최적Plant Layout Evaluation Procedure에 관한 연구

박철수 · 이영순* · 강미진* · 홍은정**
삼성엔지니어링㈜ · *서울산업대학교 안전공학과
**서울산업대학교 에너지환경대학원

1. 서 론

석유 화학 공장 등 플랜트 건설 사업 수행 시 Plant Layout 설계는 일반적으로Feed 단계에서 설계된 Layout을 기초로 기기의 Maintenance, 배관 및 기타 법규, Code등을 고려하여 기존Layout을 수정하는 것으로 상세 설계 단계에서 이루어졌다.
이러한 Plant Layout 설계는 주로 기존의 경험, Maintenance 및 Access를 고려한 검토에 중점을 두고 있다. 그러나 최근 Feed단계 사업 또는 대형 사업에서는 Plant Layout의 검토를 입찰자가 수행함은 물론 검토 과정에서 Hazard Analysis 기법의 적용을 요구하고 있다.

최근 빈번하고 있는 국내 석유화학공장 사고사례에 비추어 국내에서도 점진적으로 사고의 발생 및 확산을 방지하기 위해 정량적인 분석에 근거한 설계를 실시하는 것이 사고 위험성 감소 측면에서 바람직하며, 향후 엔지니어링사의 경쟁력 우위에 가장 중요 요소로 자리잡고 있음이 확인 되었다. 따라서 이에 맞는 최적 Plant Layout 업무 및, 제도상 적용시점의 검토, 효용성을 제시된 절차의 연구의 필요성이 제기되고 있다. 이러한 필요성에 의하여 최적플랜트 배치 평가 절차를 정립하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 최적Plant layout evaluation procedure

2.1. 정성적 평가에 의한PlantLayoutEvaluation의 적용모델

기존 법규 및 Code에 근거한 기존 Plant Layout의 검토는 주로 정성적인 분석, 즉 법규나 Code의 조항 및 경험에 근거한 Check List 등을 기준으로 이루어진다. 이 방법은 법규 및 Code에 익숙한 경험자를 통한 신속하고 안전한 검토가 가능하다. 그러나 경험의 의존성이 크기 때문에 새로운 종류의 공정에 적용할 경우에는 문제 발생의 소지가 있으며 다소 획일화 된 기준의 적용으로 안전설계 측면에서 과잉 혹은 부적합 설계를 유발할 가능성이 높다.

기존 법규 및 Code에 따라 Plant Layout 설계수행 방법 및 절차를 정리하면 다음과 같다.

2.1.1OverallSitePlan

(1) Process측면에서 타당한 배치

· 바람의 방향을 고려한 점화원과 연료원의 배치

· 화재시 영향을 최소화하기 위해 바람과 조수 및 해류에 대한 고려를 통한 연료원의 배치

· 소방 접근로의 용이성 확보

· EBR(Escape, Evacuation and Rescue)을 고려한 적절한 배치

(2) Unit의 분류를 통한 배치(Block Model)

· Isolation Valve의 개수를 줄이고 Shutdown System의 복잡성을 경감시키기 위하여 가능한 한 Unit의 총 개수를 줄여야 한다. 또 크기가 가장 큰 Unit에 대해 소방 설비와 비상 시스템(Emergency System)이 정해진 시간 내에서 효과적으로 작동할 수 있도록 크기를 정해야 한다.

· 비슷한 위험도를 가진 장치로 같은Unit을 구성하여야 한다.

· 운전성이 양호하도록 Grouping 하여야 한다.

· 사고발생시 정해진 액수 이내에서 손실이 발생하도록 구성한다. Interconnection Unit는 용접된 배관으로만 이루어져 있으며 서로 다른 프로세스 Unit를 연결해 주는 경우에만 독립적인 Unit으로 인정할 수 있다.

2.1.2ProcessUnitLayout

Plant Layout의 설계시 가장 중요한 것은 공장 부지내 Equipment Block간의 배치로 실제 Layout Study의 대부분은 앞에서 언급한 Overall Site Plan 결정시 수행된다.

공정장치 배치의 가장 중요한 요인은 장치 또는 공정간 안전거리인 바 이들을 규정한 법규로는 국내의 경우에는 고압가스관리법, 산업안전보건법 그리고 소방법이 있고 국제 Code의 경우에는 IRI, 미국의 NFPA 그리고 API기준이 있다.

2.2정량적 평가에 의한PlantLayoutEvaluation의 적용 모델

컴퓨터 기술의 발전과 더불어 유용성이 증대되고 있는 성능위주의 설계(Performance Based Design)의 일환으로 해외 사업을 중심으로 적용되기 시작한 Hazard Analysis를 이용한 Plant Layout 설계는 전술한 바와 같이 기존의 Code위주의 설계와 달리 보다 정량적인 예측 결과를 바탕으로 경제적이고 안전한 Plant Layout설계를 수행할 수 있는 기반을 제공한다. 그러나 이 설계 방법은 기존의 방법에 비해 상당한 기술력과 시간 및 비용이 요구되는 기법으로 소규모 사업보다는 대형 사업에 적용하는 것이 적합하며, 소규모 사업의 경우는 법규나 Code를 적용하여 Plant Layout 의 안전성을 검토하는 것이 경제적 측면에서 타당하다. 또한 최근 빈번히 발생하고 있는 국내 석유화학공장 사고의 선례에 비추어 국내에서도 점진적으로 사고의 발생 및 확산을 방지하기 위해 정량적인 분석에 근거한 설계를 실시하는 것이 사고 위험성 감소 측면에서 바람직하며 향후 엔지니어링사의 경쟁력 우위에 가장 중요 요소로 자리잡고 있음이 확인되었다. 이

에 사업 특성별 Hazard Analysis의 적용방안 및 업무의 적용시점의 정립, 제도상의 적용 사례 보완으로 효용성을 제시 하면 아래와 같다.

2.2.1 Hazard Analysis를 이용한 Plant Layout 설계 절차

Feed단계에서 부지선정 및 선정된 부지에 적합한 Plant Layout의 설계를 정성적인 판단만으로 수행하는 것은 본질 안전확보를 위한 변경사항 발생시 사업일정에 큰 위험을 내포할 수 있을 뿐만 아니라 비경제적일 수 있다.

이러한 문제점을 해소하기 위해 Hazard Analysis가 적용되어야 한다. 이는 정성적 평가방법과 정량적 평가방법의 장점을 고려한 보다 객관적이고 타당한 Plant Layout 설계를 수행할 수 있도록 하기 때문이다. 그러나 이 방법의 적용은 정량적 분석에 대한 상당한 기술력이 요구되며 많은 노력과 시간이 필요하다. 따라서 법규 및 Code에 근거한 분석을 함께 수행 되는 것이 타당하다. 이에 본 연구에서는 1단계 : 적용대상에 대한 평가 방법 검토 결정, 2단계 : 정성적 검토의거 검토된 사항을 바탕으로 발생 가능한 사고의 분석에 근거한 UNIT배치, 3단계 : 정량적 해석에 의한 위험성평가 실시 적용 등 단계적 업무절차를 제시 적용하였다.

2.2.1.1 1단계: 적용대상에 대한 평가 방법 검토 결정

효율적인 사업의 운영을 위해서는 업무 수행 전 먼저 사업의 위험도, 사업의 규모와 사업의 특성을 고려하여 적용 방법을 결정하여야 하고, Hazard Analysis를 이용한 Plant Layout 설계를 진행해야 한다. 이에 따라 소규모사업의 경우는 [표2-2]의 기준에 의한 법규나 code를 적용하여 Plant Layout의 안전성을 검토·추진하는 것이 경제적 측면에서 타당하다.

<표 2-2> Application Guide for Hazard Analysis*

Criteria	Code based review	Hazard Analysis based review
위험도 (Risk)	Low risk (Offsite)	High risk (Gas & Refinery, Petrochemicals)Small (Small offsite, pump, station)Large (Refinery, Gas Complex)
사업규모 (Project size)	Small (Small offsite, pump, station)	Large (Refinery, Gas Complex)
사업특성 (Characteristics)	Revamping and typical plant	New and complex revamping plant

* 이 Guide는 기존 법규 및 코드에 근거한 정성적 Plant Layout설계 및 정량적 설계인 Hazard Analysis를 이용한 Plant Layout설계의 기초 모델을 위험성평가 이론, 사고

확률평가, 영향모델 등과 국내에서 운전 중인 석유 화학공장을 참조하여 여러 Unit(Element)를 도출한 자료, 사고 진행 상황 Element 도출, 구성요소에 대한 위험지수 부여 등 기존Data[1]를 이용하여 작성하였다.

2.2.1.2 2단계 : 정성적 검토에 의거하여 검토된 사항을 바탕으로 발생 가능한 사고의 분석에 근거한 Unit배치

(1) 발생 가능한 사고의 정량적 분석에 근거한 Unit배치

다음의 세 가지 지역은 공장내에서 발생 할 수 있는 사고의 영향을 기준으로 구분하며 주로 복사열, 폭발, 과압의 크기 등에 의해 결정된다.

Impacted Area외부: 공장에서 발생한 사건의 영향을 받지 않는 지역으로 공장이 없는 다른 지역과 동일한 위험을 가지고 있는 일반 지역

Impacted Area내부 (Restricted Area 외부): 사고 발생시 부상 당할 확률은 거의 없지만, 물의 생육 및 생장에 영향을 주어 재산상의 손실을 야기할 수 있는 지역

Restricted Area 내부: 공장의 정상 가동 시에도 직접적인 영향을 받을 수 있는 지역

Fire Zone, Restricted Area 그리고 Impacted Area를 결정하기 위하여 Hazard Analysis를 수행하며 이를 수행하기 위해 정성적인 방법과 정량적인 방법이 모두 사용하게 된다.

2.2.1.3 3단계 : 정량적 해석에 의한 위험성평가 실시 적용

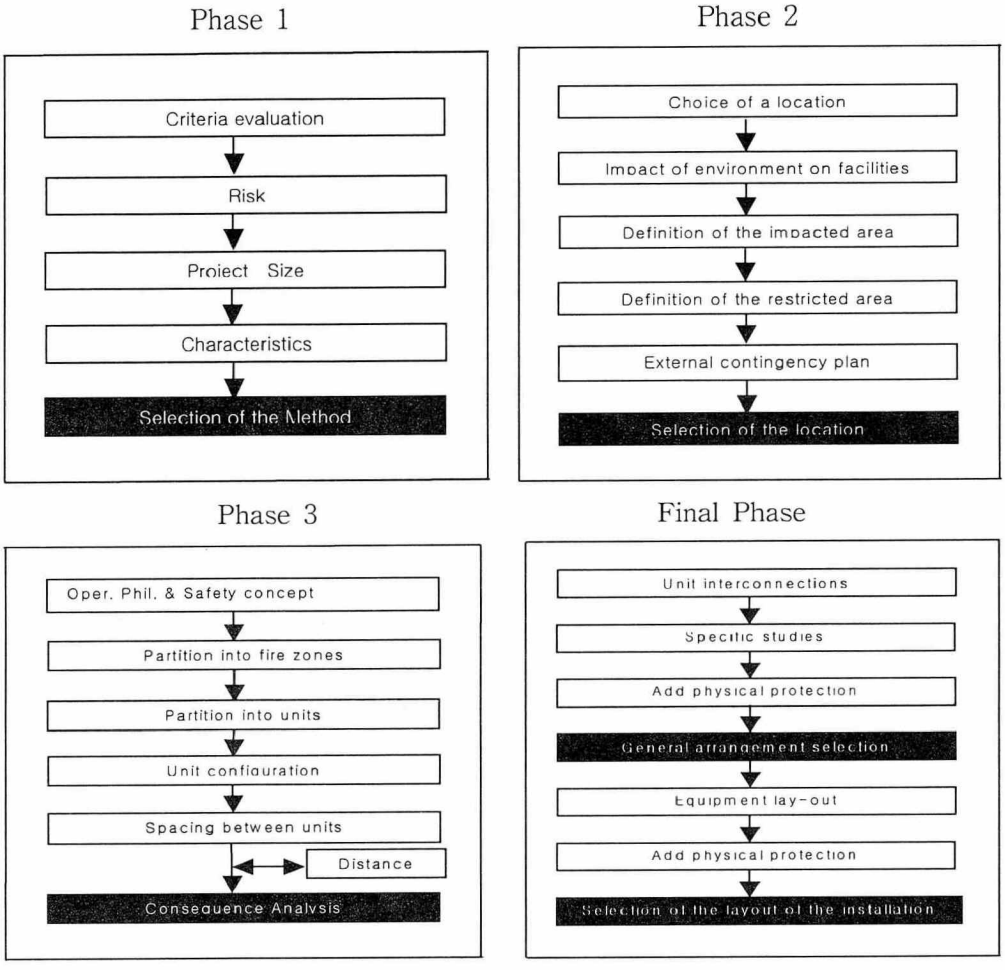
3단계작업으로는 1단계, 2단계에서 검토된 사항을 정량적으로 분석하여 종합적인 평가작업을 하는 단계로 제 2장에 언급된 많은 위험성평가 작업 중 신규설비 평가에 가장 많이 적용되는 원인 결과분석 (CCA, Cause Consequence Analysis)방법, 즉 예측가능한 사고를 평가하기 위해 FTA와 ETA의 혼합형으로 분석 평가하는 단계이다. 이 평가 방법은 합당한 자료가 이용되면 결과가 정확히 예측되어 발생 빈도를 정량화 하는데 사용된다.

이처럼 정량화된 자료를 이용하여 이론적 고찰에서 언급된 위험도를 평가하여 이에 합당한 추가 보호책과 함께 비용과 효과를 검토 적용한다.

각종기기의 이격거리나 Unit Distance를 기준으로 Consequence Analysis를 실시하고, Add physical protection작업을 실시, 최종 General Arrangement Selection작업을 결정한다.

정량적 해석에 의한 최적화된 Plant Layout 설계의 기본적인 단계별 진행단계를 도식화 하면 <그림 2-1>과 같다.

<그림 2-1> Methodology to Select Plant Layout



2.2.1.4 정량적 평가에 사용되는Consequence analysis해석을 위한 사고 시나리오 생성 모델

화학공정에서의 위험성 평가는 크게 3단계로 구분할 수 있다. 첫번째 위험요소의 존재여부를 확인 규명하는 절차로 위험의 확인(Hazard Identification Method), 두번째로 사고의 발생빈도와 결과 평가 작업으로 위험의 평가(Hazard Assessment Method), 세번째로 위험의 확인과 빈도 및 결과 예측이 완료되면 이것을 근거로 종합적인 위험도 평가(Risk Evaluation Method)를 실시한다.

위험의 평가 작업은 컴퓨터 기술의 발전과 더불어 유용성이 증대되고 손쉽게 결과를 도출 할 수 있으나 사고 시나리오 작성 정확도에 따라 결과가 상이하게 도출되므로 적절한 시나리오 작성이 매우 중요하다.

사고시나리오의 각 구성요소로는 대상unit,대상 단위 공정,대상 기기 및 발생부위, 대

상 물질, 사고 전 상태, 사고 진행 상황, 점화원, 운전 조건 등이 있는바 이들을 고려하여 시나리오가 작성되어야 한다. 또한 각 구성 요소의 Element 도출과 사고 시나리오가 생성되는 기본 알고리즘을 작성하고, 사고시나리오의 Risk순위를 부여하기 위한 방법을 고찰하여야 하는바 이 논문에서는 이에 대한 예시를 제시하고 이를 통한 Consequence Analysis의 이해 및 적용방법을 제시하였다.

3. 결 론

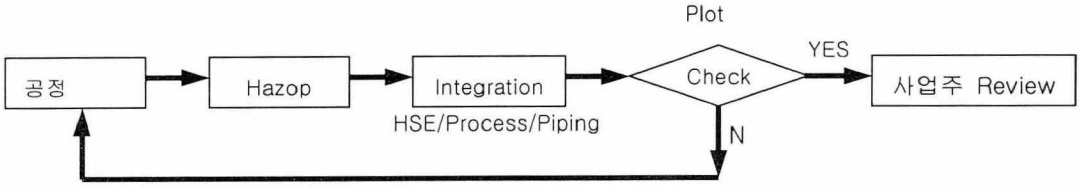
컴퓨터 기술의 비약적인 발전과 더불어 유용성이 증대되고 있는 성능위주의 설계(Performance Based Design) 일환으로 해외 사업을 중심으로 적용되기 시작한 Hazard Analysis를 이용한 Plant Layout 설계는 기존의 Code위주의 설계와 달리 보다 정량적인 예측 결과를 바탕으로 경제적이고 안전한 Plant Layout설계를 수행할 수 있는 기반을 제공함을 확인하였다.

이 설계 방법은 기존의 방법에 비해 상당한 기술력과 시간 및 비용이 요구되는 기법으로 소규모 사업보다는 대형 사업에 적용하는 것이 적합하며 소규모 사업의 경우는 법규나 Code를 적용하여 Plant Layout 의 안전성을 검토하는 것이 경제적 측면에서 타당하다. 아울러 Hazard Analysis를 이용한 Plant Layout설계의 적용 방법 및 진행절차에 따른 업무효율성을 "S"의적용 사례에 의거 확인 하고 이에 제안된 단계적 검토작업을 제시하고 검증하였다. 단계적 검토작업의 제 1단계에서는 사업 특성별 Hazard Analysis의 적용방안을 도출 하여 Plant규모에 맞는 업무적용 기준을 제3장의 [표3-1]과 같이 제시 하였다.

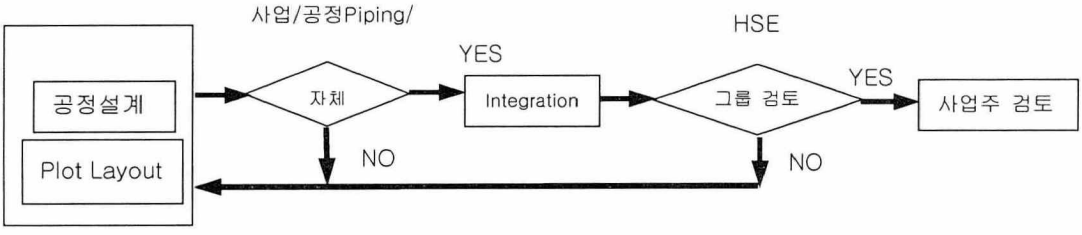
[표 3-1] 사업 특성별 Hazard Analysis의 적용방안

Criteria	Code based review	Hazard Analysis based review
위험도 (Risk)	Low risk (Offsite)	High risk (Gas & Refinery, Petrochemicals) Small (Small offsite, pump, station)Large (Refinery, Gas Complex)
사업규모 (Project size)	Small (Small offsite, pump, station)	Large (Refinery, Gas Complex)
사업특성 (Characteristics)	Revamping and typical plant	New and complex revamping plant

제 2단계에서는 정성적으로 검토된 사항을 바탕으로 발생 가능한 사고의 분석에 근거 Unit를 배치하고, 3단계에서는 정량적 해석에 의한 위험성 평가 등으로 업무를 구분하여 효율성을 고려한 상세 업무 적용방법을 제시하고, 적용시점 선택의 중요도를 인식 효율성을 근거로 한 업무Procedure의거 한 안전 설계를 수행하는 방법을 [그림 3-1]의 절차에서 [그림3-2]의 절차로 개선해야 함을 검증하여 제시하였다.



[그림 3-1] 개선 전 Process



[그림 3-2] 개선 후 Process

상기와 같이 제안된 업무적용 방법 및 최적화된 절차에 의거한 엔지니어링 업무진행은 사업수행에 경쟁우위에 있음을 통계적 검증 방법을 통하여 확인하였다.

본 연구에서는 기업 내부자원의 경영에 있어서 사업주의 요구에 맞는 새로운 요구를 추구하는 설계방식으로서, 효율적인 Plant Layout설계관리를 통해 엔지니어링 기업의 경쟁우위를 창출할 수 있는 새로운 방편으로서 제시된 절차의 도입을 제안하였으며, 근원적 안전설계에 있어서 가장 기본이 되는 정량적 안전설계 최적화 절차 확립에 대한 연구를 통해 연구대상기업의 경쟁우위 달성의 가능성을 분석하였다.

최근 빈번하고 있는 국내 석유화학공장 사고의 선례에 비추어 국내에서도 점진적으로 사고의 발생 및 확산을 방지하기 위해 정량적인 분석에 근거한 설계를 실시하는 것이 사고 위험성 감소 측면에서 바람직하며 향후 지속적인 제도상의 보완도 필요할 것으로 사료된다

참고문헌

1. Total Finallf " Engineering Plant layout specification " in French 1989
2. NFPA 30 Flammable and Combustible Liquids Code 1996
3. NFPA 58 Standards for the Storage and Handling of Liquefied Petroleum Gases 1998
4. NFPA 59 Standards for the Storage and Handling of Liquefied Petroleum Gases

at Utility Gas Plants 1998
5. NFPA 59A Standards for the Production, Storage and Handling of Liquefied Natural Gas(LNG) 1996
6. API 2510A Fire-Protection Consideration for the Design and Operation of LPG Storage Facilities 1996
7. IRI IM 2.5.2 Oil and Chemical Plant Layout and Spacing 1996
8. IRI IM 8.2.0.1 Liquefied Petroleum Gas Code-NFPA 58 1998