

환경친화적 전력설비 설계 및 운영기술

한국형 배연탈황기술(KEPAR™)
독자개발 및 적용

장 경 통

한국전력공사 전력연구원 발전연구실
환경그룹 책임연구원

1. 독자 배연황기술 개발의 필요성

우리 나라에서 화력발전소는 원자력발전소와 함께 매 십년 마다 2배 이상 늘어나는 전기 에너지원의 한 축을 담당해 왔다. 그러나 화력발전소는 석탄 등 값 싼 화석 연료를 사용하는 대신, 연소과정에서 발생하는 연소가스가 환경을 오염시키게 되면서 이에 대한 처리가 큰 문제가 되었다. 특히, 연료 중에 일부가 함유되어 발생하는 많은 양의 황산화물은 산성비와 연무를 발생시키고, 나아가 미세 먼지로 변하여 환경에 큰 영향을 끼치고 있다. 이에 따라 정부에서는 이미 엄격한 관리가 시행되고 있는 황산화물은 물론 미세 먼지에 의한 대기오염을 방지하기 위한 계획을 수립하고 있으며, 관련 법규도 강화되었거나 진행 중에 있다. 따라서 이러한 여건에 발맞추기 위해 우리 나라의 황산화물 배출량 중에서 상당부분을 차지하고 있는 대규모 화력발전소에 적용 가능한 황산화물 저감기술의 국산화 개발이 필요하였다.

2. 배연탈황기술 현황

가. 기술개발 현황

(1) 국 내

1990년 초까지는 화력발전소 배연탈황기술에 대해 기술검토 위주의 연구가 주로 수행되었으며 실용화 연구는 수행되지 않았다. 타 산업의 경우에는 포항제철, 남해화학 등 일반 산업용 소규모 탈황설비가 외국기술에 의해 설치된 바 있으나 모두 외국기술을 도입하는데 치중하여 국내 기술 축적은 거의 이루어지지 못했다. 또한 환경법의 강화로 1990년대 중반부터 설치된 30여기의

대규모 화력발전소의 배연탈황설비 대부분도 기술 도입에 의존하였다. 그러나 1992년부터 환경부 G7 선도기술 개발사업으로 한전 전력연구원에서 주관하여 수행된 배연탈황 기술개발 과제를 통해, 독자 공정을 개발하여 200MW급 배연탈황설비로 실증하는 과정에서 공정 등 기초 부분부터 응용, 실용화 기술들을 한꺼번에 습득하는 계기가 되었다. 이후 영동화력 1호기와 200MW급 서천화력 2호기에 확대 적용하여 총 4호기가 운전되고 있다. 이 기술은 미국, 일본, 한국, 독일, 중국 등 5개국에 특허등록이 완료되었다. 이로써 지금 현재 공정기술 등 일부 분야에서는 선진국과 대등한 위치까지 도달하는 등 기술력의 차이가 근소한 차이로 좁혀진 것으로 판단된다.

(2) 국 외

미국에서의 아황산가스(SO₂) 배출규제는 CAAA (Clean Air Act Amendment) 및 연방정부 배출허용기준(NSPS), 주정부 배출허용기준에 의해 이루어지고 있으며 규제기준은 240ppm에서 480ppm 정도이다. 1971년부터 서부지역의 저유황탄을 사용하도록 유도하고 동부지역의 고유황탄을 사용할 경우 배연탈황 설비를 설치하도록 하였으며, 그 후 1979년부터는 모든 신설 발전소의 배연탈황설치를 의무화하고, 1991년부터는 기존설비에도 탈황설비를 설치하거나 저유황연료를 사용토록함으로써 모든 설비에 탈황개념이 도입되도록 하고 있다. 배연탈황 기술은 1950년대부터 기술개발을 시작하여 1968년 캔사스 전력회사에 전체 발전소 규모의 배가스를 처리할 수 있는 배연탈황설비가 도입되었고 80년대에 접어들면서 기하급수적인 증가를 거듭하였다. 미국 내에 설치된 전체 탈황설비 용량의 90% 이상이 습식 석회석 또는 석고 공정으로 건식 등 나머지는 10% 미만이다.

일본은 가장 엄격한 아황산가스 배출규제를 적용하고 있는 나라이며 지역별로 총량 규제와 농도규제를 겸하고

있다. 또한 설비규모 및 설치시기에 따라 서로 다른 규제기준을 적용하며 배출허용기준은 약 70ppm에서 220ppm 정도이다. 배연탈황기술은 1966년 황산플랜트에 석회 탈황설비(Lime Scrubber) 설치를 시작으로 80년대 이전에 이미 대부분의 아황산가스 배출원에 탈황설비를 갖추었으며 전체 탈황설비 용량의 98% 정도가 습식 공정이며 이중 80%가 습식 석회/석회석 공정으로 부산석고는 대부분 재활용하고 있다. 한편, 치오다사는 1971년 기존의 스프레이 방식과 전혀 다른 JBR(Jet Bubbling Reactor)을 흡수탑으로 사용하는 소위 가스분사방식을 근간으로 한 CT-121 공정을 개발하였다.

독일을 비롯한 유럽국가에서도 산성비에 따른 심각한 산림피해로 아황산가스 배출규제가 강화되고 있으며, 독일은 140ppm, 그 외 유럽 국가들은 140~500ppm 정도의 규제기준을 적용하고 있다. 이들 유럽 국가들은 1980년대에 배연탈황설비의 설치 및 기술개발을 활발히 수행하였다. 특히 독일은 SHU(Saarberg Holter Umwelttechnik)사에서 배가스 탈황에 대한 개발을 착수하여 1974년 40MW급 실증플랜트를 바이헤르(Weiher) 발전소에 설치하여 운전한 이래 점차 산업용 보일러에까지 적용영역을 넓혀 왔다. 독일은 배출규제의 강화와 함께 80년대 중반에 집중적으로 배연탈황설비를 설치하였으며 흡수방식은 미국, 일본의 경우와 같이 습식 석회석 석고법이 약 90% 이상을 차지하고 있다.

나. 배연탈황기술의 시장 현황

(1) 국 내

법규 강화에 따라 1999년 이후 현재까지 설치된 탈황설비가 31기가 운전중으로, 향후 2010년까지 500MW급 수준의 12기가 설치 예정이며 2015년까지는 28기(약 1조원)가 필요하다(표 1 참조).

〈표 1〉 향후 2010년까지 배연탈황설비가 필요한 발전소

발전소	태안화력 #7,8	보령화력		당진화력		영흥화력	
		#1,2	#7,8	#5,6	#7,8	#1,2	#3,4
설치종료 (상업운전 6월전)	2007.1 2007.9	- -	2007.12 2008. 6	2005. 6 2005.12	2007.1 2007.6	2004.1 2004.6	2007.12 2008. 9

(2) 국 외(중국)

중국은 WTO 가입(2001)과 북경올림픽(2008)을 대비하여 대도시의 환경을 개선하기 위해 환경설비 투자를 최근 5년간 100조원이 소요될 것으로 예상하고 있으며, 이 중에서 배연탈황설비 시장만 1만 8750MW(약 10조원)에 이를 것으로 추정하고 있다(표 2 참조).

〈표 2〉 한국 및 중국의 황산화물 규제치 및 배연탈황설비 현황

구 분	규제치		설비 용량(MW)
	현재	강화(안)	
중 국	1,200ppm	약 550ppm*	18,750
한 국	150ppm	최고 70ppm	12,825

*중국의 경우 석탄 황 함량 3%(황산화물 배출: 1,500ppm 이상) 이상 연소 발전소 다수

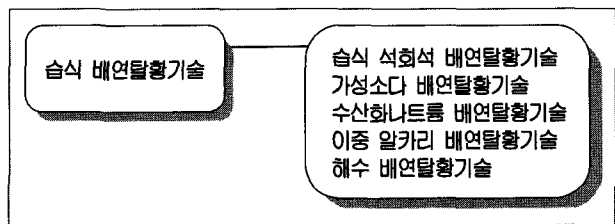
- 2000. 1 한국형 배연탈황공정의 국내 발전소 확대 적용 완료
 - 서천화력발전소 1, 2호기 등 총 3기 525MW
- 2001. 10 산업자원부 한국신기술 인증 취득

4. 한국형 배연탈황기술(KEPAR™)의 특징

황산화물 저감기술은 각 나라의 여건 및 발전소의 특성 등 주변상황에 따라 많은 기술들이 개발되었으나, 값싼 석회석을 이용하면서 부산물을 가치 있게 사용할 수 있는 ‘습식-석회석-강제산화-상용석고(Wet-Limestone-Forced Oxidation-Commercial Gypsum) 공정’이 제거율과 신뢰성에서 탁월하여 우리 나라를 포함, 전 세계에서 90% 이상이 활용되고 있다(그림 1 참조).

3. 한국형 배연탈황기술(KEPAR™)의 개발 과정

- 1992. 9 G-7 환경공학기술개발 “배연탈황·탈질기술개발” 사업신청 및 주관연구기관 선정
- 1994. 5 독자적인 배연탈황 고유공정 자체 연구개발 및 특허출원
- 1994. 6 0.4MW 소규모 파일럿 플랜트 현장 적용시험 (영동화력)
- 1994. 11 10MW급 배연탈황 파일럿 플랜트 운용
- 1994. 11 200MW급 배연탈황 실증설비 설치 (영동화력 2호기)
 - 설치 및 인계 : 1994. 11. 1~2000. 12. 31



〈그림 1〉 습식배연탈황기술의 분류

이러한 공정을 기본으로 개발된 한국형 배연탈황공정은 흡수제를 상부에서 분사시키는 방식(액분사 방식)을 이용하는 상용기술과는 달리, 특허된 가스 분사관을 이용하여 가스를 흡수탑에 직접 분사하는 방식(가스분사 방식)을 이용하여 본 공정에서 핵심인 반응력과 혼합력을 높인 것이 큰 차이점이다. 한국형 배연탈황공정은 단계적

으로 0.4MW급 및 10MW급의 파일럿 플랜트 시험을 완료하였고, 영동화력 2호기에 발전소 규모로서 200MW급 까지 실증시험에 성공하였다. 또한 이 기술은 유사 규모 급에 해당하는 서천 1, 2호기 및 영동 1호기에 확대 적용 (총 725MW)하여 지금까지 5년 동안 운전되는 과정에서 선진기술과 손색 없는 기술력을 인정받고 있다.

한국형 배연탈황공정의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 고급 배연탈황공정의 적용
 - 세계적으로 입증된 습식/석회석/강제산화/상용석고 생산 공정
- 기·액 접촉이 우수한 가스분사 및 가스 분사판 채용 (특허등록 완료)
 - 역동적인 혼합과 산화 반응으로 반응속도가 빠름
 - 흡수탑 내부에 기계적 스트레스가 적어 값싼 비금속 재질 사용
 - 배가스가 반응액에 적셔지면서 반응이 일어나 분진 제거율 우수
- 흡수탑 입출구 차압 조절식(ΔP Control)
 - 연료중의 황 함량과 배가스 유량변화에 대한 적응성 우수
 - 부산석고의 입자 크기가 커 탈수성 양호
- 낮은 산도에서 운전(pH 4.5)
 - 석회석, 석고 등 용해도가 높아 슬러리 축적 방지
 - 높은 석회석 이용률에 따른 석고 품위 향상
- 흡수탑 격상 적용이 용이
 - 발전소 규모에 탄력적 대응이 가능한 모듈화 개발 완료

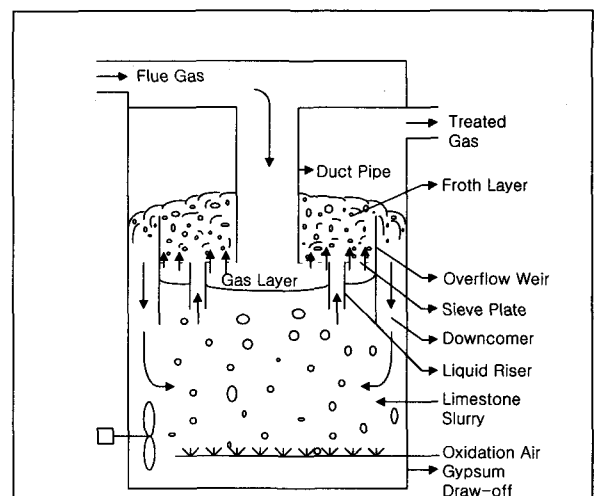
5. 한국형 배연탈황기술(KEPAR™)의 경제성

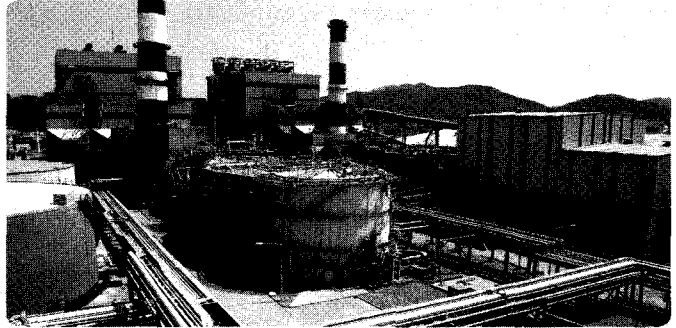
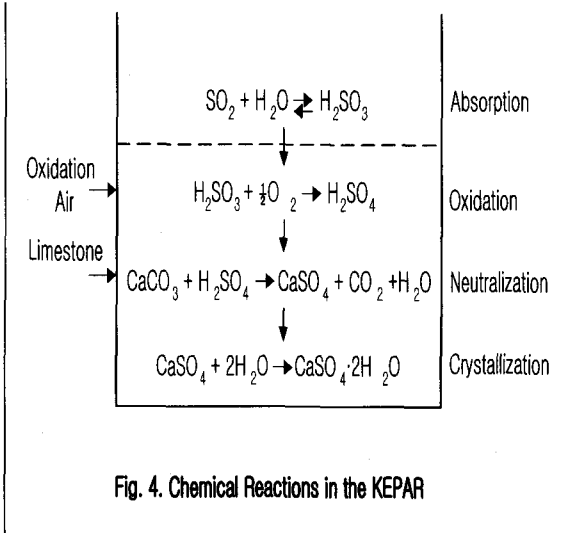
한국과학기술원(KAIST)에 의뢰하여 작성된 자료를 근거로 500MW급 발전소에 한국형 배연탈황공정을 격상하여 국내에 설치된 500MW급 상용공정과의 설치비를

평가한 결과 한국형 배연탈황공정의 초기 투자비는 상용 배연탈황공정에 비하여 약 94% 정도로 경쟁력이 있는 것으로 보고되었다. 더구나, 외국 기술의 경우 이미 여러 설비의 설계 및 제작 등을 통해 최적화된 상태임에 비해, 한국형 기술은 상대적으로 그렇지 못한 점을 감안하면 향후 상용화 연구와 운영 실적을 쌓아 가면서 그 격차는 더 커질 것으로 판단된다. 운전비의 비교는 석회석 처리설비, 석고처리설비, 폐수처리 등 여러 요소들이 포함되어 있기는 하나, 다른 요소의 경우 상호 유사하고 점유율이 낮아 단지 전력사용량의 비교로서 판단이 가능하다. 또한, 전력사용량의 비교는 전 전력사용의 80% 정도에 이르는 부스터 팬과 슬러리 순환펌프의 전력사용량의 합을 비교만으로도 가능하며, 이러한 기준에서 한국형 배연탈황공정의 500MW급 격상시와 국내에 적용된 대표적인 500MW급 외국 상용기술을 대상으로 부스터 팬과 슬러리 순환펌프의 전력사용량을 소내 소비율로 환산시 각각 0.76%, 0.81%로 나타나 한국형 공정이 우수한 것으로 나타났다.

6. 한국형 배연탈황공정 관련 그림 및 사진

가. 가스층 다공판형 흡수공정 원리 및 반응

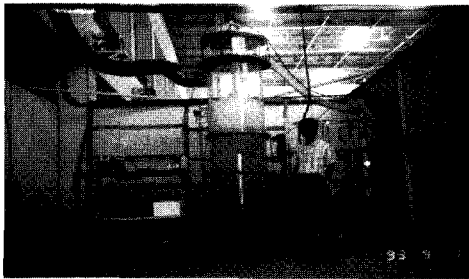




한국형 배연탈황 실증설비 200MW급(영동화력 제 2호기)

다. 주요 성능 시험 결과

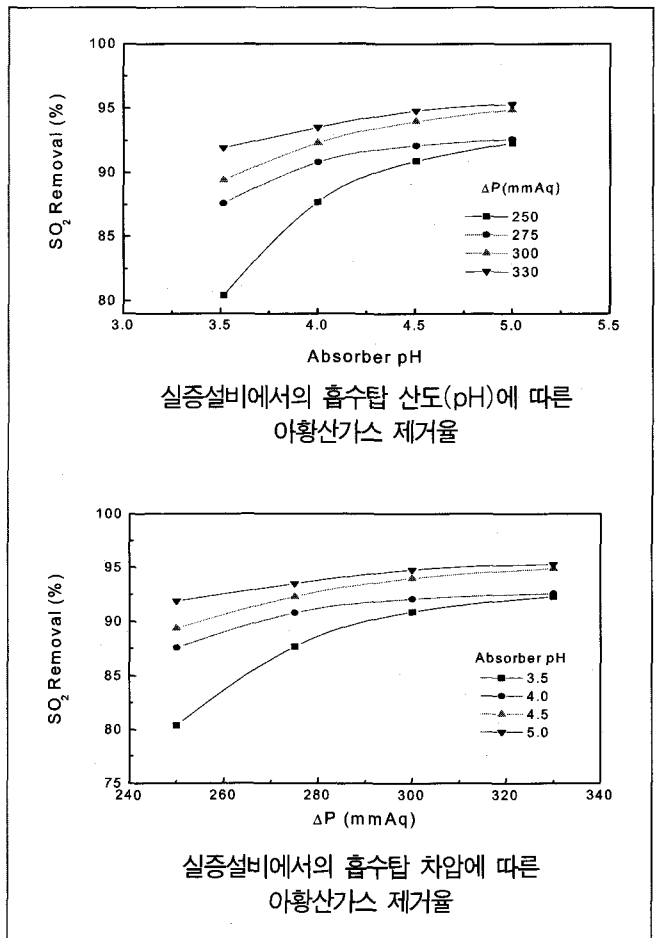
나. 사진으로 본 단계별 연구과정



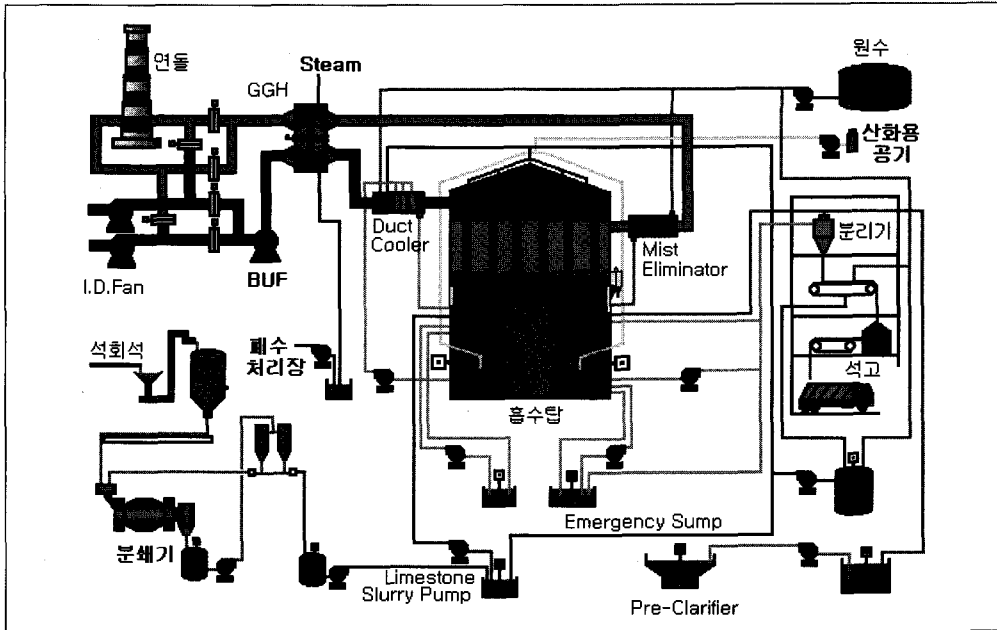
Mini-Pilot Plant(0.4MW급)



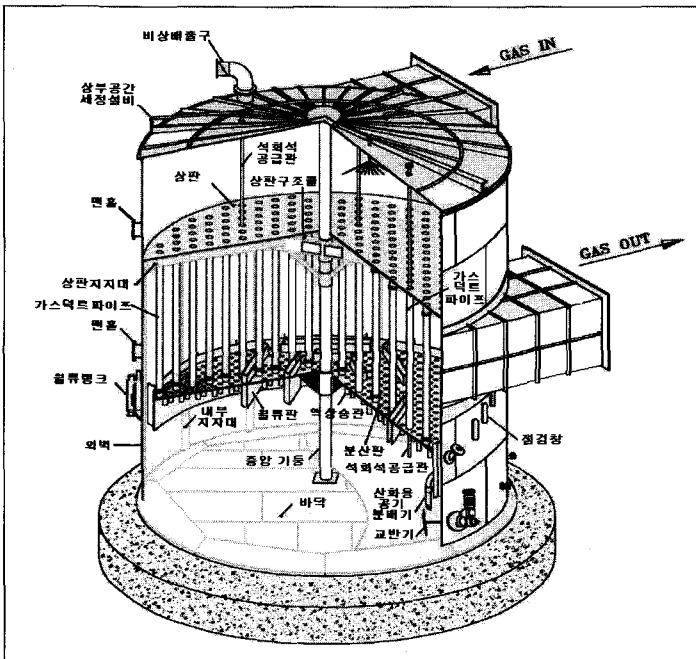
파일럿 플랜트(10MW급)



라. 영동화력 제2호기에 설치된 200MW급 실증설비 공정도



마. 한국형 배연탈황공정의 흡수탑 상세도



7. 한국형 배연탈황기술(KEPAR)의 개발 효과

가. 경제성

- 국내 발전소에 도입된 수입기술의 설치가 격을 낮춤
- 수입전('92) : 170(150~190) \$/kW
→ 현재: 70\$/kW
- 한국형으로 설치된 4기(725MW)의 기술료 절감: 25억원
- 향후 설치된 국내 발전소의 한국형 적용시 수입 대체 효과
- 2015년까지 28기의 배연탈황설비 추가 필요(설치비 기준 약 1조원)

- WTO 가입(2001) 및 북경올림픽(2008) 대비, 큰 시장이 조성된 중국 등 동남아 수출
- 중국의 경우 2005년까지 1만 8750MW의 탈황설비가 필요(2005년 이후 기아 급수적 증가 예상)
 - 국내에 설치된 발전소 탈황설비(31기)의 규모(1만 2825MW)를 능가
 - 설비 설치 대금 회수를 석탄 수입과 연계하는 구상 무역 추진
- 경제적 자체 개발 기술의 보급으로 산업 경쟁력 제고

나. 기술성

- 선진국 수준의 배연탈황기술 확보 및 관련 산업 발전에 기여
- 낙후된 환경기술의 발전
- 종합공정기술인 배연탈황기술의 타 장치산업에 파급 효과

다. 사회성

- 경제적 환경기술 개발 및 활용 촉진으로 쾌적한 환경 조성
- 고급기술의 자체 확보에 따른 국제위상 제고
- 석탄의 청정에너지 구현 및 발전소 설치의 국민적 공감대 획득

8. 한국형 배연탈황기술의 향후 활용 계획

- 기 개발 200MW와 동등 규모의 경우 기술권 이전 업체를 통한 적용
- 국내 표준화력에 적용 가능한 500MW 이상급 개발 및 적용
- 배연탈황설비 시장이 큰 중국 등 동남아 기술 수출

9. 지적재산권 확보(아래 표 참조)

구분	특허명	국명	출원일	등록일	등록번호
특허	가스층 다공판형 배연탈황 방법 및 장치	한국	1994.12.26	1997.11.18	130410
		미국	1995. 5. 3	1997. 8.26	5660616
		일본	1995. 5. 2	1997.11. 7	2715059
		독일	1995. 5. 5	2001. 2. 8	19.16.660.4-43
		중국	1995. 5. 5	2002. 6.	
특허	배연탈황공정의 공기공급장치	한국	1995. 5. 7	1998. 1.13	135324
특허	배가스처리를 위한 기-액 접촉장치	한국	1997. 6.24	1999. 6.16	219728
특허	배연탈황공정에서 슬러리의 pH 측정방법	한국	1997. 6.24	1999. 6.16	219727
특허	배기가스중 황산화물 제거장치	한국	1998.10.29	2001. 1. 2	285294
실용신안	KEPAR 배연탈황 신공정	한국	진행중	-	-

