제 출 문

경남지역환경기술개발센터장 귀하

본 보고서를 “경남지역 대기오염물질(호흡성 분진 및 악취) 현황조사 및 배출 저감대책 수립-진해 마천지방산업단지를 중심으로-”에 관한 최종보고서로 제출합니다.

연구기관명 : 창원대학교

연구책임자 : 김 태 형 교수(창원대 환경공학과)

연 구 원 : 하현철(공학박사), 김종철(공학석사)

연구보조원 : 박승철, 홍좌령, 어윤정, 최언수

요 약 문

Ⅰ. 제목

경남지역 대기오염물질(호흡성분진 및 악취) 현황조사 및 배출 저감대책 수립 - 진해 마천지방산업단지를 중심으로-

Ⅱ. 연구의 목적 및 필요성

마천주물단지는 1982년 당시 상공부에서 기술적으로 낙후된 주물소재산업 육성책으로 부산사상지구에 산재한 주물공장을 진해 남양동으로 집단화함으로서 기술의 현대화를 기하여 국내 자동차 및 선박, 산업기계의 부품소재를 국산화하고 원·부자재 공동구매 사업을 통하여 원활, 저렴하게 공급함으로서 국제 경쟁력을 높이기 위해 설립었다. 1987년부터 1994년까지 160억원의 사업비를 들여 단지를 조성하였고, 1992년 지방공업단지로 지정되었다. 마천주물단지에 입주한 업체의 주요 업종은 비금속광물, 1차금속, 조립금속 및 기계장비, 전기전자로 4개 업종이 위치해 있으며 모두 선철이나 비철을 원료로 하여 주조에 의해 제품을 생산하고 있다.

하지만, 공단이 입주한 이후에 공단 주변에 고층 아파트 단지가 입주하였고, 주물공단에서 발생된 분진과 악취 등 대기오염문제에 대한 민원이 제기되고 있는 실정이다. 주물공정의 특성상 모든 공정에서 분진이 발생되는데 용해공정, 탈사 및 사처리공정에서 다량의 분진이 발생되고, 특히, 용해공정에서 발생되는 분진은 공장지붕에 설치된 모니터를 통해 공장 외부로 확산되고 있는 실정이다. 또, 쇳물을 주입할 틀을 만드는 조형 공정에서는 수지, 도형제 및 조형제 등 다양한 휘발성 유기화합물을 사용하고 있고, 특히 중자 조형 공정인 콜드코어에서는 아민가스를 사용하기 때문에 주 악취 발생원으로 대두되고 있다.

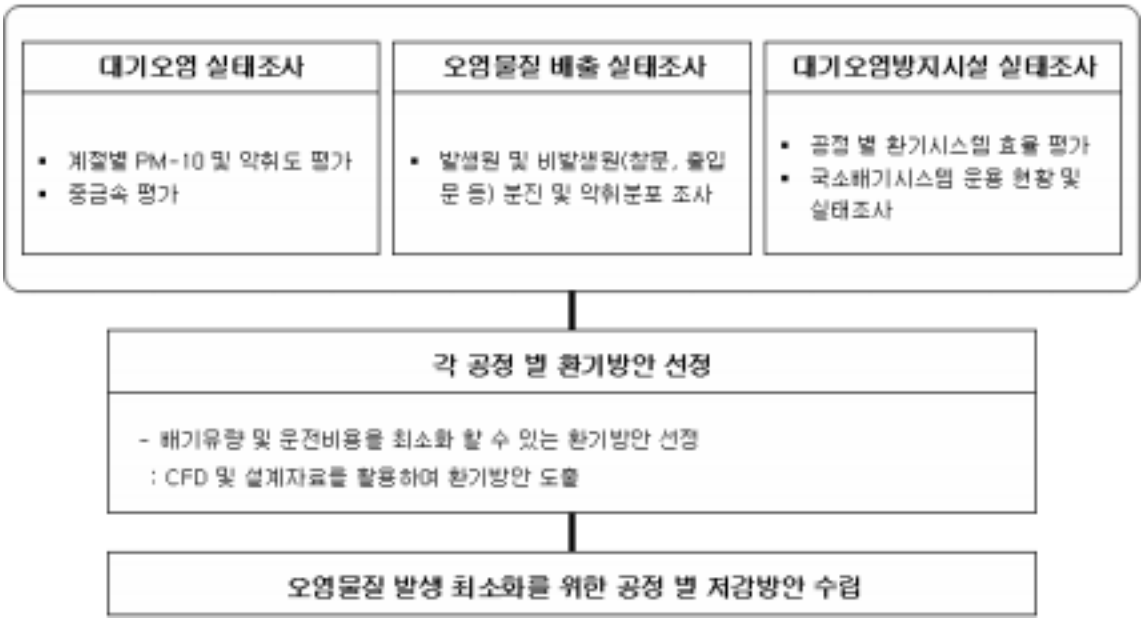
주물공정에서 발생되는 분진과 악취물질이 대기 중으로 확산되는 것을 최소화하기 위해 다양한 형태의 환기시스템 및 공기정화장치가 설치되어 있지만, 효율저하와 관리상의 문제로 인해 큰 효과를 거두지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구를 통해 진해 마천 주물공단 인근 지역 주민의 민원발생 최소화 및 공단 주변지역 대기환경 개선을 위해, 공단 지역 및 인근지역의 대기질 평가와 공단 지역의 대기오염물질 발생 실태를 조사한 후 공단 지역의 오염물질 확산 최소화 방안을 수립하고자 한다.

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

본 연구는 대기오염 및 발생원 실태조사와 오염물질 발생공정의 환기시스템 발생원 조사를 통해 공단에서 발생되는 오염물질이 주변지역에 미치는 영향을 파악하고, 이를 바탕으로 오염물질 발생 최소화를 위한 환기방안을 제시하는데 있다.

연구의 내용 및 범위는 다음과 같다.



<연구의 내용 및 범위>

Ⅳ. 연구결과

경남지역 대기오염물질 현황조사 및 배출 저감대책 수립(진해 마천지방산업단지를 중심으로)에 관한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 계절별 풍향·풍속 측정

봄철과 여름철은 북동풍이 주풍으로 공단지역에서 인근 주거지역으로 바람이 형성 공단에서 발생된 오염물질이 주거지역으로 확산될 우려가 있는 것으로 나타났다. 가을철의 경우 봄이나 여름철과 달리 서풍이 주풍으로 인근 주거지역에서 공단지역으로 바람이 형성되어 있어 다른 계절에 비해 오염도가 낮아지는 것으로 나타났다.

2. 대기오염 실태조사

1) 호흡성 분진(PM-10)

전 계절에서 공단지역을 제외하고 인근 주거지역의 호흡성 분진(PM-10)의 농도가 환경기준 이하로 측정되었다. 계절별로 보면 주풍이 북동풍으로 형성된 봄철과 여름철이 가장 높은 농도를 보였고, 주풍이 서풍으로 형성된 가을철이 가장 낮은 것으로 나타났다. 전체적으로 주거지역은 환경기준(24시간 기준) 이하이고, 공단지역 또한 거의 환경기준을 초과하지 않는 것으로 나타났지만. 시간대별 측정결과 공단지역의 경우 야간시간대의 경우 30㎍/㎥ 전후로 저농도를 보이고 있으나, 주간(작업시간대)시간대에는 300㎍/㎥ 전후로 측정되어 인근 주거지역의 주간시간대에는 호흡성 분진의 농도가 높을 것으로 예상된다.

2) 중금속

Al과 Zn의 농도가 가장 높게 측정되었고, Fe도 다른 항목에 비해 높은 것으로 나타났다. Al과 Zn의 농도가 가장 높은 것은 비철금속의 원료일 뿐만 아니라 Pb를 제외하고 녹는점이 가장 낮고, 로에서 흄상태로 발생되어 주변으로 비산되기 때문인 것으로 판단된다. Fe는 주철주물에서 후처리와 같은 금속표면가공에 의해 주로 발생되고, Cd을 제외한 그 외 물질은 용해 및 주입시 사용되는 각종 첨가제와 원료에 포함되어 있던 것이 비산되어 발생되는 것으로 판단된다.

3) 악취

봄철에 포집한 시료를 공기희석관능법으로 분석한 결과 공단지역은 100 전후, 인근 주거지역은 10~50, 부지경계선은 70정도로 측정되었다. 여름철은 공단지역의 경우 봄철과 비슷하게 측정되었으나, 인근 주거지역과 부지경계선의 악취도는 봄철보다 낮아진 것으로 나타났다. 가을철은 공단지역의 경우 봄철이나 여름철과 유사한 악취도를 보이고 있으나, 인근주거지역과 부지경계선은 악취도가 현저히 낮아진 것으로 측정되었다. 이는 봄철이나 여름철에는 주풍이 공단에서 주거지역으로 형성되어 있으나, 가을철에는 주거지역에서 공단지역으로 주풍이 형성되었기 때문으로 판단된다.

3. 오염물질 배출 실태조사

1) 분진 발생 실태조사

① 발생원 조사

비철금속과 주철주조 공정별 배출원 평균 분진농도를 배출허용기준과 비교한 결과 용해와 관련된 공정은 배출허용기준의 50% 미만으로 나타났고, 연마, 후처리, 조형, 사처리 공정은 배출허용기준의 10% 미만인 것으로 조사되었다.

② 비발생원 조사

■ 공장내부 분진분포

비철금속주조에서는 평균적으로 용해공정과 압입공정에서 분진이 가장 많이 발생되는 것으로 나타났고, 적재장에서 분진농도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 주철주조의 경우 용해공정>탈형 및 탈사공정>주입공정>후처리공정>조형공정 순으로 나타났다. 비철금속 및 주철주조에서 분진농도가 높은 공정은 오염물질 제어를 위한 환기시스템의 효율이 가장 많이 저하되어 있다는 것을 의미하며, 이로 인해 공정에서 발생된 분진이 작업공정 및 주변으로 확산되고 있다는 것을 나타낸다.

■ 공장 개구부를 통한 분진 배출량

비철금속주조에서는 압입공정>주입공정>용해공정 순으로 분진이 확산되고 있고 주철주조에서는 탈형 및 탈사공정>후처리공정>고철장>주입공정>용해공정 순으로

나타났다. 작업장 내부 조사결과와 달리 용해나 주입공정의 농도가 낮게 나타난 것은 이들 공정의 경우 출입문이나 창문으로 유출되는 것 보다는 강한 열부력에 의해 상승하여 지붕에 설치되어 있는 모니터로 배출되는 양이 많기 때문으로 판단된다.

2) 악취 발생 실태조사

① 발생원 조사

굴뚝(Stack)을 통해 배출되는 기류의 악취도를 파악한 결과를 비철금속주조(A사업장)의 경우 악취도가 150 전후로 나타났고, 주철주조(D 사업장)는 주입공정과 조형공정은 각각 240, 320으로 가장 높고, 용해공정은 170이하, 후처리 공정은 90으로 가장 낮게 측정되었다. 전체적으로 배출허용기준(산업단지내의 사업장 : 1000)과 비교하면 기준의 절반에도 미치지 못하는 것으로 나타났다.

② 작업장 내부 악취도 평가

비철금속주조 공정별 악취도 평가결과 주입공정>압입공정>용해공정>적재장 순으로 나타났고, 주철주조는 조형공정>용해공정>주집공정>탈형 및 탈사공정>후처리공정 순으로 측정되었다. 전체적으로 악취도가 200이하인 것으로 나타났다.

③ 부지경계선 악취도

계절별 부지경계선 악취도가 배출허용기준인 20을 모두 초과하고 있는 것을 볼 수 있는데 이는 마천지방산업단지의 특성상 각 사업장의 업종이 대부분 주물관련 업종이고, 배출원 및 공장내부 조사결과를 보면 배출허용기준을 초과하고 있지 않으나 악취도가 모두 100이상으로 나타나 공단 전체가 악취발생원 역할을 하기 때문이다. 또한, 부지경계선 자체가 공장과 너무 근접해있어 부지경계선에서의 악취도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

④ 악취물질 발생 실태조사

악취물질 측정결과 황화수소, 톨루엔, m-크실렌, o-크실렌, 페놀, 포름알데히드, 메틸메르캅탄은 검출되지 않았으나, 암모니아, 아민류, 아세트알데히드는 검출되었다. 기존자료를 활용하여 주조공장에서 발생되는 악취물질 발생실태에 대해 알아본 결과 집진설비를 통과하고 난후에는 트리메틸아민을 제외하고 모든 항목에서 배출허용기준을 만족시키는 것으로 나타났다.

4. 대기오염방지시설 효율 평가 결과

1) 송풍기 성능 평가

송풍기의 풍량 대비 효율을 분석한 결과 측정대상 송풍기 18대 중 44% 가량인 8대가 60% 이하의 풍량 대비 효율을 보여 가장 높은 비율을 차지하였고, 반면에 효율이 80%를 초과하는 경우는 전체 중 22%(4대)로 가장 낮은 비율을 보였다. 여기서 평가된 결과를 모집단을 대표하는 값으로 판단할 수는 없겠지만 마천 주물산업단지내 송풍기의 상당수가 효율이 부족한 상태임을 가늠할 수 있어 송풍기 효율 향상을 위한 노력이 필요하리라 판단되어 진다.

2) 집진기 관리 실태

측정된 대기오염방지시설 18대 중 56% 가량인 10대의 백필터가 200mmAq 이상에서 운전되고 있었다. 따라서 필터의 잦은 교체와 더불어 보다 효율적인 탈진기술의 적용을 통해 백필터 집진장치의 과도한 차압으로 인한 성능 저하를 예방할 수 있도록 하여야 할 것이다.

5. 공정별 문제점 및 표준 환기 방안

1) 용해공정

① 직인식 후드의 출탕시 성능 향상방안

현장 조사결과 대부분의 주물사업장에서 직인식 후드가 설치되어 효과적으로 사용하고 있으나 출탕시 발생되는 고온의 금속 흄을 제어하기에는 어려움이 있었다. 이에 대한 방안으로 1)제트 기류를 이용한 Push-pull 방식과 2) 덮개를 이용한 방식, 3)유도깃을 이용한 방식을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증하여 표준 환기 방안으로 제안하였다.

② 주입 래들에 적합한 후드 선정

출탕된 용융 금속을 주입 래들에 보충하는 과정에서 다량의 금속 흄이 발생되고 있으나 크레인의 간섭으로 후드가 설치되어 있지 않았다. 현장의 작업여건을 고려해 업-다운식 배기후드를 설치한다면 효과적으로 흄을 제어할 수 있음을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

③ 보온로 작업형태에 적합한 후드 선정

보온로 상부에 스윙식 캐노피 후드가 설치되어 있으나 입,출탕시 래들의 간섭으로 인하여 흄을 제대로 제어히자 모하였으나 측방형 다단 슬롯후드를 설치한다면 작업에 방해되지 않으면서 금속 흄을 효과적으로 제어할 수 있음을 확인할 수 있었다.

④ 반사로 적정 배기유량 산정 및 후드 개조

반사로 입구에 포위식 후드가 설치되어 있으나 배기유량 부족으로 고온의 금속흄이 확산되고 있었다. 이를 개선하고자 반사로의 배기유량을 600CMM으로 증가시키고 후드의 개방면을 연장시켜 내부공간을 확장하는 방안이 확산되는 흄을 제어할 수 있음을 확인할 수 있었다.

2) 조형·중자 공정

① 후란 조형기 부착식 후드 설치

후란 조형기의 주물사 투입관은 작업자가 수동으로 운전하며 주형틀 내에서 이동하도록 되어 있었다. 하지만 후드가 설치되어 있지 않아 악취가 주위로 확산되고 있었다. 이를 해결하기 위하여 주물사 투입관 출구에 이중관의 후드를 설치하여 배기시킨다면 확산되는 악취를 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

② 중자 담금조 슬롯후드 설치

중자 담금조에 후드가 설치되어 있지 않은 상태에서 작업이 수행되고 있어 아민이나 유기용제의 악취가 주위 작업장으로 확산되고 있었다. 이를 개선하기 위하여 담금조에 측방형 슬롯후드를 설치한다면 작업시 발생되는 악취를 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

③ 중자 건조로 슬롯형 캐노피 후드 설치

중자 건조로 입구에 후드가 설치되어 있지 않아 건조후 입구를 개방할 때 아민이나 유기용제의 악취가 주위 작업장으로 확산되고 있었다. 이를 개선하기 위하여 건조로 입구에 슬롯형 캐노피 후드를 설치한다면 건조로 입구를 개방할 때 발생되는 악취를 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

3) 주입 공정의 측방 슬롯후드 설치

주입공정에 후드가 설치되어 있지 않아 래들과 주형틀에서 발생되는 고온의 흄과 가스가 주위로 확산되고 있었다. 이를 제어하기 위하여 측방형 슬롯후드를 설치한다면 주입과정에서 발생되는 오염물질을 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 탈형 공정에 푸쉬-풀 환기 방식 적용

탈사기에서 발생되는 다량의 분진을 적은 배기유량으로 제어하기 위해서는 푸쉬-풀 형태의 환기방식이 적당하다는 것을 시뮬레이션 결과로 확인할 수 있었다.

5) 후처리 사상 공정에 포위식 후드 적용

사상공정에서 발생되는 분진을 효과적으로 제어하기 위해서는 외부식 후드 형태를 포위식으로 전환하는 것이 바람직하다는 것을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다. 따라서 현장 작업형태와 조건을 고려하여 최대한 밀폐시켜 발생원이 후드 내에 위치시킬 수 있도록 노력하여야 할 것이다.

Ⅴ. 연구결과의 활용계획

본 연구를 수행하여 도출된 결과를 토대로 조사대상 사업장에 대해 공정별 개선안을 마련하여 이를 각 사업장에 제시하였으며, 각 사업장별 지원내역을 <표 I>에 정리하였다. 조사 대상에 포함되지 않은 사업장에 대해서는 향후 사후환경지원 등과 같은 사업을 통해 사업장별 특성에 맞는 환기방안을 제시하여 연구결과의 활용도를 높이고자 한다.

또한, 주물공정에서 발생된 분진 및 악취 제어 효율이 극히 미비한 실정에서, 본 연구를 통해 각 공정별로 참고할 수 있는 환기설계기법 자료를 확보함으로서, 대기방지시설을 설치하고자 하는 주물·주조 공업 전반에 활용 가능할 것으로 예상된다.

<표 I> 사업장별 문제점 및 지원사항

사업장	주원료	문제점	지원사항
A	비철	송풍기 배기효율 저하, 반사로 배기효율 저하	송풍기 현재상태 진단 및 관리방안 및 반사로 배기효율 증가방안 제시
B	비철	압입기 배기효율 저하 및 후드 미설치	압입기 유량증가 방안 수립 및 후드 신설을 위한 설계자료 제시
C	비철	회전로 흄 발생	전산유체역학을 이용하여 현상태의 환기효율을 평가하고, 적절한 환기량 산정
D	주철	용해로 출탕시 금속 흄 발생	공정 특성에 맞는 후드 개선방안 제시(푸쉬-풀 후드설치, 래들 덮게 설치, 직인식후드 유도깃 설치 등)
E	주철	보온로 자동 주입공정 배기효율 저하	주입공정에 적용할 수 있는 환기방안 및 설계자료 제시
F	주철	용해로 및 주입공정 배기유량 부족	전산유체역학을 이용하여 환기량 제시
G	주철	콜드박스 악취문제	콜드박스에서 발생되는 악취를 제어할 수 있는 환기시스템 형태 및 공기정화장치 제시
H	주철	보온로 입/출탕시 금속 흄 발생	푸쉬-풀 형 후드 및 자동 스윙후드 설계자료 제시
I	주철	용해공정 송풍기 배기효율 저하 및 용해공정 배기후드 미설치	송풍기 관리방안 제시 및 용해로에 적용할 수 있는 후드형태 제시
J	주철	후란조형기 및 접종공정 환기시스템 미설치	환기시스템 설계자료 제시