

■■■■■■■■■■
技術資料
■■■■■■■■■■

조형과 코어제작법의 환경적인 영향

김봉완†

Environmental Effects of Molding and Coremaking Process

Kim Bong-Wan†

1. 서 론

현대의 주물공업에서는 주형과 코어의 생산을 위해 매우 다양한 화학점결사를 사용하고 있다. 대기 중으로 방출된 화학물질은 점토, 오일 등의 전통적인 주형 재료와 함께, 주물공장의 작업환경과 이웃 주변환경에 오염을 더욱 증가시키고 있다. 화학물질 중 어떤 것은 거의 해를 입히지 않으나, 거의가 인체와 자연환경에 나쁜 영향을 일으키는 것으로 알려져 있다. 주물생산 중에 형성되는 상당히 많은 화합물은 아직 규명되지 못하였거나, 이들의 강력한 위험성도 충분히 조사되지 못하였다.

이와 같은 심각한 문제와 직면하여 주물종사자는 화학물질에 대한 최신의 정보를 가능한 많이 가질 필요가 있다: 즉, 그들의 환경영향, 주조공장 대기의 예상된 농도 및 제어방법이다.

여기서는 주조공장에서 현재 사용 중인 사형주조에서 일어나는 주된 공해에 대하여 검토하고자 한다.

2. 작업환경

주조공장에서 사용되는 원재료, 점결제, 첨가제 및 도형제는 시중에서 구입할 수 있는 일반적으로 규격이 명시된 제품들이다. 그래서 이들 물질과 관련된 재해 예를 평가하기는 상당히 용이하다. 주된 원재료는 아래와 같다.

- 1. 무기물: 규사(대부분 Quartz, 간혹 Cristobalite),

Zircon이나 Oliveine 같은 비규석질 내화물, 도형용 분말, 점토질, 규산소다.

- 2. 유기물: 수지 점결제, 촉매제, 경화제, 도형제 (Solvent), 석탄분, 석탄분대체품, 곡물, 목분, 붕괴제(규산소다계 주형용).

무기물은 일반적으로 미세하게 분할된 분말(Powder) 또는 미세 알갱이(Granular)로 되어 있다. 그래서 이들은 분진운(먼지구름)을 형성하여 재해를 일으킨다. 이들은 Quartz와 같이 특별 노출한계를 갖는 특수재해, 또는 대부분의 국가에서 건강관리를 위해 단일의 일정한 노출한계를 적용하는 유해 분진운과 같이 일반재해로 처리된다.

유기 원재료는 주조공장의 전체면적에서 재해를 일으킬 수 있다. 재해는 주로 점결제, 촉매제와 도형제의 휘발성 화학물질의 증기; 주형과 코어를 경화시키기 위하여 사용되는 가스 증기; 주입 중에 점결제의 열분해로 발생하는 가스 증기로부터 발생된다.

특수한 점결제와 연관된 강력한 재해를 평가할 때, 주형, 코어 및 주물을 생산하기 위하여 필요한 모든 작업이 검토되어야 한다. 주형이나 코어의 경화 중에 발생하는 가스나 증기 및 주형이 주입될 때 방출되는 가스만을 고려하는 것은 불충분하다.

아래의 주조공장 작업을 주의 깊게 고려하여야 한다.

3. 주물사 취급

주된 재해는 분진이다. 규사 주형과 코어에 사용되

쇠부리 연구소

†E-mail : hansol95@netian.com

*본 기술자료는 2002년도 추계 학술발표 및 기술강연대회에서 발표된 내용임

는 규사는 85% 이상의 SiO₂이고, 공중으로 쉽게 부양되는 많은 양의 매우 작은 알갱이를 포함한다. 과도한 양의 규사분진에 노출되면 진폐증(Pneumoconiosis)으로 알려진 치료 불가능한 고질병에 이를 수 있다.

4. 기타재료의 취급

조형과 코어제작에서 사용되는 재료 중 몇몇을 취급하기 위해서는 안전수칙을 엄격하게 지켜야 한다. 점토와 내화물 같은 무기물은 건강유해 분진운(Nuisance dust clouds)과 다른 문제는 별로 일으키지 않으나, 분진 폭발 또는 화재의 위험이 있으므로 분말유기물의 취급에는 주의를 기울여야 한다.

휘발 인화성 용제를 포함하는 도형제나 점결제는 덮개 없는 전등이나 열원으로부터 멀리 떨어져 보관하여야 한다. 점결제와 촉매제는 일반적으로 따로 보관하여 일부가 비포장 상태로 혼합되었을 때 일어날 수 있는 격렬한 발열반응을 피하여야 한다.

단속혼련을 위하여 계량하거나 연속혼련기에 투입될 때와 같이 액체수지 점결제와 촉매제가 대량으로 취급될 때, 유출의 위험이 있다. 보호복과 안전안경을 착용하여야 한다. 그렇지 않으면 피부나 눈에 손상을 입을 수 있다.

모든 주조 재료의 취급이나 저장에 대한 상세한 조언을 제작자와 공급자로부터 제공받아 이들 재료와 접촉하기 쉬운 모든 작업자에게 주의시켜야 한다.

5. 주물사 배합

주물사 배합물의 준비는 수많은 재해를 일으킬 수 있다. 주물사가 건조하고 점결제로 피복되지 않은 동안은, 어쩔 수 없이 SiO₂(Quartz, 석영)을 포함하는 분진운이 발생할 가능성이 있으며, 이는 재해가 될 수 있다(주물사 취급 참조). 몇 가지 점결제 계통, 특히 점토 점결사에 대해서는 미세 건조 분말재료를 첨가하며, 이들이 일반적으로 건강유해분진의 문제를 일으킬 수 있다. 영국에서는 10 mg/m³의 직업노출표준을 적용한다.

배합단계의 주된 위험은 점결제 배합에서 사용되는 수지, 촉진제, 경화제 또는 용제의 어느 휘발성분이 방출되는 것이다. 주물사 혼련기에서 가장 많이 발견되는 화학약품은, Urea, Phenol 및 Furan 수지 점결제로부터 나오는 Formaldehyde, Furfuryl alcohol과

Phenol, 그리고 Urethane 수지 점결제로부터 나오는 Diphenyl methane diisocyanate와 약간의 방향성 용제이다. 대부분의 예에서 방출량은 적고 농도는 대부분의 국가에서 건강안정당국이 설정한 적정 노출한계를 거의 넘지 않는다.

만일 증기 농도가 더욱 높게 일어나면, 단순한 배기에 의하여 제어할 수 있거나, 주물사 온도를 25°C 이하로 유지하여 화학약품의 증발을 감소시킬 수 있다.

6. 주형과 코어 조형

주형과 코어조형에는 중요한 여러 가지 문제점이 있다. 어떤 경우, Furan과 α process에서 현저하지만, 점결제에서 발생하는 포은 농도의 증기가 연속 혼련기 출구 부근에서 발생된다. Furfuryl alcohol과 Formaldehyde가 가장 일반적인 문제이며, 특히 주물사가 따뜻하면 특히 더하다.

가열경화 점결사 계통에서는 주형조형 또는 코어조형 단계가 대부분의 가스 및 증기가 형성되는 단계이다. 전통적인 아마인유 계통의 점결제는 소성로 내부와 근처에서 상당량의 Oil fume을 발생한다. Hot-box process는 높은 농도의 Formaldehyde와 Ammonia fume을 일으킨다. 작업장에서 이들 Fume을 제거하여 허용되는 수준에 노출되도록 하기 위하여 배기가 필요하다.

가스 경화 점결제 계통에서는 제어문제가 상당히 부과된다. 짧은 시간에 높은 강도를 주형이나 코어의 모든 부분을 경화가스가 통과하여야 한다. 가스취입계통이나 잘 맞지 않는 주형상자에서 가스누출이 일어나 노출한계를 초과할 수 있는 매우 높은 농도의 가스 또는 증기가 신속하게 축적될 수 있게 되는 것을 의미한다.

어떤 조형법에서는 사용되는 경화가스가 매우 불유쾌한 냄새를 가지므로, 코어를 공기로 청소하여 이를 제거하여야 한다. 오염된 작업장으로 누출되지 않도록 또는 처리 없이 이웃으로 유출되지 않도록 주의를 기울여야 한다.

증기 중 어떤 것은 (Amines과 Methylene formate) 아주 높은 수준까지 축적되게 되면 폭발이나 화재의 심각한 위험이 있을 수 있다.

7. 코어 보관

이는 흔히 간과되는 장소이나 과거 여러 가지 문제

를 초래하였다. 코어나 주형을 경화시키기 위하여 사용된 잔류가스가 대부분의 재난을 일으킨다. 특히, 경화 후 부적절하게 정화처리된 경우에 그러하다. Cold-setting 점결제 계통에 대해서는 경화 중에 방출되는 Formaldehyde 수준이 낮을 수 있다. 그리고 이들의 정도는 코어보관장에서 명백하게 될 수 있다. 대기 중의 농도는 노출한계를 초과하지 않지만, 냄새는 불쾌할 수 있다.

8. 도형

대부분의 공장에서는 주형과 코어를 도형제를 도포하여 생산되는 주물의 표면을 개선한다. 도형제는 주로 액체용제에 분산된 점토나 수지 점결제를 갖는 내화물 분말의 현탁액으로 구성된다. 용제는 물, Isopropanol (IPA) 또는 Trichloroethane일 수 있다.

수성도형은 일반적으로 재해가 없으나 용제성 도형은 문제가 될 수 있다. IPA는 주의해서 보관·취급해야 하는 인화성 물질이다. 위의 두 가지 용제는 도형된 주형이나 코어 주변에서 대기 중 농도가 높아질 수 있다. 특히 환기가 불량한 장소에서 그러하다. 그러한 경우 심각한 화재 위험이 있을 수 있고, 대량으로 노출된 증기에 의하여 작업자가 졸도할 가능성이 있다. 어떤 도형제는 규사분말(금지된 주조재료)을 함유하여, 건조된 코어를 취급하는 중에 상당량이 공기 중에 떠오르게 되어 Quartz에 대한 노출한계를 초과할 수 있다.

9. 금속 주입

탄소질 물질을 포함하는 주형인 코어가 고온의 용탕에 노출될 때, 주된 열분해물은 일산화탄소이다. 일산화탄소는 약 1000 ppm 이상의 농도에서 위험하게 되는 독성가스이다. 영국의 직업노출표준에서는 장시간(8시간) 노출에 대해서는 50 ppm, 그리고 단시간(10분) 노출에 대해서는 300 ppm이다. 대부분의 경우 주입장에 인접한 작업구역에서 측정된 농도는 300 ppm을 초과하지 않는다. 주입된 주형상부로 적절한 배출이 있다면, 주입자의 호흡위치에서의 농도는 50 ppm 이하이다.

주형과 코어의 점결제의 열분해는 대기로 방출된 막대한 범위의 가스와 증기에 이를 수 있다. 주입된 주

형 상부의 fume에서 40~50종 이상의 서로 다른 확인 가능한 화합물을 발견하는 것은 드물지 않다. 대부분이 낮은 농도이며 기존의 의학적 지식으로는 심각한 재해를 가하지 않는 것으로 생각되나, 몇 가지 화합물질은 농도가 더욱 높아질 수 있어서 배기하여 농도를 낮출 필요가 있다. 이와 같은 화합물질은 SO₂, Formaldehyde, Acrolein, Isocyanate와 Diisocyanate 화합물, Amine 화합물, Phenol, 치환된 Phenol benzene, Toluene과 Xylene을 포함하는 방향족 탄수화물 등이다.

다행히도 많은 경우에 있어, 배기가 충분하여 CO가스 농도를 50 ppm 이하까지 낮출 수 있을 때, 다른 화합물의 농도는 그들 각각의 노출한계 이하가 된다. 주된 농도의 정도를 일단 평가받으면 정교하고 비용이 많이 드는 감시를 줄일 수 있다.

한 가지 예외는 SO₂ 가스이다. 이산화황은 Sulphonic acid 촉매제로 경화되는 Urea phenol 및 Furan 수지로 점결된 주물사에서 배출된다. 그리고 2 ppm의 8시간 노출한계를 초과하는 수준이 주입된 주형부근에서 종종 나타난다. 특히 재생사를 사용할 때 그렇다. 수용되는 농도까지 SO₂가스를 감소시키기 위하여 배기의 증가가 필요할 수 있다. 그러므로 다른 화합물 약품의 농도에 대한 지침으로서 CO가스의 감시의 이용은 신뢰할 수 없으며 주의하여 사용되어야 할 뿐이다.

영국 여러 기관에서 행한 연구에 의하면 새로 주입된 주형상의 fume에는 비등점이 높은 유기화합물이 상당량 있다는 것을 보여준다. 이들 물질은 정상적인 대기온도에서는 증발하지 않는다. 이들 화합물의 몇몇은 Polycyclic Aromatic Hydrocarbon(PAH)로 알려진 화합물군에 속하며, 그들 중 약간은 낮은 농도에서도 인체에 해로운 것으로 알려져 있다.

10. 냉각

냉각장은 주입장과 환경오염물질 발생이 동일하다. 그러나 냉각장은 때때로 간과되고 있다. 주형이 자동조형 라인의 궤도를 따라 이동할 때, 주형이 주입장을 통과하면서 문제는 발생된다.

냉각장 전체에 걸쳐 배기는 주입장보다 강력하지 못하며, 어떤 주물공장에서는 배기설비가 냉각장에 전혀 없어서, 주형에서 상당량의 가스와 증기가 그대로 배출되고 있다. 그리고 그 일부는 낮은 노출한계를 갖는 유해물질일 수도 있다.

11. 탈사

주물공장의 모래털기 작업 중에 상당량의 분진, 매연과 증기가 발생된다. 이들 가스와 증기는 이 단계에서 주물이 매우 뜨거울 때 문제를 일으킨다. 주입 및 냉각 단계에서도 역시 그러하다. 주물이 냉각된 후 탈사할 때에는 가스, 매연 또는 증기의 문제가 없어야 한다.

특히, 탈사에서 주된 문제는 규사를 사용할 때 유해한 분진운(먼지구름)이 발생하는 것이다. 최근의 연구보고에서 분진은 높은 끓는점과 높은 분자량의 방향족 화학약품을 상당량 운반할 수도 있다는 것을 보여주고 있다. 그들 중 어떤 것은 장기간 노출 시 매우 유해할 수 있다. 주조공장에서 일반적으로 통용되고 있는 노출수준에 대해서는 현재 별로 알려진 것이 없다. 화학약품의 구분확인과 대기 중의 농도를 측정하기 위한 연구가 진행 중이다.

12. 후처리

후처리 중의 주된 재해는 분진운의 발생이다(주물사 취급항 참조). 주물을 쇼트-블라스트 처리하여 주형재료의 대부분을 제거한다하여도, 주물표면 그라인더 작업 시 충분한 분진이 일반적으로 발생되므로 배기를 필요로 한다.

13. 주물사 재생

수많은 공장에서 신사비용과 폐사처리비용을 줄이기 위한 수단으로 유기점결사의 재생을 이용하고 있다. 재생법은 주물사의 점결제 잔유물 일부를 제거하는 건식마찰법이 일반적이다.

모든 유기물과 탄소질 물질이 고온에서 연소되는 가열재생법은 드물게 사용된다. 어떤 방법이든 재생사는 분진문제를 일으킨다. 일반적인 건식마찰법에서 나오는 분진은 약간의 해로운 유기물질을 동반할 수 있다.

14. 특수재해

주형과 코어 재료의 사용에서 일어나는 재해에 대한 앞부분의 검토에서, 더 많은 주의를 기울일 가치가 있는 몇 가지에 대해 보다 자세하게 설명하고자 한다.

15. 분진

분진은 주조공장의 수많은 위치에서 주된 재해이다. 생형사가 준비, 혼련, 조형기로 이송, 주물분리 후의 진동, 저장탱크로 반송되는 모든 장소에서 공기에 날리는 분진이 발생할 가능성이 있다. 이들 분진은 석영(SiO₂), 점토, 석탄분 및 죽은 점토, 그을음과 회분으로 구성된 미분으로 되어있다.

유기점결사에 대해서는, 분진 발생은 건조 규사가 첨가되는 혼사기(mixer), 주물탈사 및 사재생구역에서 일어난다. 영국에서 이들 분진에 대한 노출한계는 아래와 같다(8시간 기준 평균중량):

전체 흡입 입자	10.0 mg/m ³
호흡할 수 있는 입자	5.0 mg/m ³
결정질 Quartz 전체흡입분진	0.3 mg/m ³
호흡할 수 있는 분진(<7 μm)	0.1 mg/m ³
Cristobalite 호흡할 수 있는 분진	0.05 mg/m ³

영국의 보건 안전국은 호흡할 수 있는 결정질 규사(모든 종류: Quartz, Cristobalite와 Tridymite)에 대한 직업적 노출 표준을 0.4 mg/m³의 노출한계로 개정하였다. 이는 대부분의 주조공장 작업에 영향을 미치지 않으나, 결정질 규사분진에 대한 노출을 최저의 실제적인 수준까지 감소시킬 필요가 있다. 이들 새로운 한계는 1992년 1월에 도입되었다. 기타 유럽국가에서의 노출한계는 일반적으로 유사하다. 비록 개중에는 호흡할 수 있는 Quartz를 함유하는 분진에 대한 노출표준을 아래의 공식에 따라 계산한다.

$$\text{노출표준(mg/m}^3\text{)} = 10/(\% \text{Quartz})$$

생형사가 배분될 때 발생하는 분진의 양은 수분함량에 의존하며, 건조된 점토점결사는 상당량의 분진운을 발생하지만 젖은 점토점결사는 분진이 발생되지 않는다. 작업수분 수준의 적어도 3분의 1을 함유하는 생형사는 취급 중에 분진운이 형성되기 용이하다는 것을 BCIRA의 연구는 보여주고 있다. 그래서, 주물사가 분진발생의 원천이 될 수 있는 것은 주형 내 주물사가 건조하게 되었을 때뿐이다. 주물사가 운반계통에서 떨어지고 여러 부분 등으로 운반되어 건조된다면, 그때의 수동 또는 기계적 수송은 실제로 바람에 날리는 상당한 양의 분진을 초래할 수 있다. 분진은 주물탈사

중 그리고 직후에 항상 발생되며, 최선의 분진제어 방법은 회수사가 혼련기로 돌아오면서 주물사에 잘 분산된 수분을 되돌려 주는 것이다.

주조공장 작업자가 노출되는 분진조성의 새로운 주된 국면이 있다. 이 조성의 새로운 국면은 차후 보건 당국에 의하여 규정될 분진노출표준에 중요한 영향을 미치게 될 것이다.

이는 현재 미국에서 가능성 있는 발암물질로서 의심 받고 있는 석영(결정질 산화규소-SiO₂)을 포함한다. 이러한 의심은 생형사 기술에 관한 BCIRA 학술회의 (1991년)에 참가한 J. T. Radia(1)의 논문에서 발표되어었다. 1987년에 국제 암연구국(IARC)은 인간의 암 발생에 제한된 증거를 보여주는 자료로서 규사, 규산화합물 및 열거된 결정질 산화규소(SiO₂)에 관한 모노그래프(monograph)를 출간하였다(2). 이에 따라 미국의 직업 안전보건 관리국(OSHA)는 규사의 공급자와 사용자로 하여금 표찰(label)과 물질안전자료설명지에 암발생 가능성에 관한 경고를 포함시키도록 요구하는 지침을 발표하게 되었다. 그리고 그들은 규사에 관한 미국 노출한도의 재검토를 고려 중이다.

영국에서도 공기에 날리는 석영(Quartz) 미분의 노출 한도에 대하여 재검토되고 있다.

16. 일본의 작업환경 관리

일본의 대기오염방지법에서는 연료 기타 물질의 연소에서 발생하는 미립자를 매진(煤塵)으로 정의하고, 물질의 파쇄(破碎), 기타 기계적 처리에서 발생하는 미세분말을 분진으로 정의한다. 방지법에 의하면, 분진과

매진은 배출기준도 다르므로, 이들을 구별하여 생각해야 되는 경우도 있지만, 일반적으로 주조공장 내에서는 매진과 분진이 혼합되어 있어 구별하여 검토하는 것은 곤란하다. 집진장치를 계획하는 경우도 이들을 구별하여 취급하는 것은 의미가 없으므로 종래부터 일반적으로 사용된 바와 같이 분진과 매진을 포함하여 "분진"이라는 용어를 쓰기로 하였다.

한편, 작업환경으로서의 분진은 노동안전위생법에 기초하여 관리구분하고, 환경상태를 평가하게 되어있다. 주물공장에서는 분진 발생원이 많이 있으며, 그 발생원이 이동하던가, 발생량도 시간에 따라 심하게 변동하므로, 각 작업장의 분진농도를 정확히 측정하기는 매우 어렵다.

분진농도의 평가에는 노동안전법에 의한 "관리농도"와 일본산업위생학회의 "허용농도"가 있다. 전자는 작업안전관리를 진행하는 과정에서 분진이나 대기 중의 유해물질에 관한 작업환경 상태를 평가하기 위하여, 환경기준에 따라 실시한 측정결과로부터 작업환경 관리의 양부를 판단하기 위한 관리구분지표이다. 한편 후자의 허용농도는 개개의 작업자의 노출농도와 대비하는 것을 전제로 하여 설정한 노출한계이며, 미국의 ACGIH의 TLV도 허용한 농도이다.

노동안전위생법에 기초한 작업환경 평가기준은 제일 관리구분에서 제 3관리구분까지로 구분하게 되어있고, 분진의 관리농도의 관계는 표 1에 보여준다. 특히 분진의 관리농도가 분진 중의 유리규산함유율의 함수로서 결정되며, 대상으로 하는 분진의 측정을 행하는 것이 의무로 되어있다.

분진의 관리농도는 아래 식에 의하여 산정된다:

표 1. 관리구분과 관리농도의 관계

제 1 관리구분	작업장소의 거의 모두(95%이상)의 장소에서 공기 중 유해물질의 농도가 관리농도이하로 작업환경이 적절하다고 판단되는 상태
제 2 관리구분	작업장소의 유해물질의 평균농도가 관리농도 이하이지만 제일 관리구분에 비하여 작업환경에 개선의 여지가 있다고 판단되는 상태
제 3 관리구분	작업장소의 유해물질의 평균농도가 관리농도를 초과하여 작업환경이 적절하지 않다고 판단되는 상태

표 2. 분진허용농도

분진		허용농도mg/m ³
제 1 종	유리 규산 30% 이상의 광물성 분진활석, 납석, Al, 알루미늄, 규조토, 유화광물, 석면	2
제 2 종	유리 규산 30% 미만의 광물성 분진산화철, 흑연, 활성탄, 석탄	5
제 3 종	기타 분진	10

$$E = \frac{2.9}{0.22Q + 1}$$

E: 관리농도(mg/m³)

Q: 분진의 유리규산 함유율(%)

표 3과 4에 주강 공장의 측정치와 관리구분의 예를 보여준다[3,4].

17. 가스 경화제

표 5는 가스경화점결법의 경화제로 쓰이는 가스에 대한 직업노출표준을 보여준다.

CO₂/규산소다와 CO₂/Polyacrylate 조형법에서 사용되는 이산화탄소(CO₂) 및 염기성 Phenol resin 점결법

(α-set)에 경화제로 사용된 Methyl formate에 대한 노출표준이 높거나 상대적으로 높다. 이들 가스는 주조 공장에서 심각한 문제를 제기하지는 않는다. 그러나 Methyl formate는 가연성이므로 취급에 주의하여야 한다. 냄새로 안전하다고 느끼는 것은, 낮은 수준의 증기축적에 대한 경고로서, Methyl formate를 냄새에 의

표 5. 가스경화제에 대한 직업적 노출표준

	장시간 노출	단시간 노출
CO ₂	5000 ppm	15000 ppm
Amines	DMEA	10 ppm
	TEA	10 ppm
SO ₂	2 ppm	5 ppm
Methyl formate	100 ppm	150 ppm

표 3. 주강공장 분진 측정치 및 공정별 관리구분 현상 [1]

작업공정명	사처리	용해	출탕	주입	조형	코어	평균	
사업장 수	45	45	45	45	45	45	-	
작업장 수	48	49	45	46	60	47	-	
분진측정작업장 수	42	34	10	20	49	17	-	
분진 중 유리규산 함유율(%)	13.69	4.91	4.23	12.87	13.65	10.21	9.93	
A 측정분진농도	기하평균 (mg/m ³)	0.60	0.72	0.98	0.69	0.78	0.72	
	기하표준편차 σ	1.87	1.81	1.70	2.09	1.88	1.84	
B 측정분진농도	CB (mg/m ³) 10분 측정	1.20	1.36	1.38	1.26	0.75	1.07	
	CB/1.5 (mg/m ³)	0.89	0.89	0.88	0.87	0.63	0.76	
관리농도 E=2.9/(0.22Q+1) (mg/m ³)	1.03	1.75	1.62	1.12	1.12	1.24	1.31	
관리구분	1. 작업장소 수·비율 (%)	14 35.9	18 58.1	5 50.0	11 55.0	20 42.6	10 66.7	47.0
	2. 작업장소 수·비율 (%)	15 38.5	10 32.3	4 40.0	4 20.0	17 36.2	0 0.0	31.8
	3. 작업장소 수·비율 (%)	10 25.6	3 9.7	1 10.0	5 25.0	10 21.3	5 33.3	21.2

표 4. 주강공장 분진측정치 및 공정별 관리구분 현상 [2]

작업공정명	형해체	탈사	압탕	gauging	용접보수	열처리	grinding	응력제거	
사업장 수	36	33	23	27	24	14	28	9	
작업장 수	33	30	23	26	21	14	27	9	
분진측정작업장 수	30	30	24	27	22	14	28	9	
분진 중 유리규산 함유율(%)	11.69	10.31	10.63	8.26	5.72	3.79	5.43	5.72	
A 측정분진농도	기하평균 (mg/m ³)	0.52	0.57	1.40	1.41	1.08	0.48	0.86	
	기하표준편차 σ	1.87	1.94	1.99	1.89	1.88	1.94	1.96	
B 측정분진농도	CB (mg/m ³) 10분 측정	(15)0.93	(14)1.75	(11)5.3	(12)4.40	(11)3.43	(8)2.97	(12)2.19	
	CB/1.5 (mg/m ³)	(13)0.56	(11)1.27	(9)3.98	(10)3.19	(9)2.76	(7)1.90	(10)1.61	
관리농도 E=2.9/(0.22Q+1) (mg/m ³)	1.26	1.28	1.55	1.61	1.59	1.81	1.78	1.72	
관리구분	1. 작업장소 수·비율 (%)	12 34.3	11 35.5	9 34.6	8 28.6	11 44.0	7 43.8	14 46.7	8 61.5
	2. 작업장소 수·비율 (%)	10 28.6	12 38.7	7 26.9	8 28.6	8 32.0	6 37.5	9 30.0	1 7.7
	3. 작업장소 수·비율 (%)	13 37.1	8 25.8	10 38.5	12 42.8	6 24.0	3 18.7	7 23.3	4 30.8

B 측정 분진농도의 ()내 숫자는 단위 작업장 개수

존하는 것은 불가능하다. 후각적 검출한계는 약 600 ppm이고, 이 수치는 표 5의 직업적 노출표준의 4배와 6배 사이에 있기 때문이다.

18. Amines

가스경화 Urethane 조형법은 경화제로 Triethyl amine(TEA)이나 Dimethyl amine(DMEA)를 이용한다. 이들 가스는 불쾌한 냄새를 가지며 특히 DMEA가 그러하다. 위험하다고 생각될 수 있는 것 이하의 농도수준에서 사람들이 감지한다. 이들은 폐와 눈의 자극제이며, 모양이 푸른 테두리를 갖는 시각현상인 푸른반점(blue halo)의 모습을 일으킨다. TEA에 대한 영국의 한계는 25와 40 ppm에서 최근 10 ppm(8시간 평균) 및 15 ppm(10분 TWA)로 감소되었다. DMEA에 대한 제시된 한계는 없으나, 실제로 TEA와 같다고 여겨진다. DMEA의 약간의 누출도 이웃의 불만을 일으키는 것으로 알려져있다. 이러한 이유로, TEA는 종종 아주 작은 규모의 작업에서 우선적이다. 대량생산인 경우 전문기계장치를 이용한다.

19. 이산화황(SO₂)

이산화황은 SO₂/furan과 Epoxy cold box법에서 가스경화제로 쓰인다. 주형이나 코어조형 단계에서 가스취입계통에 누출되어 공장 내 대기 중에 섞일 수 있다. 이들 조형법에 의한 주형에 주입할 때, 일반적으로 양은 적지만 가스가 발생된다. SO₂에 대한 영국의 한계는 8시간에 2 ppm, 10분에 대해서는 5 ppm이다.

과도한 SO₂ 유출을 방지하려면 취입장치의 적절한 제어가 필요하다. 개방된 작업장에서 CO₂를 사용하는 것과 같은 방법으로 SO₂를 사용하는 것은 불안전하다. 진공 취입실(chamber)이 하나의 제어수단이며, 또 다른 방법은 접합부분을 밀봉한 코어박스(core box)를 진공실 상에 설치하는 방법이다.

SO₂는 적절히 밀봉된 취입구를 통하여 코어박스로 취입되고 과잉의 가스는 진공실로 통과된다.

주조공장 대기의 다른 주요 SO₂ 발생원이 있다. 이는 상온자경성 Phenol 및 Furan 점결사이다. 대부분의 Furan 사는 Para-toluene sulfonic acid (PTSA), Benzene sulfonic acid (BSA) 및 Xylene sulfonic acid (XSA)의 함유물에 의하여 경화된다.

SO₂ 가스는 이들 주형이 주입될 때 발생된다. 다수의 주형을 특별한 배기장치 없이 주입할 때 가스발생량은 2 ppm(8시간)의 한계 이상일 수 있다. 한번에 주입되는 주형의 양이 적어도, SO₂의 농도는 주입자, 누름쇠설치자 및 크레인운전자에 대해 10분 5 ppm의 한계를 초과할 수 있다.

20. Formaldehyde (포르말린)

Formaldehyde는 Shell, Furan, Hot box, Alkaline phenolic, Urethane 및 SO₂/Furan resin 점결제의 화학결합에서 발생된다. 일반적으로 약간의 유리 Formaldehyde이 있으며, 이는 주형과 코어 작업장에서 공기 중에 존재한다. 더 많은 양은 주입과 탈사장에서 가열에 의하여 발생된다. 그 양은 현재 영국 최대 노출한계(MEL)인 2 ppm(8시간과 10분 TWA)를 초과한다. Formaldehyde는 주조공장 최고농도의 약 10배의 농도로 존재할 때 설치류동물(쥐, 다람쥐 등)에 대한 암발생의 영향이 의심되기 때문에 관심의 원인이 되어 왔다.

최고의 Formaldehyde 수준을 초래하는 조형법은 Hot box법인 것으로 확인되었다. 그러나 Shell법은 영국 한계 이상의 농도를 발생시킬 수 있다.

미국에서 노출한계를 1 ppm까지 최근 감소시킨 것은 더욱 널리 채용될 경우 문제를 일으킬 것으로 예상된다.

21. Isocyanates (시아나화물)

Isocyanates는 수많은 가스경화와 비가스경화 점결제통에 대한 공식 표현의 일부이며 어떤 주조법에서는 공기에 날리게 될 수 있다. 사용되는 Isocyanate는 Methylene diphenyl diisocyanate (MDI)와 Toluene diisocyanate (TDI)이다. 영국의 한계는 화학 NCO군으로 측정된 0.02 mg/m³(8시간 TWA)이다.

이는 모든 Isocyanate에 적용되며, 특별한 Isocyanate의 노출한계는 그의 화학식에 기초하여 설정되어야 한다. 예를 들어, MDI에 대해서는 60 mg/m³(8시간 TWA)와 210 µg/m³(10분 TWA)이고, TDI에 대해서는 42 µg/m³(8시간 TWA)와 146 µg/m³(10분 TWA)이다.

MDI는 증기압이 낮으며 25°C에서 0.02 mPa이다. 그래서 매우 따뜻한 주물사와 점결제를 배합하는 동안 이외에는 작업자의 호흡구역 내에서 한계를 초과하여

발견될 수는 없다. 표 6은 BCIRA가 행한 여러 주물 공장에서의 MDI 측정결과이다.

인체에 대한 Isocyanate의 영향은 호흡계통과 눈에 자극제로 작용하는 것이다. 피부에 대한 자극도 역시 인지되어왔다. 더욱 중요하게는 자극의 감응이 점진적으로 또는 돌연하게 일어날 수 있다. 일단 작업자가 Isocyanate에 그를 감응시키기에 충분한 농도에 노출되면(개개인의 감수성에 의존하는 농도), 극히 낮은 농도에 다시 노출되더라도 같은 종류의 알레르기성 반응을 유발할 수 있다. 일반적으로 천식증상을 일으켜, Isocyanate를 사용하는 주조공장에서 감응된 작업자가 계속 작업하는 것을 불가능하게 만든다. MDI의 중독은 Woolich[5]에 의하여 최근 검토되었다. 그는 MDI의 자극성과 감응력을 별도로 하고는, MDI가 인간이나 동물체 내에서 발암성의 기형발생의 또는 재생산적 영향을 생산한다는 것을 암시하는 증거는 없었다고 결론지었다. MDI와 TDI 고분자화합물의 유리 MDI와 TDI의 결정을 위하여, Bagon과 Hardy[6]는 고성능의 액체 Chromatography(HPLC)법을 이용하였다. 이후 BCIRA는 발전된 MDI 측정법을 개발하였다.

22. 분진과 관련된 유기약품

공기에 날리는 유기물질의 시료는 정상적으로 분진 입자는 제외한다. 그러나 분진입자는 높은 분자량의 몇 가지 화합물을 운반하는 것으로 알려져 있다. 그러므로, 분진의 흡입은 어떤 범위의 물질이 체내로 유입되는 경로를 제공한다.

1981년에 Palmer와 다른 연구자들은 어느 범위의 조형법들로부터 수집된 분진에서 벗겨낸 유기물질에 대

표 6. 주물공장에서 측정된 MDI 농도

Isocure operator Foundry A	0.2~2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Isocure operator Foundry B	0.5~9.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Isocure operator Foundry C	1.9~9.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Changing resin drum Foundry B	3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Casting cooling-exit of casting tunnel	0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Isocure operator No. 1 Foundry C	<0.2~15.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Isocure operator No. 2	<0.2~6.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Isocure operator No. 1 Foundry D	<0.2~15.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Isocure operator No. 2 Foundry D	<0.2~15.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

한 연구결과를 출판하였다[7]. 분진에 붙어있는 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs)는 특히 흥미롭다. 몇몇 PAHs는 해로운 영향을 갖는 것으로 알려져 있다.

표 7에 주어진 결과로부터 아래의 결론이 유도되었다.

시료 채취된 조형법 중 Shell과 생형이 Urethane이나 Furan 계통보다 훨씬 많은 분진을 발생하였다. 예를 들어, 생형은 더욱 많은 분진을 발생시킬 뿐 아니라, 분진 각 그램 중량의 Benzopyrene의 양은 최대였다.

Phenol류는 흥미롭다. 그들 중 몇몇은 어떤 동물시험에서 발암조장제로 작용하기 때문이다. 즉, 그들은 다른 화합물의 발암성을 증가시킨다. 이들은 표 8과 같이 측정되었다[7]. Shell과 생형조형법은 더욱 많은 분진을 발생하므로 Urethane 시료가 gram 당 더 많은 Phenol을 함유하였다는 사실은, 작업자가 생형작업보다 더 많은 Phenol에 노출된 것을 반드시 의미하지는 않는다.

Schmittner[8]는 두 곳의 주물공장에서 숨겨진 표면에 쌓인 분진을 채집하였다. 한 공장에서는 Urethan

표 7. 4 종의 조형법에 발생된 분진의 수용성 및 cyclohexane 추출 상태에 존재하는 PAHs 및 연관화합물의 농도

화합물	농도, 분진 1g 당 μg							
	Furan		Urethane		Shell		Greensand	
	Aq	Part	Aq	Part	Aq	Part	Aq	Part
acridine	13	-	25	-	-	-	3.7	-
naphthalene	-	-	-	0.2	-	-	-	-
carbazole	-	-	-	-	-	-	-	-
phenanthrene	-	3.4	-	4.6	230	720	8	1800
benz(a)anthracene	-	-	-	9.1	-	-	<2	280
chrysene	-	-	-	-	-	170	-	-
benzo(a)pyrene	-	-	-	-	-	130	<2	58
dibenzo(a,h)anthracene	-	-	-	-	-	-	-	-

표 8. 여러 가지 조형법에서 발생된 급식가스세정기 포집 분진의 수용상태에 존재하는 페놀

화합물	농도, 분진 1 g 당 μg			
	Furan	Urethane	Shell	Greensand
Phenol	2000	50000	1600	1000
Pentachlorophenol	3	<2	<2	<2
4-Nitrophenol	48	420	1800	<2
2-Nitrophenol	<2	<2	2300	<2
2,4-Dimethylphenol	<2	21	60	<2

표 9. 세 가지의 서로 다른 화학 점결제를 사용한 여섯 개의 코어 조형장 내의 호흡가능 및 전체 분진 농도

시료채취 장치 종류	코어 조형장 분진 농도, mg/m^3					
	Gassed urethane		Hot-box		Shell	
전체 분진	0.11	3.44	0.80	1.40	1.07	3.35
호흡 가능 분진	0.08	0.48	0.23	0.29	0.35	1.18

코어를 생형주형에 사용하고, 다른 공장에서는 Shell주형에 Urethan 코어를 사용하였다. 분진에 운반된 40개 화합물의 양이 보고되었고, 이들은 16종의 PAHs를 함유하였다.

BCIRA[9]는 Palmer와 다른 접근법을 채용하고 그 결과를 표 9에 보여주었다. 측정된 분진농도는 Shell조형이 Urethane이나 Hot box보다 더 많은 분진이 발생한다는 Palmer의 발견을 확인할 수 있다.

분진에 묻어있는 유기물질의 제어는 일차적으로 분진 자체의 제어이다. 분진제어는 정상적인 작업이나, 분진이 운반하는 유기물질에 대한 노출을 감소시키기 위하여 차후에는 개선이 필요하다.

분진 상의 유기물질의 영향에 대한 중요사항이 가스 경화 Urethane 코어 제작에서 관찰되었다. 코어조형기 주변의 공기에서 취한 MDI 검사 시료는 부정적인 결과를 보여준다. 그러나 매우 흔하게 사용된 시료용 기포 발생기의 액체에서 감지할 수 있는 양의 MDI가 발견되었다[9]. 이는 취입 중 튀어서 기포발생기에 들어간 수지 피복 분진 알갱이 때문일 가능성이 있다. 이는 소수의 가스 경화 Urethane 조형작업자가 MDI에 감응되는 이유를 설명하여 준다. MDI의 인체 유입 경로는 공기에 날리는 MDI로 피복된 분진을 흡입하는 것이다.

영국의 건강안전국(HSE)은 분진운반 유기물질의 건강에 대한 영향을 예보할 직접적인 수단을 갖고 있지 않으며[10], 분진 상의 모든 유기화합물이 어쩌면 해로울

수 있다는 견해를 취하여 왔다. 그래서 주조공장 분진에 묻어 호흡되는 유기물질의 한도가 설정되는 것을 우리는 기대할 수 있다. 주조공장 분진의 유기물질 함유율은 일반적으로 5~20%[10,11] 이라는 것을 연구결과를 제시하고 있다. 각각의 조형법에서 발생하는 분진에 부착된 유기물질 정도에 대한 이용 가능한 자료가 충분하지 못하여 어느 조형법이 가장 제어하기 어려운 지를 예측할 수 없다. 현재 이야기할 수 있는 것은 $\text{CO}_2/\mu\text{g}$ 산소다 조형법이 가장 유기물질 함량이 적다는 것이다.

현재 분진에 부착된 유기물질의 특성과 농도를 측정할 수 있는 만족할만한 시험법이 없다. 그래서 분진농도의 감소가 흡수된 화학물질에 대한 노출을 감소시킨다는 희망에서, HSE는 주조공장의 전체흡입가능 입자에 대하여 직업적 노출표준의 감소를 검토하여 $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ 에서 $8 \text{ mg}/\text{m}^3$ 으로 감소하였고, 1993년부터 발효되었다.

결 론

주조공장의 다량의 공해물질 발생과 그 규제조건의 강화로 주조공업의 생산활동은 날로 어려워지고 있는 것이 사실이다.

그러나 주조공업은 기초공업소재 생산이라는 면에서 한 국가의 기간공업의 위치를 차지하여 왔으며, 이의 발전이 바로 국가 경제발전의 초석이므로, 한국 경제의 점진된 발전을 위하여 주조공업은 발전하여야 할 것이다.

주조공업의 발전을 위해서는 공해없는 Clean foundry 운동이 적극적으로 전개되고, 아울러 생산성 향상이 획기적으로 도모되어야 할 것이다. 이를 위하여 설비의 자동화와 함께 공해발생 개소의 집중적인 공해방지 설비의 설치가 요구된다.

한편, 공해물질의 발생이 비교적 적은 무기화학 점결제의 활용연구가 더욱 활발하게 진행되어야 할 것이며, 내구성이 높은 주형재료의 이용이 주의깊게 검토되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. T. Radia: BCIRA Conference, "Environmental issues affecting greensand plants in US foundries. In Greensand Moulding - The Future", (1991) 26-28.
- [2] International Agency for Research on Cancer (IARC), "Risk of chemicals to humans ^{OTM} Silica and some sili-

- cates", 42(1987).
- [3] 素形材 センター研究調査報告 No. 411.
- [4] 素形材 センター研究調査報告 No. 391.
- [5] P. F. Woolrich: American Industrial Hygiene Association Journal, "Toxicology, industrial hygiene and medical control of TDI, MDI, PMPPi" 43(1982) 89-97.
- [6] D. A. Bagon and H. L. Hardy: Journal of Chromatography, "Determination of free monomeric toluene diisocyanate (TDI) and 4,4'-diisocyanatodiphenylmethane (MDI) in TDI and MDI prepolymers respectively, by high performance liquid chromatography", 152(1978) 560-564.
- [7] W. G. Palmer: Transactions of the American Foundrymen's Society, "Analysis of effluents collected from four types of iron casting moulds for use in carcinogenic bioassays", 89(1981) 653-658.
- [8] H. Schmittner: Giesserei, "Occupational health investigations in the cold-box and shell moulding processes", 71(1984) 895-902.
- [9] P. P. E. Biggins: Unpublished work at BCIRA.
- [10] S. A. Isherwood: BCIRA Seminar, "Organics adhering to foundry dust, In Improving the foundry environment ^oTM the responsible face of the foundry industry", (1988).
- [11] J. G. Morley and C. A. Wright: Unpublished work at BCIRA.