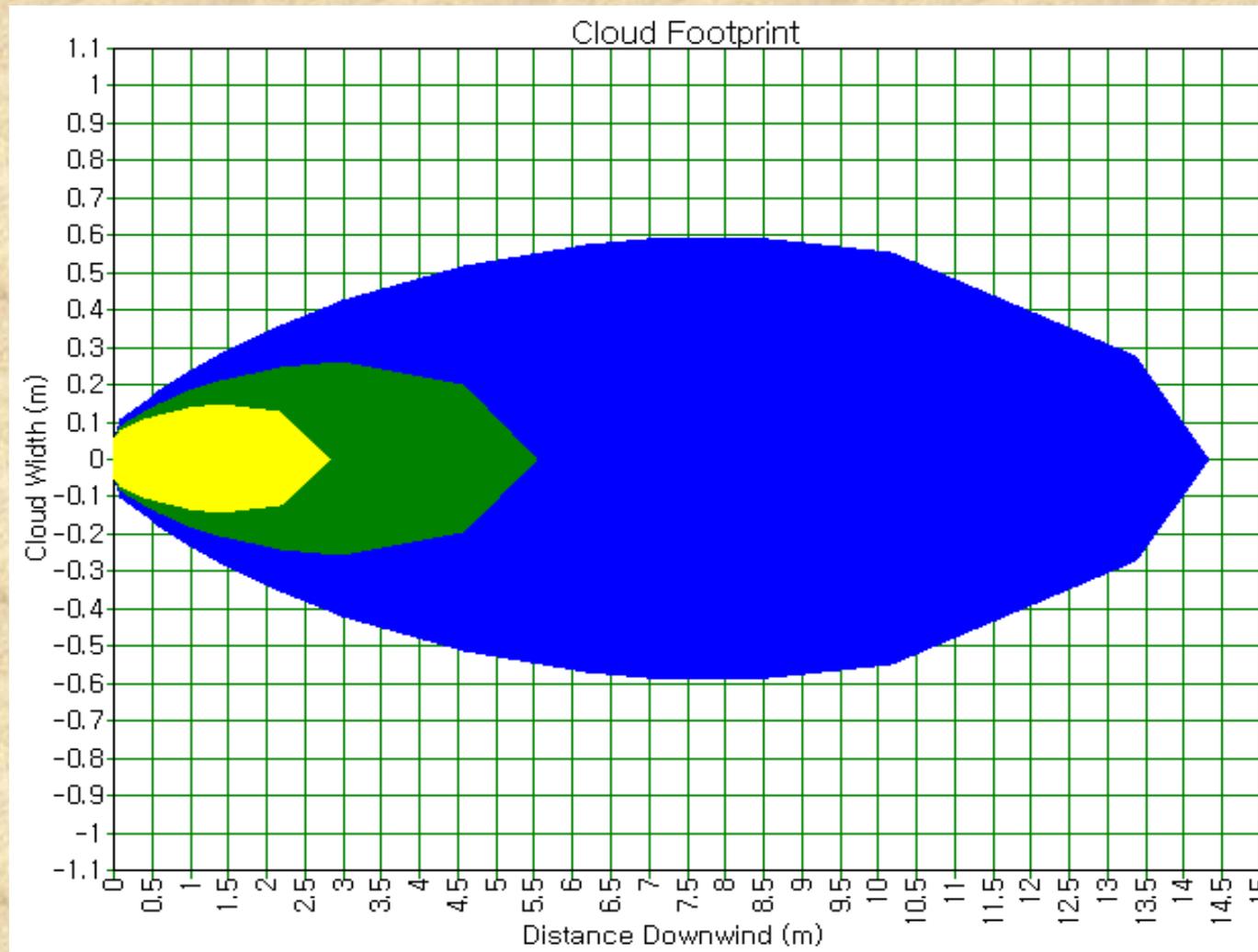
# Case Study

## Quantitative Risk Assessment (1.5 m/sec / F class)



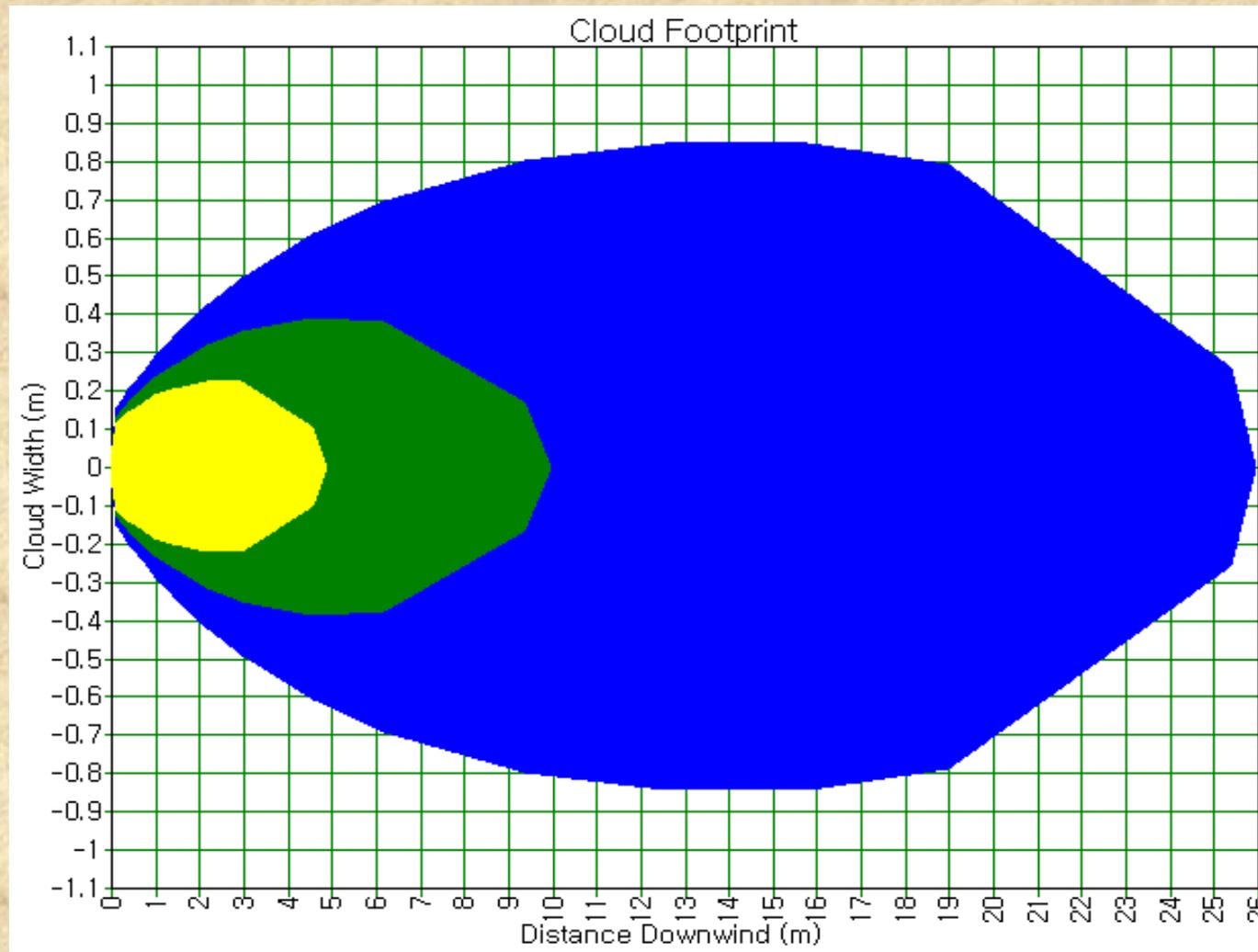
# Case Study

## Quantitative Risk Assessment (1.5 m/sec / D class)



# Case Study

## Quantitative Risk Assessment (5 m/sec / D class)



# Summary

- 다변량 통계기법 중의 대표적인 기법인 PCA를 PC 상에 구현하기 위한 알고리즘을 수립하여 공장 내의 조업자나 엔지니어가 자신의 작업 PC에서 공정의 이상유무를 확인할 수 있도록 하였다.
- MA plant를 본 시스템에 적용한 결과 비정상 운전의 경우 암모니아 칼럼의 암모니아와 물의 주입량이 현저히 떨어지며 불안정한 모습을 보였다. 따라서 암모니아 피드의 유량 감속에 대하여 누출사고로 상정하여 정량적 위험성 평가를 수행하여 1/2 LFL에 대하여 최소 13 m에서 최대 26 m 까지 그 영향 범위 안에 놓여짐을 계산하였다. 이로써 적절한 안전 조치를 강구하여 미연의 위험성에 대처할 필요성이 있는 것으로 사료된다.

# Summary

- 본 연구에서 제안된 시스템은 공장의 위해요소를 사전에 파악하여 알려 주므로 재해 예방은 물론 비상대피에도 큰 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.
- 기존의 공장자동화의 일환으로 도입된 PIS의 활용으로 전사적인 위험 관리 시스템의 구축이 용이하다.
- 향후 ERP 및 MIS와의 통합으로 보다 향상된 의사결정 관리에 영향을 줄 수 있을 것으로 사료된다.
- 본 시스템은 재해 예방 뿐만이 아니라 조업자의 안전 운전 및 최적 운전에 대한 **Know How**를 제시해 줄 수 있다.