

물 가스 개질 고속선회 소각로에 관한 융합연구

한두희

중소기업기술융합연구소, 청운대학교 교양대학 교수

Convergent Study on the Hydro-Gas Reforming Cyclo-Incinerator

Doo-Hee Han

Professor, ITCRI, College of Liberal Arts Chungwoon University

요약 물 개질반응 고속선회 소각로 시험 설비를 제작하였다. 개질 반응실과 연소실은 직접 연결이 되게 하였다. 소각로와 집진 장치는 일체형으로 만들어 2중 격벽식 공기 냉각 구조로 만들었다. 송풍기를 집진장치 내부에 내장하여 공간적으로 효율성을 향상시켰다. 집진부의 옆에 부착된 다수의 집진통을 이용하여 분진을 수거하여 백필터가 별도로 필요 없는 축류 유동형 다단식 집진장치를 적용하였다. 배출되는 가스 중 다이옥신을 측정할 결과 기준치 이하의 결과를 얻었다. 배출가스와 중금속을 측정할 결과 환경기준치 이하의 결과를 얻었다.

주제어 : 소각로, 집진기, 연소기, 노, 폐기물

Abstract A water reforming reaction high-speed turning incinerator test facility was prepared. The reforming reaction chamber and the combustion chamber were directly connected. The incinerator and dust collecting device were integrated and made into a double bulkhead type air cooling structure. The blower is built into the dust collector to improve spatial efficiency. An axial flow type multi-stage dust collector was applied by collecting dust by using a plurality of dust collecting bins attached to the side of the dust collecting part. As a result of measuring dioxin among the exhausted gases, results below the standard value were obtained. As a result of measuring exhaust gas and heavy metals, results were obtained below the environmental standard.

Key Words : Incinerator, Dust collector, Burner, Furnace, Wastes

1. 서론

가연성폐기물을 열분해 용융하는 방법은 고급연료화를 위한 열분해 기술과 제철산업에서 사용하는 용융기술을 접목한 것으로 다이옥신 및 중금속 문제를 해결하는 폐기물처리기술이다[1]. 유기성폐기물을 고형화 하여 석탄과 혼합 연소시키는 기술[2]이나 환경호르몬에 관한 연구[3] 및 소각하는 과정에서 다이옥신을 제거하기 위한 여러 연구가 진행되어 왔다[4-10]. 한편 대형 소각로는

다이옥신 제거장치를 부착할 수 있어 널리 사용되고 있지만 소형소각로의 오염물질 제어 성능과, 운전관리, 경제성 등에 의해서 사용이 제한적이었다. 한편 섬이 많은 인도네시아나 태국과 같은 나라에서 가연성 쓰레기를 소각시키기 위하여 소형소각로의 수요가 생기면서 국내 생산 업체에도 좋은 영향을 주고 있다. 소형소각로는 고속도로 휴게소[11], 공장[12], 학교[13,14] 등 소규모 가연성 쓰레기가 나오는 곳에서 사용되어왔으나, 환경적인 문제야기로 이를 보완하기 위한 연구가 수행되고 있으며,

더 나아가 여러 종류의 가연성 쓰레기를 혼합하여 소각하는 것에 관해서도 연구되어 지고 있다[15]. 본 연구에서는 섬이 많은 동남아시아에서 관심을 가지고 있는 소형소각로에 대하여 단순한 구조와 고효율을 가지는 고온 개질가스화 고속선회 소각로를 제작하고 가동한 결과를 중심으로 논의하였다[16,17].

2. 개질가스화 고속선회 소각로

2.1 개질가스화 고속선회 소각로

개발된 고속선회 고온 개질 소각로는 유입공기의 소각로 내부 순환시간을 연장시키기 위해 소각로 내부면에 외부공기를 고속선회시키고 배출시키는 공기 냉각구조를 갖고 있다. 또한 단열판을 이용한 열차폐 구조를 가지고 있어 소각로 외주연을 통한 열의 방출을 방지하여 열에 의한 화상의 염려가 없게 하였다. 내부의 쓰레기가 완전 연소될 때까지 소각로 내부의 불씨를 꺼지지 않도록 유지를 하고, 완전히 타지 않은 쓰레기를 완전 연소되도록 연료를 공급하며, 완전 연소되는 과정 중 소각로 내부에서 발생한 먼지를 별도로 모아서 저장하고 여과하여 깨끗한 공기만 외부로 방출시키도록 설계되었다.

고속선회 고온 개질 소각로의 구조는 원통형 모양으로 상단에 배기통공이 있는 배기내통과, 상단 내측에 배기내통이 고정되고 하단에 배기외통갓부가 설치되었다. 선단에 프랜지가 형성된 배기외통과, 배기관부를 설치했으며, 외부로 절곡된 걸림턱부가 있으며 상부내통갓 위쪽 몸체에 배출공이 여러 개 만들어져 몸체하부 안쪽에 집진갓이 고정된 내용물체가 있는 상부내통을 설치하였다. 배기외통의 하단프랜지에 관결합되는 상단프랜지가 설치하고 내주연에 상부내통의 걸림턱부가 걸려 고정되는 지지턱부가 있는 상부외통을 설치하였다. 상단이 상부외통의 하단과 관결합되고 몸체 한쪽에 축결합되어 투시창을 갖는 투입문에 의해 개폐되는 외측투입구가 있으며, 공기유입구기와 재출구가 있으며 집진공이 형성되는 하부외통 및 하부외통의 내측에 위치되어 재출구 연장선상에 내측재출구가 있다. 상단부와 하부에 개질수유입관과 연료유입관이 결합되는 유입관공이 있으며 몸체하부 안쪽에 물받이가 결합되고 물받이통이 결합되는 하부내통을 설치하였다.

높은 연소온도에 의해 물과 연소공기를 열분해시켜 가연성 폐기물을 초고온으로 연소시키고 화염의 연소실 내

체류시간을 길게 하여 완전연소시켜 청정한 배기가스를 배출시킬 수 있도록 물과 연소공기의 열분해를 이용하였다[18].

작동원리는 다음과 같다. 먼저투입구를 통해 적정량의 폐기물과 연료를 투입한다. 송풍기를 구동하여 소각장치 내부로 외부공기를 공급하는 동시에 개질수 저장용기로 부터 일정량의 개질수가 소각장치 내부로 공급된다. 송풍기로부터 나오는 외부공기는 연소외통의 둘레를 따라 강하게 선회하면서 와류를 일으키는데, 일부는 집진외통 방향으로 상승하고 나머지는 반응외통 저면으로 선회하면서 하강하다가 다시 상승하여 반응내통과 연소내통으로 유입된다. 외부 유입공기는 분사된 개질수와 안개형태로 혼합하여 연소내통과 반응외통 사이의 공간 및 연소내통 내측면과 반응내통 내측면 사이의 공간에서 빠르게 선회한다. 빠르게 선회한 유입공기는 차가운 상태로 반응외통 내부로 유입되어 연소외통과 연소내통 사이의 공간부 및 반응외통과 반응내통 사이의 공간부에서 빠르게 선회하며 뜨거워진다. 뜨거워진 유입공기는 연소외통 방향으로 빠르게 선회하며 상승하다가 연소내통과 반응내통 내부로 유입되어 선회 상승하게 되는데, 이때 연소외통 안쪽면에서 상승하는 공기는 연소내통의 바깥면에서 송풍기를 통해 유입된 차가운 유입공기로 인하여 방열된 연소내통과 접촉되어 온도가 내려가고, 연소내통 안쪽면에서 상승하던 공기는 하부로 하강한다. 하강하여 반응내통 안쪽에서 다시 뜨거워진 공기는 연소내통의 안쪽면으로 빠르게 선회하며 상승하게 되어 소각장치 내부에서는 공기의 반복적인 순환이 이루어지게 된다. 이에 따라 폐기물 소각시 발생하는 연소가스는 외부 공기와 섞여 소각장치 내부에서 반복 순환하는 과정에서 오랜 시간을 머물게 되고, 내부의 고열과 자주 접하면서 분해되어 거의 완전 연소된다. 반응기의 하부에는 후연소실이 배치되어 소각된 재와 분진을 재차 순환 회전시키며 연소하게 되고, 이 과정에서 폐기물은 완전히 분해된다. Fig. 1은 소각로 설계도이고 Fig. 2는 소각로의 작동원리를 나타내 준다. 고온 개질 고속선회 직화 방식을 사용하는 본 장치는 고분자 폐기물을 포함한 모든 가연성 폐기물을 소각할 수 있고, 완전 공기 냉각방식을 사용하며 예열 없이 순간적인 가열이 가능하다. 연료 소모가 적으며 필터백이 필요 없다. 폭발 위험이 없고 유지 보수가 용이하다. Table 1은 일반 소각로와 개발된 고온 개질 고속선회 소각로의 특징을 비교한 것이다.

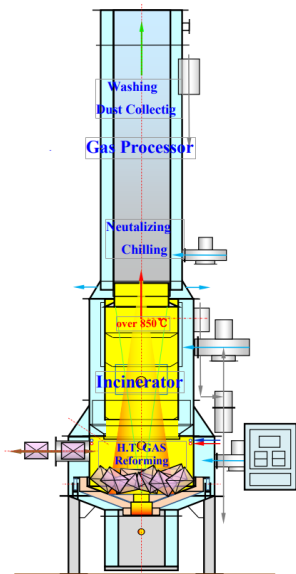


Fig. 1. Incinerator design

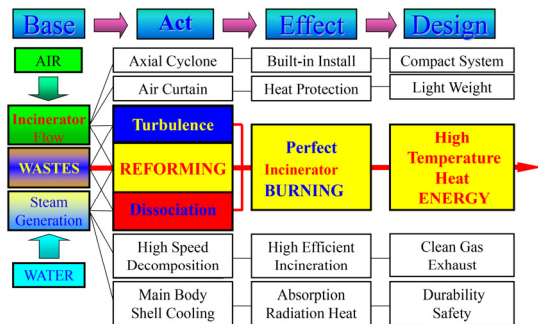


Fig. 2. Basic Design Concept

Table 1. Incinerator technology comparison

Item	Water reformed fuel high-speed turning incinerator	General incinerator
Combustion method	High-temperature reforming high-speed rotating direct combustion method	Phase combustion, dry thermal decomposition, fluidized bed
Incineration object	All combustible waste including polymer waste	Polymer and wet waste cannot be incinerated
Input method	Batch input or automatic continuous input method	Batch type, batch input type
Incineration speed	2.8~3.4million kcal/m ² ·hr	0.04~0.5million kcal/m ² ·hr
Insulation method	Air cooling system design	Fire brick masonry, castable, water cooling jacket type
Heating time	Instantaneous heating without preheating	Incineration after preheating for at least 30 minutes
Fuel consumption	Small amount (about 1/5 level)	Large consumption
Air supply	Inflow of preheating air high speed rotation	Simple inflow without preheating

Dust collection method	High performance axial dust collection design without filter bag	Separately installed general cyclone, filter dust collector
Ignition loss	Less than 3%	5~10% on average
Danger of explosion	Absolute safety	Unsafe, very dangerous
maintenance	Once every 5 years	Repair every year (damaged fire walls)
Harmful exhaust	Only neutralization device and axial flow dust collection facility are required	Separate prevention facilities required
Other features	Damaged part disassembly and replacement method	일Complete repair and maintenance after a certain period

2.2 다단식 집진장치

개발된 집진장치는 송풍기를 집진장치 내부에 내장하여 공간적으로 효율성을 향상시키고, 집진부의 측면에 부착된 다수의 집진통을 이용하여 분진을 수거하므로 백필터가 별도로 필요 없는 축류 유동형 다단식 집진장치를 적용하였다.

집진장치 내부에 송풍기를 내장하고 송풍기가 분진수거부와 동일 축상에 배치되어 집진장치의 설치 공간을 현저히 줄어 들고, 집진부의 측면에 부착된 집진통을 이용하여 분진을 수거하므로 집진효율이 향상되며, 백필터가 필요 없다. 분진을 93mg/Sm³ 이하로 제거 및 수거할 수 있어 분진에 의한 환경오염을 예방한다. 다단으로 구성되어 집진장치를 자유롭게 구성할 수 있다. Fig. 3은 축류 유동형 다단식 집진장치의 모습을 도시한 평단면도를 타내 주고 있다.

개발된 소각로의 특징은 다음과 같다.

- 개질 반응실과 연소실 직결 구조
- 소각로 본체 집진장치 일체형 구조
- 2중 격벽식 100% 공기 냉각 구조
- 연소 공기의 선회 유입 분배 구조
- 주요 부분 조립 해체식 설계 구조

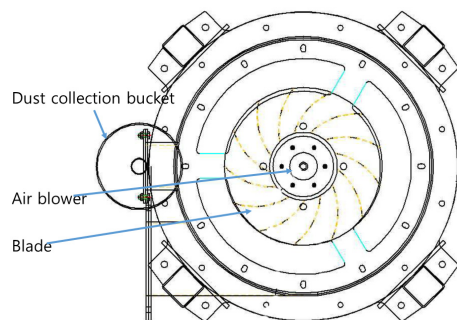


Fig. 3. A top sectional view showing the state of the axial flow type multistage dust collector

3. 시험설비 제작

물 개질반응 고속선회 소각로 시험 설비를 제작하였다. 개질 반응실과 연소실은 직접 연결이 되게 하였다. 소각로와 집진 장치는 일체형으로 만들었고, 2중 격벽식 공기 냉각 구조를 이루도록 하였다. 연소공기는 선회유입분배구조를 가지며 주요 부분은 조립 해체식 설계구조를 적용하였다. 소각 대상물은 플라스틱을 포함한 모든 가연성 폐기물이 가능하며, 내화 벽돌 없이 완전 공기 냉각방식으로 설계하였다. 집진 방식도 필터 백이 없는 고성능 축류식 집진 기술을 적용하였다. 시험 설비는 150kg/h의 소각증력을 기준으로 제작하였다. Table 2는 제작된 시험설비의 규격을 나타내 준다. Fig. 4는 제작된 견본 시스템을 보여준다. Fig. 5는 소각로의 작동원리를 나타내 주고 있다.

Table 2. Incinerator specifications

Item	Specifications
Capacity (kg/hr)	150
Weight per Batch (kg)	300
Base (mm)	3,400 × 2,000
Total Height (mm)	7,990
Primary Chamber (m ³)	2.1
Secondary Chamber (m ³)	1.8
Primary Fan Blower (hP)	2.0
Secondary Fan Blower (hP)	5.0
Inlet Door	640W × 580H
Ash Outlet	460W × 340H



Fig. 4. Incinerator sample

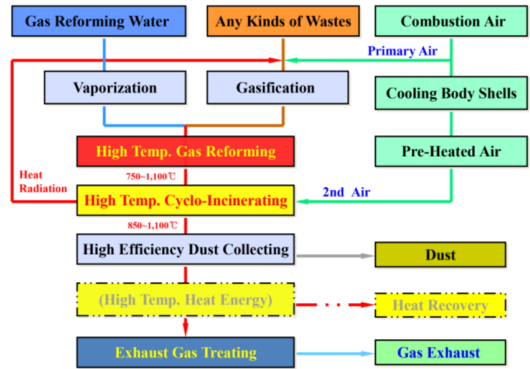


Fig. 5. Process Diagram of Incinerator

4. 연소 실험

4.1 온도반응 실험

제작된 시범 설비의 연소실험을 실시하였다. 회분식 시스템을 적용할 때 연소시간은 1시간이나 2시간을 적용할 수 있으며 이에 따라 연소실의 크기가 달라진다. 폐플라스틱 45%, 폐지 15%, 폐섬유 10%, 폐목재 20%, 기타 가연성 쓰레기 10%를 150kg/h 용량의 소형소각로에 넣어 2시간씩 연료시료를 실시하였다. Fig. 6은 2시간 회분식 연소식을 적용한 연소실험 결과이다.

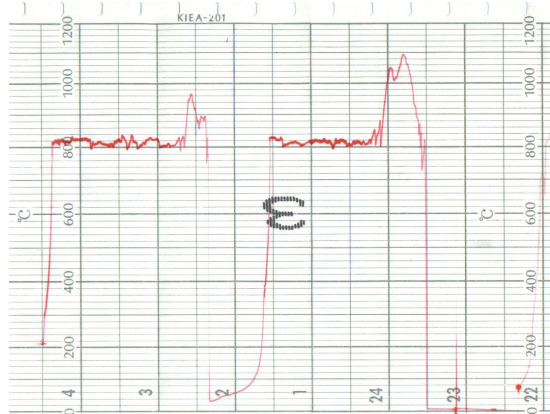


Fig. 6. Temperature Records of Incinerator

연소온도를 800°C 이상 유지하여 다이옥신 발생을 방지하였다.

4.2 다이옥신 측정

다이옥신은 유기염소화합물로서 다이옥신 구조를 갖

는 것들로 폴리클로리네이티드 다이벤조다이옥신이라 하며 줄여서 PCDD라고 한다. 고염제로 알려진 제조제는 다이옥신이 들어 있어 폐암, 후두암 등의 많은 후유증을 유발하고 있다. 다이옥신 측정은 대기오염공정시험기준 ES 01504.1a 배출가스 중 다이옥신 및 퓨란류 - 기체크로마토그래피를 사용하며 “잔류성유기오염물질공정시험기준의 ES 10902.1 배출가스 시료 중 비의도적 잔류성 유기오염물질(UPOPs) 동시 시험기준-HRGC/HRMS”를 따른다. 측정은 (주)디케이사이언스에서 시행하였고 국내 소각로의 다이옥신 배출기준은 5.0ng-iTEQ/Sm³ 이고 그 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Dioxin emission measurement

Item	Unit	Result	Method
Navy (0.04ton/h)	ng-iTEQ/Sm ³	3.59	Air Pollution Process Test Method Chapter 3 Section 2 Paragraph 29
Hanam (0.04ton/h)	ng-iTEQ/Sm ³	1.58	
Seongnam (0.15ton/h)	ng-iTEQ/Sm ³	0.038	

4.2 배출 가스 측정

처리용량 150kg/h로 개발된 시험용 소형소각로를 가동하여 배기가스를 시험하였다. 측정은 (주)원일환경에서 실시하였다. Table 4는 측정된 배기가스의 분포를 보여 준다.

Table 4. Pollutants emission measurement

Item	Standard	Result	Reference
O2	- %	12.02	
Dust	100 mg/Sm ³	62.98	
SOx	100 ppm	ND	
NOx	150 ppm	42.89	
CO	300 ppm	14.44	
Smoke	2	1	Ringelman's smoke chart
NH3	100 ppm	0.60	
HCl	50 ppm	22.35	
HF	3 ppm	0.790	
Cl2	10 ppm	1.20	
HCN	10 ppm	1.11	
H2S	10 ppm	0.088	
CS2	30 ppm	ND	
HCHO	10 ppm	0.463	
Benzen	30 ppm	0.001	
Phenol	10 ppm	ND	

Br	5 ppm	0.079	
As	0.1 mg/Sm ³	ND	
Hg	0.5 mg/Sm ³	ND	
Cu	10 mg/Sm ³	ND	
Cr	0.5 mg/Sm ³	ND	
Zn	10 mg/Sm ³	0.52	
Pb	5 mg/Sm ³	ND	
Ni	20 mg/Sm ³	ND	
Cd	0.2mg/Sm ³	ND	
Flow velocity	- m/s	12.32	
Flow rate	- m ² /min	43.46	

5. 결론

수직형 구조의 소형소각로는 국내에서는 판로가 막혀 쇠퇴의 길을 걷고 있지만 인도네시아 태국 등 섬이 많은 동남아 국가에서 소형소각로의 수요가 늘어나고 있어 우리나라엔 기회가 될 수 있을 것이다. 연료와 물을 안개 형태로 혼합시켜 연소효율을 증진시키는 물 개질반응 고속선회 소각로 시험 설비를 제작하였다. 개질 반응실과 연소실은 직접 연결이 되게 하였고 소각로와 집진 장치는 일체형으로 만들어 2중 격벽식 공기 냉각 구조로 만들었다. 송풍기를 집진장치 내부에 내장하여 공간적으로 효율성을 향상시키고, 집진부의 측부에 부착된 다수의 집진통을 이용하여 분진을 수거하므로 백필터가 별도로 필요 없는 축류 유동형 다단식 집진장치를 적용하였다. 배출되는 가스 중 다이옥신을 측정된 결과 환경기준치 이하의 결과를 얻었다. 배출가스와 중금속을 측정된 결과 환경기준치 이하의 결과를 얻었다.

REFERENCES

- [1] B. G. Kim, W. Y.ang & T. W. Ryu. (2006). Procedural modeling of temperature change in a melting furnace in a pyrolysis melting incinerator. *KOSCO SYMPOSIUM Journal*, 167-171.
- [2] Y. S. Choi. (2005). Waste solid fuel (RDF) technology trend and coal/RDF mixed combustion technology development. *Proceedings of the Korean Society for New and Renewable Energy Conference*, 414-422.
- [3] M. H. Choe. (2020). The Effect of Exposure-Risk Behavior toward Endocrine-disrupting Chemicals, Occupational Environments and Daily Habits Related to Endocrine-disrupting Chemicals on Development of Spontaneous Abortion. *Journal of the Korea*

Convergence Society, 11(7), 377-387.
DOI : 10.15207/JKCS.2020.11.7.377

- [4] J. H. Lee, D. W. Lee, G. S. Heo, J. G. Oh & Y. S. Jang. (1999). Studies on emission pattern and reduction efficiency of PCDD/Fs from off-gas treatment system in Municipal Solid Waste Incinerator. *Proceedings of Korean Society for Atmospheric Environment*, 338-339.
- [5] W. Yoon, D. H. Shin, J. H. Choi & S. M. Choi. (1998). PCDD/PCDFs Emission and Operating Conditions of Domestic MSW Incinerators. *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers Volume B*, 22(12), 1755-1762.
- [6] S. K. Shin et al. (1999). [Environment] Discharge characteristics of dioxins and precursors among the exhaust gas from municipal waste incinerators (I). *Analytical Science*, 12(1), 61-67.
- [7] S. K. Shin, Y. H. Jung & W. S. Lee. (1999). [Environment] Discharge characteristics of dioxins and precursors among urban waste incinerator prevention facilities (II). *Analytical Science*, 12(1), 68-74.
- [8] S. K. Shin, Y. H. Jung & J. I. Lee. (1999). [Environment] A study on the content of PCDDs/PCDFs in the exhaust gas of the waste incinerator (III)-The change in the emission concentration at the rear end of the boiler according to the change in combustion temperature of the incinerator -. *Analytical Science*, 12(6), 540-549.
- [9] J. G. Kim, J. S. Park & K. S. Kim. (2001). Removal of dioxins in the flue gas of the incinerator by activated carbon. *Proceedings of Korean Society of Environmental Engineers*, 249-250.
- [10] S. A. Ha & S. T. Kim. (2001). Study on the relationship between dust collection efficiency and dioxin generation according to exhaust gas conditions in the process of collecting dust in incinerators. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 23(1), 141-151.
- [11] Y. K. Jang et al. (2002). Investigation of air pollutants emitted from small incinerators at rest areas on expressways. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 18(6), 539-546.
- [12] G. W. Lee, S. J. Lee, B. H. Kim, S. W. Lee & J. S. Jeong. (2002). Incineration and emission characteristics of small incinerators that treat high calorific value industrial waste. *Journal of the Korean Society of Combustion*, 7(2), 42-48.
- [13] B. K. Lee & H. A. Kim. (2000). Analysis of the Emission Potential of Hazardous Pollutants Produces from Disposal of the School Solid Wastes by Small-Scale Incinerator. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 16(4), 299-308.
- [14] M. H. Lee & N. C. Kim. (1999). A Study on the Incineration Characteristics of Small School Incinerators. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 21(8), 1451-1459.
- [15] S. H. Lee. (2001). Introducing the characteristics and system of the mixed small floating bed incinerator. *Proceedings of Korean Society of Environmental Engineers*, 185-187.
- [16] K. G. Song. (2017). *High-temperature reforming gasification high-speed turning incinerator*. Korean Patent No. 10-1808326
- [17] Gardel, Inc. (2014). *Air circulation type dust collector*. Korean Patent No. 10-1423319
- [18] J. W. Chae & W. D. Kwon. (2017). *Hybrid combustion device using pyrolysis of combustion air*. Korean Patent No. 10-1736838

한 두 희(Doo-Hee Han)

[정회원]



- 1981년 2월 : 경북대학교 물리교육과 학사
- 1987년 2월 : 경북대학교 물리학과 석사
- 1994년 2월 : 경북대학교 물리학과 박사
- 1996년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 교수

· 관심분야 : 환경, 에너지, 기술융합

· E-Mail : hanknu@hanmail.net