

# 근원적인 화재예방을 위한 CHF 적용 가능성 연구

김영희\*, 장두훈\*\*<sup>1</sup>, 서필원\*\*<sup>2</sup>, 최재욱\*\*\*

## CHF Applicability Study for Fundamental Fire Prevention

Young Hee Kim\*, Du Hun Jang\*\*<sup>1</sup>, Phil Won Seo\*\*<sup>2</sup>, and Jae Wook Choi\*\*\*

---

본 연구는 (주)세라컴 기술연구소 지원으로 수행하였음

---

### 요 약

다양한 화학물질을 요구하는 산업체로 인해 오늘날의 산업사회는 화학물질이 다양화되어 이에 따라 사용하는 화학물질도 복잡화되고 대형화되고 있다. 이에 대부분의 산업체는 휘발성 기화합물을 배출하고, 제거 방법으로 활성탄 흡착법을 주로 적용하고 있다. 하지만 유기용제류의 활성탄 흡착 공정은 항상 화재위험이 상존해 있고, 활성탄 흡착탑에서의 화재 현상에 대해 현장관리자나 설계자가 모르고 있는 경우가 많다. 2015년 울산의 한 합성섬유 제조업체의 활성탄 저장탱크에서 불이 났고, 이 화재로 비산된 불씨로 주변 고물상으로 연소가 확대되기도 하였다. 본 연구는 CHF(Carbon Honeycomb Filter)가 근본적인 화재 예방과 재생 가능한 친환경 소재로 사용 될 수 있도록 실험을 통해 화재 및 폭발의 예방 가능성을 확인해 보고자 한다.

### Abstract

Due to industrial bodies requiring various chemical substances, today's industrial society has diversified chemical substances, and along with this, the chemical substances used are becoming more complex and larger. Accordingly, most industries discharge volatile organic compounds and mainly apply activated carbon adsorption method as a removal method. However, there is always a fire risk in the activated carbon adsorption process of organic solvents, and there are many cases where the site manager or designer is unaware of the fire phenomenon in the activated carbon adsorption tower. In 2015, a fire broke out in an activated carbon storage tank of a synthetic fiber manufacturer in Ulsan, and the fire spread to nearby junk stores. This study aims to confirm the possibility of preventing fire and explosion through experiments so that CHF(Carbon Honeycomb Filter) can be used as a fundamental fire prevention and renewable eco-friendly material.

### Keywords

CHF, carbon honeycomb filter, activated carbon pellet, fire prevention

---

\* 부경대학교 소방공학과  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6768-0130>  
\*\* (주)세라컴 기술연구소  
- ORCID<sup>1</sup>: <https://orcid.org/0000-0001-8879-3452>  
- ORCID<sup>2</sup>: <https://orcid.org/0000-0002-2262-9577>  
\*\*\* 부경대학교 소방공학과 교수(교신저자)  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6417-3793>

· Received: Sep. 26, 2022, Revised: Oct. 13, 2022, Accepted: Oct. 16, 2022  
· Corresponding Author: Jae Wook Choi  
Room 411, Narae Gwan, Daeyeon Campus, 45 Yongso-ro, Nam-gu,  
Busan of Korea  
Tel.: 051-629-6470, Email: [jwchoi@pknu.ac.kr](mailto:jwchoi@pknu.ac.kr)

## 1. 서 론

오늘날 산업사회가 화학물질의 다양화로 인해 산업체에서 사용하는 화학물질도 복잡화, 대형화 되고 있다. 이에 대부분의 산업체는 휘발성유기화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds)을 배출하고, 제거 방법으로 활성탄 흡착법을 주로 적용하고 있다 [1][2].

하지만 유기용제류의 활성탄 흡착 공정은 항상 화재위험이 상존해 있고, 활성탄 흡착탑에서의 화재 현상에 대해 현장관리자나 설계자가 모르고 있는 경우가 많다[3].

그림 1은 2015년 합성섬유 제조업체의 활성탄 저장탱크에서 화재가 발생하였고, 이로 인해 비산된 불씨로 주변에 연소가 확대되는 사고가 빈번하게 발생하고 있다[4]. 이 화재로 비산된 불씨로 주변 고물상으로 연소가 확대되기도 하였다[5].



그림 1. 울산 합성섬유 제조업체 화재  
Fig. 1. Fire accident at synthetic fiber manufacturer in Ulsan

주로 용제를 다량으로 취급하는 업체, 특히 케톤류의 용제를 취급하는 흡착탑에서 화재가 빈번하게 발생하고 있다. 예를 들면 용제회수장치나 라미네이팅 공정, 건조로 및 페인팅부스 등의 작업장내 용제 증기를 직접 흡착탑으로 연결하여 냄새를 흡착 제거하는 시설 등이다. 케톤이 활성탄상에서 화학반응(산화, 중합 반응)을 일으키고 이때 반응열이 활성탄을 이상 가열시키기 때문에 활성탄이 착화하는 것이라 생각할 수 있다[6].

이러한 활성탄 사용으로 인한 화재 요인은 크게 두 가지로 알려져 있다. 활성탄에 의한 원인인 장치 및 운전조건에 의한 원인이다. 우선, 활성탄에 의한

원인으로서 용제분해에 의한 흡착열 축적 및 동시에 활성탄 입자끼리의 정전기에 의한 불씨 형성 등이 원인으로 지적되고 있으며, 또한 운전방법 등이 중요한 원인이 되므로 주의해야 한다.

활성탄에 의한 화재발생을 근원적으로 예방하기 위해선 화재가 발생하지 않는 새로운 소재의 적용이 필요하다.

Silvia Escudero-Curiel[7] 등의 연구에서 그림 2와 같은 허니컴(벌집형) 구조의 탄소 에어로겔이 고성능 흡착이 가능함을 연구하였다.

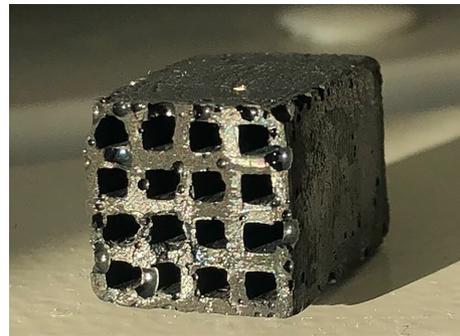


그림 2. NQ40 허니컴 프리미엄  
Fig. 2. NQ40 honeycomb premium

본 연구는 CHF(Carbon Honeycomb Filter)가 근본적인 화재 예방과 재생 가능한 친환경 소재로 사용될 수 있도록 실험을 통해 화재 및 폭발의 예방가능성을 확인해 보고자 한다.

## II. 실험

### 2.1 시험 장치 및 방법

그림 3은 본 연구에 사용한 온도편차 시험장치로 T/C-1부터 T/C-7까지 온도센서를 설치 한 후 전단부에 열풍을 투입하여 위치별 온도변화 추이를 분석하는데 사용하는 시험 장치이다. 본 연구에서 CHF를 통해 자원을 순환하는 친환경 재생을 위해 활성탄 펠릿과 온도차를 비교하기 위해 해당 장치로 시험하였다.

그림 3의 시험 장치로 CHF와 활성탄 펠릿의 온도차를 비교하기 위해 그림 4와 같이 CHF 6개를 동일한 지그 안에 넣어 시험하였다.

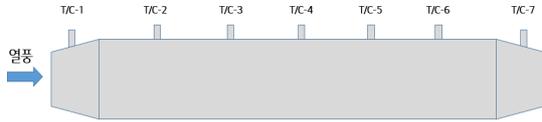
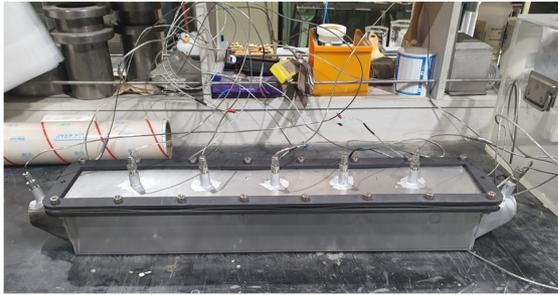


그림 3. 온도편차 시험장치  
Fig. 3. Temperature deviation test equipment



그림 4. CHF소재 온도편차 시험  
Fig. 4. CHF material temperature deviation test

그림 5는 그림 4와 마찬가지로 동일한 지그에 활성탄 펠릿을 채우고 열풍에 의한 온도차를 확인하기 위한 시험을 진행하였다.



그림 5. 활성탄 펠릿 온도편차 시험  
Fig. 5. Activated carbon pellet temperature deviation test

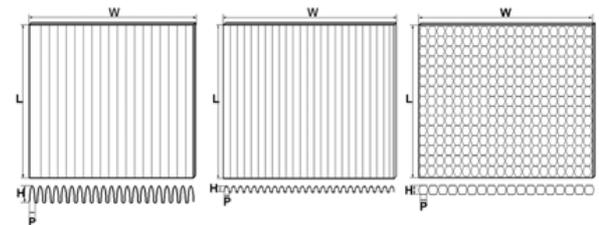
그림 4와 5에 공통적으로 사용되는 열전대, 계측기, 열풍기와 CHF에 직접 열원으로 가압하는 캠핑용 버너 등의 부속품 제원을 표 1에 나타내었다.

표 1. 온도측정 시험장치 부속품 제원  
Table 1. Temperature measurement test device accessories specifications

No	Equipment name	Equipment specifications	Manufacturer	Purpose of use
1	thermocouple	-200~1370℃	B&C Tech	Temperature measurement
2	Instrument	0~2300℃	Hanyoung nux	Temperature measurement
3	Heat Fan	100~500℃	Bosch	Heat source
4	Burner	0~5bar(g)	-	Heat source

## 2.2 벌집형 HC 흡착필터

김덕중[8] 등에 의하면, 그림 6과 같이 흡착필터 형상이 다른 총 3종류의 HC 흡착필터를 대상으로 (a) 주름진 형(Corrugated type), (b) 판 형(Plate type), (c) 벌집 형(Honeycomb type)으로 나누어 흡착량의 차이를 실험하였다.



(a) 주름진 형 (b) 판 형 (c) 벌집 형  
(a) Corrugated type (b) Plate type (c) Honeycomb type

그림 6. HC 흡착 필터 프로토타입  
Fig 6. HC adsorption filter prototype

또한 HC 흡착 필터 사양은 (a) Corrugated Type, (b) Plate Type, (c) Honeycomb Type으로 구분하여 표 2에 표기하였다.

표 2. HC 흡착 필터 사양  
Table 2. HC adsorption filter specifications

Model	Width (cm)	Length (cm)	Pitch (cm)	Height (cm)
Corrugated type	17	18	0.5	1.5
Plate type	18.5	16.5	0.5	0.4
Honeycomb type	18	16	0.5	1

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1 CHF 화재 안전성 시험

그림 1과 같은 활성탄 펠릿에 의한 화재는 자주 보도되고 있으며, 분진 폭발이 발생하기도 한다. 본 연구의 목적인 CHF가 근본적 화재 예방이 되는지 크기가 100x100x100mm이고, 200개의 cell로 구성된 CHF 1개에 대해 직접 열원을 가하는 실험과 그림 3.4와 같이 동일한 지그 內 활성탄과 CHF에 간접 열원(열풍)에 의한 가압 실험을 진행하였다.

##### 3.1.1 직접 열원 가압 시험 및 방법

###### 1. 가열테스트

- CHF 크기 : 100x100x100mm, 200cell 1개
- 열원 : 버너(캠핑용)
- 계측기 : GR200, 열전대 2개

###### 2. 시험방법

- a. VOCs가 농축된 CHF 소재 중심부와 측면부에 각각 열전대를 설치한다.
- b. 서스 받침대 위에 CHF를 올려놓고 아래에 버너를 사용하여 가열한다.
- c. GR200의 모니터로 온도를 확인한다.
- d. CHF 소재 자체에서 발화가 발생하는지 확인한다.

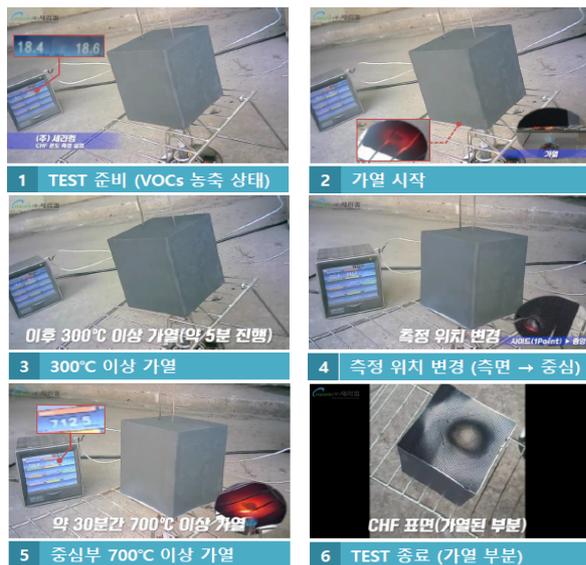


그림 7. 직접 열원 가압 시험

Fig. 7. Direct heat source pressurization test

그림 7에서와 같이 최초 열전대는 가열 전 CHF 양 끝에 열전대를 설치하였다(실험1\_TEST준비).

그러나 가열 이후 5분이 경과한 시간에 우측 열전대 측정 위치를 중앙으로 이동하여 중심부 온도와 측면부 온도를 측정하였다. 위치 이동 전 온도는 좌측 열전대:90.4°C, 우측 열전대: 97.7°C로 중심부 가열에 따라 측면부 온도는 비슷하게 상승 됨을 확인하였다. 실험은 중심부의 온도가 700°C를 넘고 이후 30분간 지속되었다.

##### 3.1.2 간접 열원(열풍) 가압 시험 및 방법

###### 1. 가열테스트

- CHF 크기 : 100x100x100mm, 200cell 6개
- 열원 : 열풍기(120°C)
- 온도측정 : T/C-1 ~ T/C-7

###### 2. 시험방법

- 30분간 위치별 온도를 측정 함

그림 3의 시험장치에 CHF 6개를 그림 4와 같이 채우고 지그 안의 온도 변화를 확인 하였다.

30분간 120°C의 열풍을 가하면 그림 8과 같이 T/C-1부터 서서히 온도가 증가하여 30분에는 T/C-2~T/C-4의 CHF는 승온이 완료되어 거의 유사한 180°C 부근까지 온도가 증가하였으며, T/C-5는 160°C, T/C-6은 120°C, T/C-7은 100°C 이하의 온도를 나타내는 것으로 확인 되었다.

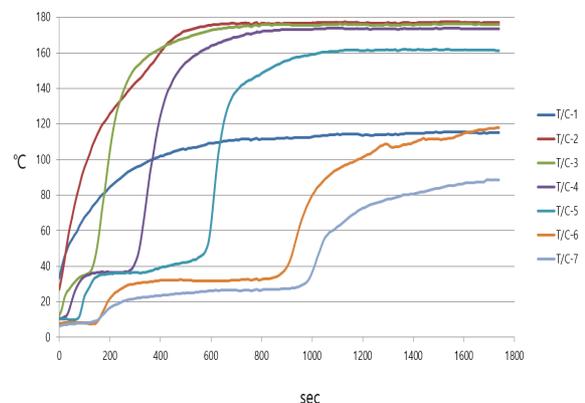


그림 8. CHF 위치별 온도 측정 결과

Fig. 8. CHF temperature measurement results by location

### 3.2 CHF와 활성탄 펠릿 온도편차 측정 시험

CHF를 재생하여 연료를 저장하고, 기업의 ESG경영에 만족하기 위해 활성탄 펠릿과의 재생 시 온도 편차 측정을 실험 하였다. CHF는 15~30일 동안 VOCs를 흡착하여 흡착CAPA가 포화되면 재생센터에서 CHF를 재생할 수 있다.

그림 8과 같이 지그에 활성탄 펠릿을 충전하여 위치별 온도 변화를 측정하였다. 이에 따른 온도 변화는 그림 9와 같다. 펠릿 활성탄의 경우 T/C-2의 온도가 30분 유지 시 100℃로 훨씬 느리게 활성탄이 승온되는 것으로 나타났고, 오히려 T/C-5, T/C-7이 T/C-2보다 초기 가열 시 온도가 높은 것으로 확인되었다. T/C-5의 경우 측정 시간 700초 경과 시 급격한 온도 상승이 발생하였다.

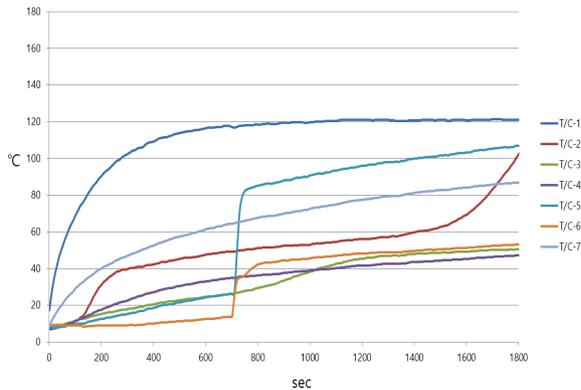


그림 9. 활성탄 펠릿의 위치별 온도 측정 결과  
Fig. 9. Temperature measurement results by position of activated carbon pellets

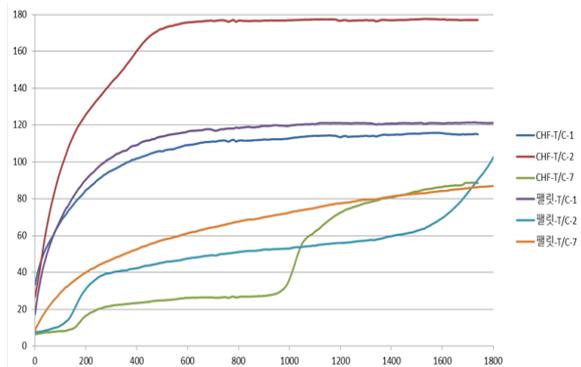


그림 10. CHF와 활성탄의 전단/후단 온도 비교  
Fig. 10. CHF vs. activated carbon shear/rear end temperature

그림 10은 그림 8과 그림 9의 T/C-1, 2, 그리고 후반부 마지막 온도센서 T/C-7의 온도를 비교한 그래프이다.

CHF는 후단으로 갈수록 온도 상승이 느리며, 전단에 배치된 활성탄의 승온이 완료된 후 후단의 CHF가 가열되는 순차적인 가열이 일어나는 것으로 나타났으나, 펠릿형 활성탄은 가장 후단인 펠릿-T/C-7이 펠릿-T/C-2 보다 먼저 온도가 올라가고, 전단에 위치한 펠릿-T/C-2의 온도가 느리게 올라가는 현상이 나타났다.

### 3.3 열충격 시험

이승수[9] 등은 열적 내구성 및 안정성에 대해 평가하고자 열충격 시험을 진행하였다.

본 연구에서는 그림 7에 의해 CHF 소재에 직접 열을 가하는 실험도 진행하였고, 그림 8에 의한 열풍으로 온도의 변화를 확인하였다. 그러나 실제 VOCs를 처리함에 여러 환경 변화도 고려해야 함으로 열적 내구성 및 안정성 확인을 위한 열충격 시험을 진행하였다.

조건은

1. 165℃에서 30분 동일 온도 유지 후 10분 냉각하기를 200회까지 반복하며 실험했으며, 냉각은 자연냉각 조건이다.
2. 압축강도는 시험 전, 30회, 100회, 200회에서 측정하였다.

표 3. HC 흡착 필터 사양

Table 3. HC adsorption filter specifications

	Category (times)	Compressive strength (N/mm)
CHF thermal shock test	0	2.28
	30	2.24
	100	2.25
	200	2.32
	Compressive strength: material does not break The maximum compressive stress that can be tolerated	

#### IV. 결 론

본 연구는 펠릿형 활성탄의 화재 발생 Risk를 근원적으로 개선할 수 있는 대체제로 CHF(Carbon Honeycomb Filter)에 대한 직접 가열 및 간접 가열 등 화재 발생 실험을 진행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. CHF가 활성탄에 비한 VOCs 처리 능력에 대해서도 실험한 내용이 있으나 본 연구에서는 제외하였다.

1) CHF 소재에 열원을 직접 가열하여 700℃ 이상에서 30분을 실험하였으나 소재 자체에서 발화는 일어나지 않음을 확인하였다. 실제 상황을 고려하여 CHF가 VOCs 농축 상태에서 실험하였다.

2) CHF 소재에 열풍을 통한 간접 열원을 가한 실험 결과로 보아 CHF 소재 재생 과정에서 VOCs 탈착은 전단에서 후단쪽으로 순차적으로 진행 될 것으로 예상되며, 따라서 VOCs가 동시에 탈착되어 혹시나 염려되는 폭발하한선(LEL)을 초과 할 우려는 없는 것으로 예상된다.

3) CHF 소재의 내구성을 확인하고자 165℃에서 30분 유지 후 10분 자연냉각을 200회 반복 실험하였고 시험 결과 압축강도의 변화가 없음을 확인할 수 있었다.

4) 펠릿형 활성탄이 CHF 소재에 비하여 승온 속도가 매우 느리고, 온도 또한 불균일하게 상승되는 것으로 나타난 것은 펠릿을 채우는 과정에서 발생하는 적재 밀도 차이로 인해 유동이 불균일 하기 때문인 것으로 예상된다. 온도편차 실험에 의해 펠릿형 활성탄의 경우 CHF 소재에 비해 승온 속도가 매우 느려 VOCs가 흡착된 제품을 재생할 때 CHF에 비해 약 5~10배 정도 많은 시간이 요구될 것으로 예상된다.

#### References

- [1] J. W. Choi, W. S. Mook, and S. Y. Kim, "A Study on Spontaneous Ignition Estimation of Granulated Activated Carbon", Korean Chemical Engineering Research, Vol. 31, No. 5, pp. 538-546, Oct. 1993.
- [2] S. G. Kim and C. S. Shin, "Fire and Explosin Risk Assessment of Adsorbed AC Powder with Organic Solvents", Proc. of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference, pp. 68-73, Nov. 2001.
- [3] J. H. Kim, S. H. Hyun, C. W. Lee, and W. M. Hanm, "A Study on the Explosion Riskiness with Flying of Activated Carbon", Fire Science and Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 3-9, Sep. 1998.
- [4] Fire at Ulsan Synthetic Textile Company, <http://www.yna.co.kr>. [Accessed: Dec. 18, 2015]
- [5] T. G. Yoon, Y. J. Kim, W. H. Choi, S. M. Kwon, B. G. Choi, and C. U. Lee, "An experimental study on activated carbon adsorption facility", Journal of Fire Investigation Society of Korea, Vol. 7, No. 3, pp. 91-108, Sep. 2016.
- [6] S. R. Ko, Y. T. Park, C. K. Im, and K. H. Lee, "A Study on Heat of Adsorption & Ignition of The Organic Solvent By Activated Carbon", Environmental Engineering Research, Vol. 1997, No. 12, pp. 169-172, Dec. 1997.
- [7] S. Escudero-Curiel, M. Pazos, and A. Sanromán, "Sustainable regeneration of a honeycomb carbon aerogel used as a high-capacity adsorbent for Fluoxetine removal", Journal of Molecular Liquids, Vol. 357, No. 1, Jul. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119079>.
- [8] D. J. Kim, G. Lee, H. C. Kim, H. S. Heo, B. C. Na, S. B. Choi, W. Y. Ra, and Y. S. Cho, "Butane Working Capacity Evaluation of HC Adsorption Filter for Evaporative Gas to Satisfy PZEV Regulation", Transactions of Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 17, No. 4, pp. 133-138, Jul. 2009.
- [9] S. S. Lee, J. S. Kim, and Y. G. Jung, "Evaluation of Thermal Durability for Thermal Barrier Coatings with Gradient Coating Thickness", Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 21, No. 8, pp. 248-255, Aug. 2020. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.8.248>.

저자소개

김 영 희 (Young Hee Kim)



2013년 3월 : 부경대학교  
안전공학과(공학석사)  
2007년 7월 ~ 현재 : (주)LG전자  
안전보건팀 책임  
관심분야 : 소방, 안전, 화재폭발

장 두 훈 (Du Hun Jang)



2008년 2월 : 한양대학교  
환경공학과(공학석사)  
2012년 8월 : 경기대학교  
환경에너지시스템(공학박사)  
2021년 3월 ~ 현재 : (주)세라컴  
환경/에너지사업본부 이사  
관심분야 : 미세먼지 저감 및

에너지 절약

서 필 원 (Phil Won Seo)



2005년 2월 : 경기대학교  
환경공학과(공학석사)  
2010년 8월 : 고려대학교  
화공생명공학과 공학박사  
2020년 11월 ~ 현재 : (주)세라컴  
기술연구소 본부장  
관심분야 : 수소안전, 산업용 및

자동차용 촉매

최 재 욱 (Jae Wook Choi)



1992년 3월 : 동아대학교  
화학공학과(공학박사)  
2018년 9월 ~ 2020년 9월 :  
부경대학교 부총장  
1986년 4월 ~ 현재 : 부경대학교  
소방공학과 교수  
관심분야 : 위험물질, 화재폭발