

# 가스 저장탱크 안전거리의 지적 결정 시스템 개발

임사환<sup>1\*</sup>, 허용정<sup>2</sup>

## A Development of Intelligent Decision System by Safety Distance of GAS Storage Tank

Sa-Hwan Leem<sup>1\*</sup> and Yong-Jeong Huh<sup>2</sup>

**요약** 본 논문은 가스 저장탱크 안전거리의 지적결정 시스템에 관한 것으로, 현장에서는 저장탱크의 파열로 인한 피해를 예방하기 위해 법에서 설정한 안전거리를 유지하고 있다. 하지만 이는 비전문가에게는 저장탱크의 크기, 형상, 그리고 위치를 고려한 적절한 안전거리를 결정하기란 결코 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 비전문가라도 가스 3법 및 저장탱크의 크기, 형상, 그리고 위치를 지적결정에 의하여 선택하도록 하는 사용자 친화적 지적결정 시스템을 개발하였다. 이를 통하여 얻어진 자료의 활용으로 현장에서 안전관리에 만전을 기할 수 있도록 하였다. 또한 본 논문에서는 저장탱크의 파열로 인한 과압의 피해영향 거리를 Hopkinson의 삼승근법을 이용하여 계산하여 법에서 규정한 거리와 비교 평가할 수 있는 자료를 생성토록 하였으며, 또한 이를 PHAST 모델에 적용하면 그래픽으로 출력이 되어 보다 쉽게 안전범위를 파악할 수 있도록 하였다.

**Abstract** This paper is on intelligent decision system by safety distance of gas storage tank(IDSG). The safety distance fixed up by law is used to prevent from the injury by explosion of storage tank on the spot. However, it is not easy for a layman to decide a proper safety distance considering the size, shape and place of the storage tank. Therefore, this thesis shows the user-friendly intelligent decision system which a layman can decide the gas related law, the size, shape and place of the storage tank by the intelligent decision, and it is to make assurance doubly sure for safety supervision on the spot. Also, the paper can make the data for the damage influence distance of overpressure by the explosion of the storage tank calculated by the scaling law of Hopkinson with the fixed distance by law, and safety range can be grasped with the graphic which is printed by the PHAST(Process Hazard Analysis Software Tool) model using this data.

**Key Words** : Intelligent Decision, Gas Storage Tank, Safety Distance

### 1. 서론

가스는 친환경적인 에너지원으로서 산업체와 일반 가정에서 사용이 급속도로 증가하여 국내 에너지 산업의 중추적인 역할로 대두되고 있음을 [표 1]에서 알 수 있다.<sup>[1]</sup> 또한 산업이 발전함과 동시에 인간의 안전에 대한 욕구도 날로 급증하고 있는 실정이다.

하지만 가스 사고는 다양한 원인과 형태에 의해 발생하고 있고 산업체와 가정 등에서 잠재적인 위험요소는 항상 내재하고 있으며, 반복적으로 동일유형의 사고가 발생하고 있는 실정이다.<sup>[2]</sup>

특히 대규모 사용처에 설치되어 있는 저장탱크사고는 사회적으로 막대한 손실을 초래하고 있으며, 최근 5년간 대규모 저장시설에서의 사고현황은 [표 2], 형태는 [표 3]과 같다.

이러한 가스 사고를 미연에 예방하기 위한 대책의 일환으로 대규모 사업장 등에는 안전관리자를 선임하여 배치함으로써 가스 사고를 감소시키는데 기여하고 있다. 하지만 안전관리자라도 법에서 규정한 안전거리를 정확하

본 연구는 산업자원부지정기술혁신사업(RTI04-01-02) 지원으로 수행되었음.

<sup>1</sup>한국가스안전공사 가스안전교육원 교수실

<sup>2</sup>한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

\*교신저자 : 임사환(gentle@kgs.or.kr)

게 숙지하지 못하는 경우가 많으며, 과압의 피해영향거리는 더욱더 알기 어렵다.

표 1. 에너지 소비 현황 Unit : 1000ton

	2005	2004	2003	2002	2001
Energy Consumption	229,333	220,238	215,066	208,636	198,409
LNG	29,989	28,351	24,194	23,099	20,787
Oil (LPG)	101,553 (12,240)	100,638 (11,937)	102,380 (11,912)	102,414 (12,272)	100,385 (11,390)
Hydraulic	1,297	1,465	1,722	1,327	1,038
Nuclear	36,695	32,679	32,415	29,776	28,033
Coal	54,791	53,127	51,116	49,096	45,711
Other	5,007	3,977	3,241	2,925	2,456

표 2. 저장시설별 사고현황 Unit : EA

	2005	2004	2003	2002	2001
Charge Facility	1[3]	3[-]	1[3]	-[1]	2[4]
Group Supply	2	1	4	3	3
Storage Facility	1	-	-	-	-
Supply Facility	(7)	(7)	(7)	(14)	(4)
Production Facility	[1]	[5]	[7]	[3]	[3]

( ) : City Gas, [ ] : High-Pressure Gas

표 3. 사고형태별 현황 Unit : EA

	2005	2004	2003	2002	2001
Explosion	39(1)[-]	37(3)[5]	49(-)[1]	55(2)[-]	40(3)[6]
Fire	18(2)[2]	15(4)[1]	28(6)[2]	17(1)[3]	33(-)[4]
Leakage	2(7)[-]	5(8)[1]	6(4)[5]	2(15)[2]	3(7)[2]
Rupture	22[3]	21[-]	8[3]	8[3]	15[3]
CO Toxicosis	6(6)	2(6)	1(5)	2(9)	1(8)
Oxygen Deficiency	1	2	-[1]	-	-[2]

( ) : City Gas, [ ] : High-Pressure Gas

따라서 본 논문에서는 저장시설에 상주하는 안전관리자 및 예비안전관리자에게 법에서 규정한 안전거리를 법, 고시, 지침 등을 일일이 보지 않고도 쉽게 파악할 수 있도록, Visual Basic을 이용하여 전산정보화함으로써, 안전관리에 만전을 기할 수 있는 자료를 제공해주는 사용자 친화적 지적결정 시스템(IDSG)<sup>3, 4, 5)</sup>을 제안하고자 한다.

## 2. 시스템의 구성

안전거리 지적결정 시스템은 [그림 1]에서 보듯이 크게 입력자료, 수치, 결과값 3가지 그룹으로 나누어지며, Hopkinson의 삼승근법으로 과압의 피해영향을 [그림 2]에서 보듯이 저장용량이 결정되면 TNT상당량으로 환산하여 과압을 계산<sup>6, 7, 8)</sup>하고, 이를 PHAST 모델[9]을 적용하여 법에서 규정한 안전거리와 비교하여 평가하는 시스템이다.

본 지적결정 시스템은 마이크로소프트사의 Visual Basic을 이용하였다.

### 2.1 입력자료(Input data)

입력자료에서 가스의 범별 분류는 사용처 및 용도 등을 고려하여 고법, 액법, 도법으로 분류하였다. 그리고 형태는 일반적으로 사용하는 수평원통, 수직원통, 구형으로 파열사고의 피해에 중요한 인자이다. 마지막으로, 설치 위치에 따른 정보를 입력하는 것으로 지상형, 지하격납식, 지하매몰식으로 분류하였다.

보편적으로 고압가스 저장시설과 LPG시설의 집단공급, 저장시설은 지상형이 설치되어 있으며, 도시가스 공급시설 및 LPG충전시설은 지하매몰식이 주류를 이룬다. 이는 폭발의 위험에 대처하기 위한 최소한의 방편과 공기거리를 줄임으로써 시설의 확보넓이를 최소화하고자 하는데 기인한다.

#### 2.1.1 가스의 범별 분류

국내 가스 산업은 고압가스안전관리법, 액화석유가스 안전관리및사업법, 도시가스사업법에 의하여 구분되어, 안전관리를 실시하고 있다. 여기서 고압가스안전관리법을 통상 고법, 액화석유가스안전관리및사업법을 액법, 도시가스사업법을 도법이라고 칭한다.

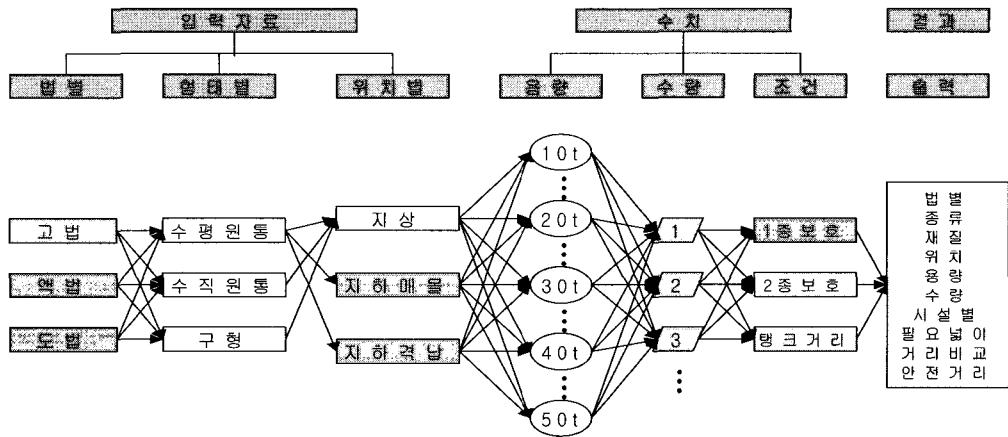


그림 1. 저장 탱크의 안전거리에 관한 지적결정시스템

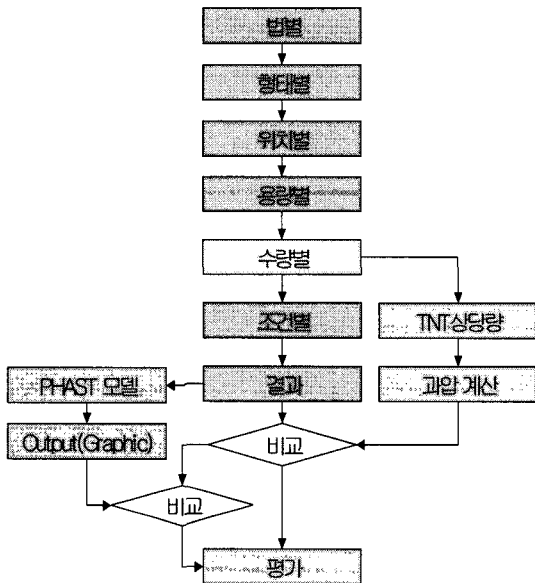


그림 2. 시스템 흐름도

2.1.2 저장시설의 형태별 분류

가스 산업에서 사용되고 있는 저장시설의 형태는 보편적으로 수평원통형, 수직원통형, 구형으로 이루어져 있다.

고법 시설에서는 보통 수직원통형을 채택하고 있으며, 액법 시설에서는 수평원통형을 채택하고 있다. 도법 시설은 수직원통형과 구형을 채택하는 경우가 많다.

2.1.3 저장시설의 설치위치별 분류

국내 가스 산업에 설치되어 운용되는 저장시설의 형태는 크게 3가지 형식으로 이루어져있는데, 지상식, 지하격

납식, 지하매몰식으로 나눈다.

지상식은 설치의 편리성, 부식 등 안전관리에 효과적이나, 외부에 노출되어 있어 화재 등에 의하여 파열시 위험범위가 매우 넓은 단점이 있다. 지하격납식은 지상식과 지하매몰식의 장점을 보완한 형식이며, 지하매몰식은 부식 등의 위험요인은 있으나, 외부에 노출되어 있지 않아 화재 등에 의하여 파열이 발생할 우려가 매우 적다. 따라서 대단위 저장시설 및 LPG충전시설에서는 1995년 대성충전소 사고이후 지하매몰식을 채택하고 있는 실정이다.

2.2 수치자료(Numerical data)

일반적으로 저장탱크는 10톤부터 50톤까지 10톤 단위로 제작되며, 산업안전보건법에서는 위험물 보관을 최대 200톤으로 규정하고 있으나, 가스 시설은 특별히 규정하고 있지 않다.

여기서는 우리주변의 LPG 충전시설에서 운용되는 저장용량과 수량을 가지고 보호시설 등의 조건만을 고려하였다.

표 4. 고압가스의 안전거리 Unit : m

Classify	Storage capacity	1st kind protection facility	2nd kind protection facility
Storage of oxygen (Flammable gas) [the others]	10tons or less	12(17)[8]	8(12)[5]
	More than 10tons not more than 20tons	14(21)[9]	9(14)[7]
	More than 20tons not more than 30tons	16(24)[11]	11(16)[8]
	More than 30tons not more than 40tons	18(27)[13]	13(18)[9]
	More than 40tons	20(30)[14]	14(20)[10]

\*지하에 설치하는 경우 2분의1이상을 유지

**표 5. 액화석유가스의 안전거리** Unit : m

Classify	Storage capacity	The distance with border of office
LPG	10tons or less	24
	More than 10tons not more than 20tons	27
	More than 20tons not more than 30tons	30
	More than 30tons not more than 40tons	33
	More than 40tons not more than 200tons	36
	More than 200tons	39

\*지하에 설치하는 경우 0.7을 곱한 거리이상

**표 6. 도시가스의 안전거리**

Classify	Pressure	The distance with border of office
Producer and Gas holder	high pressure	Not less than 20m
	middle pressure	Not less than 10m
	low pressure	Not less than 5m
the orders	high pressure	Not less than 3m
		Not less than 20m
		1st kind protection facility
		Not less than 30m

\*제조소 : LNG - 50m, LPG - 30m 이상이격

저장탱크란 가스를 충전하기 위한 것으로서 일정한 위치에 고정 설치된 것을 말한다. [표 4]부터 [표 6]은 각 가스와 보호시설별 안전거리를 나타낸 것이다.

가연성가스제조시설의 고압가스설비는 그 외면으로부터 다른 가연성가스제조시설의 고압가스설비와는 5m이상, 산소제조시설의 고압가스설비와는 10m이상의 거리를 유지하여야 한다.

액화석유가스충전시설중 저장설비·충전설비 및 탱크로리 이입·충전장소는 그 외면으로부터 보호시설까지 이격거리는 사업소경계와의 거리의 1배이상 2배이내 이상을 유지하여야 한다.

**2.3 결과값(Result)**

지적결정 시스템의 결과에서 추출된 용량, 수량, 저장위치 등의 값들을 가지고 TNT 상당량을 구하고

Hopkinson의 삼승근법을 이용하여 과압에서의 환산거리와 과압이 영향을 미치는 거리를 산출함으로써 법에서 규정한 안전거리와 비교평가하는 것이다.

이를 위하여 TNT상당량의 몇 %가 실제의 가스폭발사고에 기여하는지를 TNT효율( $\eta$ )로서 주어지는데, 이러한 효율은 실험과 증기운 폭발사고에서 관측된 피해로부터 누출된 연료 전량의 연소열에 기초하여 1%~10% 정도로 추정한다. 하지만 CCPS 자료에서는 보편적인 연료용 가스인 프로판, 부탄, 메탄은 0.03을 적용한다.[10, 11, 12]

$$\eta = \frac{\text{실제로 방출된 에너지}}{\text{이론적인 폭발 에너지}} \times 100 \quad (1)$$

이론적인 폭발에너지=충질량\*연소열이며, 여기서 연소열은 완전연소를 가정한다.

TNT 상당량은 어떤 가스폭발과 같은 에너지를 방출하는 TNT중량(kg)을 말하며, 가스폭발에서는 식(2)와 같다.

$$W_{TNT} = \frac{\eta \times H_c \times W_c}{H_{TNT}} \quad (2)$$

WTNT는 TNT 상당량(kg), WC는 가연성가스의 질량(kg), Hc는 가연성가스의 연소열(kcal/kg), HTNT는 TNT의 연소열(1000kcal/kg),  $\eta$ 는 폭발효율을 의미한다.

$$Z = \frac{R}{W_{TNT}^{1/3}} \quad (3)$$

Z는 과압에서의 환산거리(m/kg<sup>1/3</sup>), R는 폭발중심으로부터의 관심거리(m)이다.

식(2)에 폭발효율을 적용하여 W<sub>TNT</sub>당량을 구하고, 그 수치를 식(3)에 적용하여 환산거리 Z를 구한다. IDSG를 이용하여 법규정에서 명시한 안전거리와 Hopkinson의 삼승근법을 이용한 과압에서의 환산거리와의 비교값을 찾아낼 수 있어 현장 및 교육자료로 활용효율도가 높을 것이다.

**3. 지적결정 사례연구**

[그림 3]부터 [그림 7]까지는 가스저장탱크 안전거리의 지적결정 시스템을 이용하여 실제로 안전거리를 결정하는 예를 나타내었다.

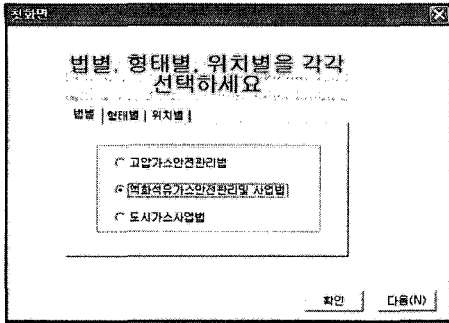


그림 3. 법별, 형태별, 위치별 지정화면

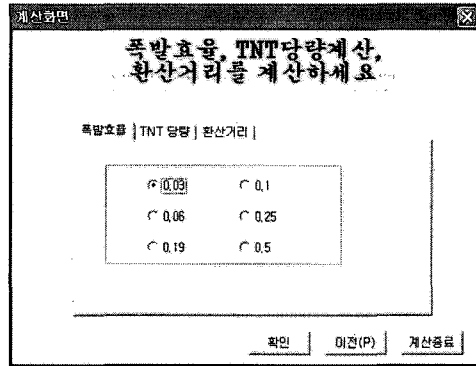


그림 6. 폭발효율, TNT당량, 환산거리 지정화면

[그림 3]과 [그림 4]는 [그림 1]의 블록다이어그램의 전개방식과 같이 첫 번째 단계에서의 선택 창으로 가스별, 형태별 및 설치위치에 대하여 지정하도록 하였다.

또한, 각 단계별로 확인이라는 아이콘을 설정하여 단계별로 사용자의 인적오류 확률을 줄일 수 있도록 확인을 더블클릭하면 지정유무를 확인하는 메시지 창이 활성화되어 오류를 검토할 수 있도록 하였다.

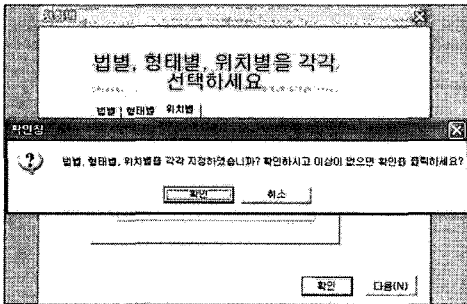


그림 4. 항목 확인 화면

[그림 5]는 두 번째 단계인 수치자료의 선택창으로 용량, 수량, 조건에 대하여 지정하며, 확인을 더블클릭하면 두 번째 화면에서의 지정유무를 확인토록 하는 메시지 창이 활성화되어 오류를 검토할 수 있도록 하였다.

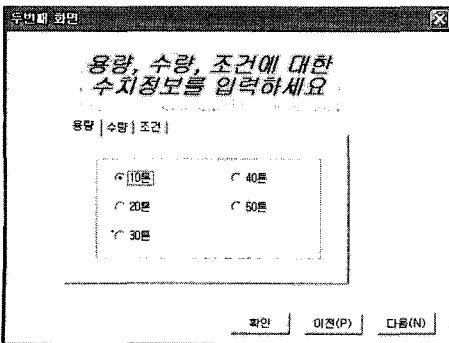


그림 5. 용량, 수량, 조건 지정화면

[그림 6]은 계산화면으로서 수치자료의 결과에 대한 계산창으로 가스종류에 따른 폭발효율에 의하여 TNT 상당량을 구하고, Hopkinson의 삼승근법을 이용하여 관심 거리에 대한 환산거리를 구할 수 있다. 이를 통하여 PHAST 모델에 적용하여 그래픽으로 출력하여 보다 쉽게 안전범위를 나타낼 수 있다.

마지막으로 [그림 7]은 최종자료를 한눈에 파악할 수 있는 창으로, 기본자료를 통한 IDSG를 활용하여 법에서 규정한 안전거리와 TNT당량에 따른 환산거리를 비교평가를 할 수 있는 자료를 획득할 수 있다.

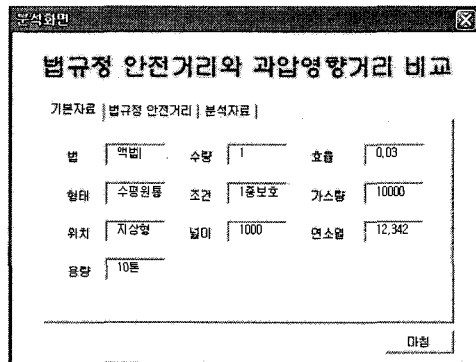


그림 7. 기본자료 및 분석자료 비교화면

#### 4. 결론

본 논문에서는 가스를 대규모로 저장하는 탱크의 안전거리 설정에 대한 일반적인 사항들을 고찰하고, 안전거리를 결정해주는 사용자 친화적 지적결정프로그램(IDSG)을 개발하였다.

본 논문에서 구축된 가스저장탱크의 안전거리에 관한 지적결정 시스템을 이용하면 다음과 같은 효과가 기대된다.

- 1) 안전관리자 및 예비안전관리자가 쉽게 안전거리를 결정할 수 있으며, 안전거리 설정에 필요한 시간적, 경제적 효과가 기대된다.
- 2) Hopkinson의 삼승근법에 의한 환산거리와의 비교를 통하여 안전범위를 명확히 파악함으로써 현장 및 교육자료로 활용효율이 높을 것이다.

그리고, 연구를 진전시켜 기존의 Eisenberg의 실험치를 DB로 추가 구축한다면 폭발장소로부터 과압의 피해 영향거리에 대하여 Probit 분석을 이용하여 인체 및 건축물의 피해정도를 파악하는 것으로까지 확장이 가능할 것이다.

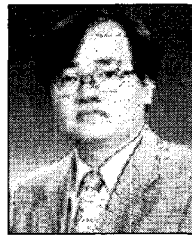
### 참고문헌

- [1] Korea Statistical Information System Consumption data of Energy source <http://kosis.nso.go.kr>
- [2] Korea Gas Safety Corporation, 2005 Gas Accident Yearbook, Sun Jin company, pp87~172, 2006.
- [3] Jung-Yeol Oh and Yong-Jeong Huh, A Development of Intelligent Decision System in Injection Molding, 2004 Journal of the Korea Academic Industrial Society, pp73~76, 2004.
- [4] Hyeon-Gyo Park and Yong-Jeong Huh, A Knowledge-based Material Selector for LS-DYNA and Hypermesh User, 2005 Journal of the Korea Academic Industrial Society, pp51~54, 2005.
- [5] Seong-Nam Kang and Yong-Jeong Huh, A Study on the Determination System of process Conditions for Moldability by Using Fuzzy Logic, Journal of the Korea Academic Industrial Society, Vol.3, No. 1, pp.1~4, 2002.
- [6] W. E. Baker. P. A. Cox. P. S. Westine. J. J. Kulesz. R. A. Strehlow, Explosion hazards evaluation, Elsevier Science, 1983.
- [7] Crowl, D. A. and J. F. Louvar, "Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications", Prentice Hall, New Jersey. pp82~151, 1990.
- [8] Korea Industrial Safety Corporation, Effecting Method of Accident Damage, KOSHA CODE P-09-1999, 1999.

- [9] PHAST Professional Ver. 5.1 Manual, DNV Technica Inc., 1998.
- [10] Truax, Barry (ed), A Handbook for Acoustic Ecology, Vancouver, A. R. C. Publication, p1261, 1978.
- [11] CCPS, "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fire and BLEVE", AIChE, New York, 1994.
- [12] CCPS, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", CCPS of the AIChE, 1989.

### 허 용 정(Yong-Jeong Huh)

[종신회원]



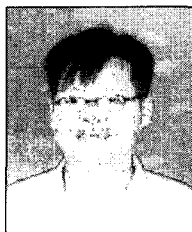
- 1980년 2월 : 부산대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 서울대학교 대학원 기계설계학과 (공학석사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과(공학박사)
- 1993년 1월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 교수

<관심분야>

지능형 설계, 사출성형의 CAD/CAE, 기계설계, 반도체 패키징.

### 임 사 환(Sa-Hwan Leem)

[정회원]



- 1999년 8월 : 부경대학교 기계설계학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 부경대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2005년 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 기계공학과 박사과정
- 2003년 ~ 현재 : 한국가스안전공사 가스안전교육원 조교수

<관심분야>

압력용기의 CAD/CAE, 안전관리, 기계설계, 지능형 설계.