



K-PSR을 이용한 LNG 충전소에 대한 정성적 위험성평가

이재민 · 유진환 · †고재욱

광운대학교 화학공학과

(2006년 12월 11일 접수, 2006년 12월 23일 채택)

Qualitative Hazard Analysis for LNG Gas Stations Using K-PSR Method

Jae Min Lee · Jin Hwan Yoo · †Jae Wook Ko

Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul Nowon-Gu, Korea

(Received 11 December 2006, Accepted 23 December 2006)

요 약

대기오염의 저감을 위한 천연가스자동차의 보급으로 LNG 및 CNG 충전소의 보급도 늘어나고 있는 추세이다. 하지만 1998년 부천 LPG충전소의 화재·폭발사고와 같은 대형가스사고 때문에 충전소의 설치에는 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 연구에서는 LCNG/LNG 복합충전소를 연구대상으로 선정하고 현장 방문을 통하여 정성적 위험성평가를 수행하였고, 위험성감소방안(권고사항)을 제시하였다. K-PSR을 이용한 정성적 위험성평가 수행결과 누출에 의한 잠재위험성이 가능 크게 나타났으며, 특히 탱크로리에서 LNG 저장탱크로의 하역작업 중 LNG의 누출에 의한 위험성이 가장 크게 나타났다.

Abstract – With the increased interest in reducing air pollution, supply of natural gas for gas vehicles is increasing. Thus, the number of establishments of LNG and CNG stations is increasing as well. However, due to major gas accidents such as the fire and explosion accident of a Bucheon LPG station in 1998, it is difficult to establish a new station. In this research, we conducted qualitative hazard analysis for LCNG/LNG multi-station by using the K-PSR method and proposed recommendations for hazard mitigation.

Key words : K-PSR, Hazard, Qualitative hazard analysis, NGV, CNG, LNG, Dike, Trench

I. 서 론

날로 심각해지는 대도시의 대기오염 저감을 위하여 천연가스자동차(NGV)의 보급이 활발히 진행되고 있다. 특히 압축천연가스(CNG)와 액화천연가스(LNG)를 연료로 사용하는 버스의 보급을 적극적으로 주도하였다. 하지만 1998년 부천 LPG 충전소의 화재폭발사고와 같은 대형가스사고에 기인하여 충전소 설치에 대한 안전기준 강화에 따라 도심 외곽에만 추가적인 설치 가능할 뿐 기존 도심의 충전소 증설이 불가능해지는 등 충전소 설치에 많은 어려움을 겪고 있다.

같은 직경에서 누출공이 발생할 경우 CNG의 누출속도는 LPG보다 6배 정도 빠르며, 누출속도가 빠르다는 것은 화재·폭발을 유발할 수 있는 가연성 물질이 많다는 것을 의미한다. 또한 가연성 물질이 많다는 것은

사고의 발생률이 크다는 것을 의미하며, 사고발생 시 사고의 피해 범위가 크다는 것을 의미한다. LNG의 경우에도 LPG보다 공정압력이 매우 높기 때문에 누출속도가 상당히 빠르다. 따라서 CNG와 LNG 충전소에서 사고가 발생할 시 과거 부천 LPG 충전소의 화재·폭발 사고에 의한 피해보다 훨씬 크게 나타날 것이라 예상할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 LCNG/LNG 복합충전소(사업장명)를 대상으로 정성적 위험성평가기법 중 하나인 K-PSR 기법을 이용하여 위험성평가를 실시하여 사고를 유발할 수 있는 잠재위험성을 확인하고 사고를 미연에 방지하기 위하여 잠재위험성을 감소시키는 방안을 제시하고자 한다.

II. K-PSR(KOSHA-Process Safety Review)

본 연구에서는 정성적 위험성평가기법으로 K-PSR

†주저자:jwko@kw.ac.kr

기법을 선정하였는데, 그 이유는 K-PSR 기법은 HAZOP 기법과는 달리 공정 node 단위로 평가하는 것이 아니라 Item 단위로 위험성을 평가하기 때문에 공정이 비교적 복잡하지 않은 LCNG/LNG 충전소에 적합하다고 사료되었기 때문이다.

2.1. K-PSR의 목적

K-PSR의 목적은 중요한 공정위험을 확인하는 것이며 또한 그러한 위험을 관리하기 위해 적절한 예방수단을 강구하기 위한 것이다.

2.2. 용어의 정의

K-PSR에서 사용하는 용어를 설명하면 다음과 같다.

(1) 위험(Hazard)

사업장에서 발생한 사고로 인하여 직·간접적으로 인적, 물적, 환경적 피해를 입히는 원인이 될 수 있는 잠재적인 위험성을 말한다.

(2) 원인·결과(Cause·Consequence)

위험요소가 발생할 수 있는 사고 원인 및 사고 원인으로 부터 발생할 수 있다고 예측 되어지는 사고결과를 말한다.

(3) 관련 문제사항(Problem & Concern)

해당 잠재 위험 및 원인·결과 사항에 대한 주요 관심 사항 및 팀원 또는 경영진에서 생각 하는 주요 쟁점 사항을 말한다.

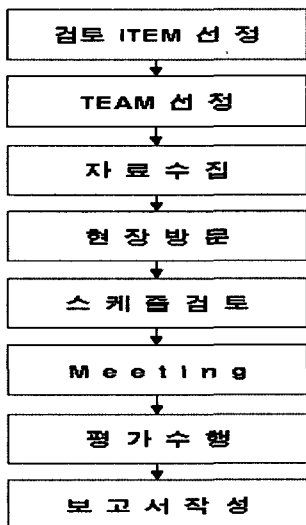


Fig. 1. The flow diagram for K-PSR.

(4) 현재안전조치(Safe Guard)

잠재 위험 및 원인·결과 사항에 대한 안전장치의 역할을 하고 있는 이미 설치된 장치 등을 말한다.

(5) 개선사항(Recommendation)

잠재 위험 및 원인·결과 사항에 대한 현재안전조치가 부족하다고 판단될 때 안전성을 확보하기 위해 도출된 추가적인 장치 또는 활동 등을 말한다.

2.3. 평가절차

K-PSR 기법의 위험성평가 절차는 다음과 같다.

III. 사례연구

3.1. LCNG/LNG 복합충전소

본 연구에서 선정한 사례연구 대상인 LCNG/LNG 복합충전소는 LCNG 및 LNG 충전기능을 동시에 수행할 수 있는 충전소로 생산기로부터 LNG를 탱크로리 차량으로 운송하여 LNG 저장탱크에 저장한 후 LNG 차량에는 LNG 연료를, 천연가스버스에는 LNG를 가압·기화시켜 충전한다.

(1) 공정개요

LCNG/LNG 복합충전소의 공정은 LNG 하역공정, LNG 탱크 세척레이션(Saturation) 공정, LNG 충전공정, LCNG 생산공정으로 이루어져 있으며 공정의 개요도를 살펴보면 Fig. 2와 같다.

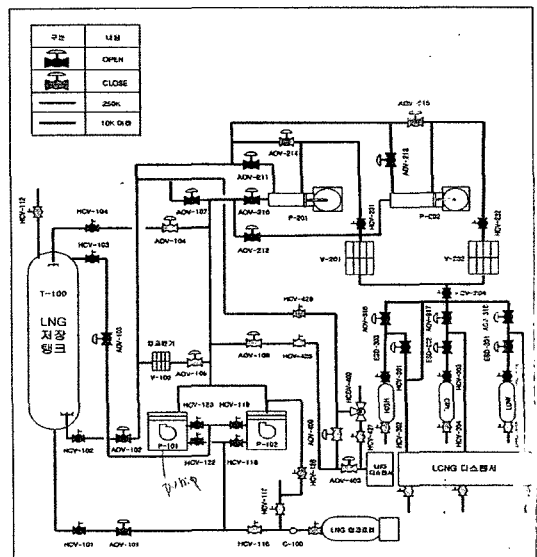


Fig. 2. Process flow diagram for LCNG/LNG multi-station.

(2) 주요설비 현황

LCNG/LNG 복합충전소의 주요설비를 살펴보면 다음과 같다.

1) LNG 저장탱크

생산기지에서부터 LNG 탱크로리 차량으로 운송한 LNG를 저장한다. 운전압력은 약 5.76 bar이다.

2) LNG 1차 펌프

LNG 탱크로리로부터 LNG 저장탱크로 LNG를 하역하고 LNG 차량 충전 시 LNG를 LNG 디스펜서로 공급한다. 또한, 천연가스버스 충전 시 LNG 2차 펌프로 LNG를 공급한다. 공급압력은 LNG 저장탱크 압력의 약 1.7배이며, 액중 저압원심펌프이다.

3) LNG 2차 펌프

천연가스버스 충전 시 LNG 1차 펌프에서 공급된 LNG를 250 bar로 가압하여 기화기로 공급하며, 고압왕복펌프이다.

4) 기화기

천연가스 충전시 LNG 2차 펌프에서 250 bar로 가압된 LNG를 CNG로 기화시켜 Priority panel로 공급한다.

5) Priority panel

압축·기화된 CNG를 CNG 저장탱크에 High, Mod, Low Bank 순으로 저장하거나, 디스펜서 라인으로 바로 공급(By-pass line)하는 등 CNG 공급을 제어한다.

6) CNG 저장용기

210~240 bar의 CNG를 저장, 천연가스버스 충전 시 LNG 2차 펌프가 기동될 때까지 저장된 CNG를 공급하며, LNG 2차 펌프 기동 후 공급되어지는 CNG와 CNG 디스펜서에서 충전 중인 CNG 사이의 압력차를 완화시켜준다. CNG 저장탱크는 High, Mid, Low Bank로 이루어져 있다.

7) LNG 디스펜서

LNG 저장탱크의 Saturation 공정이 완료된 후 LNG 1차 펌프를 통해 공급된 LNG를 LNG 차량에 충전하며, 충전된 양을 표시한다.

8) CNG 디스펜서

Priority panel을 통해 공급된 CNG를 천연가스버스에 충전하며, 충전된 양을 표시한다. CNG 충전 시 충전압력이 적정압력(200 bar)에 도달할 경우 충전을 멈춘다.

9) LNG 탱크로리 차량

생산기지 LNG 저장탱크에 저장된 LNG를 충전 후 LCNG/LNG 충전소로 운반·저장한다. 저장용량은 15 Ton이며, 저장압력은 8 bar 이하이다.

10) 부취설비

LNG 및 CNG 누설 시 부취냄새를 통해 인지할 수 있도록 부취제 저장용기에 저장된 취제를 LNG 및

CNG에 주입한다.

- KOGAS 기준 : 12~20 mg/Nm³

3.2. K-PSR을 이용한 정성적 위험성평가

본 연구에서는 공정엔지니어, 운전관리자, 기술엔지니어들과의 meeting과 과거 사고연혁을 기반으로 K-PSR의 가이드워드(누출, 화재·폭발, 공정문제점, 상해)에 대한 정성적인 위험성평가를 수행하다.

(1) Item 선정

Item 선정은 LCNG/LNG 복합충전소의 공정 중에서 잠재위험성이 가장 많다고 판단되는 것을 선정하였으며, 선정된 Item은 다음과 같다.

1) T-100(LNG 저장탱크)

2) V-201(LNG 기화기)

3) D-301~D-303(CNG 저장탱크)

(2) 평가 수행

선정된 Item에 대하여 각 가이드워드 별로 정성적 위험성평가를 수행하였으며, 결과는 Table 1~3과 같다. Table 1은 LNG 저장탱크에 대한 K-PSR 결과이고, Table 2는 기화기에 대한 K-PSR 결과이고, Table 3은 CNG 저장탱크에 대한 K-PSR 결과이다.

IV. 결과 및 토의

LCNG/LNG 복합충전소에 대한 정성적 위험성평가를 실시한 결과를 살펴보면 다음과 같다.

4.1. 누출

(1) LNG 1차 펌프의 결함에 의한 LNG 누출의 가능성

(2) 하역 작업중 loading의 이탈로 인한 LNG 대량 누출 가능성

(3) 배관 및 밸브의 너트 이완, 패키징이 마모되어 가스 누출 가능성

(4) 설비 가동중 자동밸브 Full-closed 안되어 누출 가능성

(5) 펌프 인입라인 가스켓 손상으로 가스 누출 가능성

(6) 펌프 경보기 고장으로 자동밸브 Full-closed 안되어 가스 누출 가능성

(7) 하역작업중 작업자 실수로 loading arm 이탈로 인한 LNG 누출(사고 발생 시 위험성이 가장 크게 나타남.)

Table 1. The worksheet for case study.

1. Plant : LCNG/LNG 복합충전소
 2. Team : 광운대학교 팀
 3. Item : T-100

4. Date : 2006. .
 5. Page :
 6. Drawing No. :

위험 (Hazard)	원인 · 결과 (Cause · Consequence)	관련 문제사항 (Problem & Concern)	현재안전조치 (Safe Guard)	개선 사항 (Recommendation)
누출	1. LNG 1차 펌프 퍼티포트 결합으로 LNG 누출 후 가스감지기 동작되어 설비 shut-down		1. 퍼티포트에 Vent line 설치	
	1. 하역작업중 작업자 실수로 loading arm 이탈로 인한 LNG 누출		1. 소화기 현장 비치 2. 가스감지기 설치 3. LFL 10% 이상시 자동으로 valve closed 및 펌프 기동 정지	1. 방류둑 설치 2. 작업자 교육 철저 3. Trench 설치
	1. 하역작업중 진동에 의한 loading arm 이탈로 LNG 누출		1. 소화기 현장 비치 2. 가스감지기 설치 3. LFL 10% 이상시 자동으로 valve closed 및 펌프 기동 정지	1. 방류둑 설치 2. Trench 설치
화재 · 폭발	1. 하역 작업중 정전기 발생되어 화재발생 가능성		1. 철저한 접지 실시 2. 주기적인 접지 상태 확인	1. 작업자 안전수칙 숙지 확인
	1. 압력전송기 고장으로 하역시 과압에 의한 폭발 가능성		1. HCV-148 설치 2. HCV-145 설치	1. 전송기 주기적인 보수 및 점검 필요
	1. 화기 작업시 불티 비산에 의한 화재 가능성	1. 평소 LNG의 소량 누출	1. 가스감지기 설치 2. 안전작업허가 절차에 의한 작업 실시	1. 안전작업허가 절차의 간단, 명료화하여 효율적인 운영 유도
공정 trouble	1. 펌프 고장으로 LNG 탱크 압력저하로 충전 효율 저하		1. stand-by pump 가동	
	1. 압력전송기 고장으로 set pressure에 도달 못해 충전압력 부족 가능성	1. 충전압력 부족시 차량에 충분한 연료공급 실패	1. 주기적인 점검 및 보수작업 실시	
	1. LNG 공급중단으로 인한 공정 shut-down	1. LNG는 재고 없는 상태로 LNG생산 기지에서 탱크로리로 공급	1. PT-101/102 설치 2. TT-101/102 설치	
상해 (Injury)	1. 탱크 배관 및 들출부에 충돌 가능성	1. 공정내 배관 위치 조정 불가능한 곳 존재	1. 안전모 착용, 교육 실시	1. 일상적 통로로 이용되는 곳에 경고표시 설치 검토
	1. 바닥에 겨울철 빙결로 인한 전도 가능성		1. 빙결가능 장소 즉시 청소	1. 빙결 가능 장소에 기름걸레 등 비치
	1. 하역작업 배관 purge 후 hose 해체시 잔압에 의한 안면 등 상해 가능성		1. 작업시 보안경 등 안전 보호구 착용 2. vent valve 확인 후 작업 실시	

(8) 위험성 감소방안

- 1) Dike의 설치와 Trench의 설치 필요
- 2) 가스켓, 경보기 및 밸브의 주기적인 점검 필요

4.2. 화재 · 폭발

- (1) 압력전송기의 고장으로 이상 과압이 걸려 폭발

가능성

- (2) 하역 작업 중 정전기 발생으로 소량 누출된 LNG 가스에 착화되어 화재 가능성
- (3) 화기 작업 시 불티 비산에 의한 화재 가능성
- (4) 위험성 감소방안
- 1) 안전작업수칙과 안전작업절차에 따라 작업을 실시

K-PSR을 이용한 LNG 충전소에 대한 정성적 위험성평가

Table 2. The worksheet for case study.

1. Plant : LCNG/LNG 복합충전소
2. Team : 광운대학교 팀
3. Item : V-201

4. Date : 2006. 10.
5. Page : 12/12
6. Drawing No. : 3/3

위험 (Hazard)	원인 · 결과 (Cause · Consequence)	관련 문제사항 (Problem & Concern)	현재안전조치 (Safe Guard)	개선 사항 (Recommendation)
누출	1. 설비 가동 중 2차 펌프 경보기 fail로 AOV-215 Full-close 안됨	1. 경보기 확인 및 점검 미흡	1. 가스감지기 설치 2. 안전밸브 설치	1. 주기적인 확인 및 검사 필요
	1. AOV 213 Stem부 그랜드 너트 이완, 패키징이 마모 2. AOV 215 Stem부 그랜드 너트 이완, 패키징이 마모	1. 정기점검시 검사 너트의 조립 불량 및 패키징 검사 미흡 2. 그랜드 너트 및 패키징 사양의 이력관리 미흡	1. 가스감지기 설치 2. 안전밸브 설치 3. 수분침투 방지용 도포 비치	1. 점검주기 단축
	1. 가스켓 손상으로 LNG 2차 펌프 인입라인 LNG 누설	1. 보수작업 후 작업자 실수로 가스켓 조립 불량 및 사양에 맞지 않는 가스켓 사용 2. 플랜지 및 가스켓 사양의 이력관리 미흡	1. 작업감독자 가스켓 확인 후 설치 실시	1. 플랜지 및 가스켓 등급 관리 실시
화재/폭발	1. 압력전송기 고장으로 이상 과압에 의한 폭발 가능성		1. HCV-231 설치 2. HCV-232 설치	1. 전송기 주기적인 보수 및 점검 필요
	1. 화기 작업시 불티 비산에 의한 화재 가능성	1. 평소 LNG의 소량누출	1. 가스감지기 설치 2. 안전작업허가 절차에 의한 작업 실시	1. 안전작업허가 절차의 간단, 명료화하여 효율적인 운영유도
공정 trouble	1. P-201 고장으로 set pressure에 도달하지 못해 충전압 부족 가능성		1. stand-by pump 가동	
	1. 압력전송기 고장으로 set pressure에 도달 못해 충전압력 부족 가능성	1. 충전압력 부족시 차량에 충분한 연료공급 실패	1. 주기적인 점검 및 보수작업 실시	
상해 (Injury)	1. 공정배수로 덮개 미설치 지역에서 실족으로 인한 골절 가능성	1. 일부구간 덮개 미설치	1. 덮개 설치(일부분 미설치)	1. 미설치 구간 덮개 설치
	1. 배관 및 돌출부에 충돌 가능성	1. 공정내 배관 위치 조정 불가능한 곳 존재	1. 안전모 착용, 교육 실시	1. 일상적 통로로 이용되는 곳에 경고표시 설치 검토
	1. 바닥에 겨울철 빙결로 인한 전도 가능성		1. 빙결가능 장소 즉시 청소	1. 빙결 가능 장소에 기름걸레 등 비치

하고 감독관이 항상 동행

2) 하역 작업 시 작업자는 정전기 방지복을 착용하고 철저한 집지를 확인한 후 작업 실시

4.3. 공정 문제점

- (1) LNG 공급 중단으로 공정 shut-down
- (2) 펌프 및 압력전송기 고장으로 충전압력 부족 현상이 생겨 충전의 효율 저하 가능성
- (3) 위험성 감소방안

1) 펌프 및 압력전송기의 주기적인 점검이 필요.

4.4. 상해

- (1) 하역작업을 끝마친 후 배관 purge를 실시한 후 hose 해체 시 잔압에 의한 상해 가능성
- (2) 배관 및 돌출부에 충돌 가능성 있음.
- (3) 공정배수로의 덮개 미설치 지역에서 실족으로 인한 골절 가능성.
- (4) 위험성 감소방안

Table 3. The worksheet for case study.

- 1. Plant : LCNG/LNG 복합충전소
- 2. Team : 광운대학교 팀
- 3. Item : D-301~D303

- 4. Date : 2006. 10.
- 5. Page : 12/12
- 6. Drawing No. : 3/3

위험 (Hazard)	원인 · 결과 (Cause · Consequence)	관련 문제사항 (Problem & Concern)	현재안전조치 (Safe Guard)	개선 사항 (Recommendation)
누출	1. 설비 가동 중 2차 펌프 경보기 fail로 AOV-316/317/318 Full-close 안됨	1. 경보기 확인 및 점검 미흡	1. 가스감지기 설치 2. 안전밸브 설치	1. 주기적인 확인 및 검사필요
	1. AOV 316 Stem부 그랜드 너트 이완, 패키징이 마모 2. AOV 317 Stem부 그랜드 너트 이완, 패키징이 마모 3. AOV 318 Stem부 그랜드 너트 이완, 패키징이 마모	1. 정기점검시 검사 너트의 조립 불량 및 패키징 검사 미흡 2. 그랜드 너트 및 패키징 사양의 이력관리 미흡	1. 가스감지기 설치 2. 안전밸브 설치 3. 수분침투 방지용 도포 비치	1. 점검주기 단축
	1. 가스켓 손상으로 CNG탱크 2차 펌프 인입라인 LNG 누설	1. 보수작업 후 작업자 실수로 가스켓 조립 불량 및 사양에 맞지 않는 가스켓 사용 2. 플랜지 및 가스켓 사양의 이력관리 미흡	1. 작업감독자 가스켓 확인 후 설치 실시	1. 플랜지 및 가스켓 등급 관리 실시
화재/폭발	1. 압력전송기 고장으로 과압에 의한 폭발 가능성		1. HCV-231 설치 2. HCV-232 설치	1. 전송기 주기적인 보수 및 점검 필요
	1. 화기 작업시 불티 비산에 의한 화재 가능성	1. 평소 LNG의 소량누출	1. 가스감지기 설치 2. 안전작업허가 절차에 의한 작업 실시	1. 안전작업허가 절차의 간단, 명료화 하여 효율적인 운영 유도
공정 trouble	1. 압력전송기 고장으로 set pressure에 도달 못해 충전압력 부족 가능성	1. 충전압력 부족시 차량에 충분한 연료공급 실패	1. 주기적인 점검 및 보수작업 실시	
상해 (Injury)	1. D-301 배관 및 돌출부에 충돌 가능성	1. 공정내 배관 위치 조정 불가능한 곳 존재	1. 안전모 착용, 교육 실시	1. 일상적 통로로 이용되는 곳에 경고 표시 설치 검토
	1. 바닥에 겨울철 빙결로 인한 전도 가능성		1. 빙결가능 장소 즉시 청소	1. 빙결 가능 장소에 기립걸레 등 비치
	1. CNG 충전작업 후 디스펜서 해제 시 잔압에 의한 상해 가능성		1. 충전작업 시 보안경 등 안전 보호구 착용	

- 1) 공정 site에 들어갈 때는 항상 안전모 착용
- 2) 공정배수로의 덮개 미설치 지역을 확인하여 덮개 설치 필요.
- 3) 공정 site 내에 위험표지판 설치

V. 결 론

LNG 자동차의 국내 도입을 위하여 필수적인 것은 LNG 충전소이다. 하지만 부천 LPG 충전소의 화재폭

발사고와 같은 대형가스사고에 기인하여 인구밀집지역에서 대지를 확보하는 것이 매우 어려운 일이기 때문에 기존의 LPG 또는 주유소와의 병설을 통하여 대지 및 효율성을 확보하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 이미 충전소를 병설하여 운영중인 일본의 Eco-Station과 가장 유사하고 국내에 설치 운영중인 대전의 LCNG/LNG 충전소에 대한 위험성평가를 실시하였으며, 연구 결과가 향후 설치·보급될 충전소에 대한 설치 기준 및 사고 시 비상대응계획 절차서 작성에 기여

하리라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업안전공단과 소방방재청의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] CCPS, Guideline for Hazard Evaluation Procedure,

AIChE, New York, (1989)

[2] Crowl, D.A. and J.F. Louvar, Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications, SECOND EDITION, Prentice-Hall, New Jersey, (2002)

[3] KOSHA-Code, 한국산업안전공단, (2006)

[4] 중대산업사고사례집, 한국산업안전공단, (2004)

[5] Less, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, SECOND EDITION Butterworths, (1980)

[6] Less, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 2, SECOND EDITION Butterworths, (1980)